

# STUDIO PER IL PIANO STRALCIO DI BACINO DEL FIUME MAGRA

(Allegato 6)

## *Elaborazione statistica dei dati di portata finalizzata alla valutazione della disponibilità idrica*

Ing. Branca Alessia

1. Periodi di magra.	Pag. 1
2. Dati idrologici di partenza.	Pag. 1
3. Analisi della disponibilità idrica a fini irrigui.	Pag. 4
4. Analisi della disponibilità idrica per uso idroelettrico.	Pag. 4
5. Analisi probabilistica dei deflussi di magra.	Pag. 5
6. Verifiche sul Deflusso Minimo Vitale.	Pag. 6
7. Conclusioni.	Pag. 7
8. Allegato: Procedura indicativa per il rilascio delle concessioni idriche	Pag. 7
Grafici	Pag. 9-68

## 1. Periodi di magra.

La magra di un fiume è definita come il periodo ininterrotto di tempo in cui il suo deflusso alla sezione di interesse è inferiore ai valori di regime.

Nell'ambito di uno studio sulle derivazioni idriche risulta indispensabile l'analisi dei deflussi minimi del corso d'acqua per effettuare una corretta valutazione della risorsa idrica effettivamente disponibile.

Ai fini dello studio sono stati utilizzati i dati delle portate medie giornaliere [ $m^3/s$ ] pubblicati direttamente dagli annali idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale

Per ciascuna stazione analizzata e sul periodo di dati disponibili, si è proceduto all'individuazione dell'andamento delle seguenti curve:

- Curve di durata annuali e curve di durata medie
- Curve di durata per assegnata probabilità
- Abaco delle portate di magra

Un ulteriore approfondimento dello studio è rappresentato dall'analisi probabilistica dei deflussi di magra per assegnata durata

## 2. Dati idrologici di partenza.

Il bacino del fiume Magra è caratterizzato da un clima temperato con una elevata piovosità media.

Al fine di effettuare l'analisi sulla disponibilità idrica presente sul bacino del fiume Magra sono stati utilizzati i dati di portata media giornaliera [ $m^3/s$ ] e i dati di durata delle portate (10, 30, 60, 91, 135, 182, 274, 355 giorni) riportati sugli annali idrologici parte II pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico di Genova.

Le stazioni di misura della portata di cui sono disponibili un numero sufficiente di dati (per un periodo maggiore di 10 anni) sul bacino del fiume Magra sono le seguenti:

- Magra a Calamazza
- Magra a Piccatello
- Bagnone a Bagnone
- Aulella a Soliera
- Vara a Naseto

La loro localizzazione all'interno del perimetro del bacino è riportata nella carta allegata.

Gli anni di pubblicazione degli annali idrologici vanno dal 1934 al 1977 per un intervallo di tempo di 43 anni variabile comunque da stazione a stazione.

Sugli stessi annali vengono riportati per ogni stazione i seguenti elementi caratteristici fisici e idrologici:

- Bacino di dominio
- Parte permeabile
- Altitudine massima e media del bacino
- Periodo per cui sono disponibili le misure
- Altezza idrometrica giornaliera massima e minima osservate nel periodo disponibile
- Portata giornaliera massima e minima osservate nel periodo disponibile

Nella tabella seguente vengono riassunte le informazioni disponibili per ciascuna stazione.

<b>Magra a Calamazza</b>			
Bacino di dominio [km <sup>2</sup> ]		939	
Parte permeabile [%]		41	
Altitudine massima e media [m slm]	1904		612
Altezza idrometrica giornaliera massima e minima [m]	7,28		0,47
Portata giornaliera massima e minima [m <sup>3</sup> /s]	3100		2,6
Anni di osservazioni disponibili		1951-77	
<b>Magra a Piccatello</b>			
Bacino di dominio [km <sup>2</sup> ]		77	
Parte permeabile [%]		49	
Altitudine massima e media [m slm]	1830		851
Altezza idrometrica giornaliera massima e minima [m]	4,36		0,04
Portata giornaliera massima e minima [m <sup>3</sup> /s]	461		0,1
Anni di osservazioni disponibili		1951-77	
<b>Bagnone a Bagnone</b>			
Bacino di dominio [km <sup>2</sup> ]		51	
Parte permeabile [%]		66	
Altitudine massima e media [m slm]	1861		880
Altezza idrometrica giornaliera massima e minima [m]	4,8		0,16
Portata giornaliera massima e minima [m <sup>3</sup> /s]	507		0,15
Anni di osservazioni disponibili	1951-77		
<b>Aulella a Soliera</b>			
Bacino di dominio [km <sup>2</sup> ]		208	
Parte permeabile [%]		16	
Altitudine massima e media [m slm]	1895		667
Altezza idrometrica giornaliera massima e minima [m]	3,97		0,39
Portata giornaliera massima e minima [m <sup>3</sup> /s]	337		0,7
Anni di osservazioni disponibili		1951-77	
<b>Vara a Naseto</b>			
Bacino di dominio [km <sup>2</sup> ]		206	
Parte permeabile [%]		12	
Altitudine massima e media [m slm]	1640		801
Altezza idrometrica giornaliera massima e minima [m]	6,8		0,16
Portata giornaliera massima e minima [m <sup>3</sup> /s]	774		0,1
Anni di osservazioni disponibili		1951-77	

### 3. Analisi della disponibilità idrica a fini irrigui.

Nel caso irriguo è evidente che il periodo di massimo prelievo della risorsa idrica coincide con il periodo estivo in cui il deflusso in alveo raggiunge i minimi annuali (il bacino del Magra presenta un regime di tipo appenninico), mentre durante il resto dell'anno l'uso delle derivazioni per l'uso irriguo risulta limitato.

Per affrontare il tema della disponibilità idrica nei periodi siccitosi ci si riferisce all'abaco delle magre costruito per ogni stazione con i dati medi giornalieri delle portate.

Tali grafici riportano in ascisse il tempo di calendario [giorni] e in ordinate la portata [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]; le curve corrispondenti alle diverse probabilità (10%, 30%, 50%, 70%, 90%) sono costruite valutando per ogni serie delle portate medie giornaliere le corrispondenti distribuzioni di probabilità.

L'abaco delle magre esprime la probabilità che in un determinato giorno dell'anno la portata che si verifica sia inferiore a quella graficata.

La chiave di lettura è la seguente:

per la stazione di Calamazza il giorno 10 aprile la portata disponibile è pari a  $15.7 \text{ m}^3/\text{s}$  con un rischio del 10% di ottenere una portata inferiore mentre, accettando un margine di errore del 50%, la portata diventa  $36.6 \text{ m}^3/\text{s}$  (vedi esempio a pag 11).

Alle pagine 9-13 sono riportati gli abachi per le 5 stazioni analizzate:

per Calamazza e Piccatello l'abaco è costruito sull'intero anno mentre per le altre stazioni è riportato soltanto il periodo estivo, dal 15 maggio al 30 settembre, che copre comunque il periodo interessato dai prelievi irrigui.

Per permettere una maggiore leggibilità dei grafici alle pagine 14-18 sono restituiti gli abachi con le curve corrispondenti alle sole probabilità inferiori (10%, 30% e 50%).

Al fine della valutazione della risorsa idrica disponibile si può prendere ad esempio la stazione di Piccatello (pag 17):

dall'abaco risulta che una portata pari a  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$  è prelevabile per tutto l'anno con una probabilità di fallanza del 10% mentre assegnata una portata di  $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$  essa risulta garantita al 70% (ossia con una probabilità di insuccesso del 30%) dal 1 gennaio al 28 giugno e dal 1 novembre al 31 dicembre per un totale di 238 giorni.

### 4. Analisi della disponibilità idrica per uso idroelettrico.

Le caratteristiche di una utilizzazione per uso idroelettrico vengono tradizionalmente definite analizzando la curva di durata delle portate alla sezione di interesse.

La durata della generica portata  $Q$  è definita come il numero di giorni nell'anno non necessariamente consecutivi nei quali la portata media giornaliera ha assegnata probabilità di uguagliare o superare  $Q$ .

Per ciascuna stazione considerata sono state tracciate le curve di durata per ogni anno disponibi-

le utilizzando le serie storiche delle portate di varia durata (10, 30, 60, 91, 135, 182, 274, 355 giorni) pubblicate sugli annali idrologici parte II; analogamente sono state ricavate le curve di durata medie annuali per ogni stazione e per il periodo di anni disponibili effettuando una semplice media dei dati di portata annuali per assegnata durata.

Analizzando statisticamente le serie dei dati di portata per assegnata durata è stato possibile tracciare le curve di durata per assegnata probabilità (30%, 50%, 70%, 90%), con esse è anche rappresentata la curva di durata media che non necessariamente, come si può notare, coincide con la curva al 50%.

A titolo di esempio per la stazione di Calamazza una portata di 50 m<sup>3</sup>/s è garantita per 60 giorni all'anno con una probabilità di fallimento del 30% mentre la stessa portata con un rischio del 70 % risulta disponibile per 100 giorni l'anno (pag 40)

È interessante notare come le curve di durata delle stazioni considerate tendano comunque ad un valore di portata non nullo per una durata di 365 giorni, il che assicura che un deflusso in alveo sia comunque garantito per tutto l'anno.

Per verificare l'effettiva corrispondenza tra le curve di durata costruite con i dati di portata giornalieri e quelle costruite con i dati di portata per assegnata durata, per la stazione di Calamazza, è stato operato un confronto grafico tra le due curve; come si può vedere dal grafico riportato a pag 54 il raffronto risulta soddisfacente.

## 5. Analisi probabilistica dei deflussi di magra.

Nell'ambito dello studio delle derivazioni per uso idroelettrico, si è proceduto all'analisi probabilistica delle serie storiche delle portate per assegnata durata, utilizzando le distribuzioni dei valori estremi in particolare quelle di Gumbel del massimo e minimo valore.

L'espressione della funzione di distribuzione di probabilità nei due casi è la seguente:

- Gumbel del massimo valore

$$P(x)=\exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\}$$

con  $y=-\alpha(x-u)$  variabile ridotta

$$\alpha=1.2825/s \quad u=m-0.45s$$

m e s rispettivamente media e deviazione standard

- Gumbel minimo valore

$$P(x)=1-\exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\}$$

con  $y=-\alpha(x-u)$  variabile ridotta

$$\alpha=1.2825/s \quad u=m+0.45s$$

m e s rispettivamente media e deviazione standard

Dal confronto tra le due distribuzioni per la stazione di Calamazza per la durata di 364 giorni si ricava che quella che si adatta meglio ai dati storici risulta essere la distribuzione di Gumbel del massi-

mo valore (vd grafico pag 57).

Per ogni stazione per durata assegnata sono quindi state tracciate, su uno stesso grafico, la serie dei dati storici di portata e la corrispondente funzione di distribuzione di Gumbel del massimo valore (in ascisse figura la portata [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] e in ordinate  $-\ln(-\ln(P))$ ) (pag.55 e seguenti).

Analizzando ad esempio il grafico relativo alla stazione di Aulella a Soliera si deduce che una portata di 10.6 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] presenta una probabilità dell' 80% di non essere superata per 91 giorni all'anno (pag 55)

Per una interpretazione più rapida dei risultati ottenuti si è proceduto a tracciare le curve [durata; portata] per assegnata probabilità di non superamento (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%) per ogni stazione (pag 59 e seguenti)

## 6. Verifiche sul Deflusso Minimo Vitale.

Il concetto di deflusso minimo vitale è stato introdotto dalla legge 183/89 la quale indica tra gli obiettivi dell'attività di programmazione, pianificazione e attuazione "la razionale utilizzazione delle risorse idriche superficiali e profonde (..) garantendo comunque che l'insieme delle derivazioni non pregiudichi il minimo deflusso costante vitale negli alvei sottesi".

È chiaro come il DMV si ponga in termini di limitazione nell'ambito delle derivazioni mentre per la vita del corso d'acqua il DMV rappresenta lo scopo cui tendere.

I metodi per la valutazione del DMV sono molteplici e variano da quelli che si basano esclusivamente sulle caratteristiche biologiche ottimali per la sopravvivenza delle specie presenti nel corso d'acqua a quelli che prendono in considerazione i soli dati idrologici quali, ad esempio, la portata media.

Nell'ambito di questo studio si è scelto di stimare uno dei DMV basato su dati idrologici più citati in letteratura: il  $Q_{7,10}$  ossia la minima portata media di sette giorni consecutivi (media mobile) con tempo di ritorno di 10 anni, quindi attraverso un'analisi di tipo idrologico.

Il procedimento è stato applicato ai dati di portata media giornaliera della stazione di Calamazza, ottenendo un DMV pari a 8.06  $\text{m}^3/\text{s}$ ; la conoscenza di questo parametro permette di effettuare un confronto tra la portata naturale in alveo, la portata prelevata dalle derivazioni idriche e la portata necessaria per la sopravvivenza del fiume e delle specie.

### *Derivazioni per uso idroelettrico*

Basandosi sulle curve ottenute dall'elaborazione probabilistica attraverso la distribuzione di Gumbel per la stazione di Calamazza si osserva che la portata di 8.06  $\text{m}^3/\text{s}$  è garantita al 20% per 270 giorni mentre con un rischio dell'80% è assicurata per 335 giorni (pag. 63)

Rifacendosi alle simulazioni delle derivazioni idriche riportate nel Progetto di Piano Stralcio di Bacino, in particolare a quella sul fiume Magra in località Chiesaccia (Villafranca Lunigiana), la cui portata è ottenuta da quella di Calamazza riscalandola sull'area, il deflusso minimo vitale risulta essere il seguente:

$$DMV_{base} = 4.43 \text{ l/(s km}^2\text{)} \quad DMV_{max} = 8.81 \text{ l/(s km}^2\text{)} \quad DMV_{medio} = 5.87 \text{ l/(s km}^2\text{)}$$

Il DMV calcolato per unità di area riferendosi invece al  $Q_{7,10}$  risulta essere  $8.58 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ .

