



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 MAGRE

## RAPPORTO DELLA STAZIONE

### Ticino - Bellinzona

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

## Indice

|                 |   |           |
|-----------------|---|-----------|
| <b>1</b>        | <b>Base di dati</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2</b>        | <b>Risultati delle procedure parametriche</b>   | <b>6</b>  |
| 2.1             | Portata di magra . . . . .  | 7         |
| 2.1.1           | L'approccio "Block Minimum" (BLOCK) . . . . .   | 7         |
| 2.1.2           | L'approccio "Peaks Over Threshold" (POT) . . . . .                                    | 10        |
| 2.1.3           | Confronto dei risultati . . . . .   | 13        |
| 2.2             | Durata di magra . . . . .   | 14        |
| 2.3             | Volume deficitario . . . . .  | 17        |
| <b>3</b>        | <b>Bibliografia</b>   | <b>20</b> |
| <b>Allegato</b> |   | <b>21</b> |
| A               | Determinazione del valore di soglia per la delimitazione dei valori estremi . . . . . | 21        |
| A.1             | Portata di magra . . . . .  | 21        |
| A.2             | Durata di magra . . . . .   | 22        |
| A.3             | Volume deficitario . . . . .  | 22        |
| B               | Glossario . . . . .   | 23        |

# 1 Base di dati

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

| Dati disponibili           | dal        | al         |
|----------------------------|------------|------------|
| Medie giornaliere digitali | 01.01.1911 | 31.12.2019 |

Un limnografo è stato messo in funzione il 03 maggio 1918.

I dati relativi alle portate possono essere contraddistinti come segue:

| Andamento della portata    | Descrizione  |
|----------------------------|--|
| Regime di portata          | Non classificabile in modo univoco: deflussi superiori in estate e autunno, deflussi inferiori in inverno.   |
| Effetto della stagionalità | Chiaramente riconoscibile osservando i minimi mensili di M7Q (figura 2).   |
| Influsso                   | Influsso di diversi laghi e centrali idroelettriche: Lago di Luzzone 108 Mio. m <sup>3</sup> (1963), Lago Ritom 53 Mio. m <sup>3</sup> (1920, ampliamento 1950), Lago di Lucendro 25 Mio. m <sup>3</sup> (1947), Lago della Sella 9.2 Mio. m <sup>3</sup> (1947), Lago d'Isola 6.5 Mio. m <sup>3</sup> (1960) e alcuni centrali idroelettriche. Si può osservare in figura 1 e in particolare in figura 4 e 5 che i nuovi laghi e le nuove centrali idroelettriche hanno un'influenza in particolare sulla durata e sul volume deficitario delle magre. In entrambi i casi si può osservare una maggiore frequenza dei valori più bassi. |

In base all'apparizione temporale dei periodi di magra (cfr. figura 1), per la stazione Ticino - Bellinzona viene scelto giugno come mese iniziale dell'anno di magra. Un anno di magra dura quindi dal 01.06 fino al 31.05. Nonostante questa scelta implica che nel 2006 un periodo di magra si trovi a cavallo di due anni di magra (considerando il grafico del periodo di analisi non mostrato qui, ma in questo caso simile al grafico del periodo di osservazione), questa risulta essere la scelta migliore.

I valori più piccoli dei minimi mensili di M7Q si presentano principalmente nei mesi da dicembre a marzo (figura 2) e presentano una leggera maggiore variazione rispetto al periodo precedente a partire dagli anni 1960 (figura 3). Nella figura 4 si può osservare che a partire dagli anni 1950 vi è un aumento delle magre di corta durata, mentre quelle di lunga durata diventano un po' più rare. Nella serie temporale del volume deficitario (figura 5) si può notare in maniera più chiara un aumento degli eventi più piccoli e una riduzione di quelli più grandi a partire dagli anni 1950.

Gli NM7Q vengono determinati in base ai valori medi giornalieri delle portate degli anni di magra e si trovano nell'intervallo tra 12.5 e 34.6 m<sup>3</sup>/s (figura 6).

Nonostante alcune variazioni siano visibili nelle serie temporali, con l'analisi dei punti di rottura non è stato individuato nessun punto di rottura significativo, per questa stazione può venire quindi utilizzata l'intera serie di misurazioni disponibile dalla messa in funzione del limnografo. Il periodo analizzato dura quindi dal 01.06.1918 al 31.05.2019. Questo rispecchia gli anni di magra della stazione Ticino - Bellinzona dal 1918 al 2018.

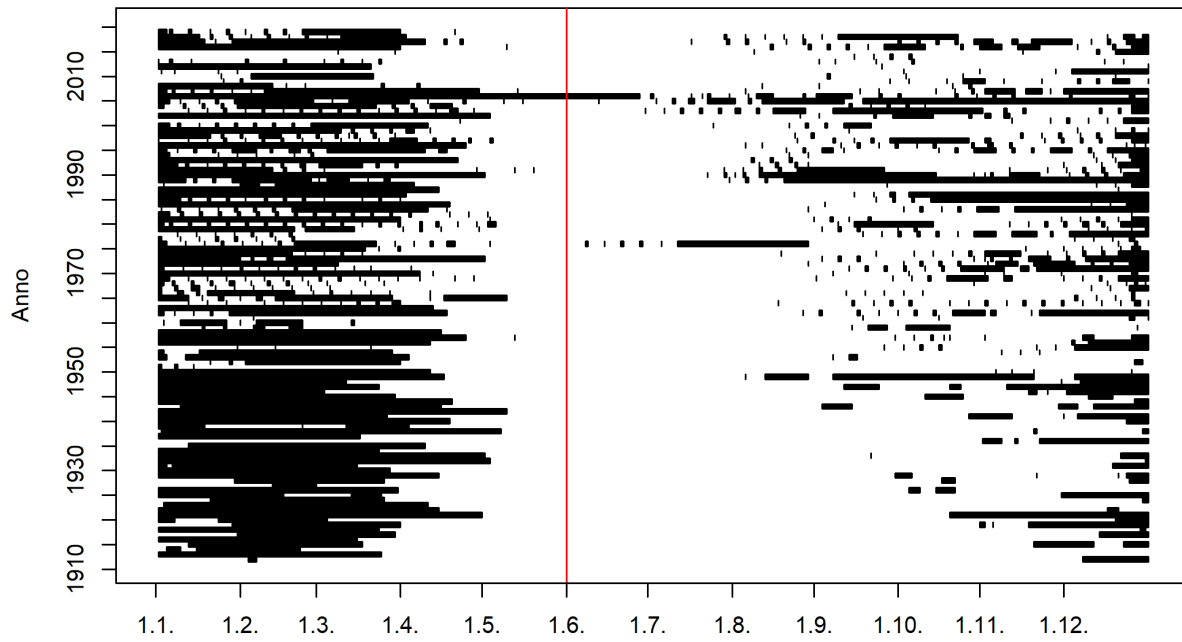


Figura 1: Apparizione temporale dei periodi di magra durante l'anno (01.06.1911 - 31.05.2019) e mese iniziale dell'anno di magra (linea rossa)<sup>1</sup>

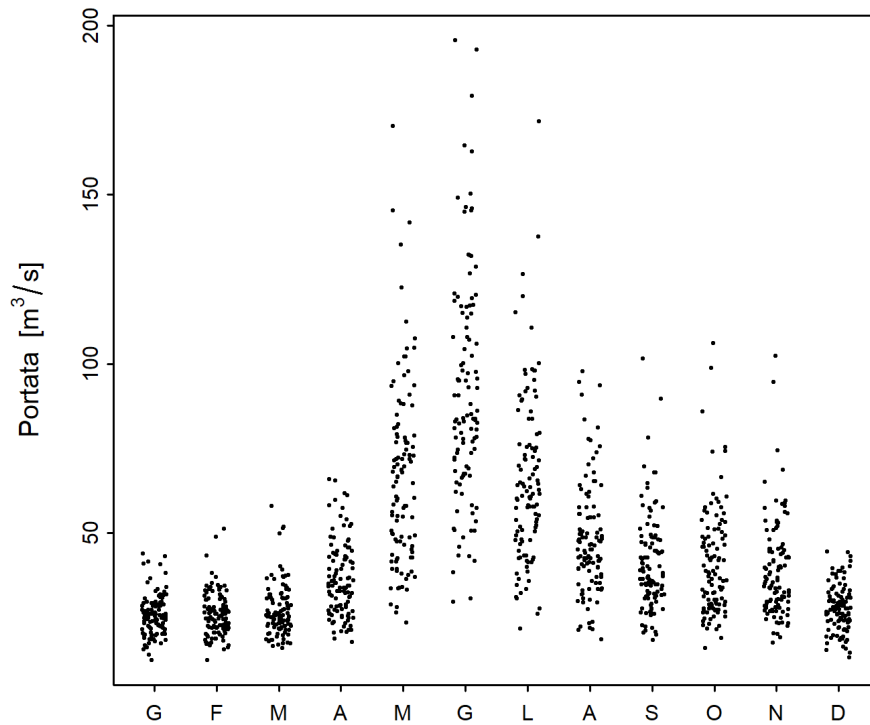


Figura 2: Sviluppo stagionale del minimo mensile di M7Q [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.06.1911 - 31.05.2019)

<sup>1</sup>Il mese iniziale dell'anno di magra viene scelto considerando solamente i dati del periodo di analisi.

