



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'ambiente,  
dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC  
**Ufficio federale dell'ambiente UFAM**

## STATISTICA SULLE PIENE

### RAPPORTO DELLA STAZIONE

# Tresa - Ponte Tresa, Rocchetta

Ulteriori spiegazioni: [guida](#)  
Contatto: [hydroanalysen@bafu.admin.ch](mailto:hydroanalysen@bafu.admin.ch)

## Indice

<b>1</b>	<b>Basi di dati</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Risultati delle procedure parametriche</b>	<b>6</b>
2.1	L'approccio «block maximum» (BLOCK) . . . . .	7
2.1.1	Intero periodo di analisi: 1923-2015 . . . . .	7
2.1.1.a	Variante di modello stazionaria . . . . .	7
2.1.1.b	Variante di modello non stazionaria . . . . .	9
2.1.2	Periodo di riferimento: 1974-2015 . . . . .	11
2.1.2.a	Variante di modello stazionaria . . . . .	11
2.1.3	Periodo di analisi a partire dal punto di rottura: 1977-2015 . . . . .	12
2.1.3.a	Variante di modello stazionaria . . . . .	12
2.1.3.b	Variante di modello non stazionaria . . . . .	14
2.2	L'approccio «Peaks Over Threshold» (POT) . . . . .	15
2.2.1	Periodo di analisi POT: 1974-2015 . . . . .	17
2.2.1.a	Variante di modello stazionaria . . . . .	17
2.2.2	Periodo di analisi a partire dal punto di rottura: 1977-2015 . . . . .	19
2.2.2.a	Variante di modello stazionaria . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Risultati a confronto</b>	<b>22</b>
3.1	Valutazione dei diversi periodi di analisi . . . . .	22
3.2	Raffronto generico dei diversi approcci di modello . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>25</b>
	<b>Allegato</b>	<b>26</b>
A	Determinazione del valore soglia per delimitare i valori estremi . . . . .	26
B	Glossario . . . . .	27

# 1 Basi di dati

Per le analisi statistiche dei valori estremi sono disponibili i seguenti dati relativi alle portate:

Dati disponibili	dal	al
Massime mensili digitali	01.01.1901	31.12.2015
Massime giornaliere digitali	01.01.1974	31.12.2015

Un limnigrafo è stato messo in funzione le 28. agosto 1922. Dall'inizio delle misurazioni al 28. febbraio 1961, le misurazioni sono state effettuate presso la stazione di «00655 Ponte Tresa»; a partire dal 1. marzo 1961 presso il sito attuale.

Per le analisi sono utilizzati gli anni completi delle massime mensili registrate dal limnigrafo oppure le massime giornaliere digitali (cfr. cap. 2).

La portata più elevata è stata osservata come segue:

Picco di portata più elevato	Data	Portata
Massima giornaliera più elevata	27.11.2002	255 m <sup>3</sup> /s
Massima mensile più elevata	27.11.2002	255 m <sup>3</sup> /s

I dati relativi alle portate possono essere contraddistinti come segue:

Andamento della portata	Descrizione
Regime di portata	Non classificabile in modo univoco: Deflussi leggermente superiori in la fine della primavera.
Effetto della stagionalità	Difficilmente riconoscibile osservando le massime mensili (figura 3).
Influsso	Influssi di diversi impianti ad acqua fluente minimi. L'influsso più marcato sul deflusso è rappresentato dalla regolazione del lago di Lugano, a cui quest'ultimo è soggetto dal 1964. Anche il fatto che dal 1977 il regolamento del lago sia applicato in modo diverso produce effetti: da allora le massime annuali e mensili presentano un quadro diverso (cfr. figg. 1 & 2).

Le massime annuali oscillano tra 40 e 260 m<sup>3</sup>/s circa, con una dispersione dei valori elevata. Cinque valori al di sopra di 180 m<sup>3</sup>/s costituiscono le massime annuali più elevate, mentre la maggior parte dei valori si situa tra 70 e 150 m<sup>3</sup>/s. Dall'analisi risulta un punto di rottura significativo attorno al 1976 (intervallo di confidenza 1962-1990). Da allora Da tale momento, i valori minimi delle massime mensili hanno subito un aumento superiore alla media e la varianza dei valori è diminuita. Tuttavia, ad eccezione dei valori estremi del 2002, i picchi di piena più marcati hanno subito variazioni minime. Il punto di rottura coincide con la nuova regolazione del lago di Lugano, entrata in vigore nel 1977. Questa ha influito notevolmente sulla portata della Tresa, poiché la stazione di misurazione si trova soltanto poche centinaia di metri a valle dell'impianto di regolazione. Dato la modificazione delle massime e la corrispondenza con l'analisi dei punti di rottura, il periodo di analisi viene considerato a partire dal punto di rottura 1977.

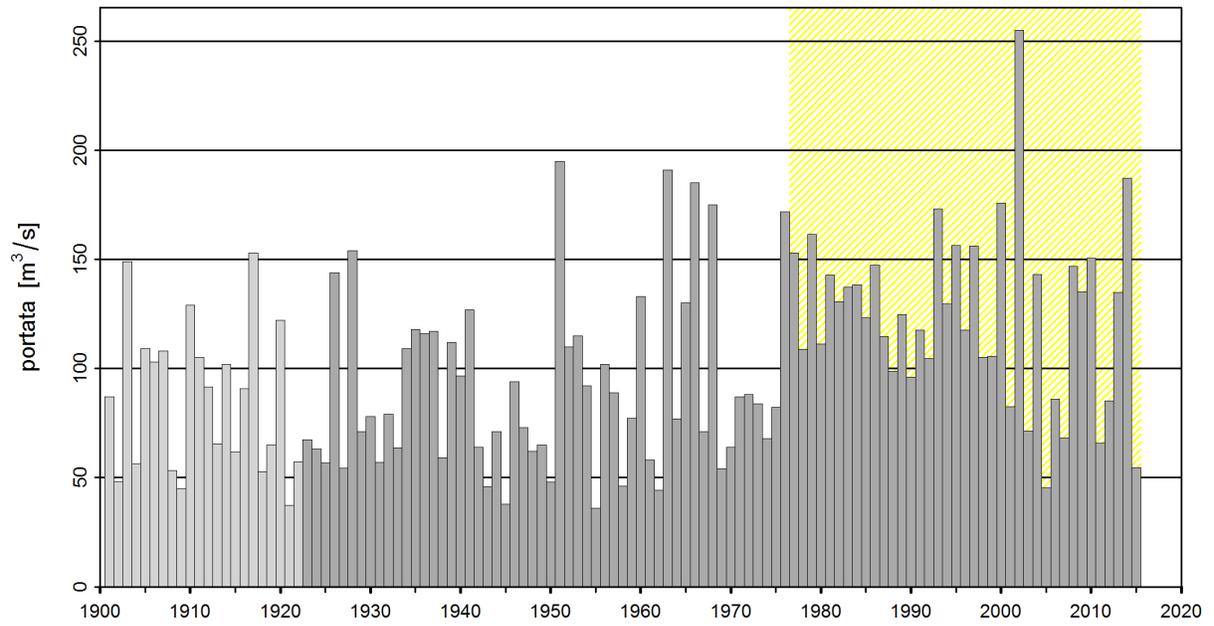


Figura 1: Serie temporale delle massime annuali [m<sup>3</sup>/s] (1901 - 2015, Grigio chiaro: massime annuali non utilizzate per la statistica, grigio scuro: massime annuali utilizzate relative all'intero periodo di analisi a partire dall'installazione del limnigrafo). Giallo tratteggiato: periodo di analisi a partire dal punto di rottura (1977)

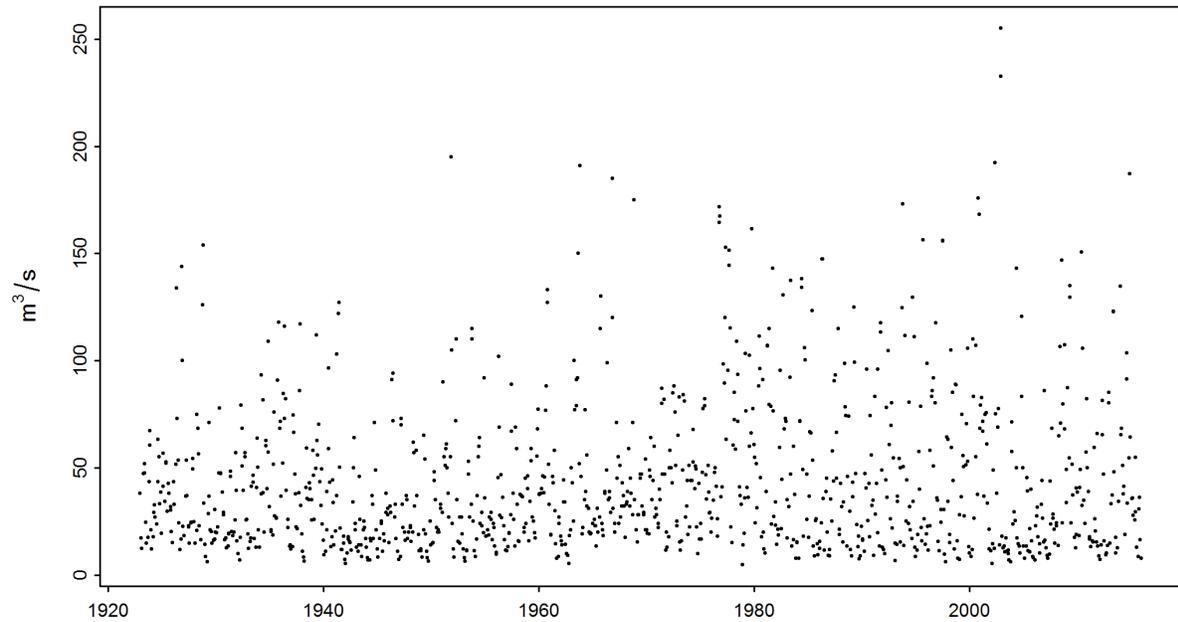


Figura 2: Serie temporale delle massime mensili [m<sup>3</sup>/s] (01.01.1923 - 31.12.2015)