Come ulteriore elaborazione è stato quantificato il DMV specifico per la stazione di Piccatello, espresso come  $Q_{7,10}$ : esso risulta pari a  $13.8 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2\text{)}$ ; i DMV indicati nel Progetto di Piano Stralcio di Bacino per le tre località di 1)Valscura, 2)Molinello e 3)Borra di Ferro le cui portate sono ottenute da quella di Piccatello riscalandola sull'area sono i seguenti:

$$\begin{array}{lll} 1) DMV_{base} = 5.31 \text{ l/(s km}^2\text{)} & DMV_{max} = 12.75 \text{ l/(s km}^2\text{)} & DMV_{medio} = 7.05 \text{ l/(s km}^2\text{)} \\ 2) DMV_{base} = 8.13 \text{ l/(s km}^2\text{)} & DMV_{max} = 19.46 \text{ l/(s km}^2\text{)} & DMV_{medio} = 9.85 \text{ l/(s km}^2\text{)} \\ 3) DMV_{base} = 5.26 \text{ l/(s km}^2\text{)} & DMV_{max} = 10.90 \text{ l/(s km}^2\text{)} & DMV_{medio} = 6.62 \text{ l/(s km}^2\text{)} \end{array}$$

### *Derivazioni per uso irriguo*

Le simulazioni per stabilire il DMV nel caso irriguo effettuate nel Progetto di Piano Stralcio di Bacino si riferiscono alla stazione di Bagnone a Bagnone e individuano una portata massima derivabile pari a  $200 \text{ l/s}$  ed una portata minima di rilascio ecologico pari a  $195 \text{ l/s}$  (accettando un sacrificio ecologico più elevato rispetto al caso idroelettrico).

Considerando l'abaco delle magre della stazione di Bagnone a Bagnone una portata di  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$  risulta disponibile per tutto l'anno (pag. 10).

La portata che risulterebbe garantita al 10 % è  $300 \text{ l/s}$ , mentre la somma tra la portata massima derivabile e quella minima di rilascio ecologico è  $400 \text{ l/s}$ , questo significa che in alcuni periodi dell'anno sembrerebbe esserci un deficit, in realtà visto lo sfasamento il deficit sarà minore di  $100 \text{ l/s}$  e commisurato alle effettive disponibilità.

## **7. Conclusioni.**

Il bacino del fiume Magra presenta un regime idrologico di tipo appenninico con periodi di magra concentrati nei mesi estivi quando anche gli afflussi meteorici raggiungono i minimi annuali.

In ogni caso l'analisi effettuata permette di stabilire che in alveo è naturalmente garantita, anche nei periodi più siccitosi, la presenza di un deflusso non nullo.

Si nota come la valutazione del DMV effettuata tramite considerazioni di tipo idrologico confermi sostanzialmente il valore del DMV ottenuto con le simulazioni sviluppate nel Progetto di Piano Stralcio di bacino.

### **Allegato:**

#### **Procedura indicativa per il rilascio delle concessioni idriche**

Nell'ambito del rilascio delle concessioni idriche per uso idroelettrico, si può procedere nel modo seguente:

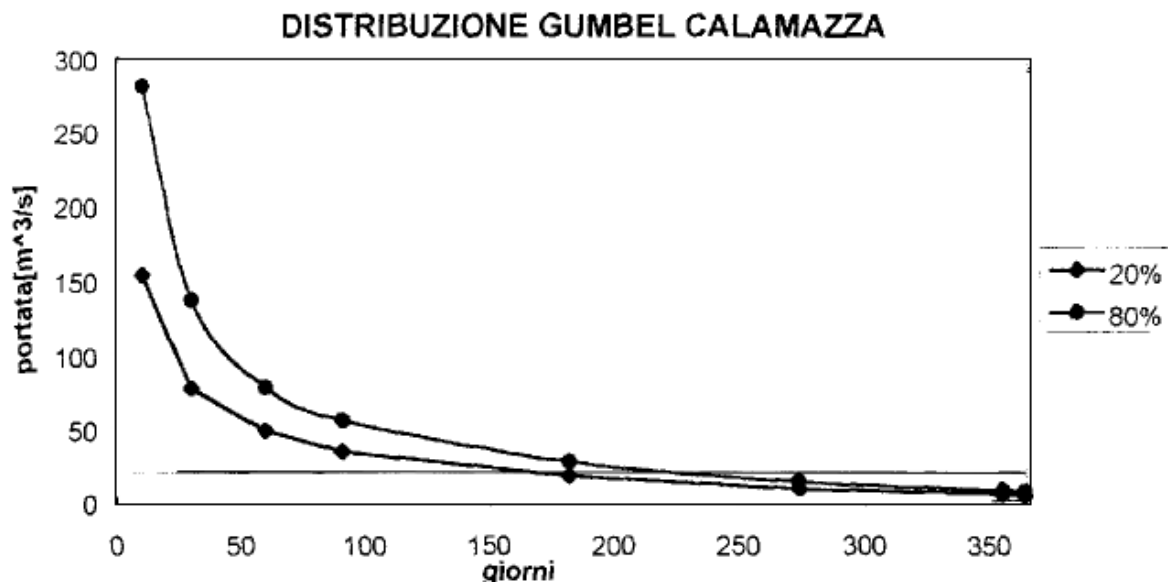
si individua la stazione tra quelle analizzate nello studio (Calamazza, Piccatello, Bagnone, Vara a Naseto e Aulella a Soliera) il cui regime idrico può essere rappresentativo in misura maggiore del regime in corrispondenza della derivazione (sia per vicinanza geografica sia per appartenenza alla stessa asta fluviale).

A questo punto si identifica il valore del DMV indicato nel Progetto di Piano Stralcio di Bacino relativo alla zona interessata dalla derivazione e lo si somma alla portata che si intende derivare ( $DMV + Q_{der} = Q_{tot}$ ).

Si considerano successivamente le curve di durata al 20% e 80% ricavate tramite l'elaborazione probabilistica e si riporta sullo stesso grafico la retta corrispondente a  $Q_{tot}$ ; se la retta interseca la curva al 20% in corrispondenza di un numero di giorni maggiore o uguale di **200** (cioè se la portata è garantita per almeno 300 giorni l'anno, con un rischio del 20% di avere una portata minore) e quella all'80% in corrispondenza di un numero di giorni maggiore o uguale a **300**, la richiesta di derivare quella portata può essere accettata; in caso contrario la richiesta di derivazione non può essere soddisfatta.

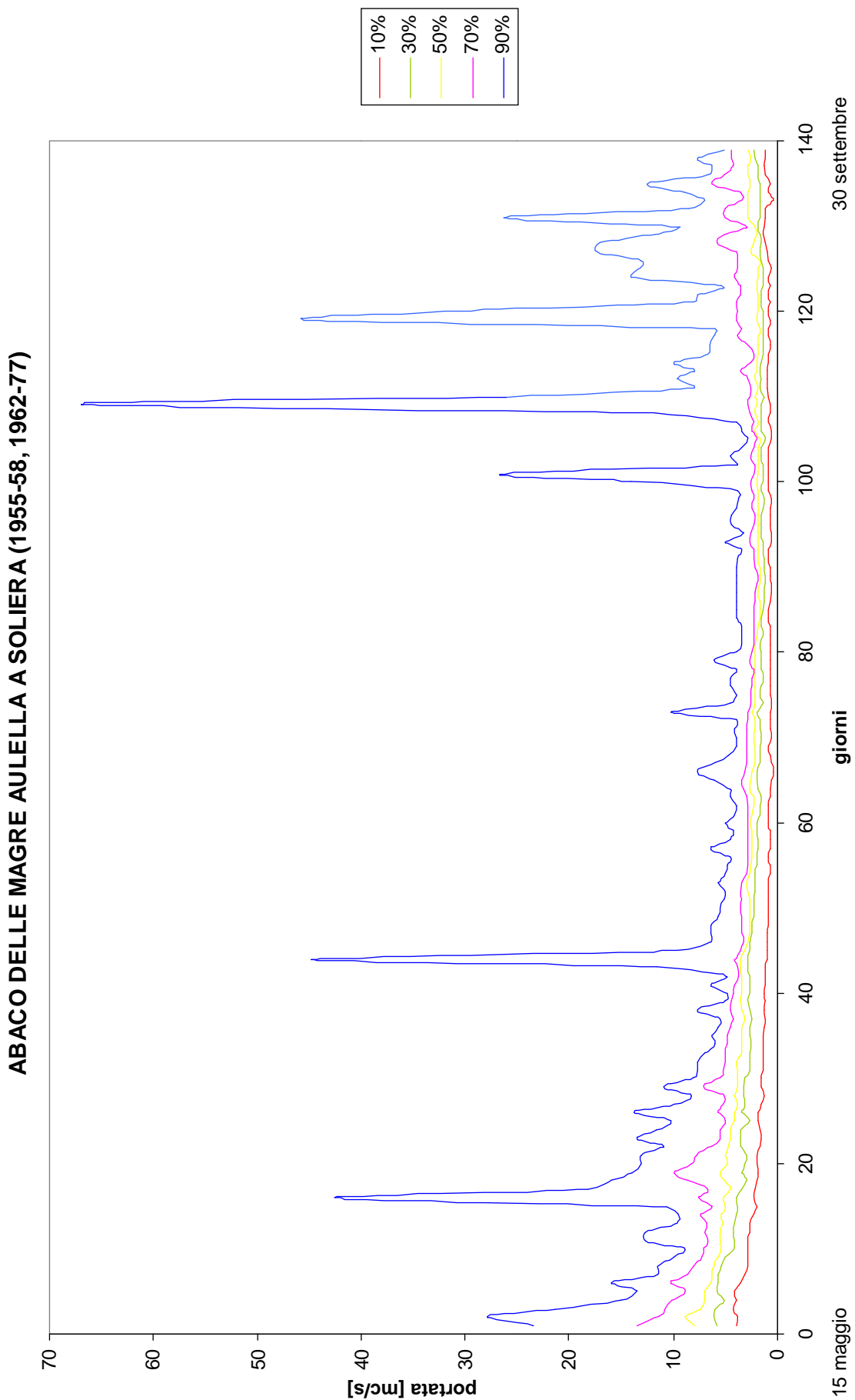
Come esempio si può trattare il caso di una derivazione di 10 mc/s in prossimità della stazione di Calamazza; il Progetto di Piano Stralcio prevede un  $DMV_{max}$  di 8,81 l/(s·kmq) il quale va riscaldato con il valore dell'area di bacino sottesa in corrispondenza della stazione di Calamazza (939 kmq) ottenendo così un DMV pari a 8,3 mc/s.

La portata totale  $Q_{tot}$  risulta essere pari a 18,3 mc/s, la quale va riportata sul grafico seguente; in questo caso si può notare come la richiesta di derivazione non si mantenga entro i limiti stabiliti e quindi non possa essere soddisfatta.

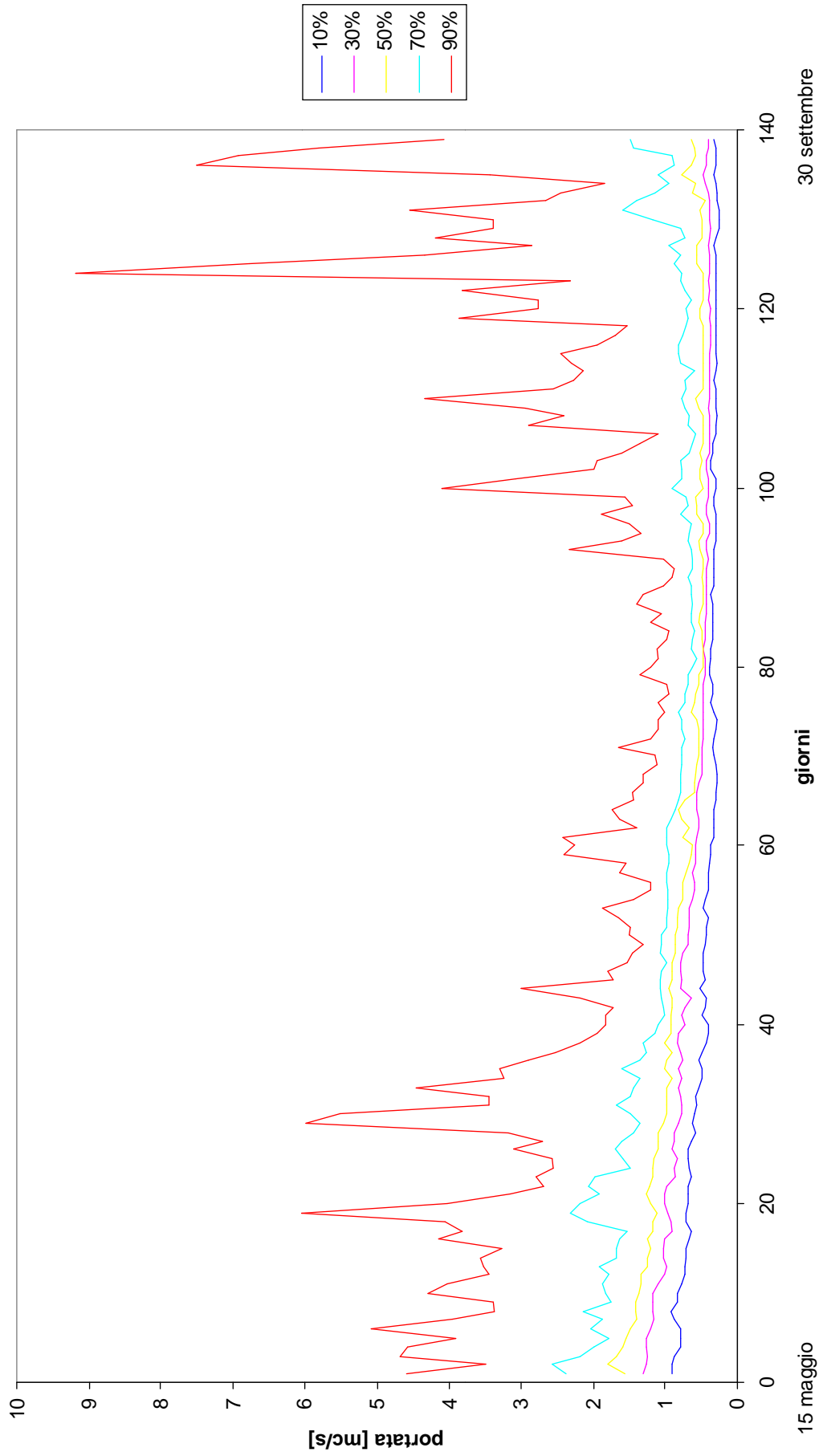


Nel caso di derivazione per uso irriguo si fa riferimento all'abaco delle magre della stazione interessata dalla derivazione entrando anche in questo caso nel grafico con la portata risultante dalla somma del DMV e della portata che si vuole derivare.