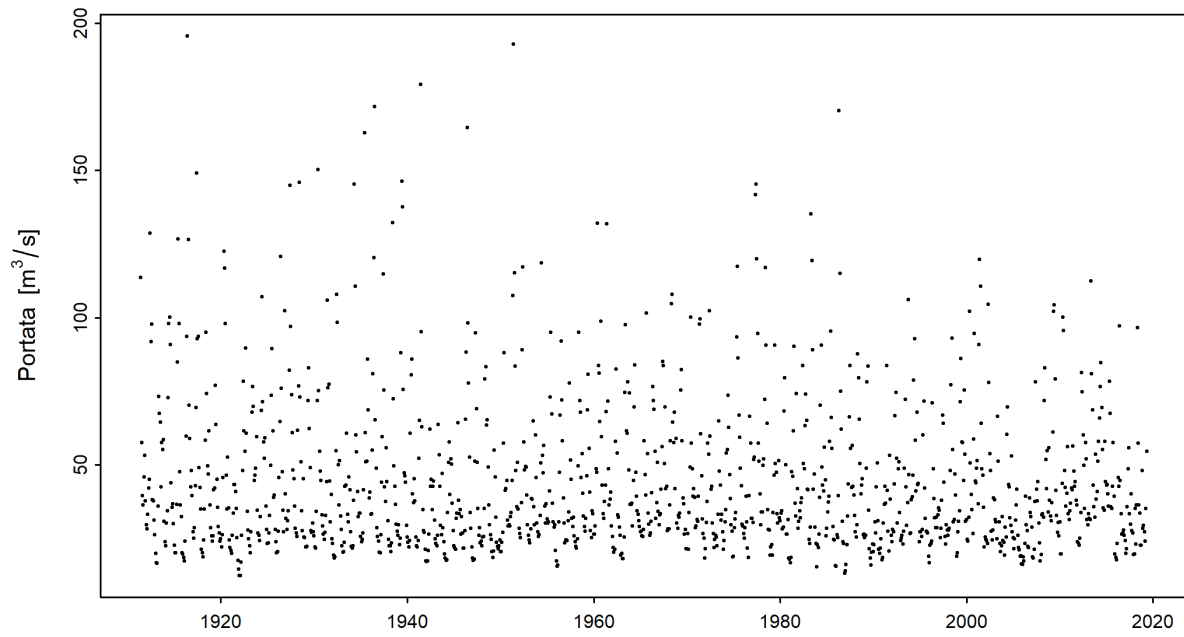


Figura 3: Serie temporale del minimo mensile di M7Q [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.06.1911 - 31.05.2019)

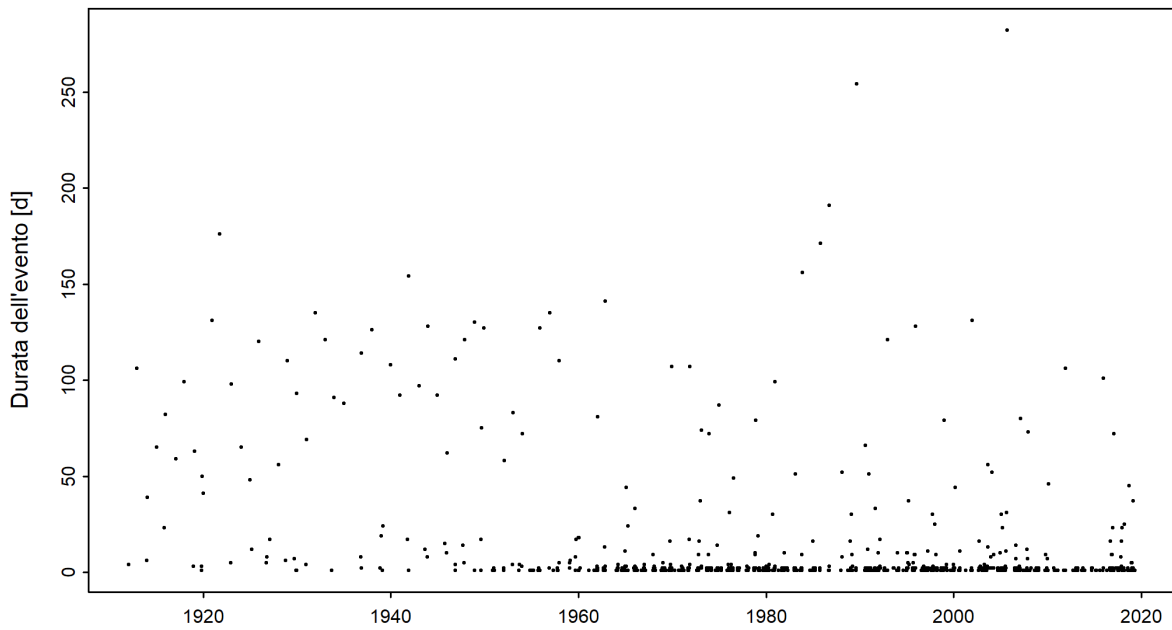


Figura 4: Serie temporale della durata di magra [d] (01.06.1911 - 31.05.2019)

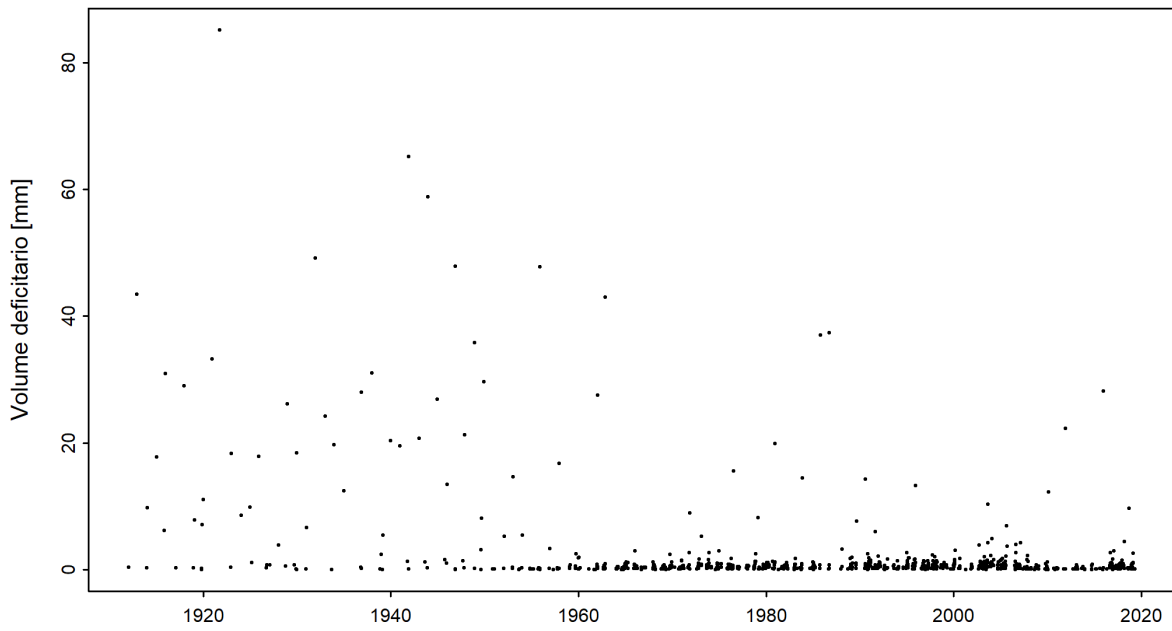


Figura 5: Serie temporale del volume deficitario [mm] (01.06.1911 - 31.05.2019)

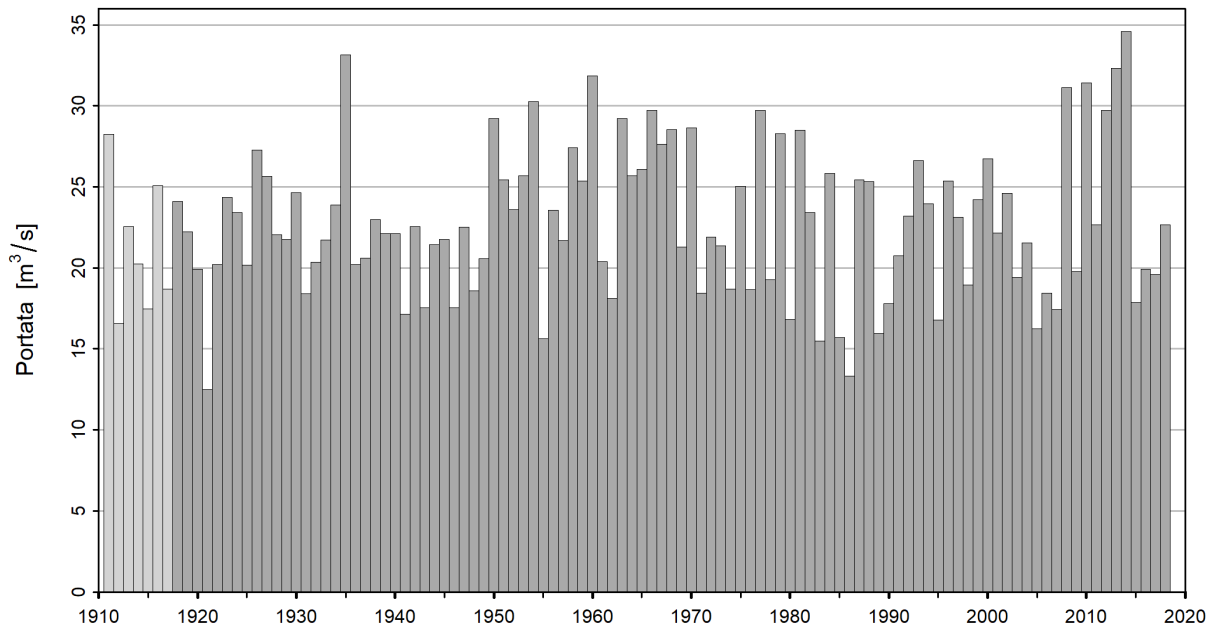


Figura 6: Serie temporale di NM7Q [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (01.06.1911 - 31.05.2019), grigio chiaro: NM7Q non utilizzati, grigio scuro: NM7Q utilizzati

## 2 Risultati delle procedure parametriche

Con l'ausilio di due procedure parametriche (approcci BLOCK e POT) sono stimate le probabilità di magra  $NQ_T$ . Le probabilità di durata di magra  $ND_T$  e le probabilità dei volumi deficitari  $DV_T$  vengono stimate con l'approccio POT.