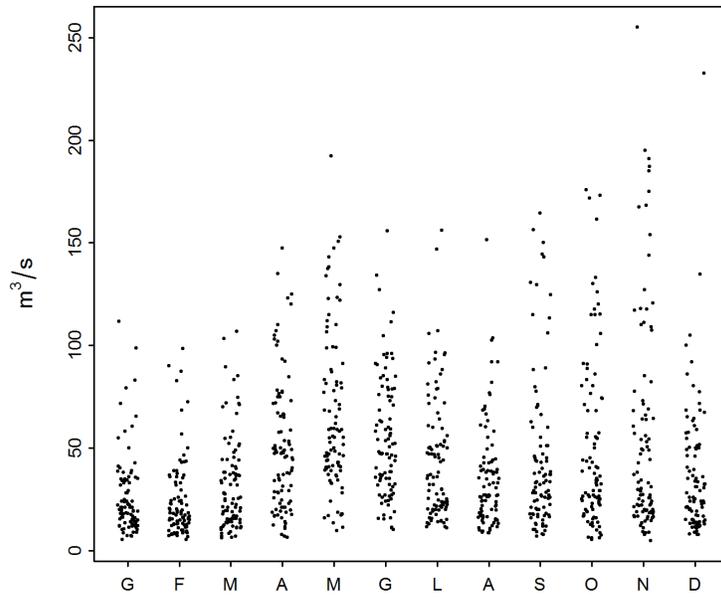


Figura 3: Andamento stagionale delle massime mensili [m<sup>3</sup>/s] (01.01.1923 - 31.12.2015)

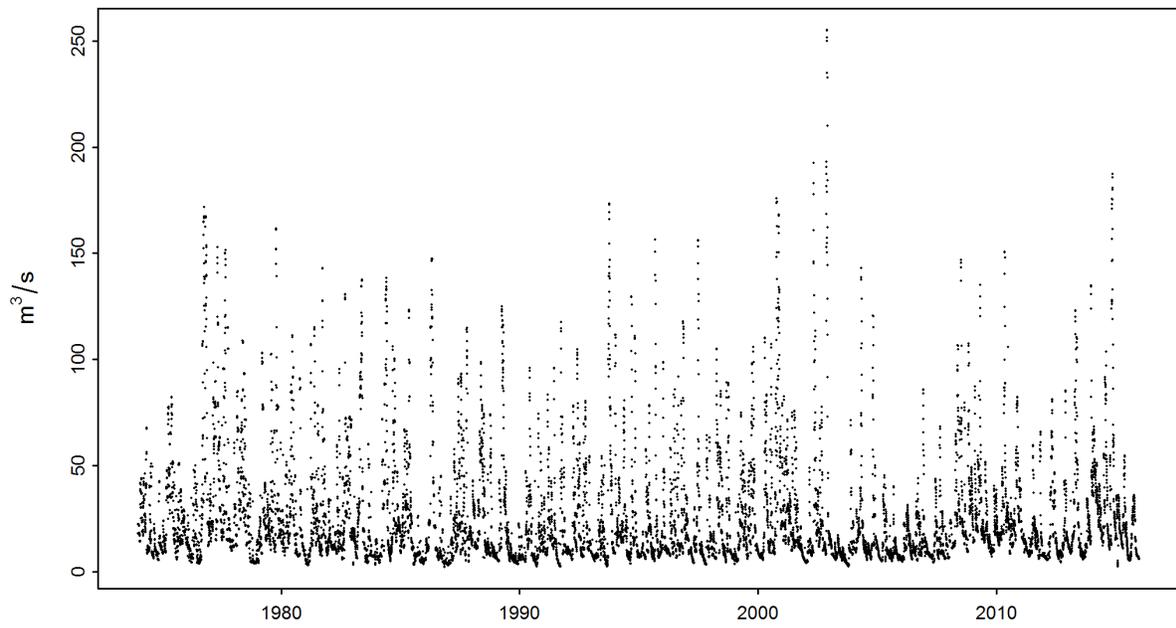


Figura 4: Serie temporale delle portate giornaliere massime [m<sup>3</sup>/s] (01.01.1974 - 31.12.2015)

## Riassunto delle varianti di modello

<b>Variazioni</b>	<b>Effetti</b>	<b>Conseguenze</b>
regolazione del lago a partire dal 1964, cambiamento nell'applicazione del regolamento nel 1977	I valori minimi delle massime mensili aumentano	Presumibilmente non stazionario

## Analisi dei punti di rottura

<b>Anno</b>	<b>Punto di rottura significativo</b>	<b>Conseguenze</b>
1976 / 1977	sì	I dati vengono suddivisi perché il punto di rottura è motivabile a partire dalla documentazione relativa alla stazione (costruzione di una centrale elettrica) e al bacino imbrifero.

## 2 Risultati delle procedure parametriche

Con l'ausilio di due procedure parametriche (approcci BLOCK e POT) sono stimate le probabilità di piena  $HQ_T$ . I due approcci si distinguono nel metodo con il quale vengono identificati i valori estremi. Si basano sui seguenti parametri e dati iniziali del modello:

Procedura parametrica	Parametri	Dati iniziali del modello
Block Maximum (BLOCK)	$\mu$ Parametro di posizione $\sigma$ Parametro di scala $\kappa$ Parametro di forma	Massime annuali
Peaks Over Threshold (POT)	$\lambda$ Tasso di incidenza $\sigma$ Parametro di scala <sup>1</sup> $\kappa$ Parametro di forma	Massime giornaliere

Per entrambi gli approcci parametrici viene calcolato il caso stazionario. Ciò significa che si suppone che tutti i parametri della funzione di ripartizione rimangano costanti sull'arco dell'intero periodo di analisi. Se tuttavia la storia della stazione lascia supporre una variazione temporale, i parametri della funzione di ripartizione corrispondente possono essere modellizzati in funzione del tempo. Vengono utilizzate le seguenti varianti di modello, riportate alle tabelle 1 e 2:

Tabella 1: Varianti di metodo BLOCK.  $\mu$  Parametro di posizione (mu),  $\sigma$  Parametro di scala (sigma),  $\kappa$  Parametro di forma (kappa)

Varianti di metodo BLOCK			
Nome	Descrizione	Parametro (t: anno)	Numero di parametri
stat	Variante stazionaria	$\mu, \sigma, \kappa$	3
mul	Trend lineare di $\mu$	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma, \kappa$	4
muq	Trend quadratico di $\mu$	$\mu = a_1 + a_2 * t + a_3 * t^2, \sigma, \kappa$	5
sigl	Trend lineare di $\sigma$	$\mu, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	4
musigl	Trend lineare di $\mu$ e $\sigma$	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	5
mujump	Variazione non continua di $\mu$ al momento $t_0$	$\mu = a_1 + a_2 * i, \sigma, \kappa, i = 0$ per $t < t_0, i = 1$ per $t \geq t_0$	4

Tabella 2: Varianti di metodo POT.  $\sigma$  Parametro di scala (sigma),  $\kappa$  Parametro di forma (kappa)

Varianti di metodo POT			
Nome	Descrizione	Parametro (t: anno)	Numero di parametri
stat	Variante stazionaria	$\sigma, \kappa$	2
sigl	Trend lineare di $\sigma$	$\sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	3
sigjump	Variazione non continua di $\sigma$ al momento $t_0$	$\sigma = b_1 + b_2 * i, \kappa,$ $i = 0$ per $t < t_0, i = 1$ per $t \geq t_0$	3

La qualità delle varianti di modello viene valutata graficamente mediante un probability plot e un quantile plot (cfr. p. es. figura 5 in alto e [guida](#) cap. 2.2.3). Meglio i dati sono posizionati lungo la diagonale unitaria, più si può supporre che le ipotesi del modello siano corrette. Sulla base di uno schema della procedura si decide quale modello non stazionario utilizzare in futuro (cfr. fig. 5 al capitolo 2.1.3 della [guida](#)). Di seguito sono indicate le procedure con i risultati migliori.

<sup>1</sup>Numericamente, il parametro di scala  $\sigma$  dell'approccio POT non coincide con quello  $\sigma$  dell'approccio BLOCK.

## 2.1 L'approccio «block maximum» (BLOCK)

L'approccio «block maximum» definisce il valore massimo all'interno di un intervallo di tempo (block: nel caso in esame un anno) come valore estremo.

Nel rapporto vengono descritte le seguenti varianti dell'approccio BLOCK:

Periodo di analisi	Descrizione	Variante di modello scelta	Capitolo
1923 - 2015	intero periodo di analisi	stat mujump	capitolo 2.1.1.a capitolo 2.1.1.b
1974 - 2015	periodo di riferimento	stat	capitolo 2.1.2.a
1977 - 2015	periodo di analisi a partire dal punto di rottura	stat sigl	capitolo 2.1.3.a capitolo 2.1.3.b

### 2.1.1 Intero periodo di analisi: 1923-2015

#### 2.1.1.a Variante di modello stazionaria

Procedura	Variante di modello	Periodo di analisi	Dati iniziali del modello	Osservazioni
BLOCK	stat	1923-2015	Massime annuali	-

Numero di valori utilizzati e parametri di modello stimati:

Numero di valori n	Parametro di posizione $\hat{\mu}$	Parametro di scala $\hat{\sigma}$	Parametro di forma $\hat{\kappa}$
93	85.34	35.35	-0.0269

La qualità della variante di modello «stat» sull'intero periodo di analisi viene valutata graficamente sulla base dei plot diagnostici di cui alla figura 5.