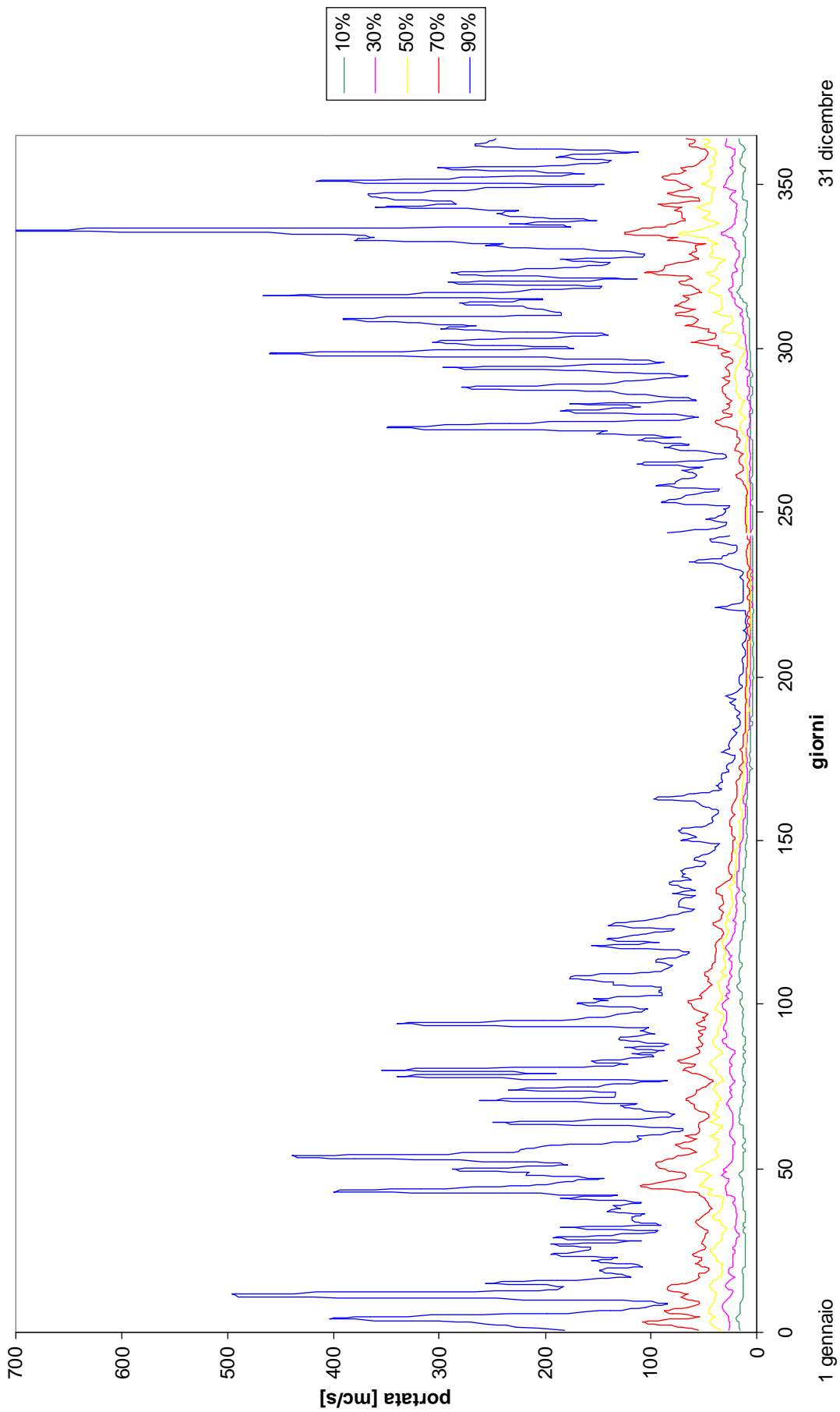
Se tale portata risulta disponibile almeno per **100** giorni l'anno la derivazione potrebbe essere concessa.



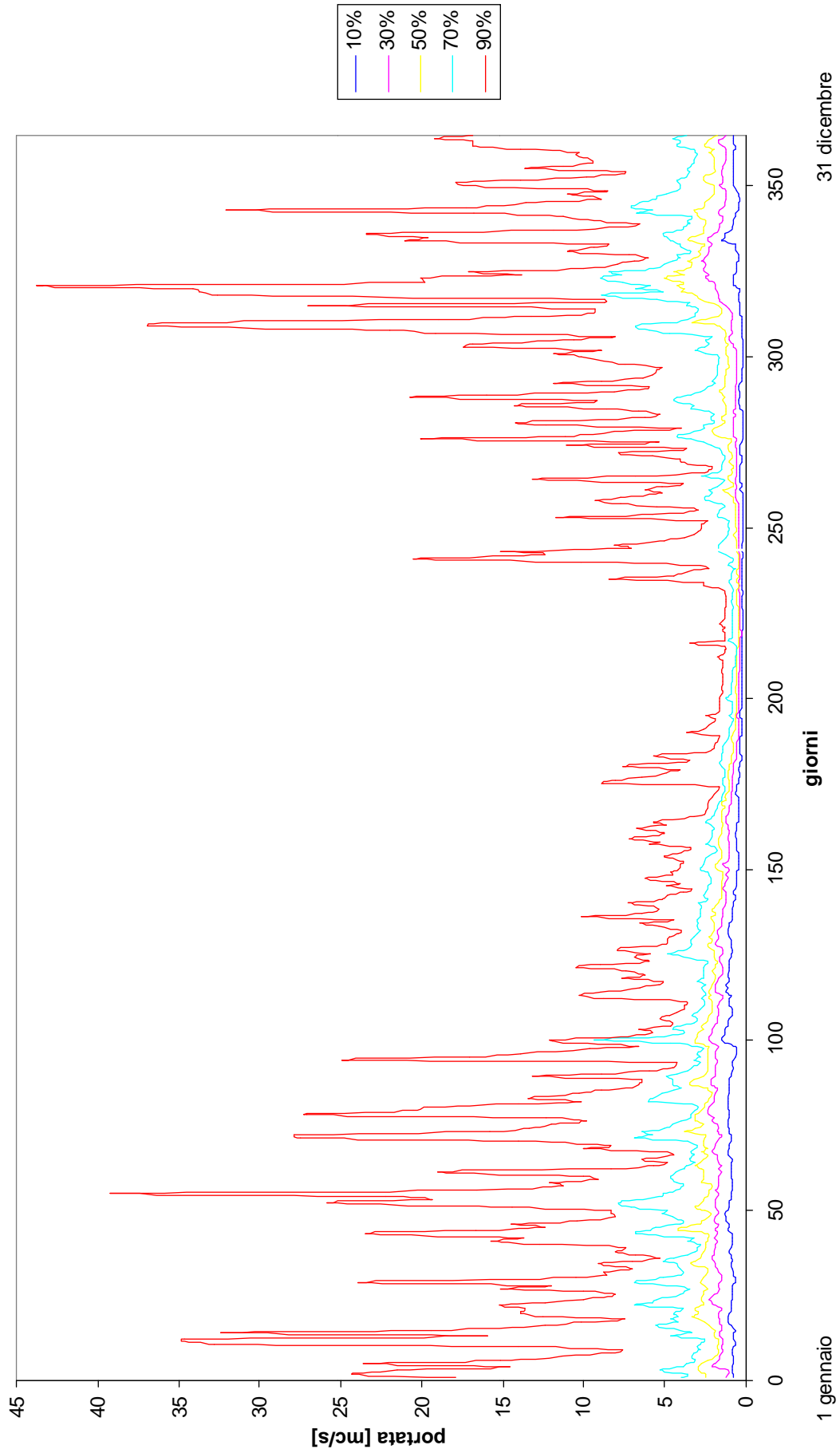
**ABACO DELLE MAGRE BAGNONE A BAGNONE (1951-77)**