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      | Parametro                                | Dati iniziali del modello                     |
|----------------------------|--|---|
| Block Minimum (BLOCK)      | $\mu$ Parametro di posizione             | NM7Q  |
|                            | $\sigma$ Parametro di scala              |   |
|                            | $\kappa$ Parametro di forma              |   |
| Peaks Over Threshold (POT) | $\lambda$ Tasso di incidenza             | M7Q / Durata di magra /<br>Volume deficitario |
|                            | $\sigma$ Parametro di scala <sup>2</sup> |   |
|                            | $\kappa$ Parametro di forma              |   |

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 nelle tabelle 1 e 2:

Tabella 1: Varianti di modello dell'approccio BLOCK.  $\mu$  parametro di posizione (mu),  $\sigma$  parametro di scala (sigma),  $\kappa$  parametro di forma (kappa).

| Varianti di modello 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                    | Cambiamento non continuo di $\mu$ al tempo $t_0$ | $\mu = a_1 + a_2 * i, \sigma, \kappa,$<br>$i = 0$ per $t < t_0, i = 1$ per $t \geq t_0$ | 4                   |

Tabella 2: Varianti di modello dell'approccio POT.  $\sigma$  parametro di posizione (sigma),  $\kappa$  parametro di forma (kappa).

| Varianti di modello 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                 | Cambiamento non continuo di $\sigma$ al tempo $t_0$ | $\sigma = b_1 + b_2 * i, \kappa,$<br>$i = 0$ 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 7 e [guida](#) capitolo 4.3). 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. 8 al capitolo 3.3 della [guida](#)). Di seguito sono indicate le procedure con i risultati migliori.

<sup>2</sup>Il parametro di scala  $\sigma$  dell'approccio POT non è numericamente identico al  $\sigma$  dell'approccio BLOCK.

## 2.1 Portata di magra

### 2.1.1 L'approccio "Block Minimum" (BLOCK)

L'approccio "Block Minimum" (BLOCK) definisce il valore minimo all'interno di un intervallo di tempo (block: nel caso in esame un anno) come valore estremo.

L'NM7Q più piccolo del periodo di analisi è  $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$  (28.01.1922).

Per il periodo di analisi (1918-2018) non appare nessuna differenza significativa tra le varianti di modello stazionarie e non stazionarie. Per questo motivo vengono presentati qui i risultati del modello stazionario.

Numero di valori utilizzati e parametri del modello stimati:

| Numero di<br>valori $n$ | Parametro di<br>posizione $\hat{\mu}$ | Parametro di<br>scala $\hat{\sigma}$ | Parametro di<br>forma $\hat{\kappa}$ |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 101                     | 24.27                                 | 4.77                                 | -0.36                                |



La qualità del modello viene valutata graficamente in base ai plot diagnostici rappresentati in figura 7.

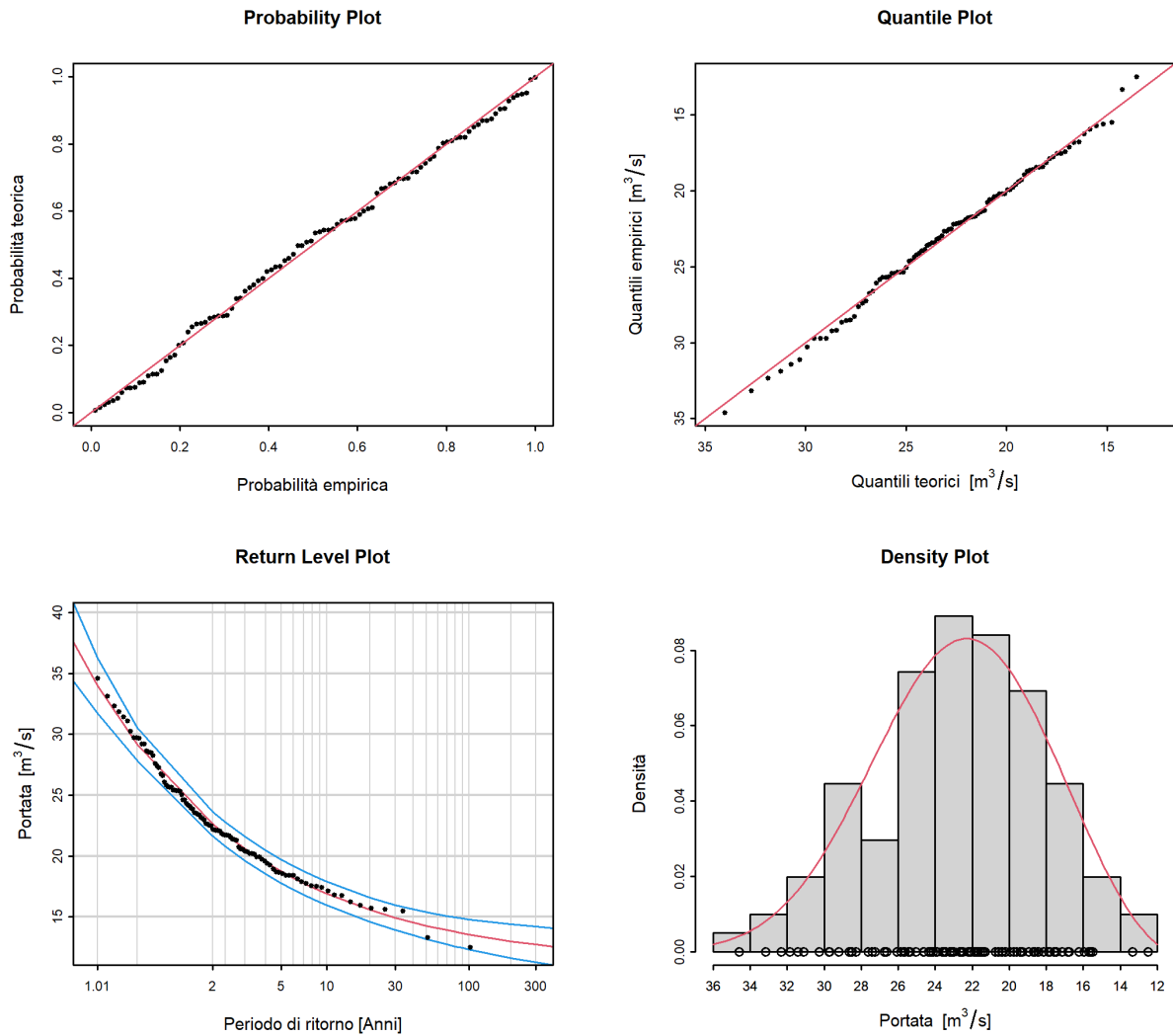


Figura 7: Plot diagnostici della variante di modello "stat" dell'approccio BLOCK (01.06.1918 - 31.05.2019)

Valutazione dei plot diagnostici (figura 7):

| Criteria                     | Valutazione <sup>3</sup> | Osservazioni |
|------------------------------|--------------------------|--------------|
| Adattamento settore sinistro | buono                    | -            |
| Adattamento settore centrale | buono                    | -            |
| Adattamento settore destro   | medio-buono              | -            |
| Intervallo di confidenza     | ridotto                  | -            |

<sup>3</sup>Cfr. [guida](#) capitolo 4.3

La seguente tabella contiene le quantità di portata per diversi periodi di ritorno calcolate con il modello stazionario dell'approccio BLOCK per il periodo di analisi 01.06.1918 - 31.05.2019 (incl. intervallo di confidenza calcolato con il metodo delta):

| <b>NQ<sub>T</sub></b><br><b>(NM7Q)</b> | <b>Limite di confidenza</b><br><b>inferiore [m<sup>3</sup>/s]</b> | <b>Portata [m<sup>3</sup>/s]</b> | <b>Limite di confidenza</b><br><b>superiore [m<sup>3</sup>/s]</b> |
|--|---|----------------------------------|---|
| NQ <sub>2</sub>                        | 21.5  | 22.6                             | 23.8  |
| NQ <sub>10</sub>                       | 15.8  | 16.9                             | 18.0  |
| NQ <sub>30</sub>                       | 13.8  | 14.9                             | 16.1  |
| NQ <sub>100</sub>                      | 12.2  | 13.6                             | 15.0  |
| NQ <sub>300</sub>                      | 11.1  | 12.7                             | 14.4  |

### 2.1.2 L'approccio "Peaks Over Threshold" (POT)

Per l'approccio "Peaks over Threshold" (POT) vengono analizzati gli M7Q dal 01.06.1918. Come valore di soglia  $u_{80}$  per la delimitazione degli eventi di magra, viene scelto il quantile 80% della curva di durata delle portate ( $Q_{80}$  risp.  $Q_{292}$ ). Tutti i giorni, quando la media giornaliera della portata si trova al di sotto del valore di soglia  $u_{80}$  di  $29.77 \text{ m}^3/\text{s}$ , vi è una magra.

Attraverso un processo di declustering si garantisce che due eventi di magra vengano valutati come indipendenti, quando il volume in eccedenza fra i due eventi riesce ad egualizzare il volume deficitario precedente (cfr. [guida](#) capitolo 1.3).