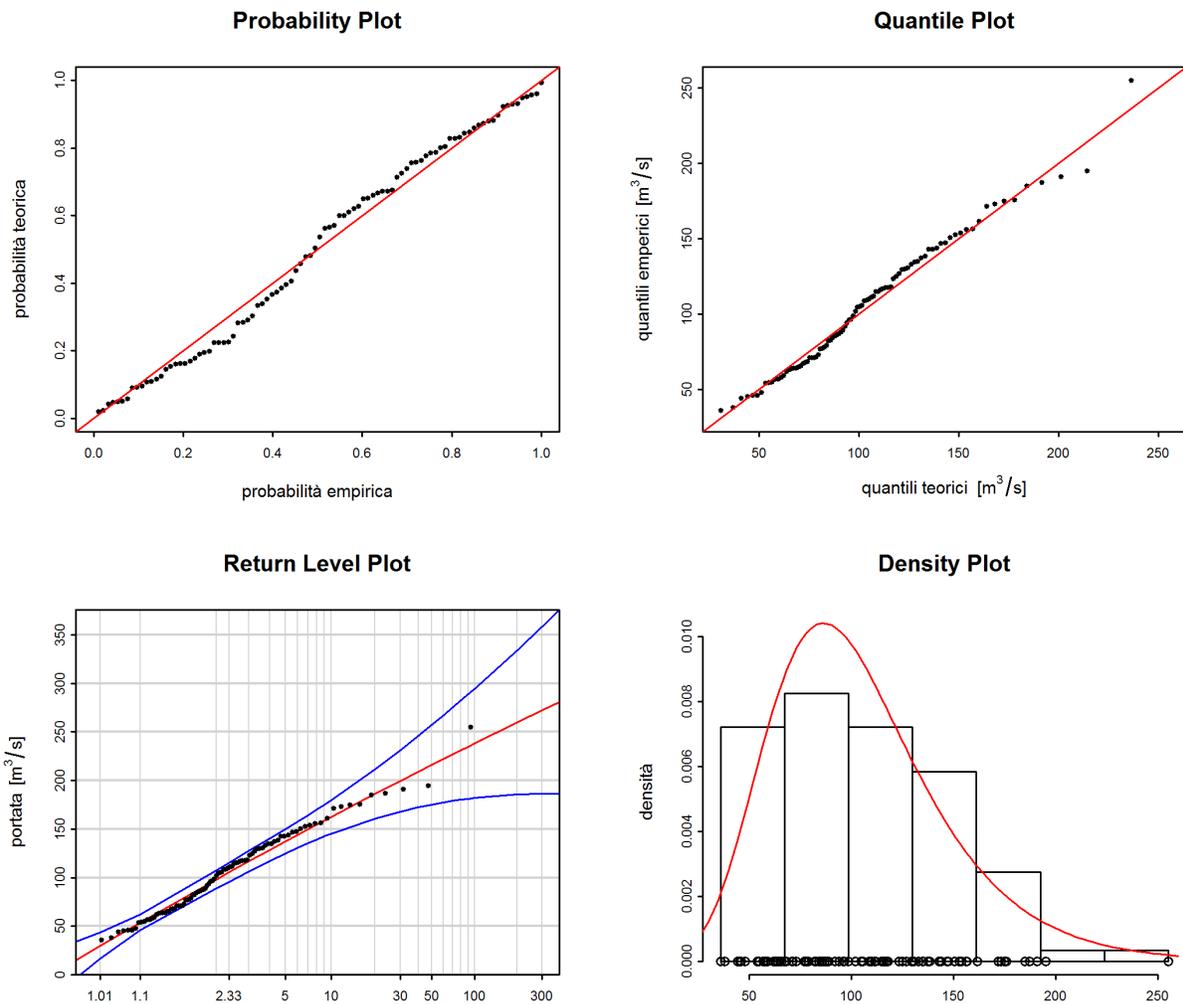


Figura 5: Plot diagnostici della variante di modello «stat» dell'approccio BLOCK(1923-2015)

**Valutazione plot diagnostici (figura 5):**

Criteria	Valutazione <sup>2</sup>	Osservazioni
Adattamento settore inferiore	buono	-
Adattamento settore medio	buono	-
Adattamento settore superiore	medio	un paio di valori sovrastimato; il valore più elevato sottostimato
Intervallo di confidenza	medio	elevato per periodi di ritorno estesi

<sup>2</sup>cfr. [guida](#) capitolo 2.2.3

La seguente tabella contiene i livelli di portata determinati per l'ultimo anno per diversi periodi di ritorno, calcolati con la variante di modello stazionaria dell'approccio BLOCK sull'intero periodo di analisi 1923-2015 (compreso l'intervallo di confidenza al 95 %, calcolato con il metodo delta):

HQ <sub>T</sub>	Limite di confidenza inferiore [m <sup>3</sup> /s]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Limite di confidenza superiore [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	88.9	98.2	108
HQ <sub>10</sub>	145	163	180
HQ <sub>30</sub>	168	200	231
HQ <sub>100</sub>	182	238	295
HQ <sub>300</sub>	186	272	358

### 2.1.1.b Variante di modello non stazionaria

Il raffronto tra le diverse varianti di modello dell'approccio BLOCK durante l'intero periodo di analisi dimostra che i modelli «mul», «muq», «musigl» e «mujump» si differenziano in modo sostanziale dal modello stazionario («stat»). <sup>3</sup>Sulla base dell'approccio per il raffronto di diverse varianti di modello non stazionarie descritto nello schema della procedura, «mujump» è considerato il modello non stazionario migliore. Le differenze tra i modelli sono minime. Per questo motivo di seguito vengono raffigurati i risultati di «mujump» (cfr. figura 5 della [guida](#)).

Procedura	Variante di modello	Periodo di analisi	Dati iniziali del modello	Osservazioni
BLOCK	mujump1977	1923-2015	Massime annuali	-

Numero di valori utilizzati e parametri di modello stimati:

Numero di valori n	Parametro di posizione $\hat{\mu}^4$	Parametro di scala $\hat{\sigma}$	Parametro di forma $\hat{\kappa}$
	$a_1$	$a_2$	
93	74.93	29.61	-0.0435

La qualità della variante di modello «mujump1977» sull'intero periodo di analisi viene valutata graficamente sulla base dei plot diagnostici di cui alla figura 6.

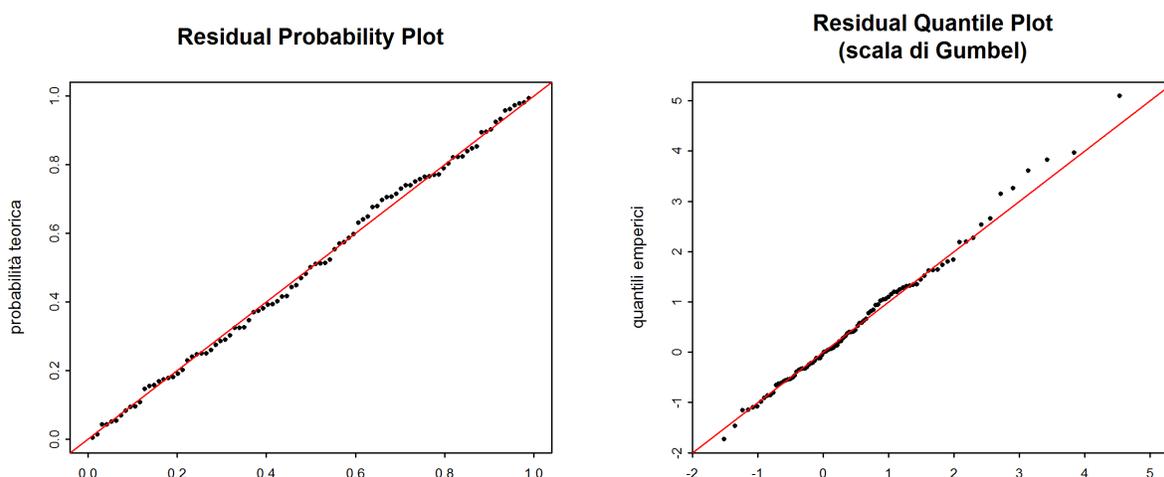


Figura 6: Plot diagnostici della variante di modello «mujump1977» dell'approccio BLOCK(1923-2015)

<sup>3</sup>Sulla base dei risultati dell'analisi dei punti di rottura, come momento  $t_0$  per il modello «mujump» viene scelto l'anno 1977 (cfr. cap. 1).

<sup>4</sup> $\hat{\mu} = a_1 + a_2 * i$ ,  $i = 0$  per  $t < t_0$ ,  $i = 1$  per  $t \geq t_0$  (cfr. tabella 1)

Valutazione plot diagnostici (figura 6):

Criteria	Valutazione <sup>5</sup>	Osservazioni
Adattamento settore inferiore	buono	-
Adattamento settore medio	buono	-
Adattamento settore superiore	medio	alcuni valori leggermente sottostimati
Raffronto con il modello stazionario	migliore	alcuni valori sono più vicini alla diagonale unitaria; intervallo di confidenza leggermente più ridotto

La seguente tabella contiene i livelli di portata determinati per l'ultimo anno per diversi periodi di ritorno, calcolati con la variante di modello non stazionaria dell'approccio BLOCK sull'intero periodo di analisi 1923-2015 (compreso l'intervallo di confidenza al 95 %, calcolato con il metodo delta):

HQ <sub>T</sub>	Limite di confidenza inferiore [m <sup>3</sup> /s]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Limite di confidenza superiore [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	104	117	129
HQ <sub>10</sub>	158	175	192
HQ <sub>30</sub>	182	208	234
HQ <sub>100</sub>	200	242	284
HQ <sub>300</sub>	209	271	332

La figura 7 illustra la variazione dell' HQ<sub>100</sub> tra 1923 e 2015 calcolato con il modello «mujump1977».

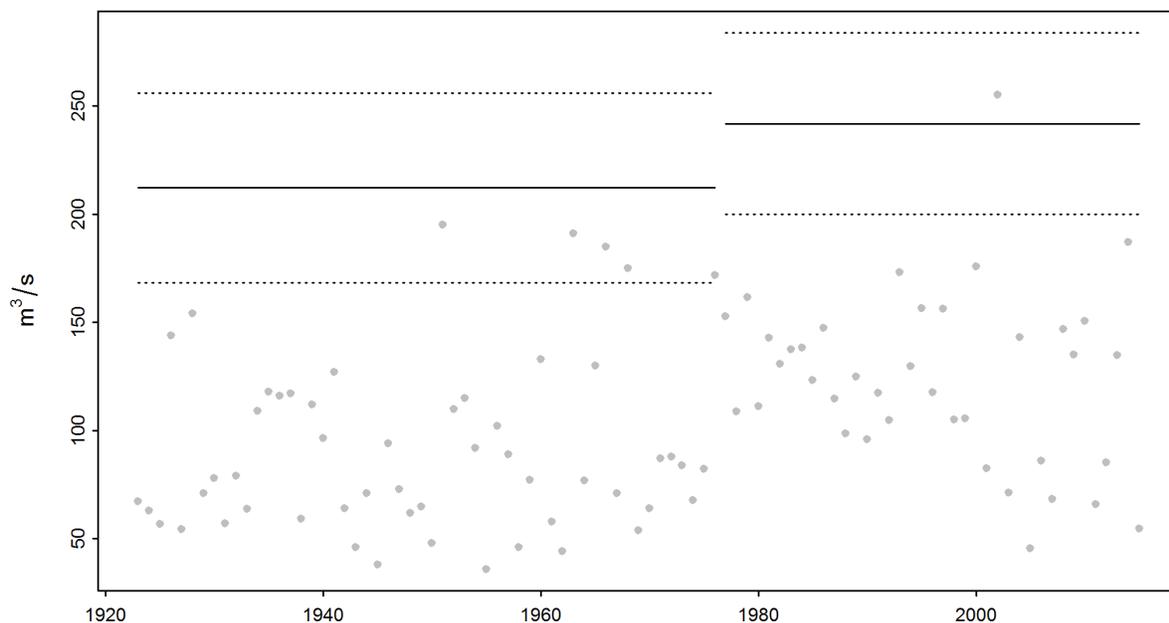


Figura 7: Variazione dell' HQ<sub>100</sub> calcolato con la variante di modello «mujump1977») e dell'intervallo di confidenza al 95 % (metodo delta; linee tratteggiate) nel periodo 1923-2015

<sup>5</sup>Cfr. [guida](#) capitolo 2.2.3

## 2.1.2 Periodo di riferimento: 1974-2015

### 2.1.2.a Variante di modello stazionaria

Procedura	Variante di modello	Periodo di analisi	Dati iniziali del modello	Osservazioni
BLOCK	stat	1974-2015	Massime annuali	-

Numero di valori utilizzati e parametri di modello stimati:

Numero di valori n	Parametro di posizione $\hat{\mu}$	Parametro di scala $\hat{\sigma}$	Parametro di forma $\hat{\kappa}$
42	106.17	37.1	-0.1343

La qualità della variante di modello «stat» sullo periodo di riferimento viene valutata graficamente sulla base dei plot diagnostici di cui alla figura 8.