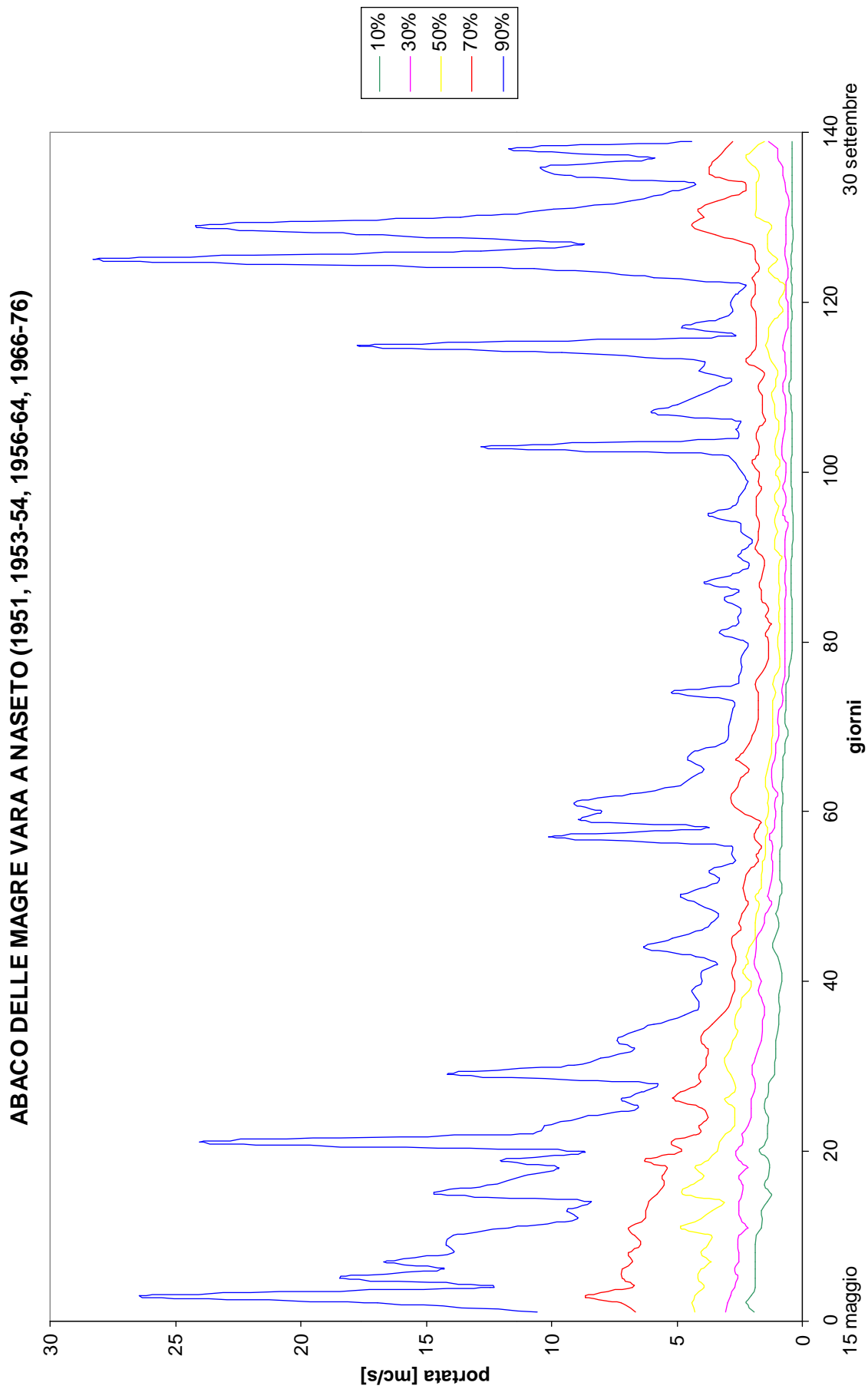


**ABACO DELLE MAGRE CALAMAZZA (1951-77)**

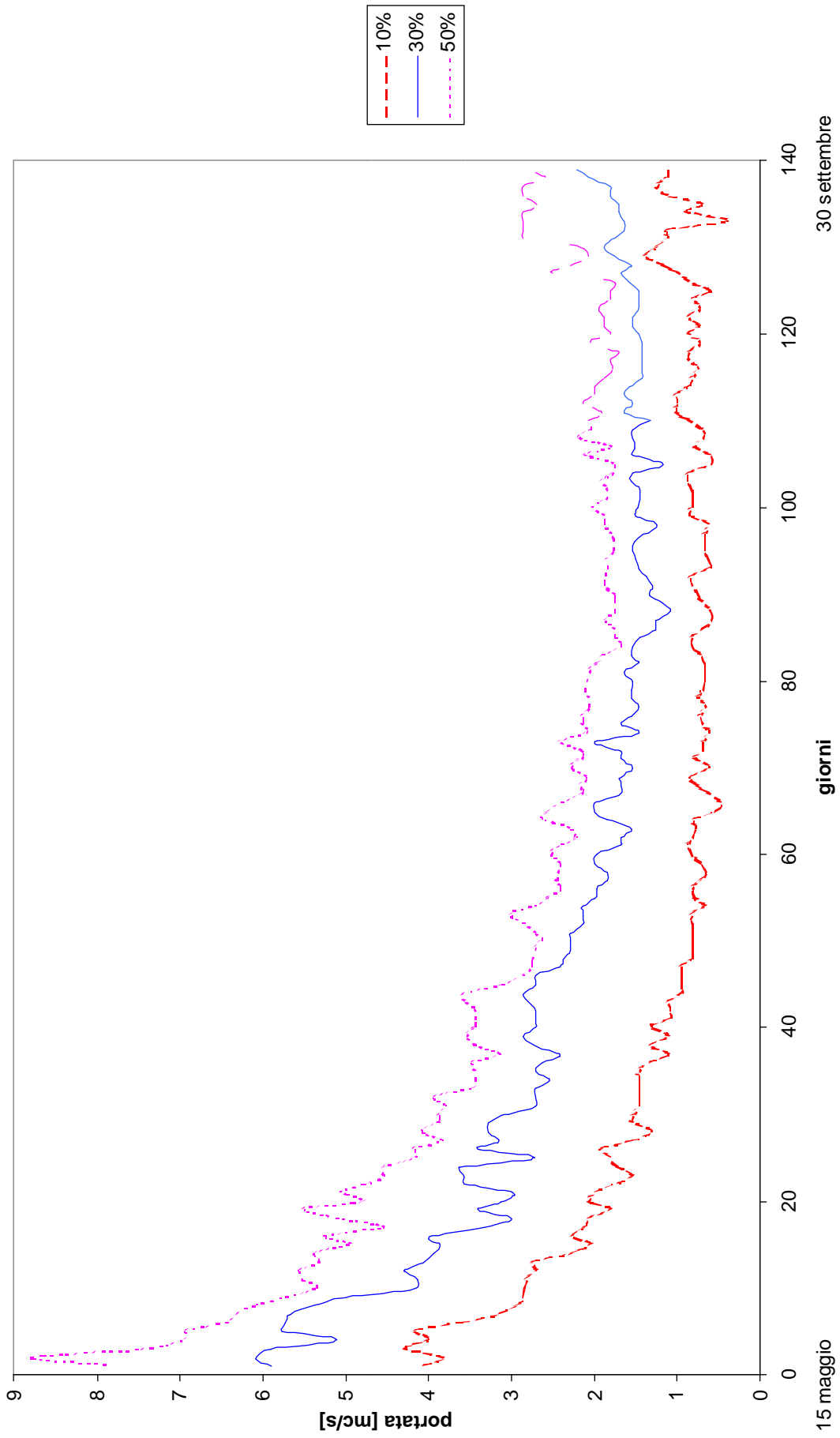


**ABACO DELLE MAGRE PICCATELLO (1934, 1940, 1965-77)**

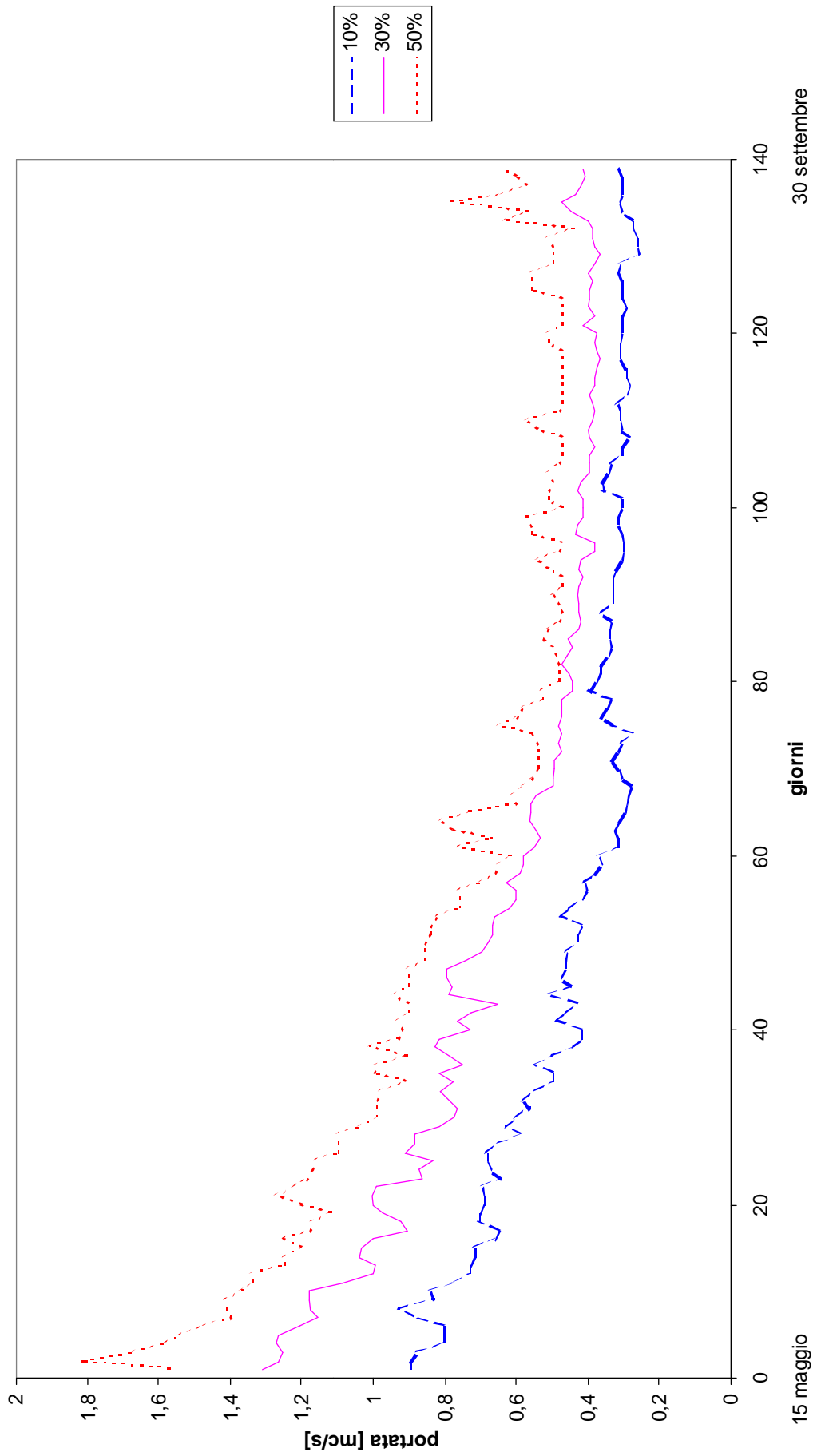




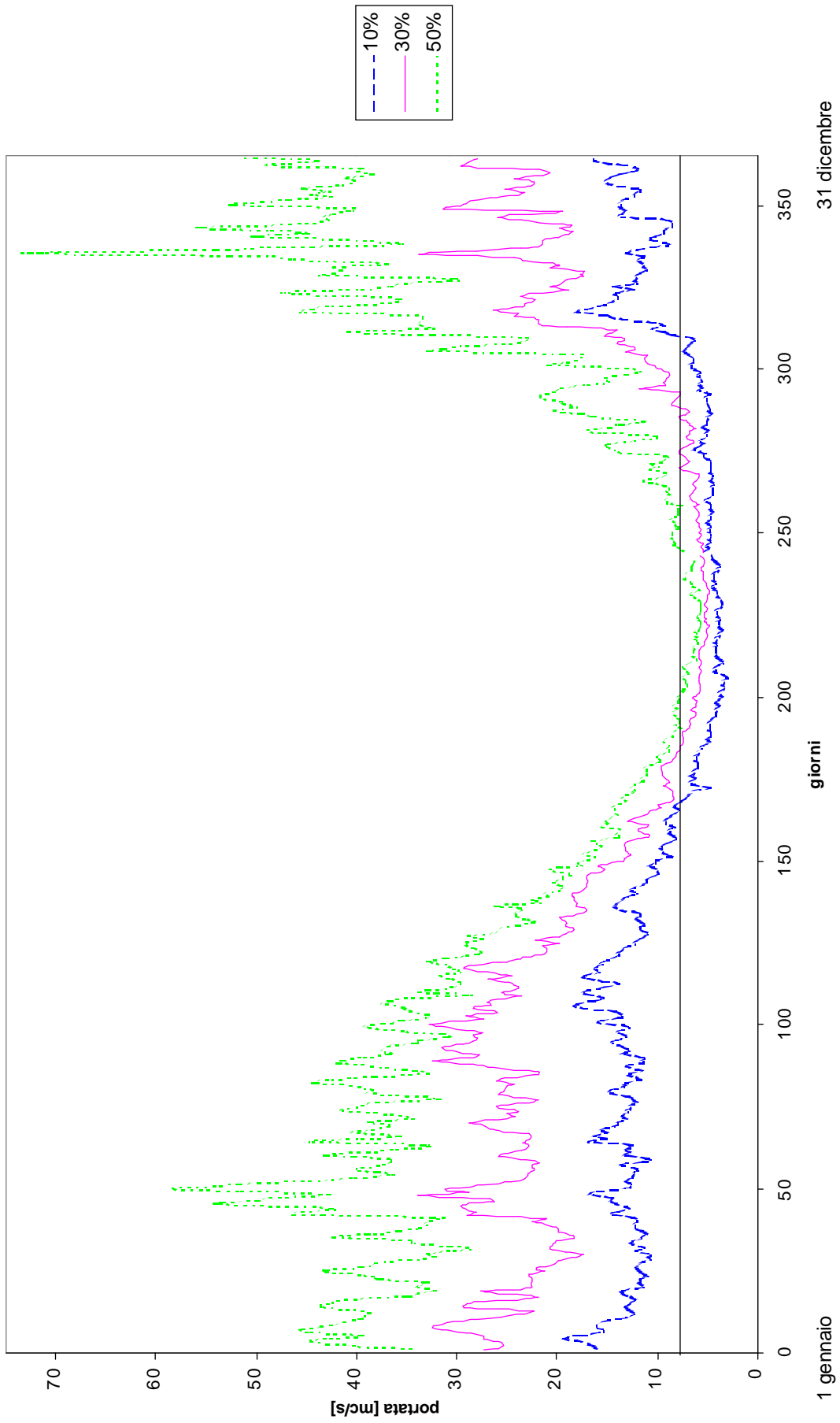
**ABACO DELLE MAGRE AULELLA A SOLIERA (1955-58, 1962-77)**



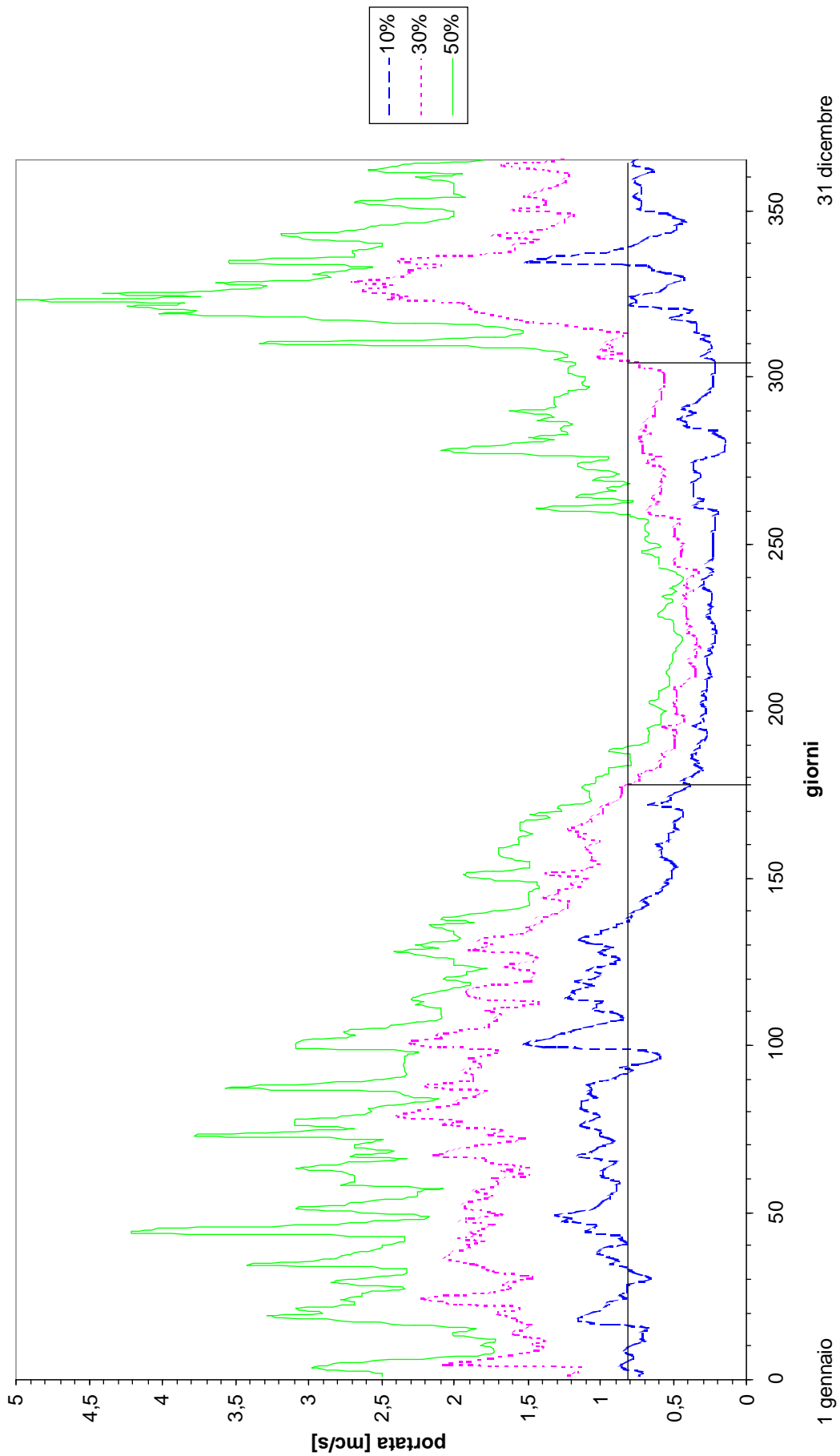
**ABACO DELLE MAGRE BAGNONE A BAGNONE (1951-77)**