I valori che si trovano al di sotto di un valore di soglia  $u$  più basso, valgono come eventi estremi nell'analisi dell'M7Q con l'approccio POT. Il valore di soglia  $u$  viene determinato con un processo iterativo in base a diversi criteri (cfr. allegato A.1 e [guida](#) capitolo 4.1). Nella figura 8 viene mostrato l'M7Q, i valori di soglia determinati  $u_{80}$  e  $u$ , così come gli eventi estremi definiti in base al valore di soglia  $u$  (cerchi rossi).

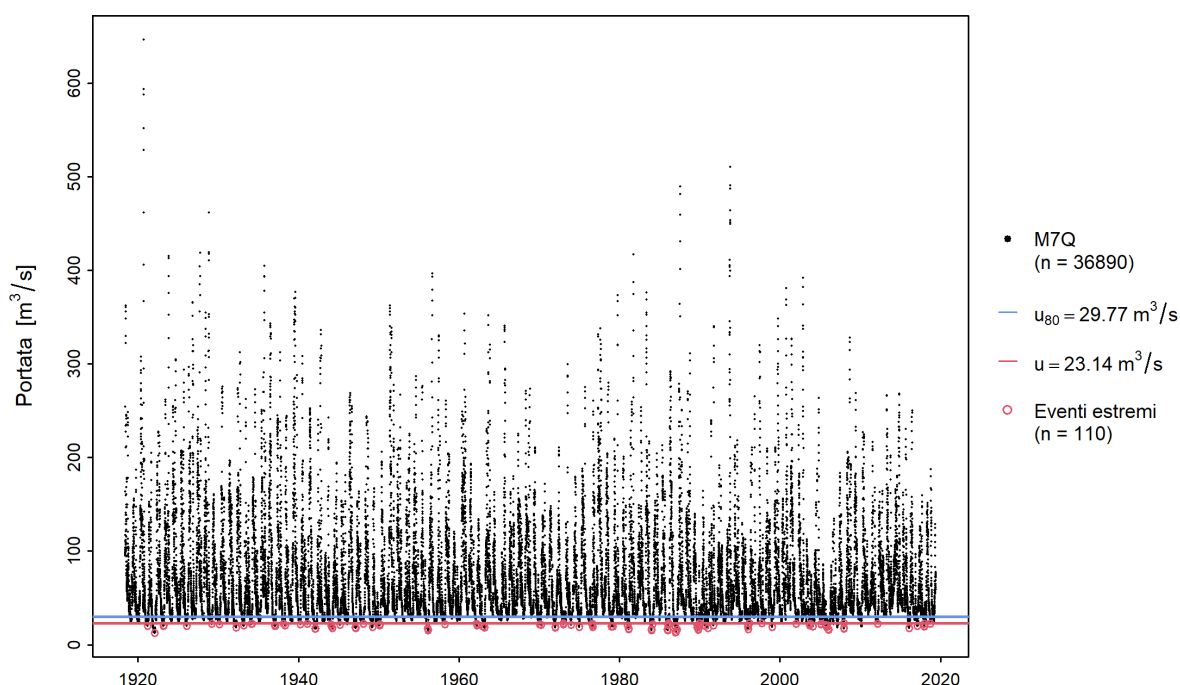


Figura 8: Scelta degli eventi estremi utilizzati per l'approccio POT

Per il periodo di analisi (1918-2018) non appare nessuna differenza significativa tra le varianti di modello stazionarie e non stazionarie. Per questo motivo vengono presentati qui i risultati del modello stazionario.

Numero di valori utilizzati e parametri del modello stimati:

| Valore di soglia $u$         | Numero di valori $n$ | Tasso di incidenza $\hat{\lambda}$ | Parametro di scala $\hat{\sigma}$ | Parametro di forma $\hat{\kappa}$ |
|------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $23.14 \text{ m}^3/\text{s}$ | 110                  | 1.09                               | 5.03                              | -0.44                             |

La qualità del modello viene valutata graficamente in base ai plot diagnostici rappresentati in figura 9.

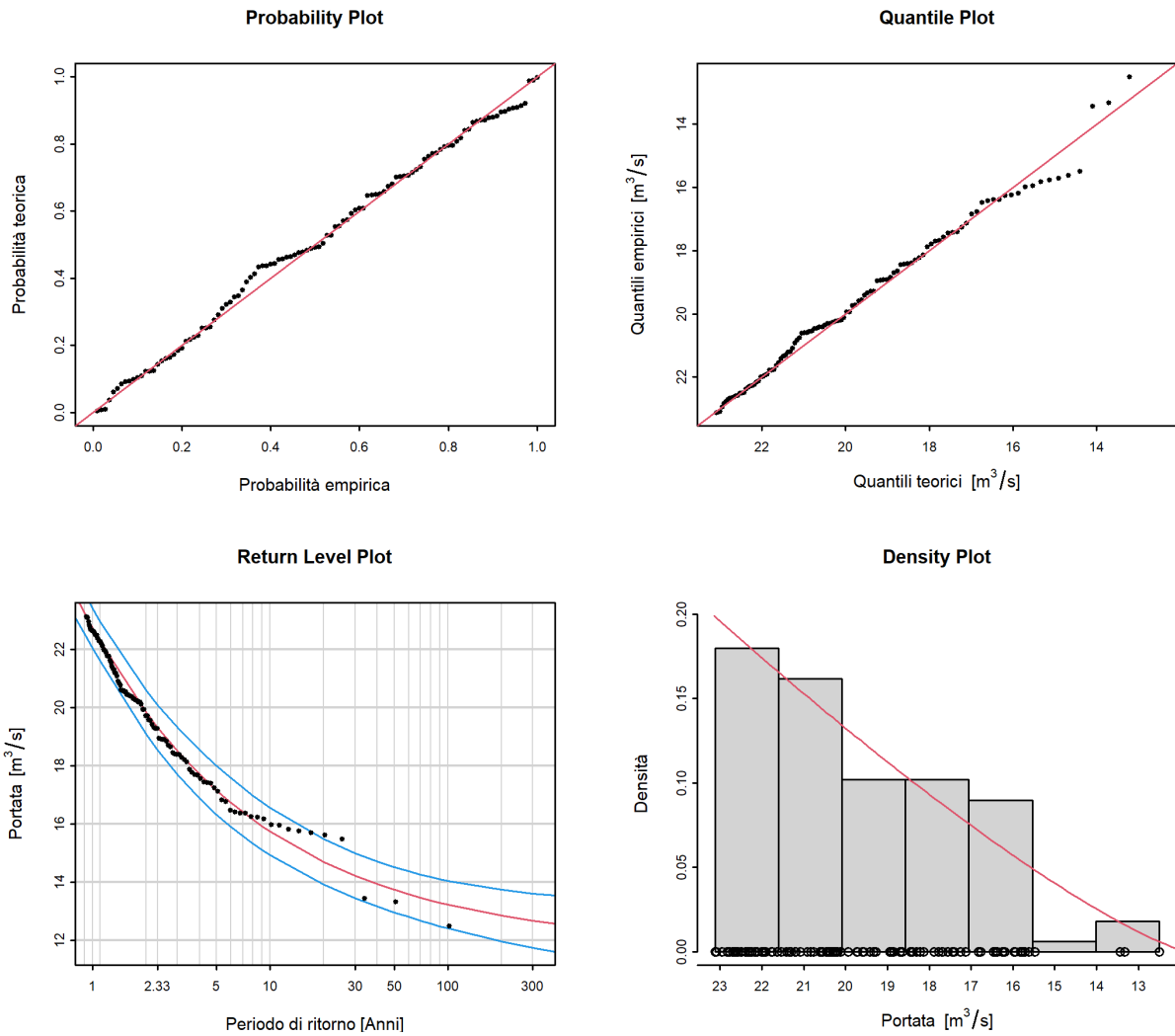


Figura 9: Plot diagnostici della variante di modello "stat" dell'approccio POT (01.06.1918 - 31.05.2019)

Valutazione dei plot diagnostici (figura 9):

| Criteria                     | Valutazione <sup>4</sup> | Osservazioni  |
|------------------------------|--------------------------|---|
| Adattamento settore sinistro | buono                    | -   |
| Adattamento settore centrale | medio-buono              | -   |
| Adattamento settore destro   | medio                    | Alcuni valori vengono sottostimati e i tre valori più piccoli vengono soprastimati. |
| Intervallo di confidenza     | ridotto-medio            | Alcuni valori non vengono catturati dall'intervallo di confidenza.                  |

<sup>4</sup>Cfr. [guida](#) capitolo 4.3

La seguente tabella contiene le quantità di portata per diversi periodi di ritorno calcolate con il modello stazionario dell'approccio POT per il periodo di analisi 01.06.1918 - 31.05.2019 (incl. intervallo di confidenza calcolato con il metodo delta):

| <b>NQ<sub>T</sub><br/>(M7Q)</b> | <b>Limite di confidenza<br/>inferiore [m<sup>3</sup>/s]</b> | <b>Portata [m<sup>3</sup>/s]</b> | <b>Limite di confidenza<br/>superiore [m<sup>3</sup>/s]</b> |
|---------------------------------|---|----------------------------------|---|
| NQ <sub>2</sub>                 | 19.0  | 19.8                             | 20.7  |
| NQ <sub>10</sub>                | 14.8  | 15.7                             | 16.7  |
| NQ <sub>30</sub>                | 13.3  | 14.2                             | 15.1  |
| NQ <sub>100</sub>               | 12.3  | 13.2                             | 14.2  |
| NQ <sub>300</sub>               | 11.6  | 12.7                             | 13.7  |

### 2.1.3 Confronto dei risultati

Nella figura 10 e nella rispettiva tabella sono riassunti i risultati degli approcci BLOCK e POT. Vengono mostrati i risultati delle varianti di modello che si adattano al meglio ai dati. Il confronto dei diversi approcci di modello mostra i seguenti fatti:

#### Differenze dei risultati dell' $NQ_T$ calcolato dai due approcci parametrici:

Per l' $NQ_2$ , l'approccio BLOCK presenta una portata più grande dell'approccio POT. Per l' $NQ_{10}$  questa differenza è più ridotta. Dall' $NQ_{30}$  fino all' $NQ_{300}$  entrambi gli approcci arrivano ad un risultato sempre più simile, anche se l'approccio BLOCK presenta una portata ancora minimamente maggiore fino all' $NQ_{300}$ .