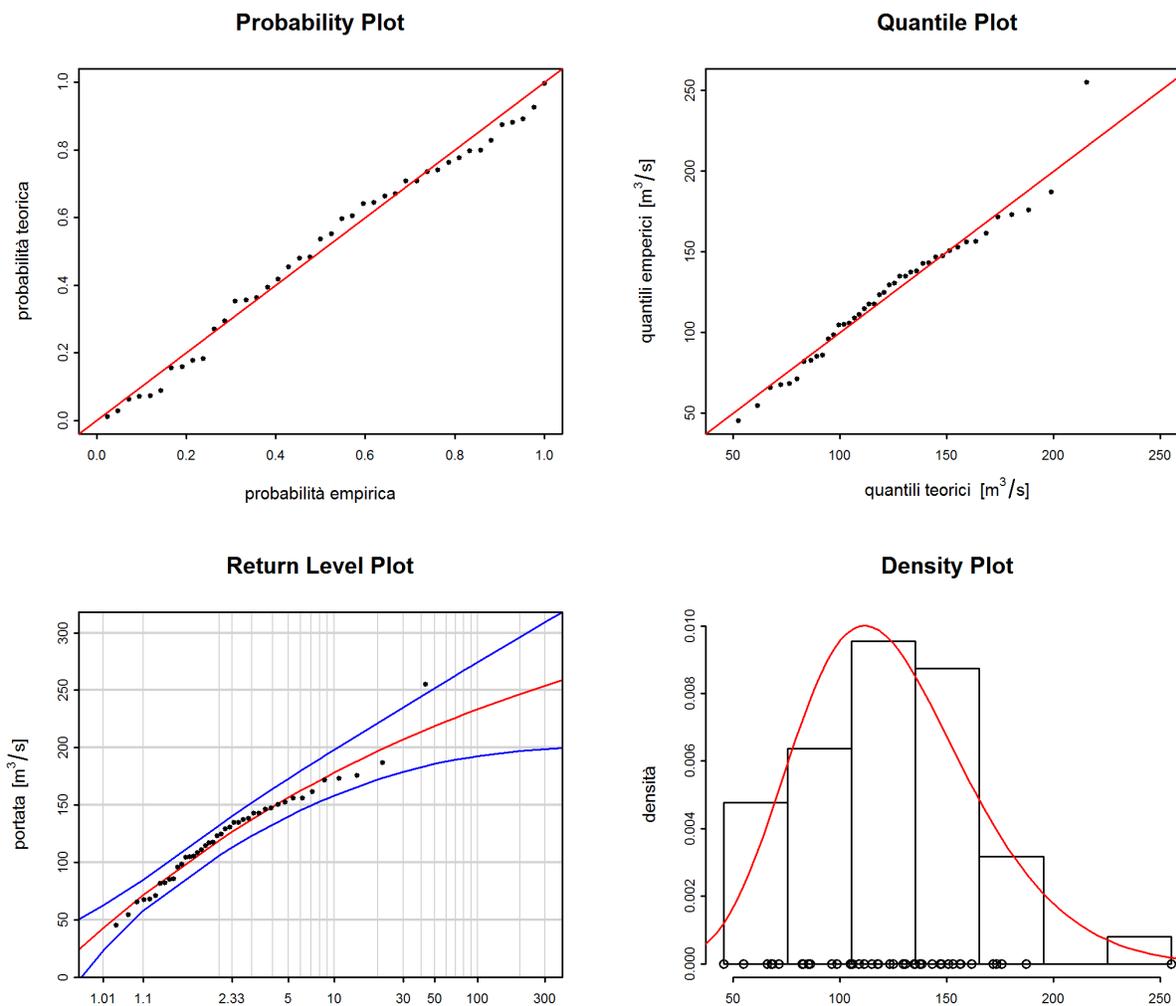


Figura 8: Plot diagnostici della variante di modello «stat» dell'approccio BLOCK(1974-2015)

### Valutazione plot diagnostici (figura 8):

Criteri	Valutazione <sup>6</sup>	Osservazioni
Adattamento settore inferiore	buono	-
Adattamento settore medio	buono	-
Adattamento settore superiore	medio-cattivo	il valore più elevato chiaramente sottostimato
Intervallo di confidenza	ridotto	leggermente più elevato per periodi di ritorno estesi

La seguente tabella contiene i livelli di portata determinati per l'ultimo anno per diversi periodi di ritorno, calcolati con la variante di modello stazionaria dell'approccio BLOCK sullo periodo di riferimento 1974-2015 (compreso l'intervallo di confidenza al 95 %, calcolato con il metodo delta):

HQ <sub>T</sub>	Limite di confidenza inferiore [m <sup>3</sup> /s]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Limite di confidenza superiore [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	106	119	133
HQ <sub>10</sub>	158	178	198
HQ <sub>30</sub>	179	207	235
HQ <sub>100</sub>	193	233	274
HQ <sub>300</sub>	199	254	309

### 2.1.3 Periodo di analisi a partire dal punto di rottura: 1977-2015

#### 2.1.3.a Variante di modello stazionaria

Procedura	Variante di modello	Periodo di analisi	Dati iniziali del modello	Osservazioni
BLOCK	stat	1977-2015	Massime annuali	-

Numero di valori utilizzati e parametri di modello stimati:

Numero di valori n	Parametro di posizione $\hat{\mu}$	Parametro di scala $\hat{\sigma}$	Parametro di forma $\hat{\kappa}$
39	107.82	36.81	-0.139

La qualità della variante di modello «stat» sullo periodo di analisi a partire dal punto di rottura viene valutata graficamente sulla base dei plot diagnostici di cui alla figura 9.

<sup>6</sup>cfr. [guida](#) capitolo 2.2.3

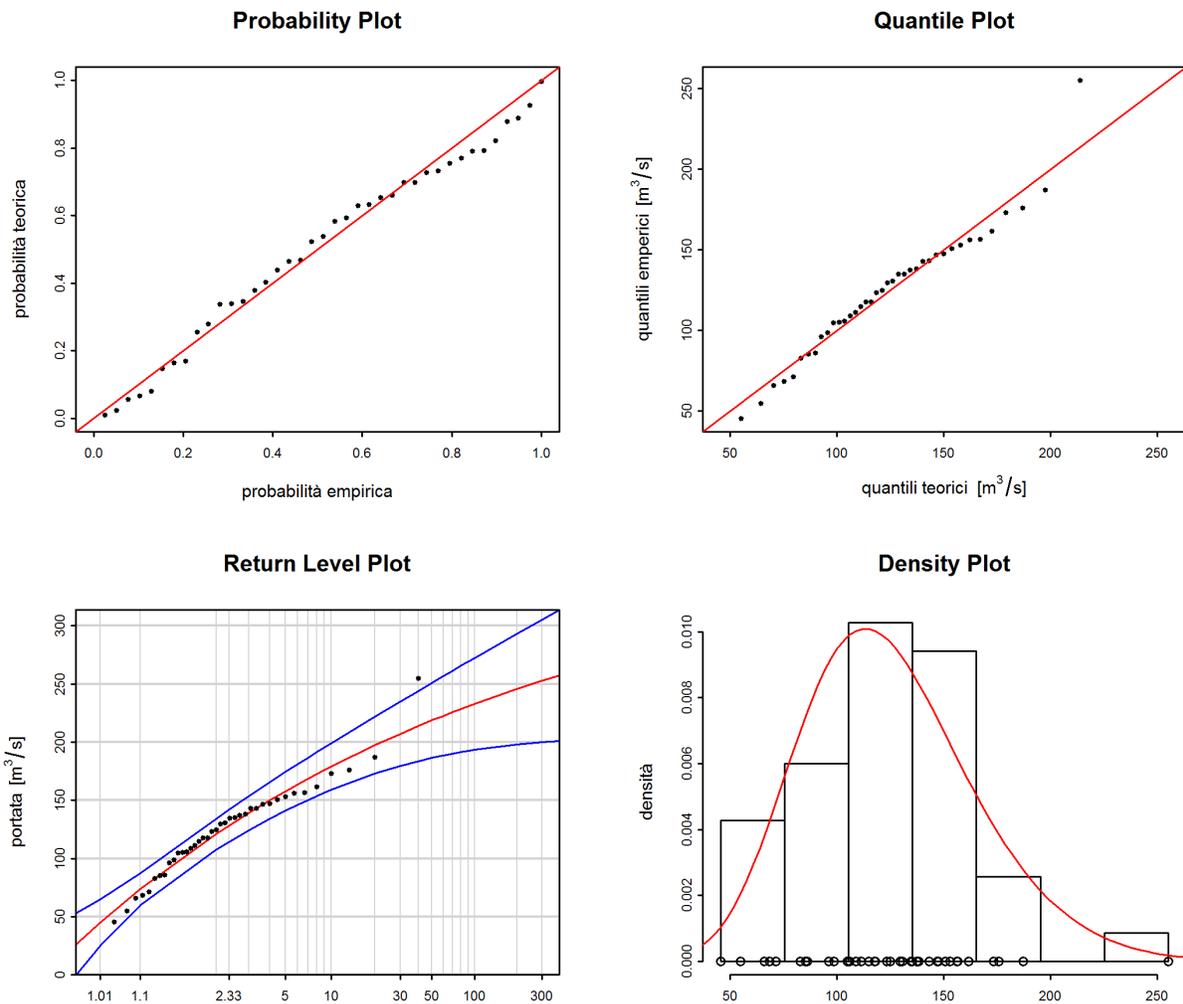


Figura 9: Plot diagnostici della variante di modello «stat» dell'approccio BLOCK(1977-2015)

**Valutazione plot diagnostici (figura 9):**

Criteria	Valutazione <sup>7</sup>	Osservazioni
Adattamento settore inferiore	buono	-
Adattamento settore medio	buono	-
Adattamento settore superiore	medio-cattivo	il valore più elevato chiaramente sottostimato
Intervallo di confidenza	ridotto	leggermente più elevato per periodi di ritorno estesi

<sup>7</sup>cfr. [guida](#) capitolo 2.2.3

La seguente tabella contiene i livelli di portata determinati per l'ultimo anno per diversi periodi di ritorno, calcolati con la variante di modello stazionaria dell'approccio BLOCK sullo periodo di analisi a partire dal punto di rottura 1977-2015 (compreso l'intervallo di confidenza al 95 %, calcolato con il metodo delta):

HQ <sub>T</sub>	Limite di confidenza inferiore [m <sup>3</sup> /s]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Limite di confidenza superiore [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	108	121	134
HQ <sub>10</sub>	159	179	199
HQ <sub>30</sub>	180	207	235
HQ <sub>100</sub>	193	233	272
HQ <sub>300</sub>	200	253	305

### 2.1.3.b Variante di modello non stazionaria

Il raffronto tra le diverse varianti di modello dell'approccio BLOCK durante il periodo a partire dal punto di rottura dimostra che i modelli «mul», «muq», «sigl», «musigl» e «mujump» si differenziano in modo sostanziale dal modello stazionario. <sup>8</sup>Sulla base dell'approccio per il raffronto di diverse varianti di modello non stazionarie descritto nello schema della procedura, «sigl» è considerato il modello non stazionario migliore. Le differenze tra i modelli sono minime. Per questo motivo di seguito vengono raffigurati i risultati di «sigl» (cfr. figura 5 della [guida](#)).