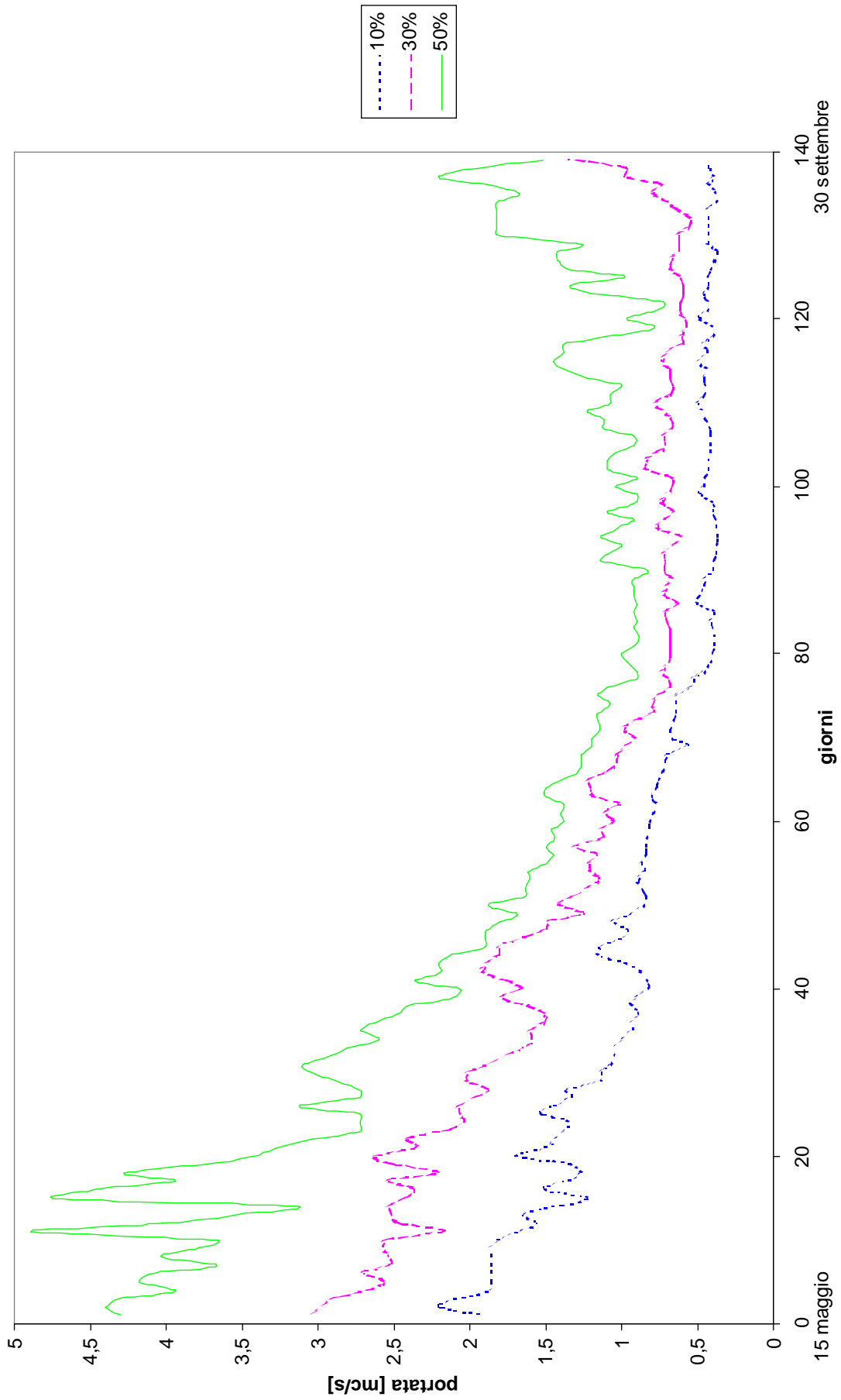
**ABACO DELLE MAGRE CALAMAZZA (1951-77)**



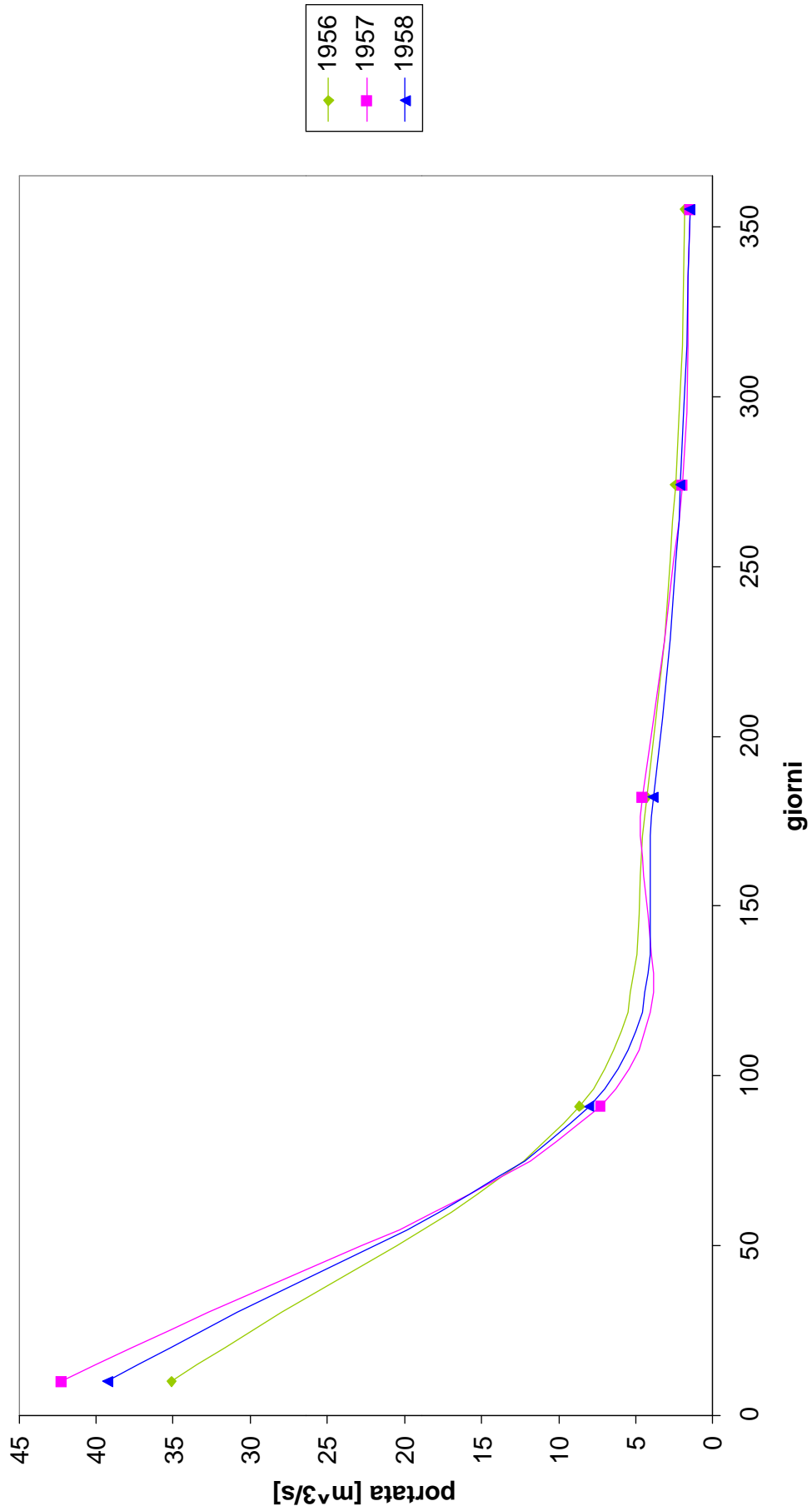
**ABACO DELLE MAGRE PICCATELLO (1934, 1940, 1965-77)**



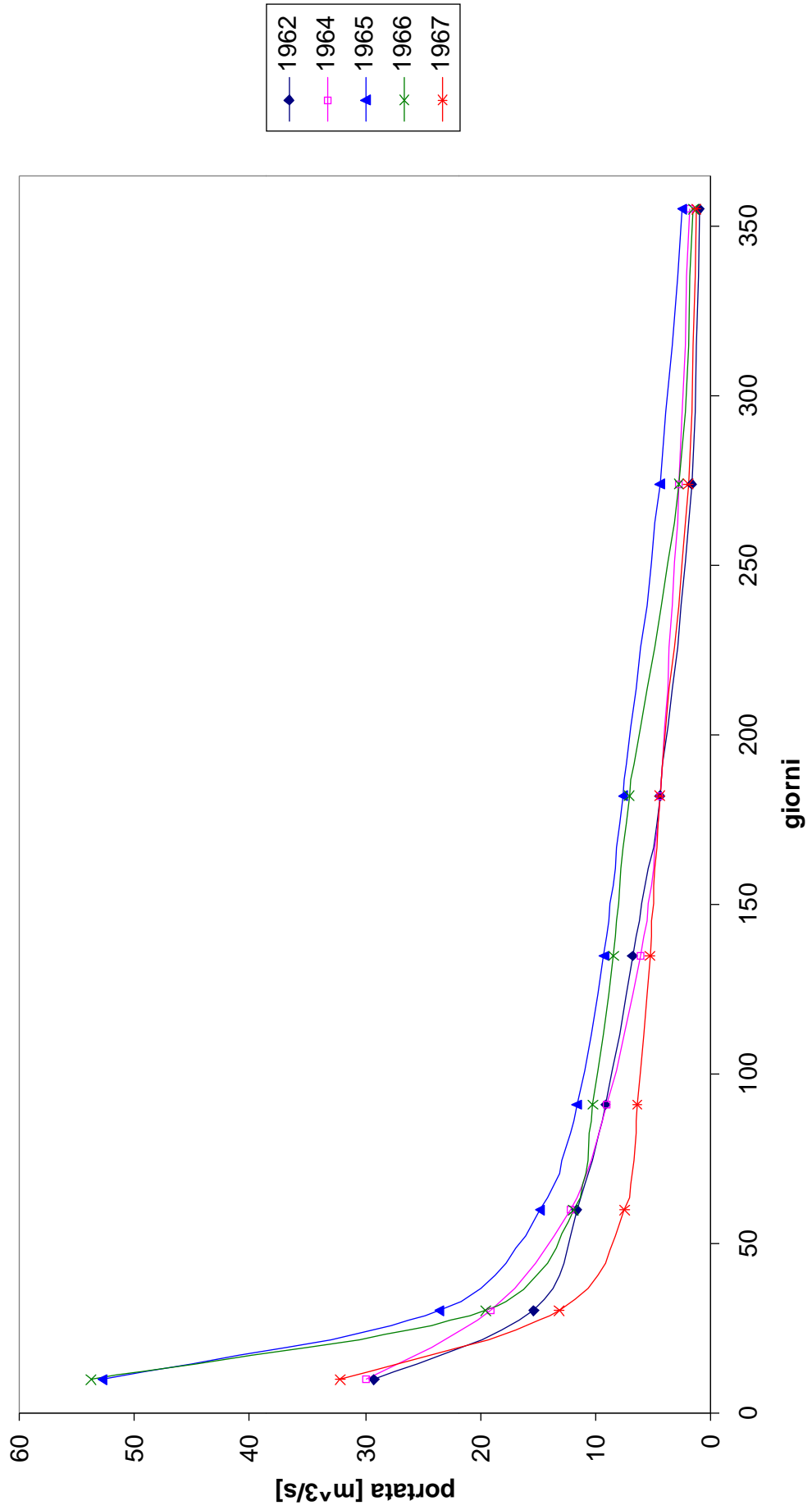
**ABACO DELLE MAGRE VARA A NASETO (1951, 1953-54, 1956-64, 1966-76)**



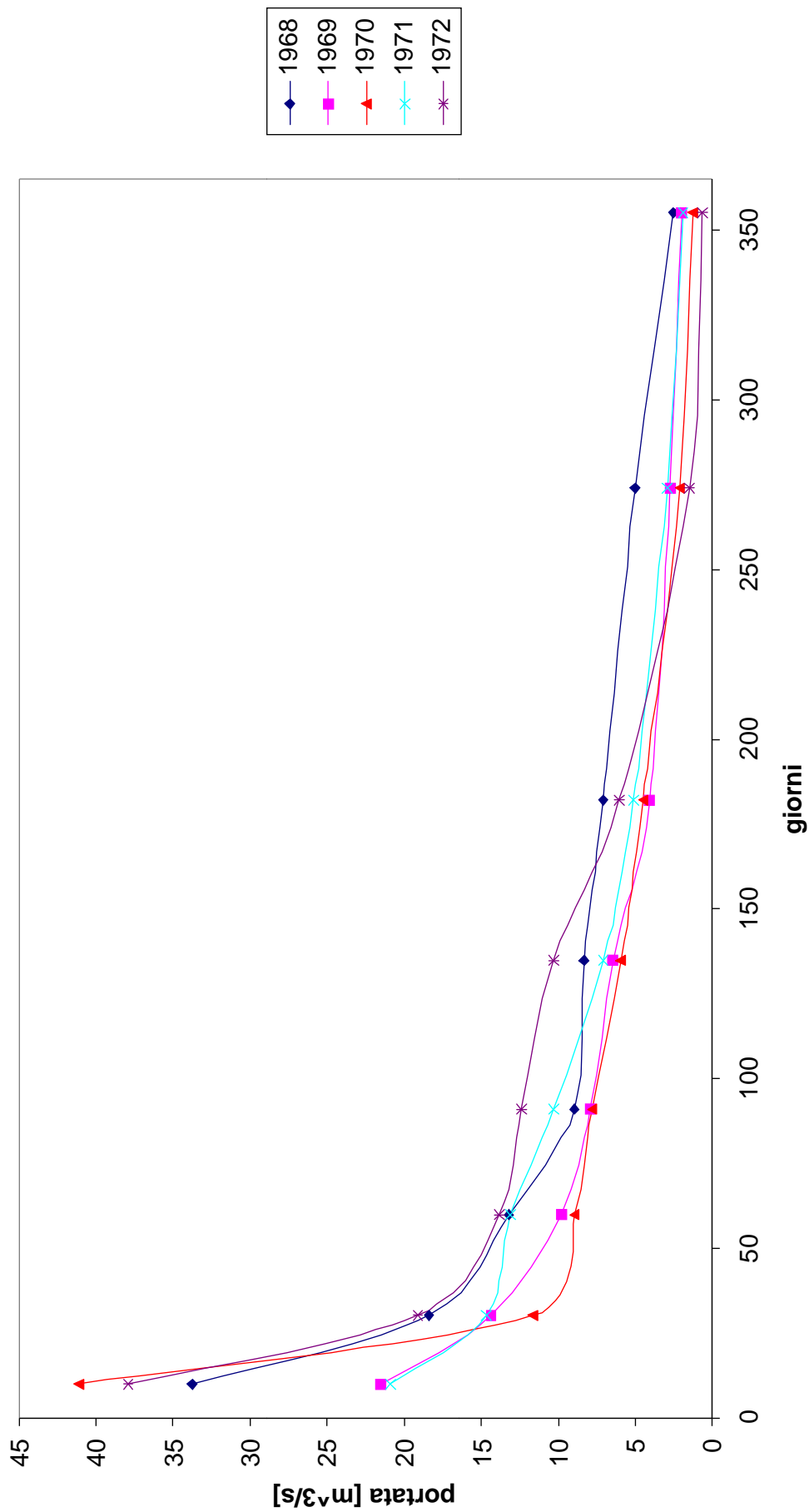
curve di durata annuali (Aulella a Soliera)