#### Differenze dei risultati degli intervalli di confidenza calcolati dai due approcci parametrici:

L'intervallo di confidenza dei risultati dei due approcci è molto simile e ridotto per i periodi di ritorno minori fino all' $NQ_{30}$ . In seguito, vi è un leggero aumento dell'intervallo di confidenza per l'approccio BLOCK mentre per l'approccio POT l'intervallo di confidenza rimane simile per tutti i periodi di ritorno.

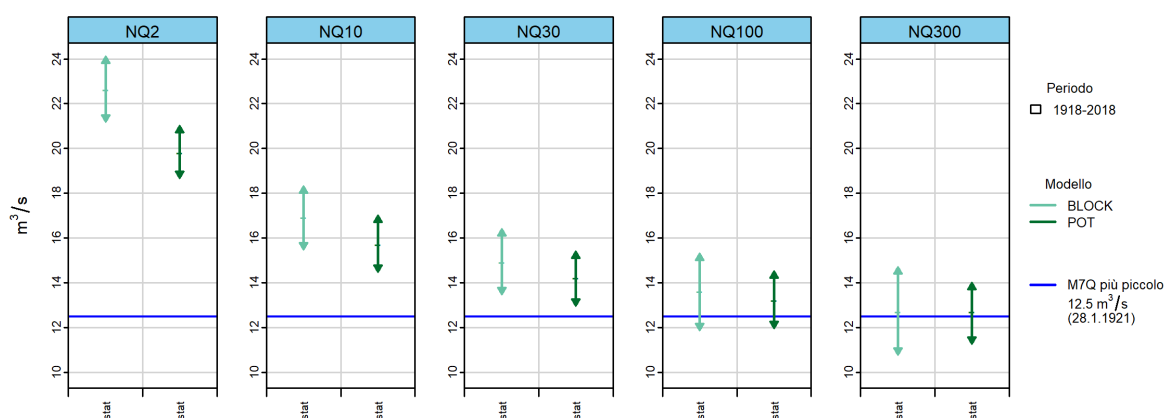


Figura 10:  $NQ_T$  [ $m^3/s$ ] incl. intervallo di confidenza 95%, calcolato con la variante di modello più adatta degli approcci BLOCK e POT

La seguente tabella contiene la valutazione della qualità del modello per il periodo di analisi 1918-2018:

| Approccio  | Qualità modello plot diagnostici |             |             | Osservazioni  |
|------------|----------------------------------|-------------|-------------|---|
|            | Sinistra                         | Centro      | Destra      |   |
| BLOCK stat | buono                            | buono       | medio-buono | -   |
| POT stat   | buono                            | medio-buono | medio       | Alcuni valori vengono sottostimati e i tre valori più piccoli vengono soprastimati. |

## 2.2 Durata di magra

Tutti i giorni, quando la media giornaliera della portata si trova al di sotto del valore di soglia  $u_{80}$  (quantile 80% della curva di durata delle portate) di  $29.77 \text{ m}^3/\text{s}$ , vi è un evento di magra. Dopo un processo di declustering (cfr. capitolo 2.1.2 e [guida](#) capitolo 1.3) si determina la durata dei singoli eventi di magra.

Le durate di magra che superano il valore di soglia  $u$  valgono in questa analisi come eventi estremi. Il valore di soglia  $u$  viene determinato con un processo iterativo in base a diversi criteri (cfr. allegato A e [guida](#) capitolo 4.1). La figura 11 mostra la durata di magra e il valore di soglia  $u$  determinato, così come gli eventi estremi scelti in base al valore di soglia  $u$  (cerchi rossi).

L'evento di magra più lungo è durato 282 giorni nel periodo (17.09.2005 - 25.06.2006).

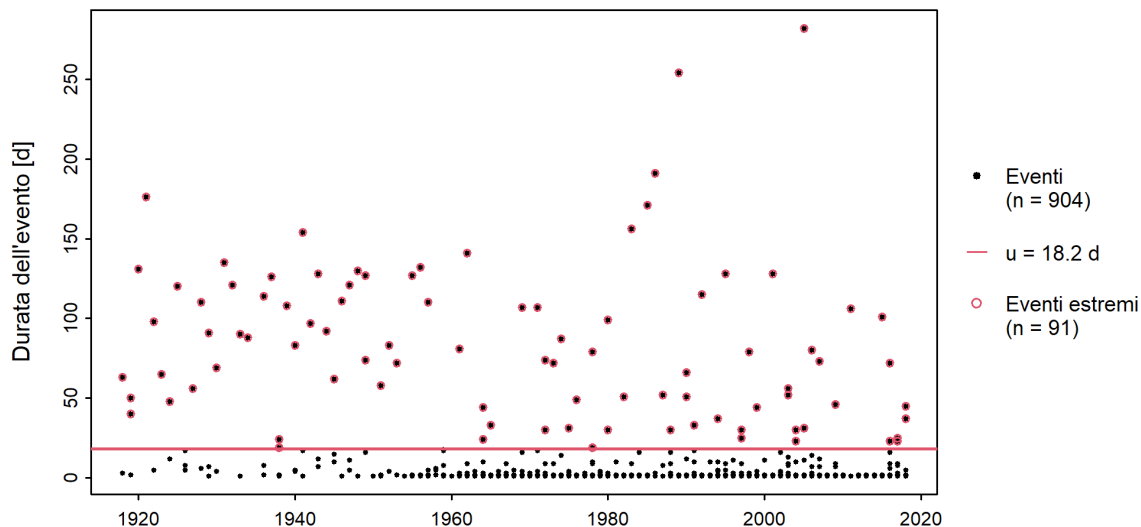


Figura 11: Scelta degli eventi estremi di durata di magra utilizzati per l'approccio POT

Per il periodo di analisi (1918-2018) non appare nessuna differenza significativa tra le varianti di modello stazionarie e non stazionarie. Per questo motivo vengono presentati qui i risultati del modello stazionario.

Numero di valori utilizzati e parametri del modello stimati:

| Valore di soglia $u$ | Numero di valori $n$ | Tasso di incidenza $\hat{\lambda}$ | Parametro di scala $\hat{\sigma}$ | Parametro di forma $\hat{\kappa}$ |
|----------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 18.2 giorni          | 91                   | 0.9                                | 78.99                             | -0.23                             |

La qualità del modello viene valutata graficamente in base ai plot diagnostici rappresentati in figura 12.

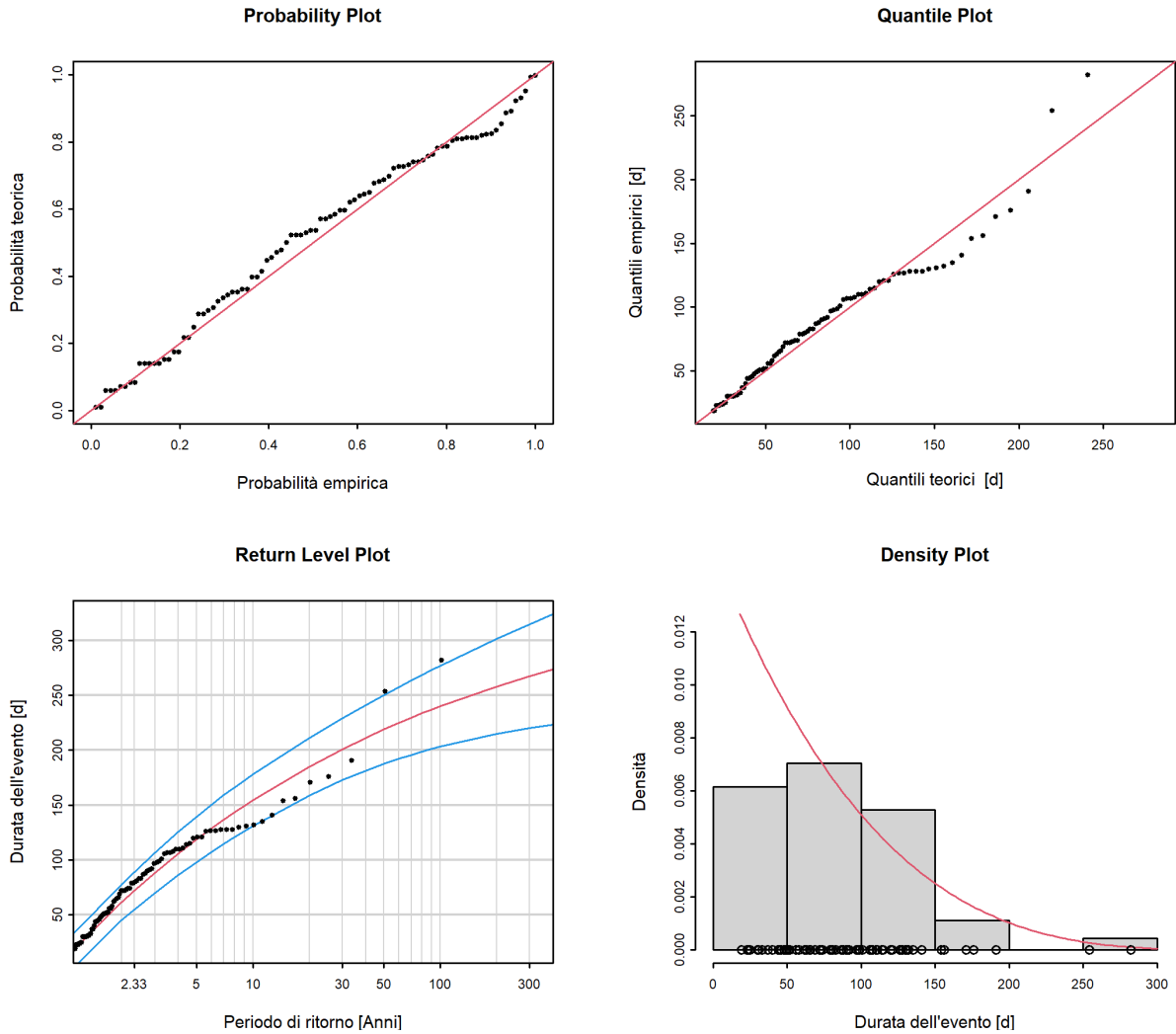


Figura 12: Plot diagnostici della variante di modello "stat" dell'approccio POT (01.06.1918 - 31.05.2019)