Procedura	Variante di modello	Periodo di analisi	Dati iniziali del modello	Osservazioni
BLOCK	sigl	1977-2015	Massime annuali	-

Numero di valori utilizzati e parametri di modello stimati:

Numero di valori n	Parametro di posizione $\hat{\mu}$	Parametro di scala $\hat{\sigma}^9$		Parametro di forma $\hat{\kappa}$
		$b_1$	$b_2$	
39	117.23	13.46	1.03	-0.1203

La qualità della variante di modello «sigl» sullo periodo di analisi a partire dal punto di rottura viene valutata graficamente sulla base dei plot diagnostici di cui alla figura 10.

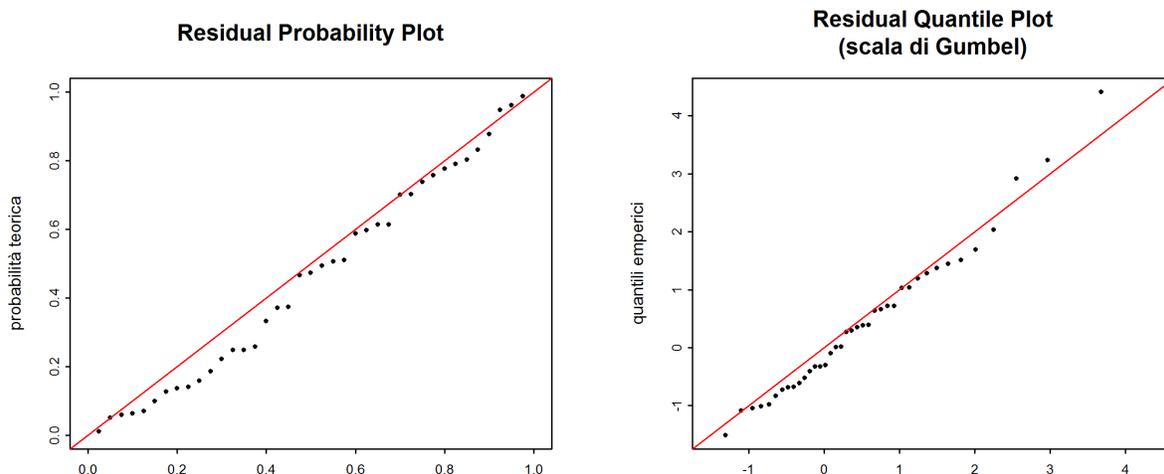


Figura 10: Plot diagnostici della variante di modello «sigl» dell'approccio BLOCK(1977-2015)

<sup>8</sup>Sulla base dei risultati dell'analisi dei punti di rottura, come momento  $t_0$  per il modello «mujump» viene scelto l'anno 1977 (cfr. cap. 1).

<sup>9</sup> $\hat{\sigma} = b_1 + b_2 * t$  (cfr. tabella 1)

Valutazione plot diagnostici (figura 10):

Criteria	Valutazione <sup>10</sup>	Osservazioni
Adattamento settore inferiore	buono	-
Adattamento settore medio	buono-medio	dispersione media dei valori
Adattamento settore superiore	medio-cattivo	gli tre valori più elevati sono sottostimati
Raffronto con il modello stazionario	peggiore	intervallo di confidenza più ampio

La seguente tabella contiene i livelli di portata determinati per l'ultimo anno per diversi periodi di ritorno, calcolati con la variante di modello non stazionaria dell'approccio BLOCK sullo periodo di analisi a partire dal punto di rottura 1977-2015 (compreso l'intervallo di confidenza al 95 %, calcolato con il metodo delta):

HQ <sub>T</sub>	Limite di confidenza inferiore [m <sup>3</sup> /s]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Limite di confidenza superiore [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>2</sub>	123	136	150
HQ <sub>10</sub>	177	223	269
HQ <sub>30</sub>	190	266	343
HQ <sub>100</sub>	191	307	423
HQ <sub>300</sub>	182	339	495

La figura 11 illustra la variazione dell' HQ<sub>100</sub> tra 1923 e 2015 calcolato con il modello «sigl».

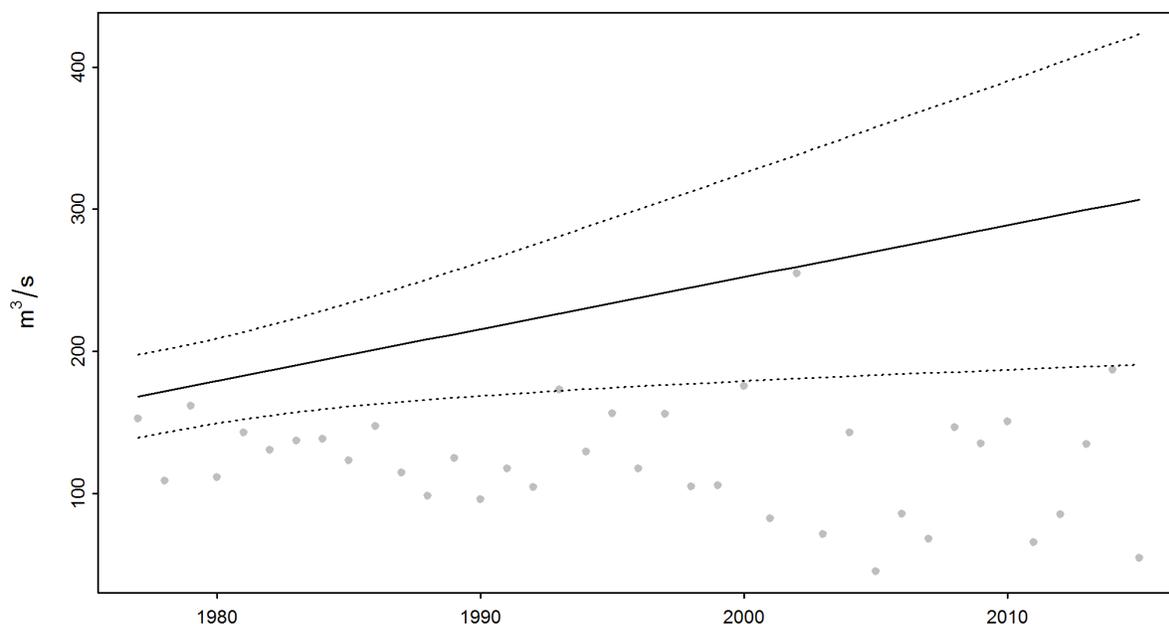


Figura 11: Variazione dell' HQ<sub>100</sub> calcolato con la variante di modello «sigl») e dell'intervallo di confidenza al 95 % (metodo delta; linee tratteggiate) nel periodo 1977-2015

## 2.2 L'approccio «Peaks Over Threshold» (POT)

Nell'approccio «peaks over threshold» (POT) i valori sono considerati eventi estremi se superano un valore soglia  $u$  elevato.

Per calcolare la procedura POT vengono utilizzate le massime giornaliere a partire dal 1974. Il trattamento dei dati avviene al netto dei cluster. Per Tresa - Ponte Tresa, Rocchetta, l'intervallo  $L$  tra due eventi indi-

<sup>10</sup>Cfr. [guida](#) capitolo 2.2.3

pendenti viene fissato al valore minimo di 11 giorni.

Sono state analizzate le seguenti varianti di modello dell'approccio POT:

<b>Periodo di analisi</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Variante di modello scelta</b>	<b>Capitolo</b>
1974 - 2015	periodo di analisi POT	stat	capitolo 2.2.1.a
1977 - 2015	periodo di analisi a partire dal punto di rottura	stat	capitolo 2.2.2.a

Per il periodo di analisi POT e il periodo di analisi a partire dal punto di rottura non si osservano differenze significative tra le varianti di modello stazionarie e quelle non stazionarie. <sup>11</sup>

---

<sup>11</sup>Come punto  $t_0$  per il modello «sigjump» viene scelto l'anno 1977.

### 2.2.1 Periodo di analisi POT: 1974-2015

In questo caso come valore soglia  $u$  è stato scelto  $99 \text{ m}^3/\text{s}$  (cfr. allegato A). La figura 12 illustra gli eventi estremi effettivamente utilizzati.

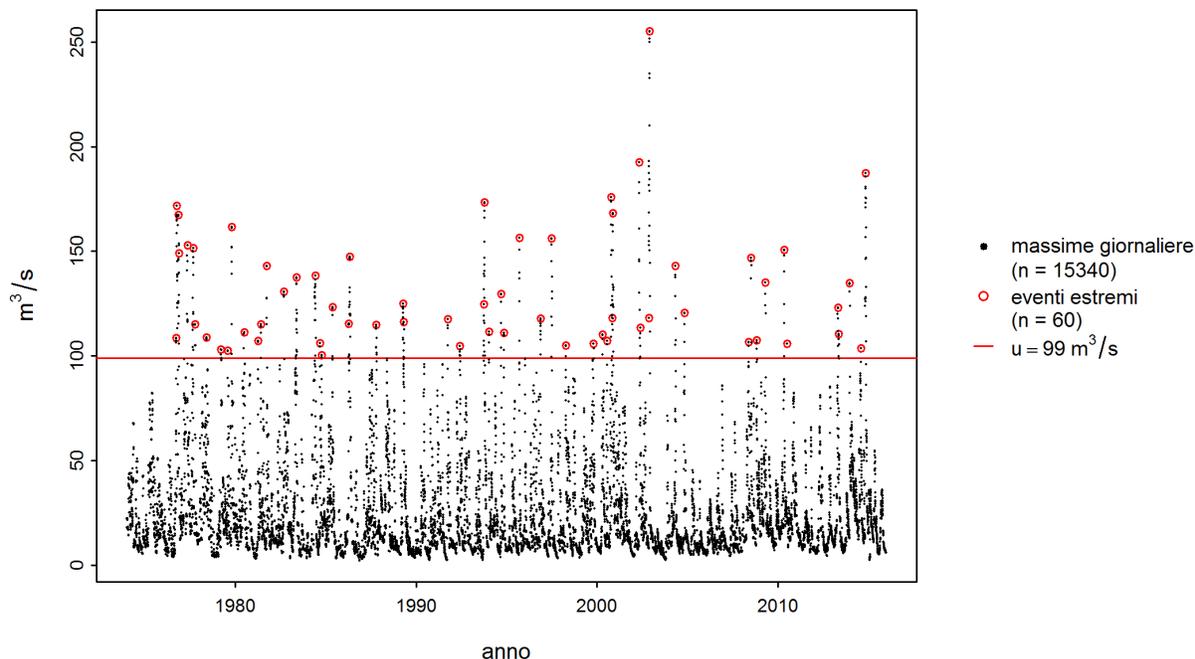


Figura 12: Scelta degli eventi estremi utilizzati per l'approccio POT

#### 2.2.1.a Variante di modello stazionaria

Procedura	Variante di modello	Periodo di analisi	Dati iniziali del modello	Osservazioni
POT	stat	1974-2015	Massime giornaliere	-

Numero di valori utilizzati e parametri di modello stimati:

Valore soglia	Numero di valori	Tasso di incidenza	Parametro di scala	Parametro di forma
$u$	$n$	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
$99 \text{ m}^3/\text{s}$	60	1.43	35.5	-0.1043

La qualità della variante di modello «stat» sullo periodo di analisi POT viene valutata graficamente sulla base dei plot diagnostici di cui alla figura 13.