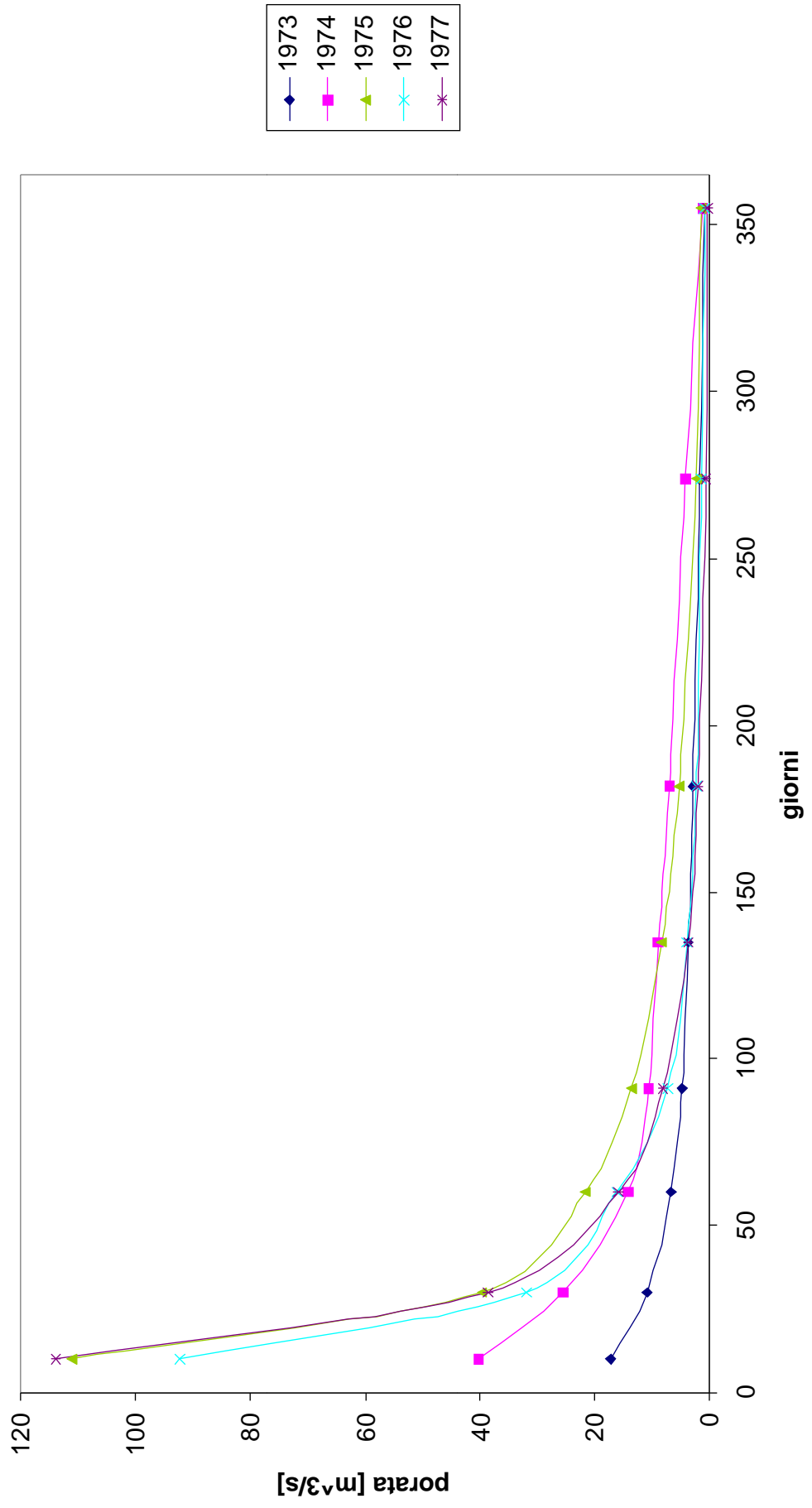
curve di durata annuali (Aulella a Soliera)



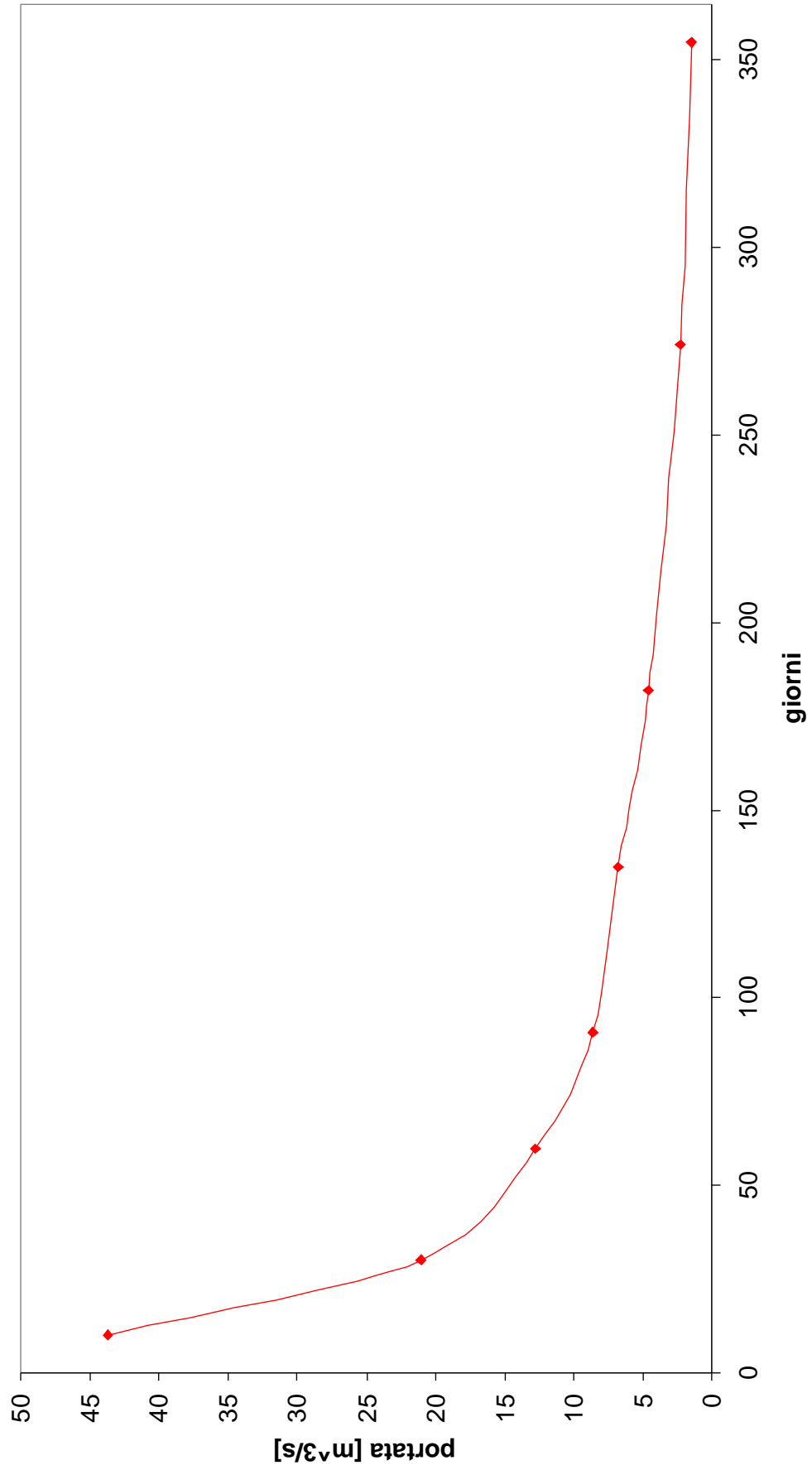
curve di durata annuali (Aulella a Soliera)



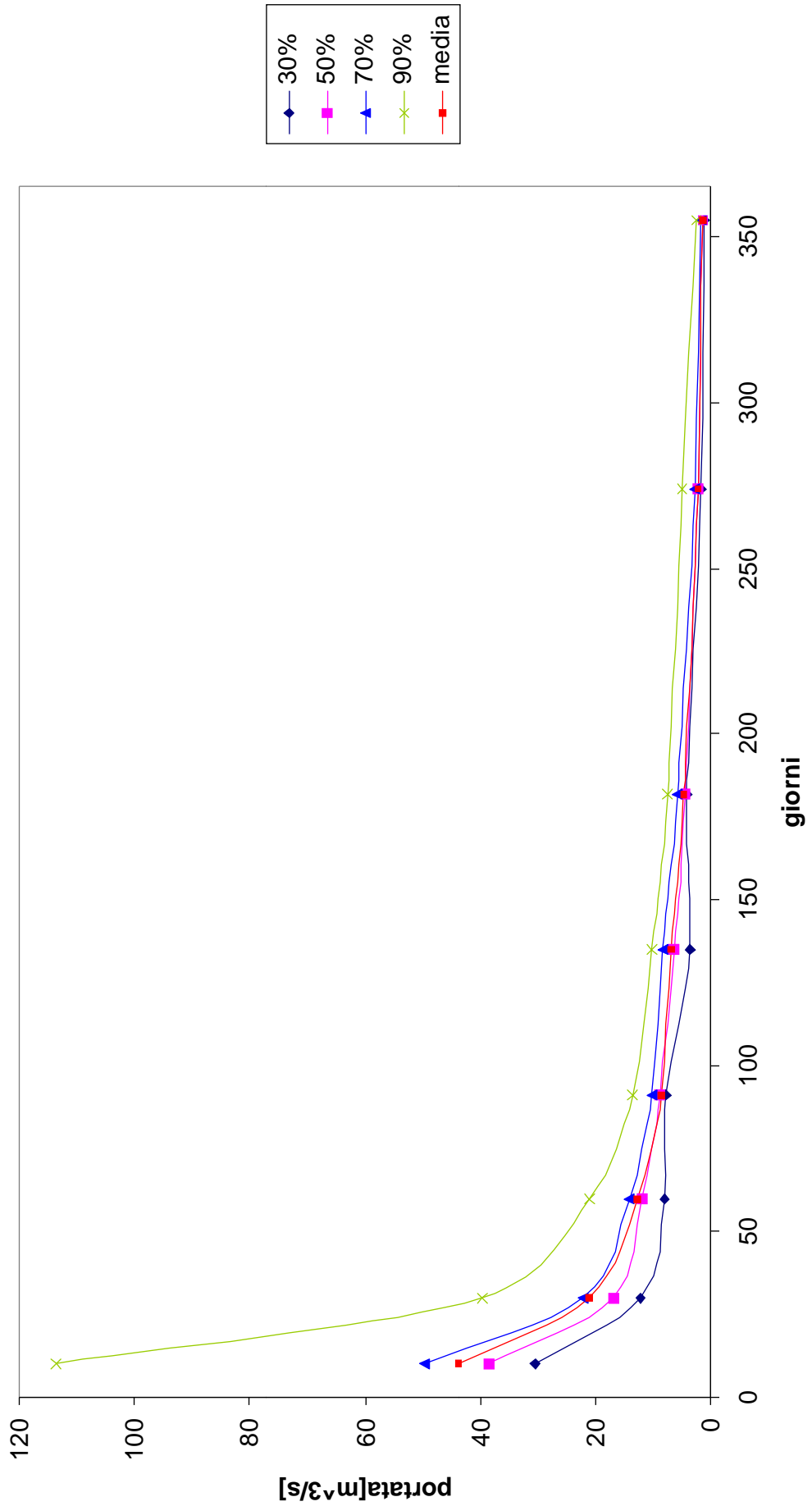
curve di durata annuali (Aulella a Soliera)



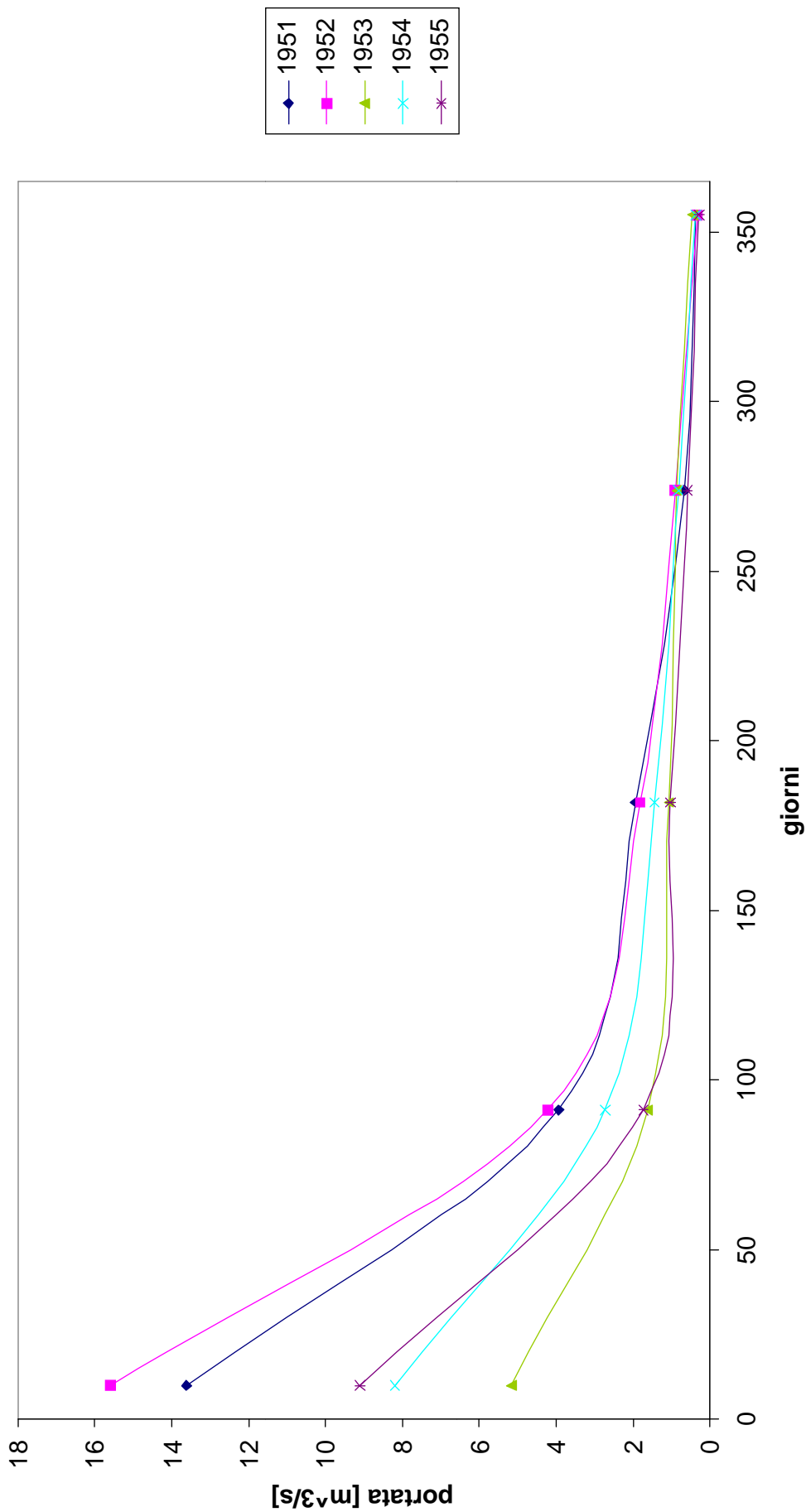
**curva di durata media Aulella a Soliera (1956-58, 1962, 1964-77)**