Valutazione dei plot diagnostici (figura 12):

| Criteria                     | Valutazione <sup>5</sup> | Osservazioni   |
|------------------------------|--------------------------|--|
| Adattamento settore sinistro | medio-buono              | -  |
| Adattamento settore centrale | medio                    | -  |
| Adattamento settore destro   | scarso-medio             | I due valori più grandi vengono sottostimati.                              |
| Intervallo di confidenza     | medio                    | Due valori si trovano al di fuori dell'intervallo di confidenza superiore. |

<sup>5</sup>Cfr. [guida](#) capitolo 4.3



La seguente tabella contiene le durate di magra per diversi periodi di ritorno calcolate con il modello stazionario dell'approccio POT per il periodo di analisi 01.06.1918 - 31.05.2019 (incl. intervallo di confidenza calcolato con il metodo delta):

| <b>ND<sub>T</sub></b> | <b>Limite di confidenza inferiore [d]</b> | <b>Durata [d]</b> | <b>Limite di confidenza superiore [d]</b> |
|-----------------------|---|-------------------|---|
| ND <sub>2</sub>       | 43  | 62                | 80  |
| ND <sub>10</sub>      | 128                                       | 155               | 181                                       |
| ND <sub>30</sub>      | 169                                       | 201               | 233                                       |
| ND <sub>100</sub>     | 198                                       | 240               | 282                                       |
| ND <sub>300</sub>     | 213                                       | 267               | 322                                       |

## 2.3 Volume deficitario

Tutti i giorni, quando la media giornaliera della portata si trova al di sotto del valore di soglia  $u_{80}$  (quantile 80% della curva di durata delle portate) di  $29.77 \text{ m}^3/\text{s}$ , vi è un evento di magra. Dopo un processo di declustering (cfr. capitolo 2.1.2 e [guida](#) capitolo 1.3) si determina il volume deficitario dei singoli eventi di magra.

I volumi deficitari che superano il valore di soglia  $u$  valgono in questa analisi come eventi estremi. Il valore di soglia  $u$  viene determinato con un processo iterativo in base a diversi criteri (cfr. allegato A e [guida](#) capitolo 4.3). La figura 11 mostra i volumi deficitari e il valore di soglia  $u$  determinato, così come gli eventi estremi scelti in base al valore di soglia  $u$  (cerchi rossi).

Per un migliore confronto dei volumi deficitari stimati delle diverse stazioni viene scelta l'unità di misura altezza di deflusso  $h_A[\text{mm}]$  in analogia al metodo 121 del DWA(DVWK) (1992). Questa è definita come segue:

$$h_A[\text{mm}] = \frac{V[\text{m}^3]}{A_E[\text{km}^2] * 1000} \quad (1)$$

dove  $A_E$  è l'area del bacino idrografico e  $V$  il volume deficitario in  $\text{m}^3$ .

L'area del bacino idrografico di questa stazione è  $1517 \text{ km}^2$ .

Il volume deficitario più grande è di  $84.14 \text{ mm}$  (19.10.1921 - 12.04.1922).

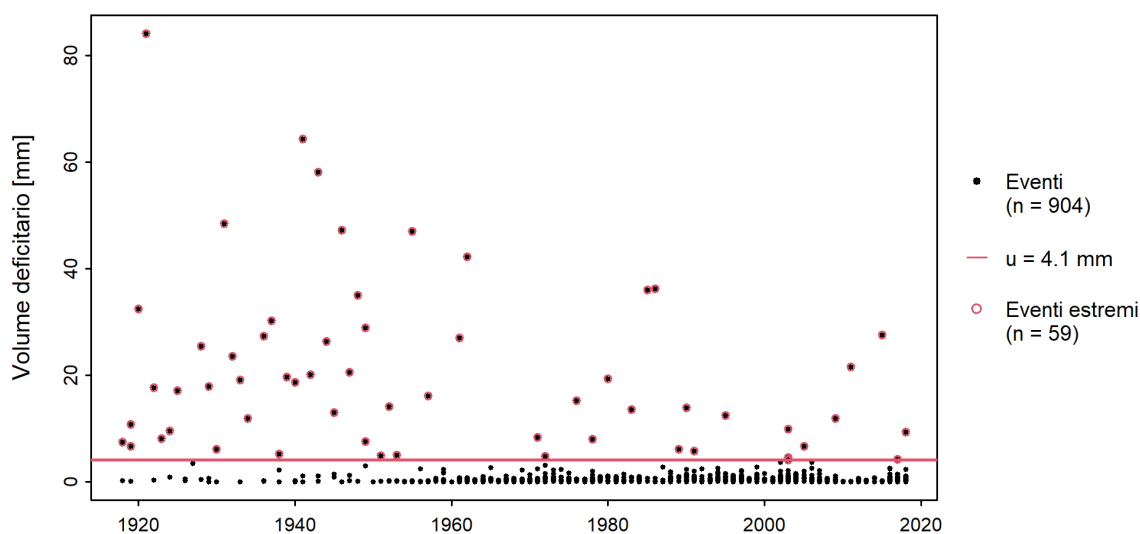


Figura 13: Scelta degli eventi estremi di volume deficitario utilizzati per l'approccio POT

Per il periodo di analisi (1918-2018) non appare nessuna differenza significativa tra le varianti di modello stazionarie e non stazionarie. Per questo motivo vengono presentati qui i risultati del modello stazionario.

Numero di valori utilizzati e parametri del modello stimati:

| Valore di soglia $u$ | Numero di valori $n$ | Tasso di incidenza $\hat{\lambda}$ | Parametro di scala $\hat{\sigma}$ | Parametro di forma $\hat{\kappa}$ |
|----------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 4.1 mm               | 59                   | 0.58                               | 16.36                             | 0                                 |

La qualità del modello viene valutata graficamente in base ai plot diagnostici rappresentati in figura 14.