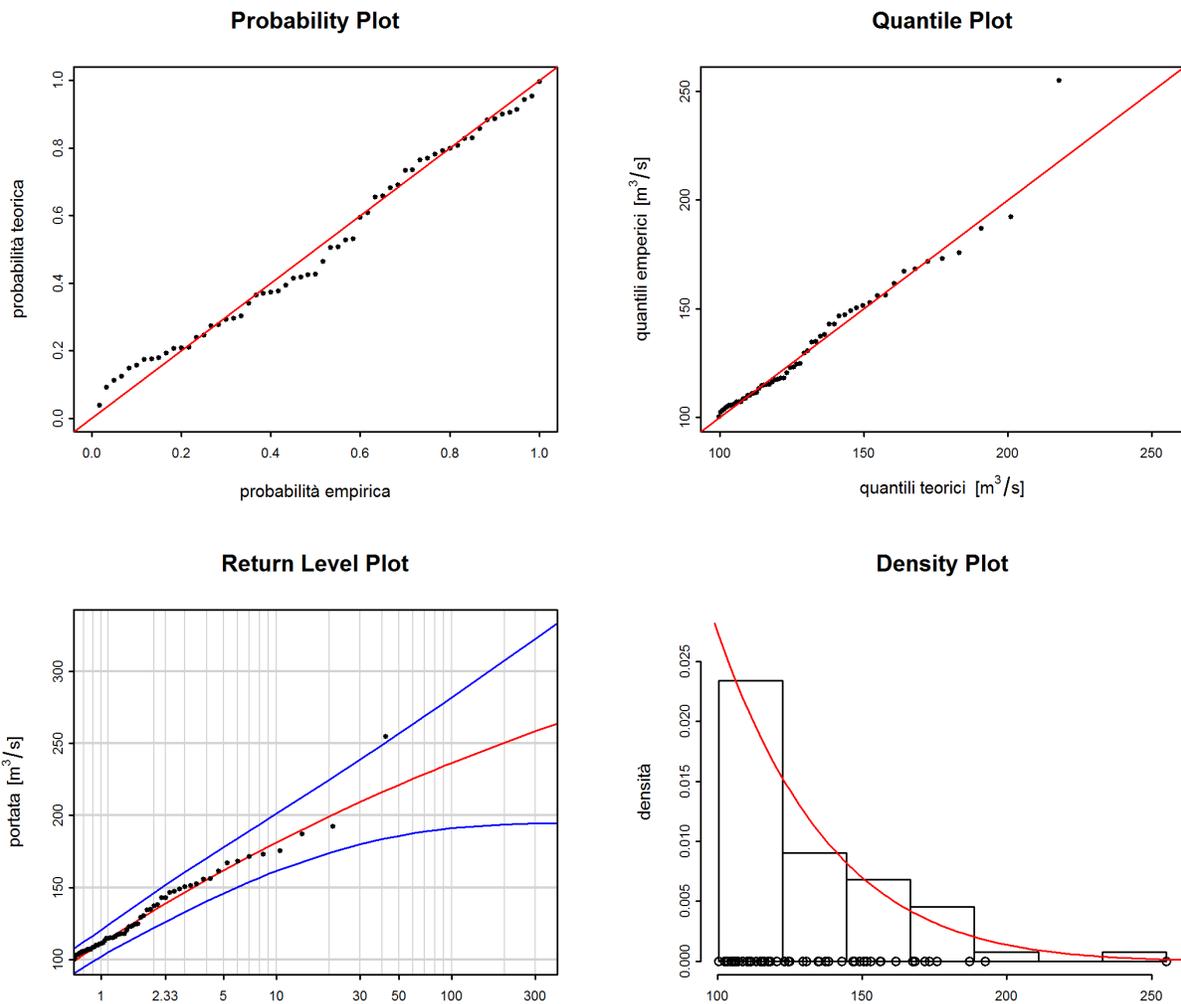


Figura 13: Plot diagnostici della variante di modello «stat» dell'approccio POT(1974-2015)

**Valutazione plot diagnostici (figura 13):**

Criteria	Valutazione <sup>12</sup>	Osservazioni
Adattamento settore inferiore	buono	-
Adattamento settore medio	buono	-
Adattamento settore superiore	medio-cattivo	il valore più elevato chiaramente sottostimato
Intervallo di confidenza	medio-ampio	elevato per periodi di ritorno estesi

<sup>12</sup>cfr. [guida](#) capitolo 2.2.3

La seguente tabella contiene i livelli di portata determinati per l'ultimo anno per diversi periodi di ritorno, calcolati con la variante di modello stazionaria dell'approccio POT sullo periodo di analisi POT 1974-2015 (compreso l'intervallo di confidenza al 95 %, calcolato con il metodo delta):

<b>HQ<sub>T</sub></b>	<b>Limite di confidenza inferiore [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Portata [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Limite di confidenza superiore [m<sup>3</sup>/s]</b>
HQ <sub>2</sub>	122	134	146
HQ <sub>10</sub>	162	181	201
HQ <sub>30</sub>	180	209	239
HQ <sub>100</sub>	191	236	282
HQ <sub>300</sub>	194	258	322

## 2.2.2 Periodo di analisi a partire dal punto di rottura: 1977-2015

### 2.2.2.a Variante di modello stazionaria

<b>Procedura</b>	<b>Variante di modello</b>	<b>Periodo di analisi</b>	<b>Dati iniziali del modello</b>	<b>Osservazioni</b>
POT	stat	1977-2015	Massime giornaliere	-

Numero di valori utilizzati e parametri di modello stimati:

<b>Valore soglia</b>	<b>Numero di valori</b>	<b>Tasso di incidenza</b>	<b>Parametro di scala</b>	<b>Parametro di forma</b>
$u$	$n$	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
99 m <sup>3</sup> /s	56	1.44	33.04	-0.0699

La qualità della variante di modello «stat» sullo periodo di analisi a partire dal punto di rottura viene valutata graficamente sulla base dei plot diagnostici di cui alla figura 14.

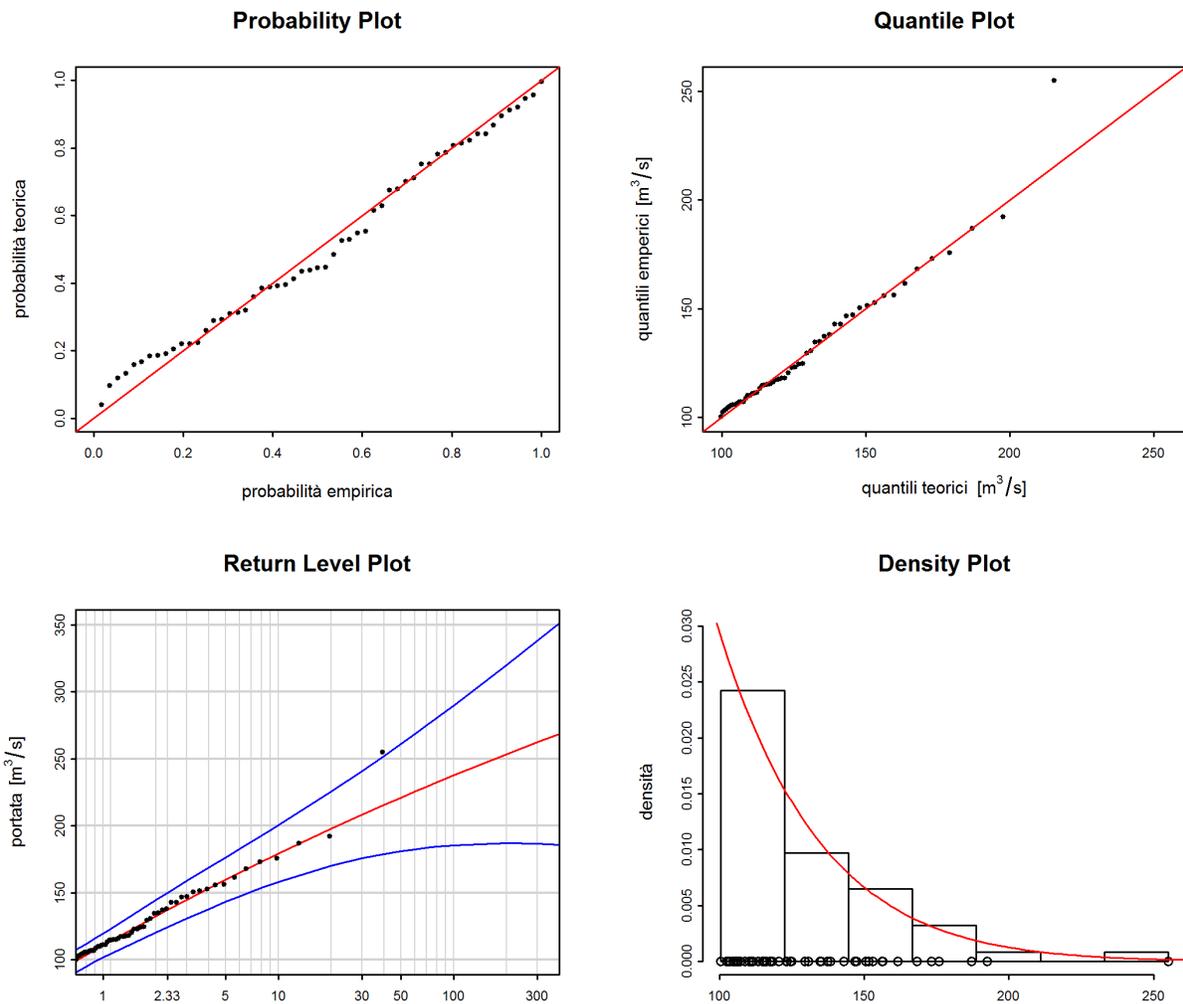


Figura 14: Plot diagnostici della variante di modello «stat» dell'approccio POT(1977-2015)