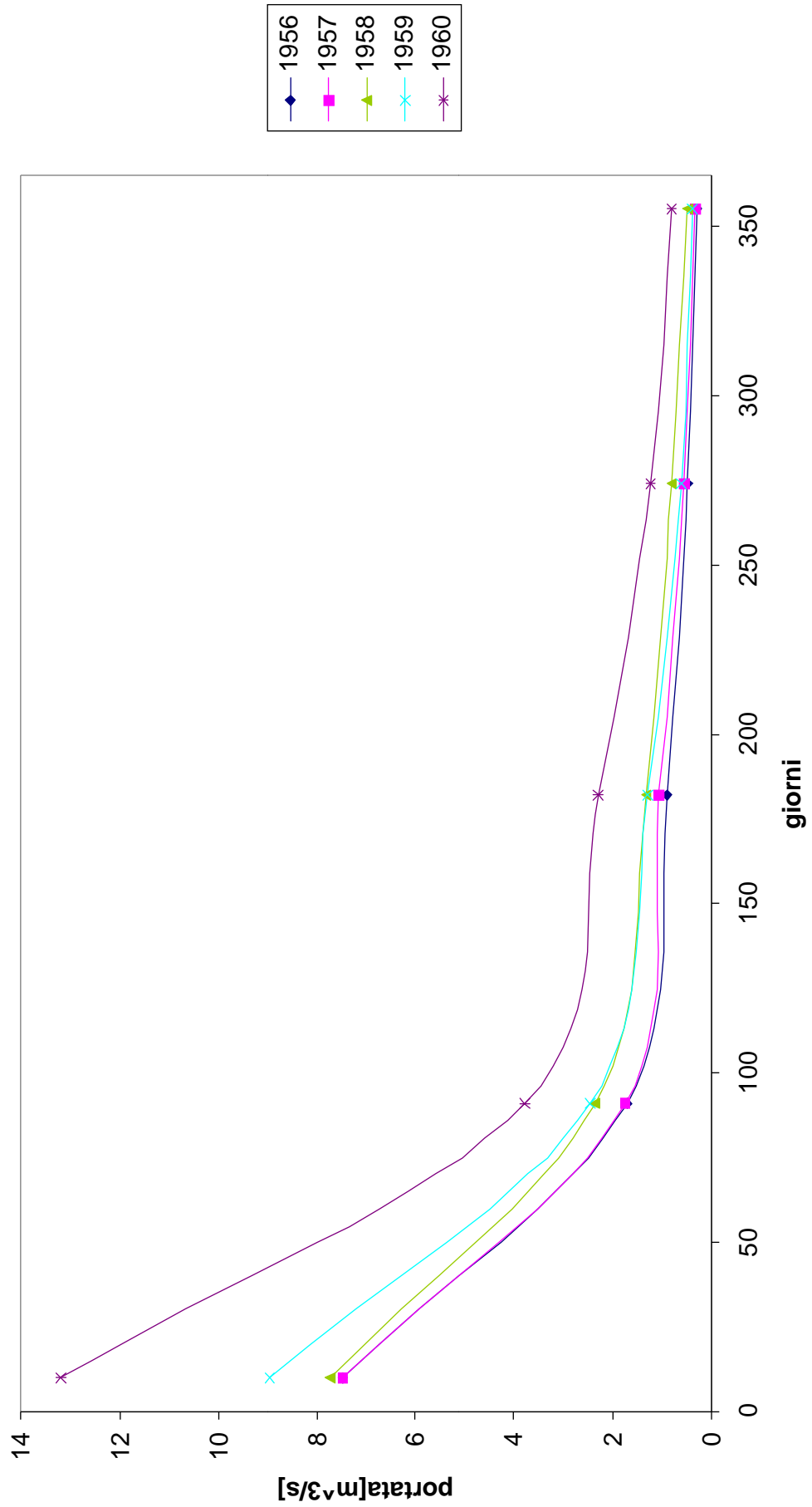
curve di durata con assegnata probabilità (Aulella a Soliera)



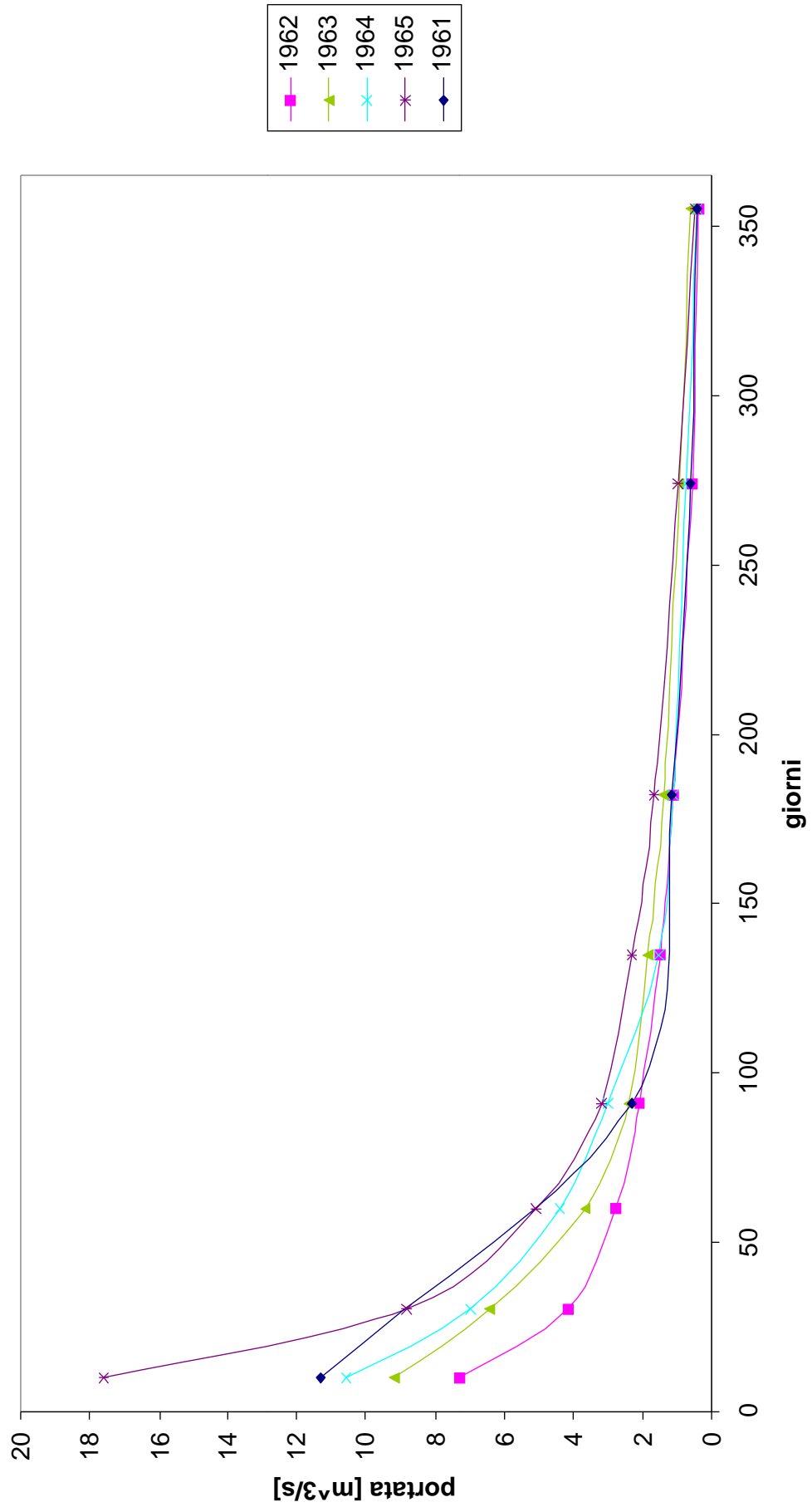
curve di durata annuali (Bagnone a Bagnone)



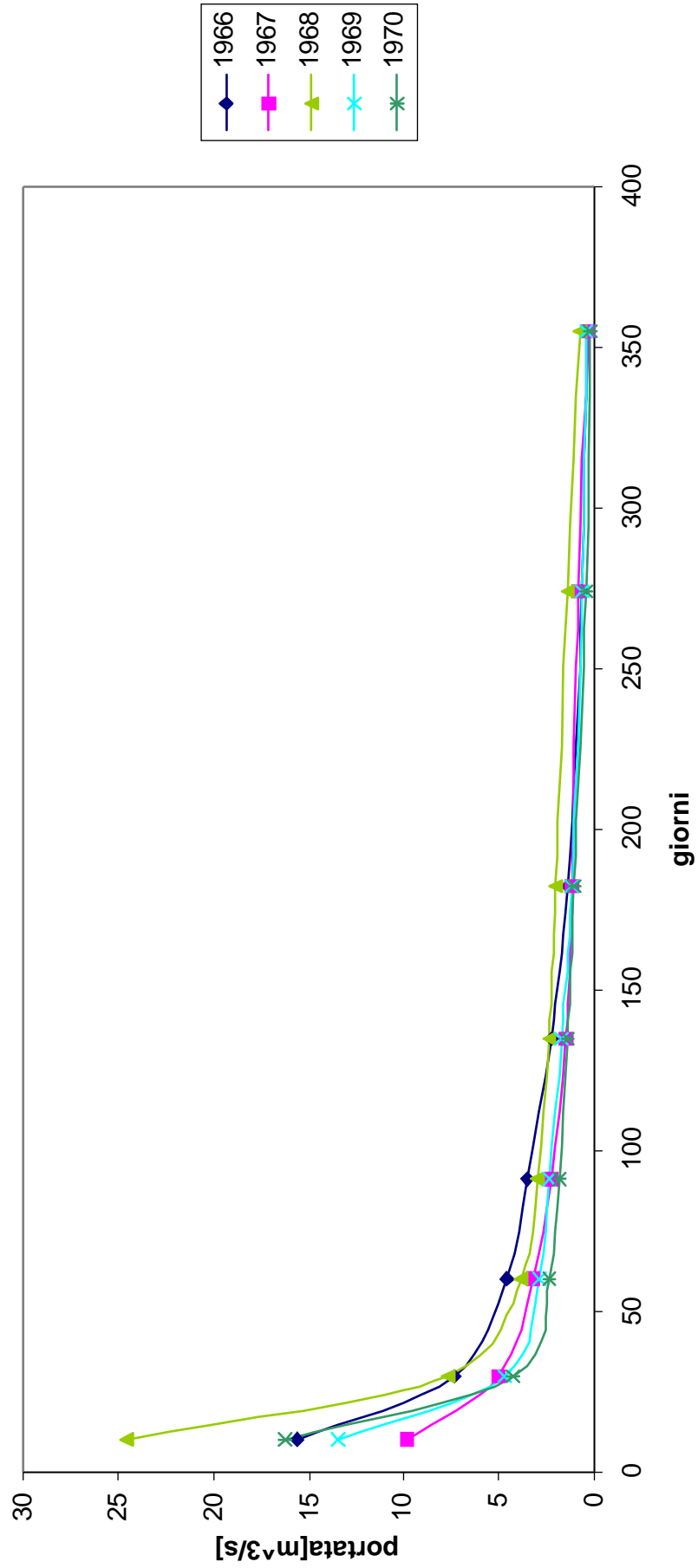
curve di durata annuali (Bagnone a Bagnone)