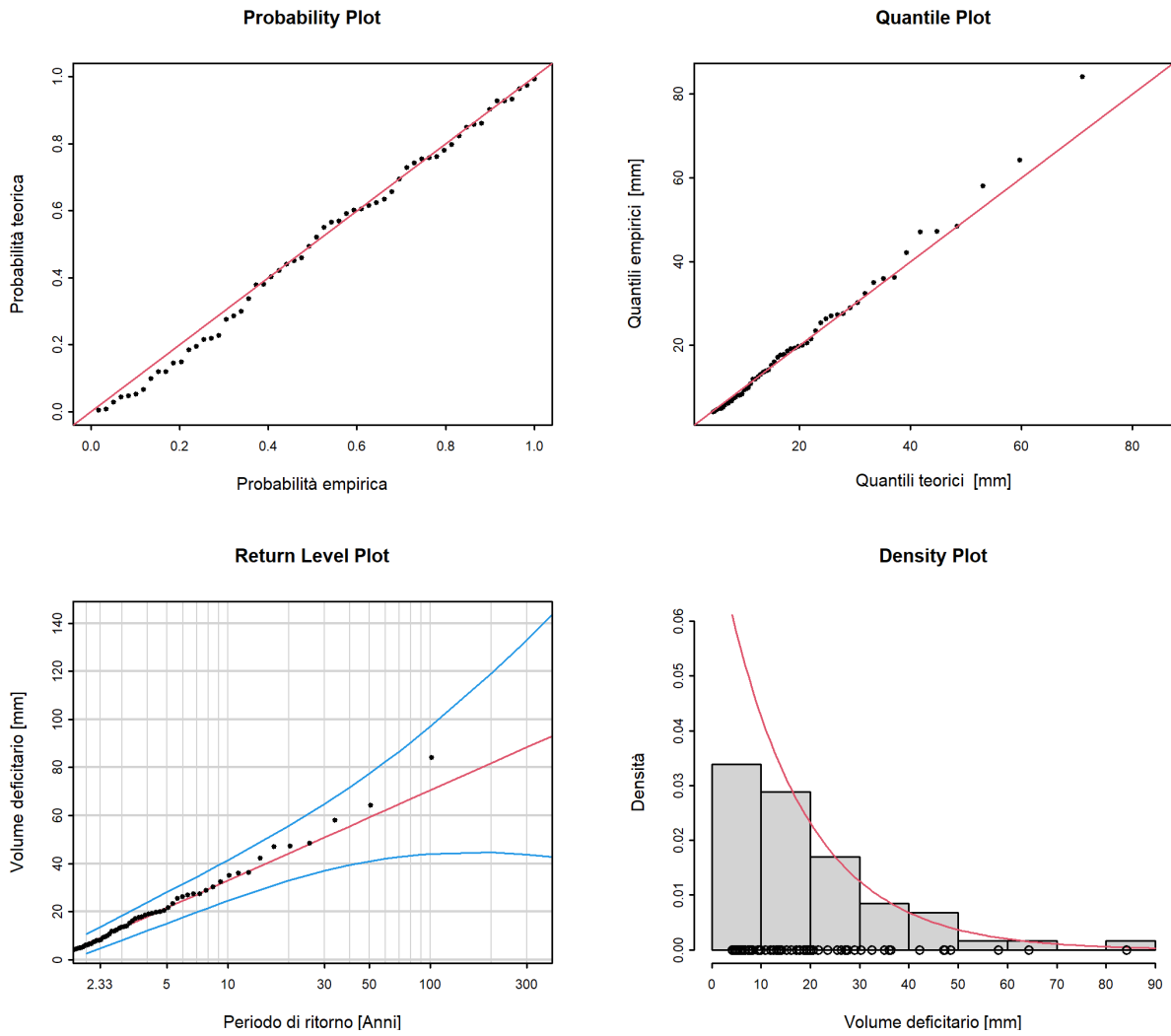


Figura 14: Plot diagnostici della variante di modello "stat" dell'approccio POT (01.06.1918 - 31.05.2019)

Valutazione dei plot diagnostici (figura 14):

| Criteria                     | Valutazione <sup>6</sup> | Osservazioni                              |
|------------------------------|--------------------------|---|
| Adattamento settore sinistro | medio-buono              | -   |
| Adattamento settore centrale | medio-buono              | -   |
| Adattamento settore destro   | medio-buono              | I valori più grandi vengono sottostimati. |
| Intervallo di confidenza     | ridotto-ampio            | -   |

<sup>6</sup>Cfr. [guida](#) capitolo 4.3

La seguente tabella contiene i volumi deficitari per diversi periodi di ritorno calcolati con il modello stazionario dell'approccio POT per il periodo di analisi 01.06.1918 - 31.05.2019 (incl. intervallo di confidenza calcolato con il metodo delta):

| $DV_T$     | Limite di confidenza inferiore [mm] | Volume deficitario [mm] | Limite di confidenza superiore [mm] |
|------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| $DV_2$     | 2                                   | 7                       | 11                                  |
| $DV_{10}$  | 23                                  | 33                      | 43                                  |
| $DV_{30}$  | 35                                  | 51                      | 67                                  |
| $DV_{100}$ | 40                                  | 71                      | 101                                 |
| $DV_{300}$ | 37                                  | 88                      | 139                                 |

### 3 Bibliografia

*BAFU* (2023). Leitfaden zu den Stationsberichten der Niedrigwasserstatistik. BAFU, Bern.

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

*Coles, S.* (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer. London.

*DWA* (2022). DVWA-Regelwerk. Merkblatt DWA-M 541. Statistische Analyse von Niedrigwasserkenngößen.

*DWA/DVWK (Hrsg.)* (1983). DVWK-R 120 - Niedrigwasseranalyse. Teil 1. Statistische Untersuchung des Niedrigwasser-Abflusses. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau a.V., Hamburg/Berlin.

*DWA/DVWK (Hrsg.)* (1992). DVWK-R 121 - Niedrigwasseranalyse. Teil 2. Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau a.V., Hamburg/Berlin.

*Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, B., Peters, E., Gustard, A.* (2004). Hydrological Drought Characteristics. Developments in Water Science 49, S. 139-198.

# Allegato

## A Determinazione del valore di soglia per la delimitazione dei valori estremi

Per determinare il valore di soglia  $u$ , che viene usato per delimitare i valori estremi dell'approccio POT, si procede in maniera iterativa. Vengono considerati il "mean residual life plot", il "fitrange plot", così come il numero di eventi estremi che risultano dalla scelta del valore di soglia.

### A.1 Portata di magra

Il valore di soglia  $u$  determinato è  $23.14 \text{ m}^3/\text{s}$ . In base al mean residual life plot (cfr. figura 15), il valore di soglia era stato scelto più basso. Considerando il fitrange plot e la dimensione del campione  $n$ ,  $u$  è stato però adattato. Così si è raggiunta una dimensione del campione di 110 elementi.

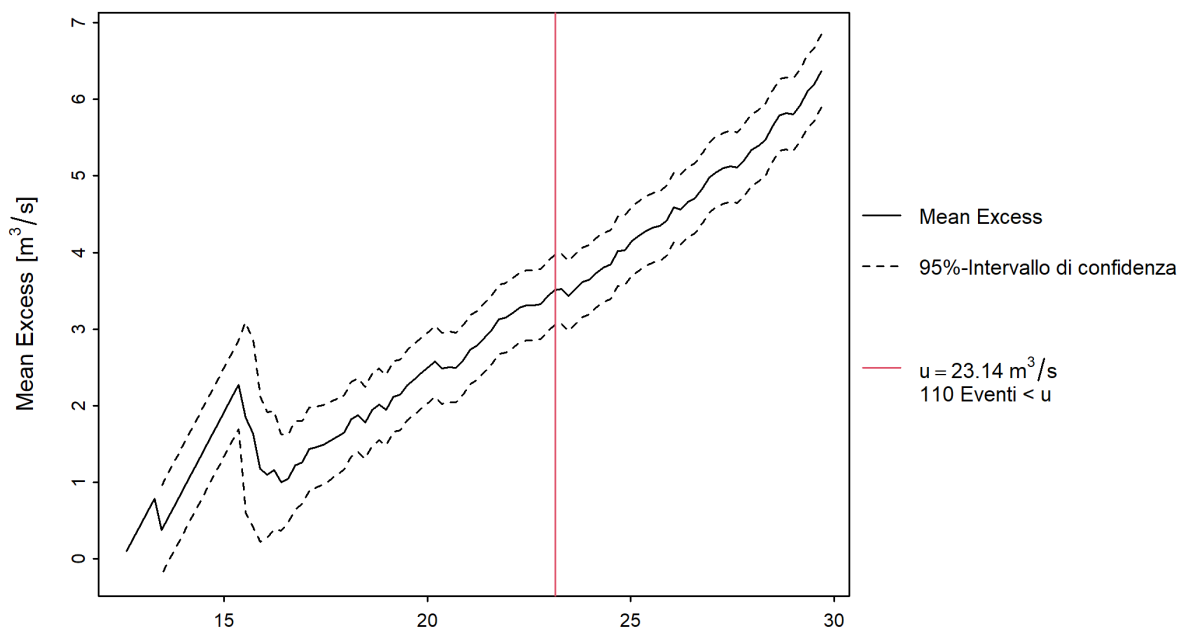


Figura 15: "mean residual life plot" per la portata di magra

## A.2 Durata di magra

Il valore di soglia  $u$  determinato è 18.2 giorni. In base al mean residual life plot (cfr. figura 16), il valore di soglia era stato scelto più alto. Considerando il fitrange plot,  $u$  è stato però adattato. Così si è raggiunta una dimensione del campione di 91 elementi.

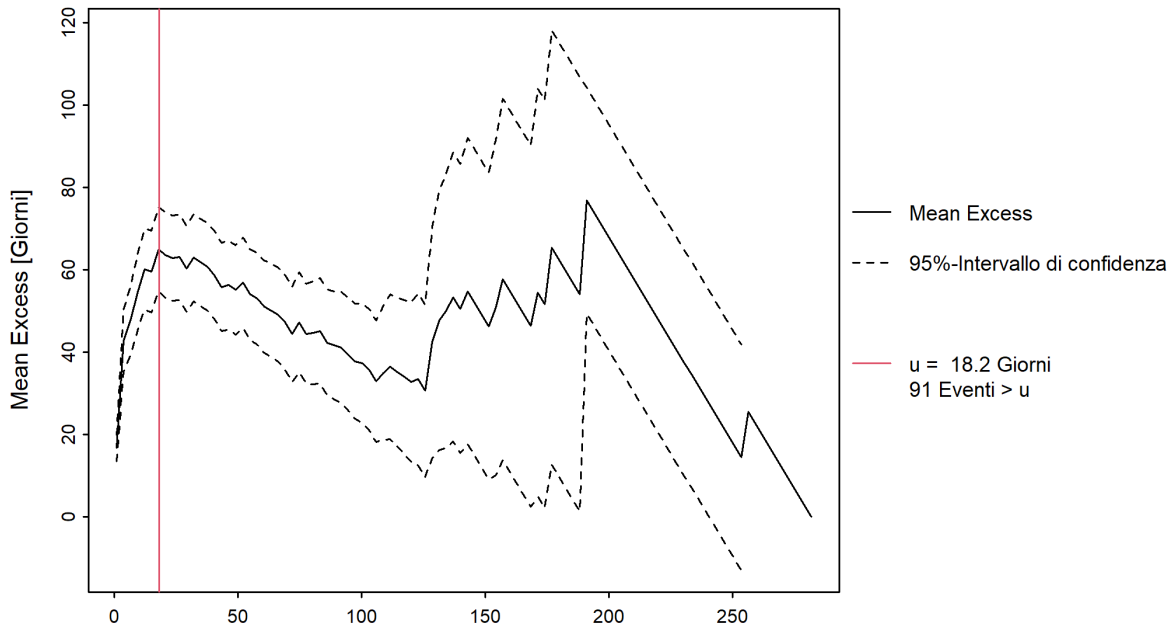


Figura 16: "mean residual life plot" per la durata di magra

## A.3 Volume deficitario

Il valore di soglia  $u$  determinato è 4.1 mm. In base al mean residual life plot (cfr. figura 17), il valore di soglia era stato scelto più basso. Considerando il fitrange plot e la dimensione del campione  $n$ ,  $u$  è stato però adattato. Così si è raggiunta una dimensione del campione di 59 elementi.