**Valutazione plot diagnostici (figura 14):**

Criteria	Valutazione <sup>13</sup>	Osservazioni
Adattamento settore inferiore	buono	-
Adattamento settore medio	buono	-
Adattamento settore superiore	medio-cattivo	un paio di valori ben stimati; il valore più elevato chiaramente sottostimato
Intervallo di confidenza	medio-ampio	molto elevato per periodi di ritorno estesi

<sup>13</sup>cfr. [guida](#) capitolo 2.2.3

La seguente tabella contiene i livelli di portata determinati per l'ultimo anno per diversi periodi di ritorno, calcolati con la variante di modello stazionaria dell'approccio POT sullo periodo di analisi a partire dal punto di rottura 1977-2015 (compreso l'intervallo di confidenza al 95 %, calcolato con il metodo delta):

<b>HQ<sub>T</sub></b>	<b>Limite di confidenza inferiore [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Portata [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Limite di confidenza superiore [m<sup>3</sup>/s]</b>
HQ <sub>2</sub>	121	133	145
HQ <sub>10</sub>	158	179	200
HQ <sub>30</sub>	176	208	241
HQ <sub>100</sub>	185	238	290
HQ <sub>300</sub>	187	262	338

### 3 Risultati a confronto

La figura 15 illustra gli  $HQ_T$  delle varianti di modello stazionarie e di quelle non stazionarie che si meglio adattavano ai dati in entrambe le procedure parametriche. Sia i valori che l'ampiezza degli intervalli di confidenza, i quali riflettono l'incertezza, variano fortemente. Generalmente queste differenze aumentano tanto più ampio è il periodo di ritorno  $T$  e tanto minore è la quantità di dati che sta alla base.

#### 3.1 Valutazione dei diversi periodi di analisi

Soltanto con l'approccio BLOCK, che si basa sull'analisi di massime mensili, è possibile analizzare il periodo 1923 - 2015. Per illustrare l'influsso del periodo di misurazione sono stati messi a confronto i risultati dell'approccio BLOCK per i diversi periodi di analisi:

Periodo	$HQ_T$	Intervallo di confidenza
Periodo di riferimento / Intero periodo di analisi	valori superiori per periodi di ritorno brevi e leggermente inferiori per periodi di ritorno molto estesi	leggermente inferiori
Periodo di analisi a partire dal punto di rottura / Intero periodo di analisi	valori superiori per periodi di ritorno brevi e leggermente inferiori per periodi di ritorno molto estesi	inferiori
Periodo di analisi a partire dal punto di rottura / Periodo di riferimento	differenza minima	quasi identici

A partire dal 1977 i valori minimi delle massime annuali sono aumentati, con un conseguente aumento degli  $HQ_T$  nel caso di periodi di ritorno brevi nel periodo di riferimento e a partire dal punto di rottura. Nel caso di periodi di ritorno più ampi, gli  $HQ_T$  sono leggermente inferiori in quanto, ad eccezione del valore di picco, a partire dal 1977 sono state raggiunte massime annuali meno elevate. Dato che dal 1977 le massime annuali variano in modo meno marcato, nel periodo di riferimento e a partire dal punto di rottura gli intervalli di confidenza sono inferiori nonostante una più piccola quantità di dati.

#### 3.2 Raffronto generico dei diversi approcci di modello

Alla figura 15 e alla tabella corrispondente sono riassunti i risultati dei diversi approcci di modello. Ne risulta quanto segue:

##### **Differenze nei risultati degli $HQ_T$ calcolati per i due approcci:**

Gli  $HQ_T$  dell'approccio POT sono per periodi di ritorno molto brevi superiori e per periodi di ritorno medi e estesi equivalenti a quelli dell'approccio BLOCK del periodo di riferimento e a quelli dell'approccio BLOCK del periodo a partire dal punto di rottura. Dal raffronto con l'approccio BLOCK nel intero periodo di analisi risulta che l'approccio POT registra valori superiori in caso di periodi di ritorno brevi e valori leggermente inferiori in caso di periodi di ritorno estesi.

##### **Differenze negli intervalli di confidenza calcolati per i due approcci:**

In generale, le incertezze e di conseguenza gli intervalli di confidenza aumentano in funzione dell'ampiezza del periodo di ritorno  $T$ . Gli intervalli di confidenza dell'approccio POT sono leggermente più estesi rispetto a quelli dell'approccio BLOCK.

##### **Varianti stazionarie e non stazionarie a confronto:**

Nel caso dell'approccio BLOCK del intero periodo di analisi, una variante non stazionaria può migliorare in misura limitata la qualità del modello, poiché il modello tiene conto dell'aumento dei valori medi delle massime annuali a partire dal 1977. I valori di ritorno calcolati per il 2015 sono pertanto superiori a quelli delle varianti di modello stazionarie per periodi di ritorno brevi. Nel caso dell'approccio BLOCK del periodo di analisi a partire dal punto di rottura, una variante non stazionaria non può migliorare la qualità del

modello. Poiché le variazioni non sono riconducibili in modo inequivocabile a una causa, non è possibile esprimersi sull'evoluzione futura.

I risultati di queste analisi statistiche costituiscono soltanto una delle numerose basi per rispondere a questioni concrete. Per stimare il rischio di piena sono indispensabili tra l'altro conoscenze dei processi idrologici nel bacino imbrifero nonché riflessioni sugli scenari «worst case» per le precipitazioni e le portate. La divisione Idrologia dell'UFAM raccomanda un modo di procedere di tipo «idrologico-argomentativo» come proposto da Merz e Böschl (2008, citato in DWA 2012:52).

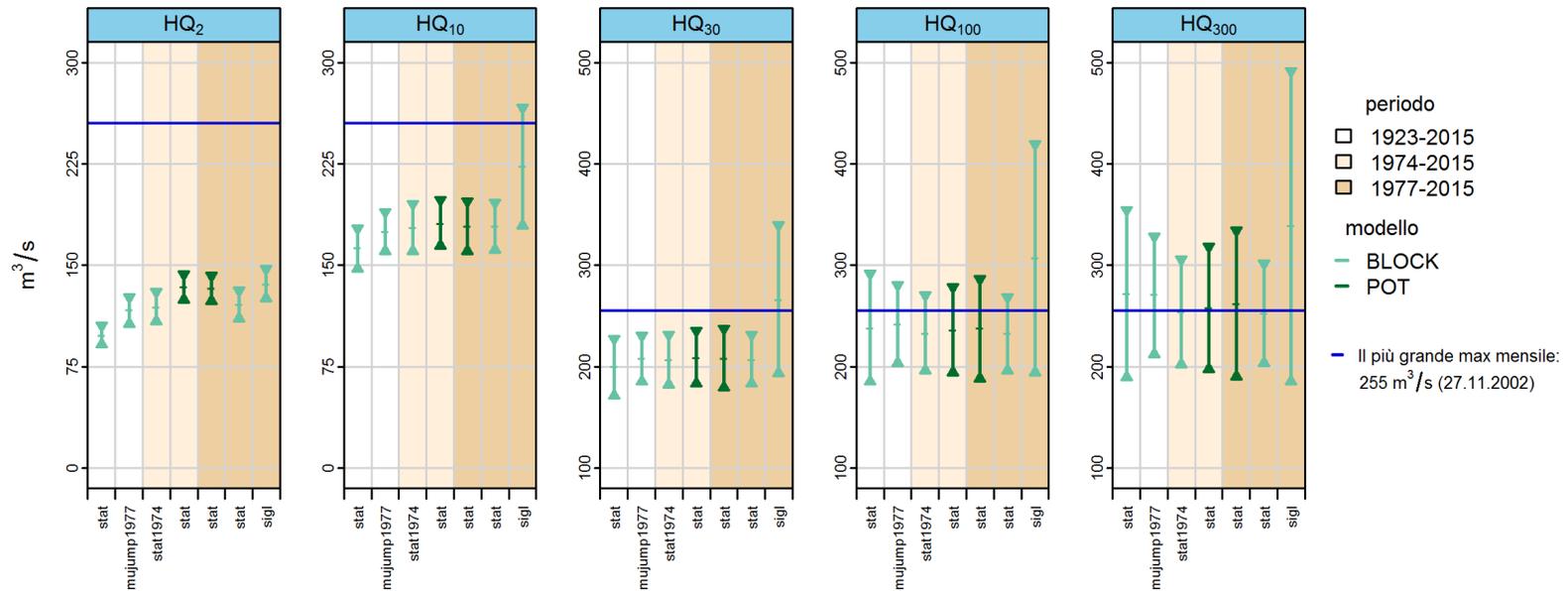


Figura 15:  $HQ_T$  [ $m^3/s$ ] compreso un intervallo di confidenza al 95 %, calcolato con le varianti di modello stazionarie e quelle più adatte degli approcci BLOCK e POT per il anno 2015

Periodo di analisi	Approccio	Adattamento			Osservazione
1923 - 2015	BLOCK stat	buono	buono	medio	un paio di valori sovrastimato; il valore più elevato sottostimato
	BLOCK mujump1977	buono	buono	medio	alcuni valori leggermente sottostimati alcuni valori sono più vicini alla diagonale unitaria; intervallo di confidenza leggermente più ridotto
1974 - 2015	BLOCK stat	buono	buono	medio-cattivo	il valore più elevato chiaramente sottostimato
1974 - 2015	POT stat	buono	buono	medio-cattivo	il valore più elevato chiaramente sottostimato
1977 - 2015	POT stat	buono	buono	medio-cattivo	un paio di valori ben stimati; il valore più elevato chiaramente sottostimato
1977 - 2015	BLOCK stat	buono	buono	medio-cattivo	il valore più elevato chiaramente sottostimato
	BLOCK sigl	buono	buono-medio	medio-cattivo	gli tre valori più elevati sono sottostimati intervallo di confidenza più ampio

## 4 Bibliografia

*Baumgartner, E., Boldi, M.-O., Kan, C., Schick, S. (2013):* Hochwasserstatistik am BAFU - Diskussion eines neuen Methodensets. Wasser Energie Luft, quaderno 2/2013. Baden (in tedesco).

*Coles, S. (2001):* An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer. Londra (in inglese).

*DWA (ed.) (2012):* Merkblatt DWA-M 552. Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef (in tedesco).

*UFAEG (ed.) (2003a):* Dizionario della protezione contro le piene. Haupt Verlag, Berna.

*UFAEG (ed.) (2003b):* Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Praxishilfe. Berichte des BWG. Serie Wasser n. 4, Berna (in tedesco).

*UFAM (2017):* Guida ai rapporti delle stazioni relativi alla statistica sulle piene. UFAM, Berna.