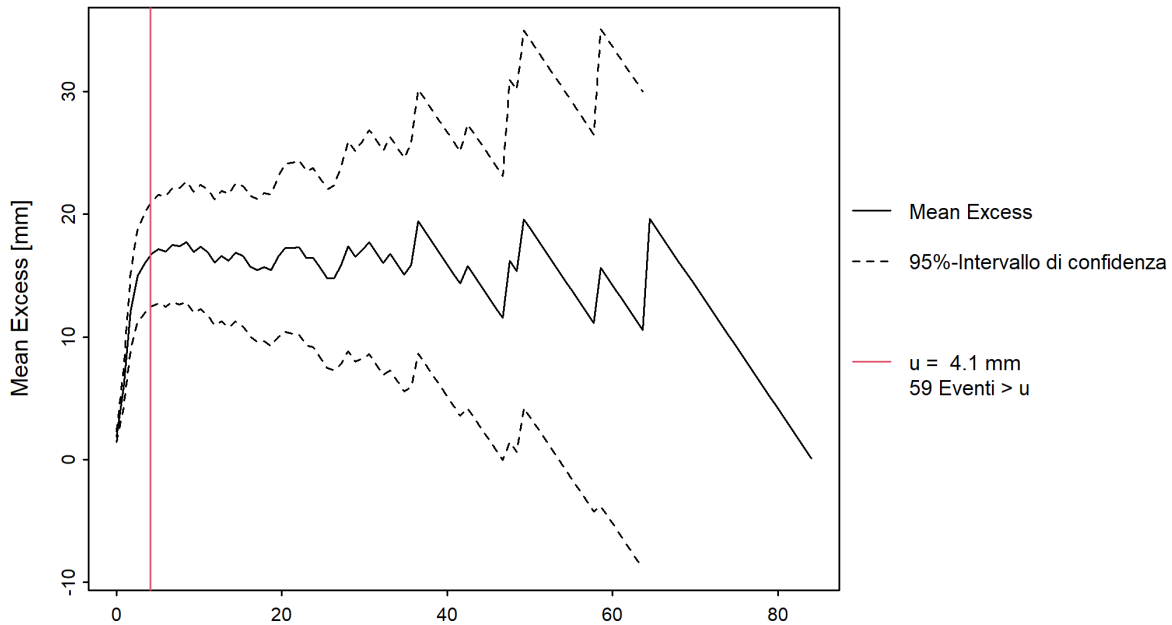


Figura 17: "mean residual life plot" per il volume deficitario

## B Glossario

|  |  |
|--|--|
| DV (Volume deficitario)                | La differenza fra la portata di un giorno di magra e il valore di soglia $u_{80}$ viene definita deficit di portata. La somma di tutti i deficit di portata durante una durata di magra formano il volume deficitario. Per un migliore confronto dei volumi deficitari stimati delle diverse stazioni viene scelta l'unità di misura altezza di deflusso $h_A[mm]$ .   |
| $DV_T$                                 | Volume deficitario $DV_T$ determinato mediante una funzione di ripartizione per un determinato periodo di ritorno T. Il $DV_T$ è un valore stimato che può situarsi al di sopra o al di sotto del valore reale del volume deficitario con un periodo di ritorno statistico pari a T anni. I $DV_T$ calcolati mediante le procedure parametriche valgono per l'intero periodo (caso stazionario) risp. per l'anno di riferimento del rapporto (caso non stazionario).   |
| Funzione di ripartizione               | Descrive la popolazione statistica delle portate di magra (risp. durata di magra / volume deficitario) in un bacino idrografico. La funzione di ripartizione indica le probabilità che una portata di magra NQ (risp. durata di magra ND / volume deficitario VD) 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 magre, ma nessuna che garantisca i risultati migliori per tutti i campioni.  |
| Giorno di magra                        | Un giorno quando la portata scende al di sotto del valore di soglia $u_{80}$ , è un giorno di magra.   |
| 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).  |
| M7Q                                    | Valori medi della portata su sette giorni.   |
| Metodo della massima verosimiglianza   | Denominazione di una procedura che stima i parametri di una funzione di ripartizione a partire dalle informazioni relative a un campione.  |
| 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 $NQ_T$ (risp. $ND_T / DV_T$ ) e su una distribuzione asintotica normale (per dettagli tecnici cfr. Coles 2001, pag. 33).  |
| ND (Durata di magra)                   | La durata di magra viene definita in base ai periodi di magra come segue: con il metodo "pooling together" vengono identificati i periodi di magra dipendenti e vengono uniti. Inoltre, i volumi deficitari e in eccedenza vengono considerati. Se il volume in eccedenza tra due periodi di magra non riesce a compensare i volumi deficitari di questi periodi di magra, allora i due periodi di magra vengono identificati come eventi dipendenti e vengono uniti in un'unica durata di magra (per dettagli sul metodo "pooling together" cfr. <a href="#">guida</a> capitolo 1.3). |



|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| ND <sub>T</sub>                  | Durata di magra ND <sub>T</sub> determinata mediante una funzione di ripartizione per un determinato periodo di ritorno T. L'ND <sub>T</sub> è un valore stimato che può situarsi al di sopra o al di sotto del valore reale della durata di magra con un periodo di ritorno statistico pari a T anni. Gli ND <sub>T</sub> calcolati mediante le procedure parametriche valgono per l'intero periodo (caso stazionario) risp. per l'anno di riferimento del rapporto (caso non stazionario).   |
| NM7Q                             | La grandezza NM7Q dà la portata media più piccola su 7 giorni consecutivi all'interno dell'anno di magra. Come data viene indicato il quarto giorno dei giorni considerati (es. NM7Q dal 1° maggio = media dal 28 aprile - 4 maggio).  |
| 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 influssi 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 NQ <sub>T</sub> (risp. ND <sub>T</sub> / DV <sub>T</sub> ) calcolati. |
| NQ <sub>T</sub>                  | Portata di magra NQ <sub>T</sub> determinata mediante una funzione di ripartizione per un determinato periodo di ritorno T. L'NQ <sub>T</sub> è un valore stimato che può situarsi al di sopra o al di sotto del valore reale della portata di magra con un periodo di ritorno statistico pari a T anni. Gli NQ <sub>T</sub> calcolati mediante le procedure parametriche valgono per l'intero periodo (caso stazionario) risp. per l'anno di riferimento del rapporto (caso non stazionario).   |
| <b>Parametro di ripartizione</b> |  |
| κ Parametro di forma (kappa)     | Il parametro di forma κ è direttamente correlato alla cosiddetta "heaviness of tail" della distribuzione. Con "tail" si intende il settore che presenta outlier verso l'alto (risp. per gli M7Q il settore con outlier verso il basso). Se κ è elevato, si suppone che questi outlier siano molti. Se invece i valori di κ sono negativi, si suppone che per i valori estremi esista un limite massimo (risp. per M7Q un limite minimo).   |
| μ Parametro di posizione (mu)    | Nell'approccio BLOCK descrive la posizione media degli elementi del campione (qui: NM7Q) in riferimento alla scala di misurazione (qui: m <sup>3</sup> /s o l/s).  |
| σ Parametro di scala (sigma)     | Grandezza per la varianza di una funzione di ripartizione.   |
| λ Tasso di incidenza (lambda)    | Nell'approccio POT il tasso di incidenza λ corrisponde al numero medio di superamenti al di sotto del valore di soglia u (risp. superamenti al di sopra per M7Q) in un intervallo di tempo pari a un anno.   |
| Periodo di analisi               | Periodo temporale limitato all'origine di un campione delle portate di magra considerato rappresentativo per la popolazione statistica. Si parte dal presupposto che il campione rispecchia il più possibile le caratteristiche della popolazione statistica.  |
| Periodo di magra                 | Il periodo di magra è il periodo che inizia il giorno in cui la portata scende al di sotto del valore di soglia u <sub>80</sub> , e che dura fino al giorno prima che il valore di soglia u <sub>80</sub> viene nuovamente superato.   |

|  |  |
|--|--|
| Probability Plot<br>(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 ripartizione 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).  |
| 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 distribuzione delle probabilità, la quale viene determinata in modo univoco attraverso uno o più parametri.<br>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 Minimum risp. dati a partire da un determinato valore soglia) (cfr. Coles 2001).                   |
| "Block-Minimum"<br>(BLOCK)                           | L'approccio "Block Minimum" (BLOCK) definisce il valore minimo di portata all'interno di un intervallo di tempo (block, nel caso in esame un anno) come valore estremo (cfr. <a href="#">guida</a> capitolo 3.1 o Coles 2001, capitolo 3.1).   |
| Peaks-Over-Threshold<br>(POT)                        | Nell'approccio "Peaks-Over-Threshold" i valori sono considerati eventi estremi se superano un valore di soglia $u_{80}$ (nel caso di M7Q se scendono al di sotto di un valore $u_{80}$ ). Il trattamento dei dati avviene al netto dei cluster (cfr. <a href="#">guida</a> capitolo 3.2, o Coles 2001, capitolo 4.2).  |
| 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).  |
| Quantile Plot<br>(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 (risp. durata di magra / volume deficitario) 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 ripartizione. 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.  |
| Statistica della devianza                            | La statistica della devianza consente di studiare la capacità di adattamento di un modello a un determinato set di dati.   |