# Allegato

## A Determinazione del valore soglia per delimitare i valori estremi

Il valore soglia  $u$  per delimitare i valori estremi dell'approccio POT per il periodo di analisi 1974 - 2015 (cfr. cap. 2.2.1) viene fissato sulla base del «mean residual life plot», a  $99 \text{ m}^3/\text{s}$  (cfr. figura 16).

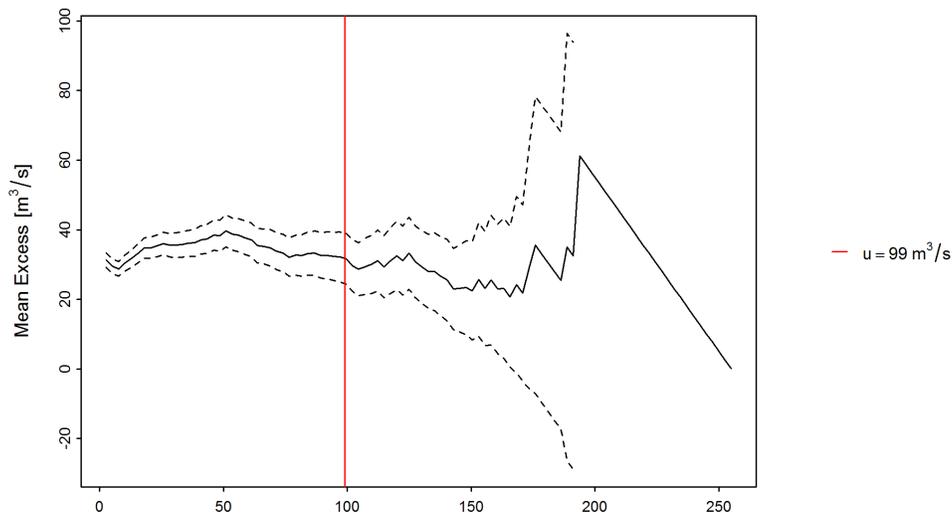


Figura 16: «mean residual life plot» con valore soglia scelto  $u$  (linea rossa), «mean excess» (linea nera), intervallo di confidenza al 95 % (linee tratteggiate)

Il valore soglia  $u$  per delimitare i valori estremi dell'approccio POT per il periodo di analisi 1977 - 2015 (cfr. cap. 2.2.2) viene fissato sulla base del «mean residual life plot», a  $99 \text{ m}^3/\text{s}$  (cfr. figura 17).

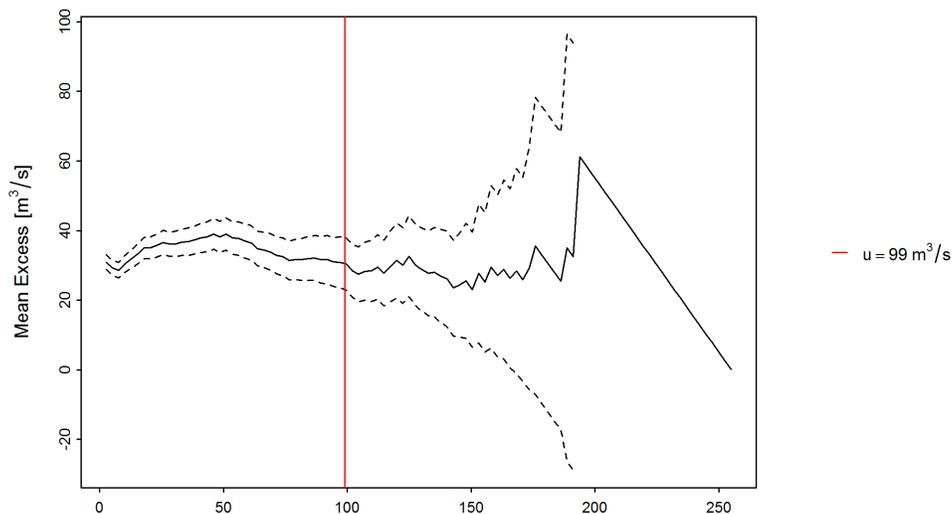


Figura 17: «mean residual life plot» con valore soglia scelto  $u$  (linea rossa), «mean excess» (linea nera), intervallo di confidenza al 95 % (linee tratteggiate)

## B Glossario

Periodo di analisi	Periodo limitato all'origine di un campione delle portate di piena considerato rappresentativo per la popolazione statistica. Si parte dal presupposto che il campione rispecchia il più possibile le caratteristiche della popolazione statistica.
Statistica della devianza	La statistica della devianza consente di studiare la capacità di adattamento di un modello a un determinato set di dati.
Metodo delta	L'UFAM utilizza il metodo delta per calcolare gli intervalli di confidenza nei return level plot. Il metodo si basa su uno sviluppo di Taylor della funzione $HQT$ e su una distribuzione asintotica normale (per dettagli tecnici cfr. Coles 2001, pag. 33).
Qualità, anche capacità di adattamento o adattamento	Misura della differenza tra un modello statistico (valori teorici) e una serie di osservazioni o misurazioni (dati empirici).
$HQ_T$	Portata di piena determinata mediante una funzione di distribuzione per un determinato periodo di ritorno $T$ . L' $HQ_T$ è un valore stimato che può situarsi al di sopra o al di sotto del valore reale della portata di piena con un periodo di ritorno statistico pari a $T$ anni. L' $HQ_T$ viene anche denominato valore di ritorno. Gli $HQ_T$ calcolati mediante le procedure parametriche valgono per l'intero periodo (caso stazionario) o per l'anno di riferimento (caso non stazionario).
Intervallo di confidenza	Gli intervalli di confidenza descrivono l'incertezza dell'output di un modello statistico. Considerano i difetti del modello stesso, ma non altre incertezze (ad es. errori nella misurazione).
Metodo della massima verosimiglianza	Denominazione di una procedura che stima i parametri di una funzione di distribuzione a partire dalle informazioni relative a un campione.
Procedure parametriche	Un obiettivo fondamentale della statistica è ricavare, mediante i dati relativi a un campione, informazioni non ancora note sulla popolazione statistica. A tal fine si prestano ad esempio procedure parametriche che suppongono che la popolazione statistica abbia una determinata ripartizione delle probabilità, la quale viene determinata in modo univoco attraverso uno o più parametri. Entrambe le procedure considerate si basano sulla distribuzione generale degli estremi (BLOCK), rispettivamente sulla distribuzione generale di Pareto (POT), in quanto queste distribuzioni sono quelle che riflettono meglio la natura dei dati (block maximum o dati a partire da un determinato valore soglia) (cfr. Coles 2001).
Approccio «Block Maximum» (BLOCK)	Definisce il valore massimo all'interno di un intervallo di tempo (block, nel caso in esame un anno) come valore estremo (cfr. <a href="#">guida</a> cap. 2.1.1 o Coles 2001, cap. 3.1).
Approccio «Peaks Over Threshold» (POT)	In questo approccio i valori sono considerati eventi estremi se superano un valore soglia $u$ (in $m^3/s$ o $l/s$ ). Il trattamento dei dati avviene al netto dei cluster (cfr. <a href="#">guida</a> cap. 2.1.2 o Coles 2001, cap. 4.2).

Probability Plot (P-P-Plot)	Strumento grafico esplorativo nel quale le funzioni di ripartizione di due variabili statistiche vengono riportate una di fronte all'altra per compararne le distribuzioni. Qui: somma delle frequenze empiriche vs. funzione di distribuzione cumulata teorica. Meglio i dati sono posizionati lungo la diagonale unitaria, più si può supporre che le ipotesi del modello siano corrette (contiene le stesse informazioni del Q-Q plot, raffigurate su una scala diversa).
Quantile Plot (Q-Q-Plot)	Strumento grafico esplorativo nel quale i quantili di due variabili statistiche vengono riportati uno di fronte all'altro per compararne le distribuzioni. Qui: valori di portata osservati vs. dati relativi alle portate calcolati per mezzo di un modello. Se i quantili empirici e teorici corrispondono approssimativamente, nel grafico i valori si trovano vicino alle diagonali (contiene le stesse informazioni del P-P plot, rappresentate su una scala diversa). N.B.: i quantili teorici vengono calcolati a partire dalla funzione inversa della funzione di distribuzioni. Per un raffronto ottico diretto con il probability plot corrispondente, gli assi del quantile plot sono pertanto invertiti.
Stazionarietà	Se presso una stazione di misurazione si osserva che l'andamento delle portate durante il periodo di analisi non subisce variazioni di rilievo, si raccomanda di utilizzare un modello stazionario. Nel caso stazionario, si suppone che tutti i parametri della funzione di ripartizione rimangano costanti durante l'intero periodo di analisi.
Non stazionarietà	I modelli non stazionari vengono utilizzati per descrivere un andamento delle portate soggetto a variazioni nel tempo. Tali cambiamenti possono essere ricondotti alla sostituzione di strumenti o metodi di misurazione, al dislocamento della stazione, a cambiamenti nel corso d'acqua o a infussi antropogeni. Nel caso di questi ultimi, solitamente i cambiamenti non possono essere attribuiti a un singolo intervento, ma sono costituiti dalla sovrapposizione di diverse misure attinenti all'economia delle acque. Se si ipotizza che i dati subiscano variazioni nel tempo, i parametri della funzione di ripartizione corrispondente vengono modellizzati in funzione del tempo. Ciò comporta un cambiamento nel tempo anche degli $HQ_T$ calcolati.
Funzione di distribuzione	Descrive la popolazione statistica delle portate di piena in un bacino imbrifero. La funzione di distribuzione indica le probabilità che una portata di piena $HQ$ venga raggiunta o meno in un anno.
Ripartizione empirica della frequenza	Può essere determinata a partire dal campione scelto.
Ripartizione teorica della probabilità	A partire dal campione scelto si riferisce alla popolazione statistica. Vi sono molteplici funzioni di ripartizione teoriche che soddisfano i presupposti per l'utilizzo nella statistica delle piene, ma nessuna che garantisca i risultati migliori per tutti i campioni.

---

Parametro di distribuzione	
$\kappa$ Parametro di forma (kappa)	Il parametro di forma $\kappa$ è direttamente correlato alla cosiddetta «heaviness of tail» della ripartizione. Con «tail» si intende il settore che presenta outlier verso l'alto. Se $\kappa$ è elevato, si suppone che questi outlier siano molti. Se invece i valori di $\kappa$ sono negativi, si suppone che per i valori estremi esista un limite massimo.
$\lambda$ Tasso di incidenza (lambda)	Nell'approccio POT il tasso di incidenza $\lambda$ corrisponde al numero medio di superamenti del valore soglia in un intervallo di tempo pari a un anno.
$\mu$ Parametro di posizione (mu)	Descrive la posizione media degli elementi del campione (qui: misurazioni delle portate) in riferimento alla scala di misurazione (qui: m <sup>3</sup> /s o l/s).

---