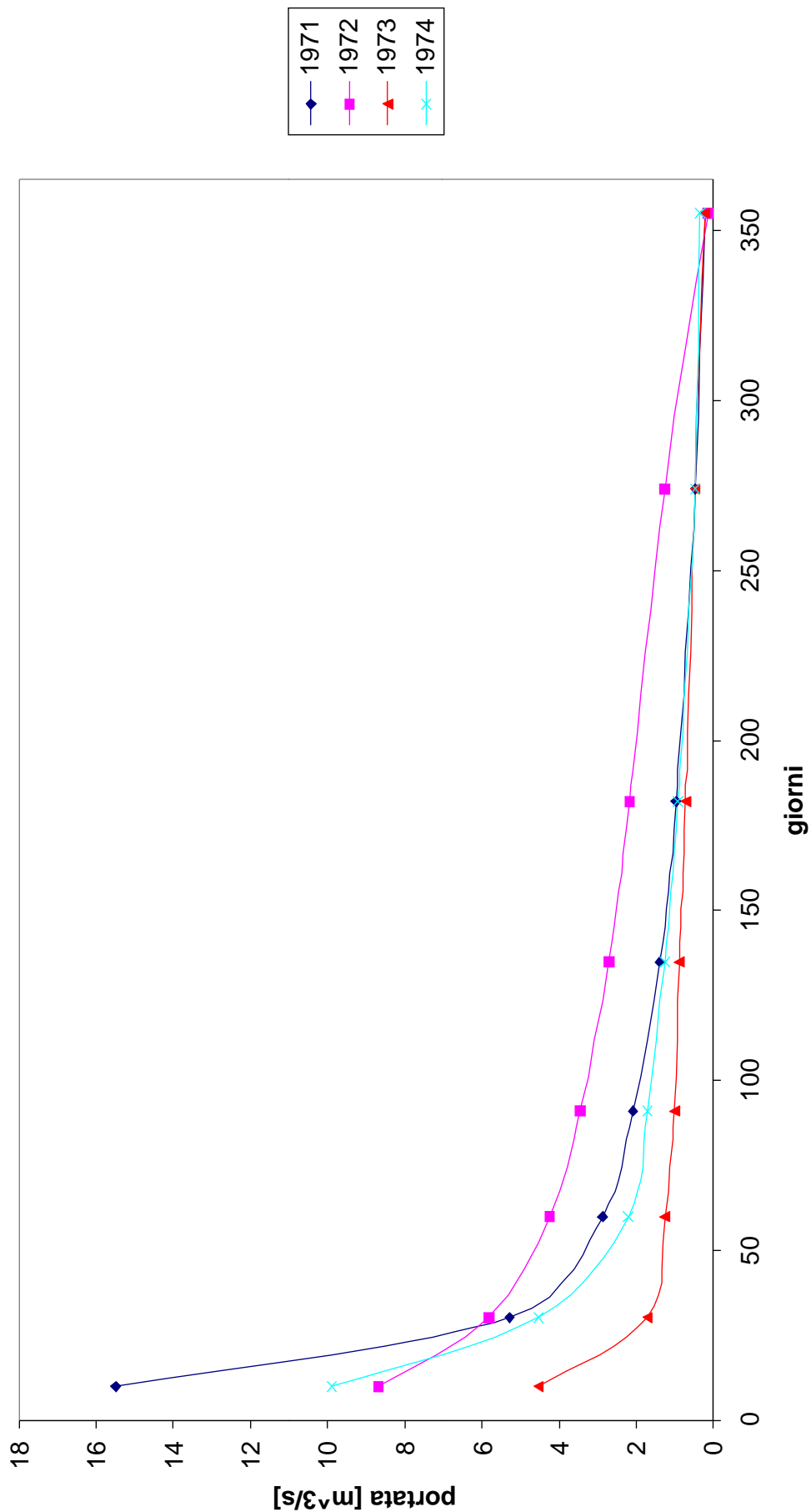
curve di durata annuali (Bagnone a Bagnone)



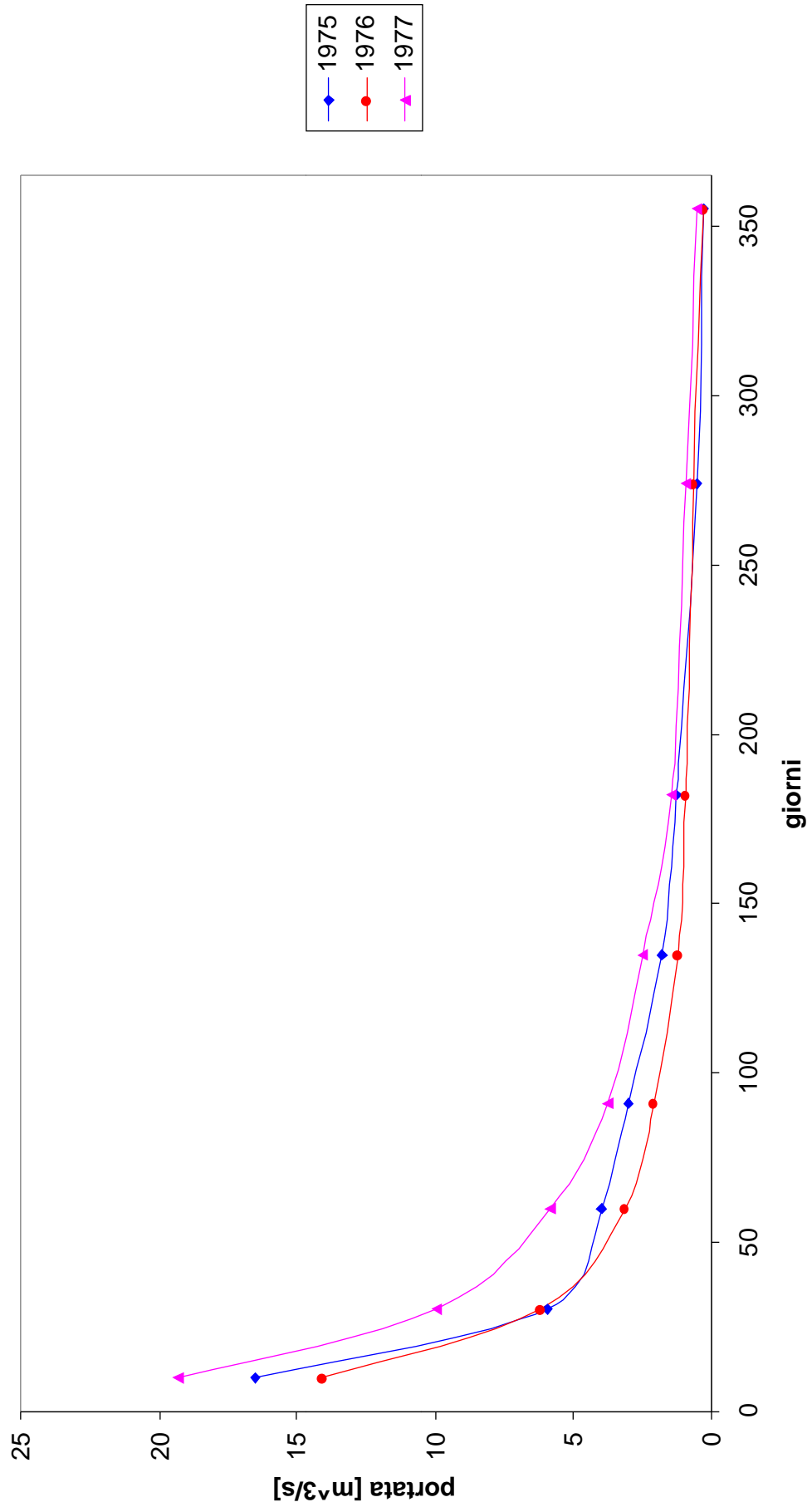
curve di durata annuali (Bagnone a Bagnone)



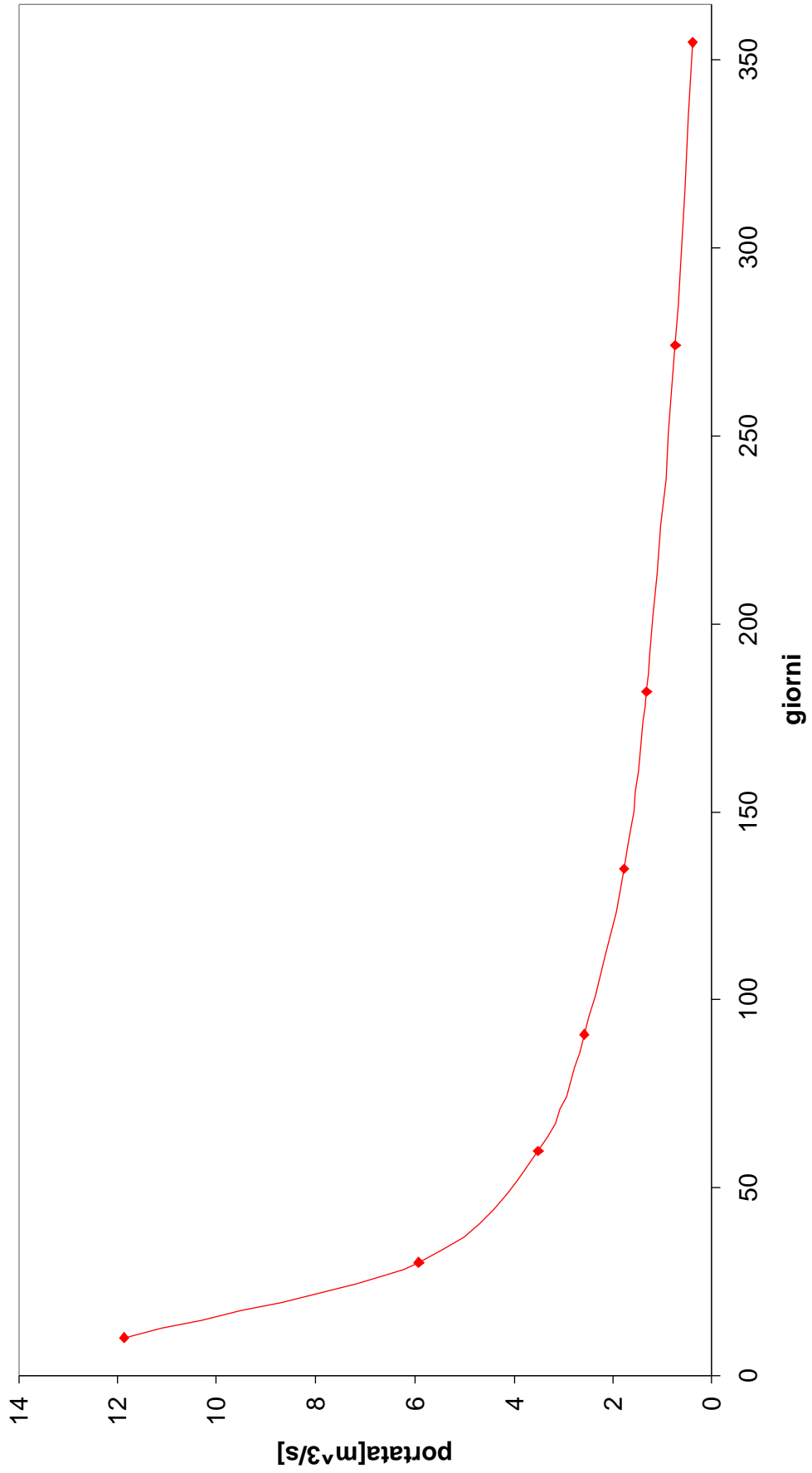
curve di durata annuali (Bagnone a Bagnone)



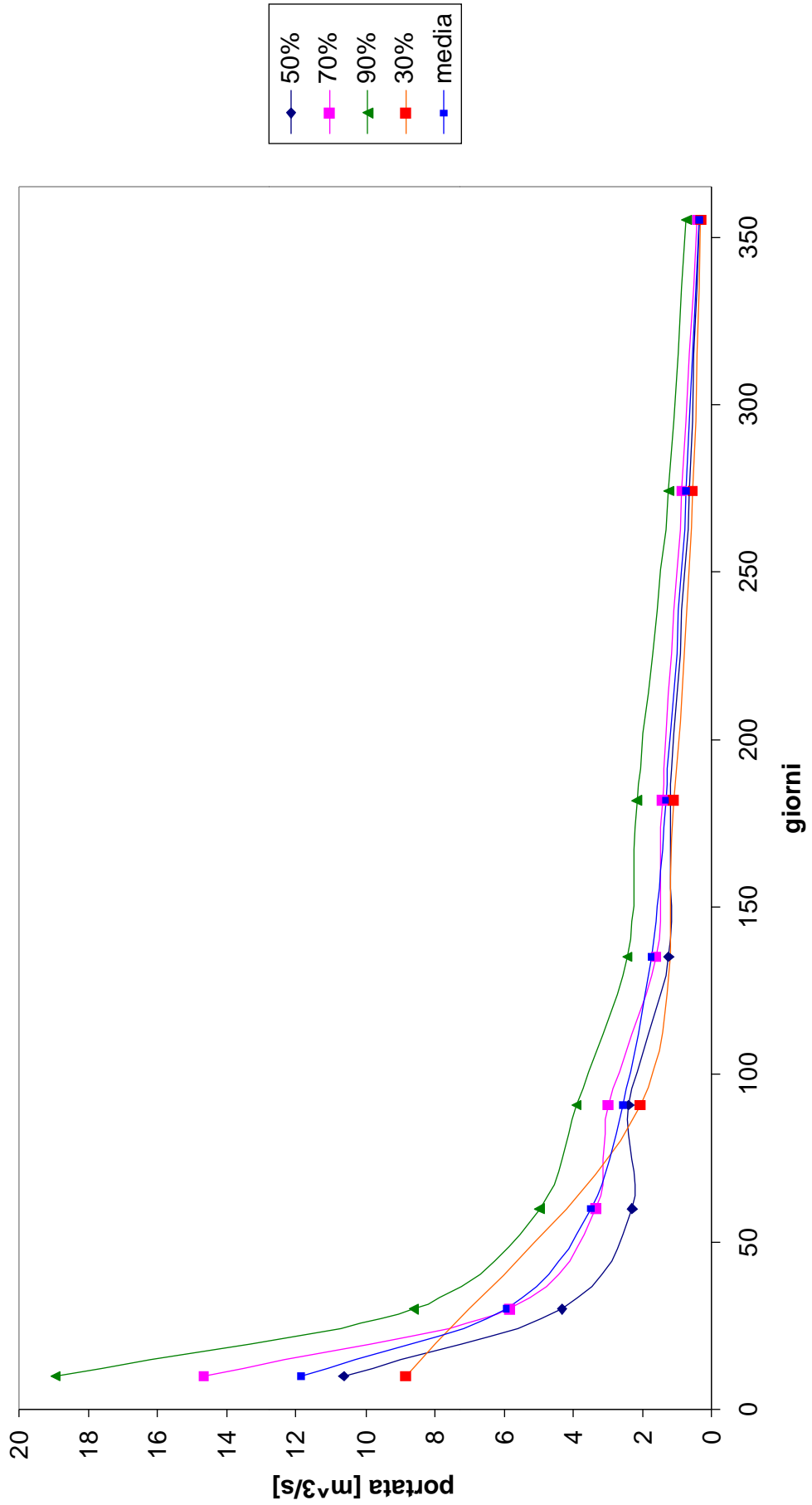
curve di durata annuali (Bagnone a Bagnone)



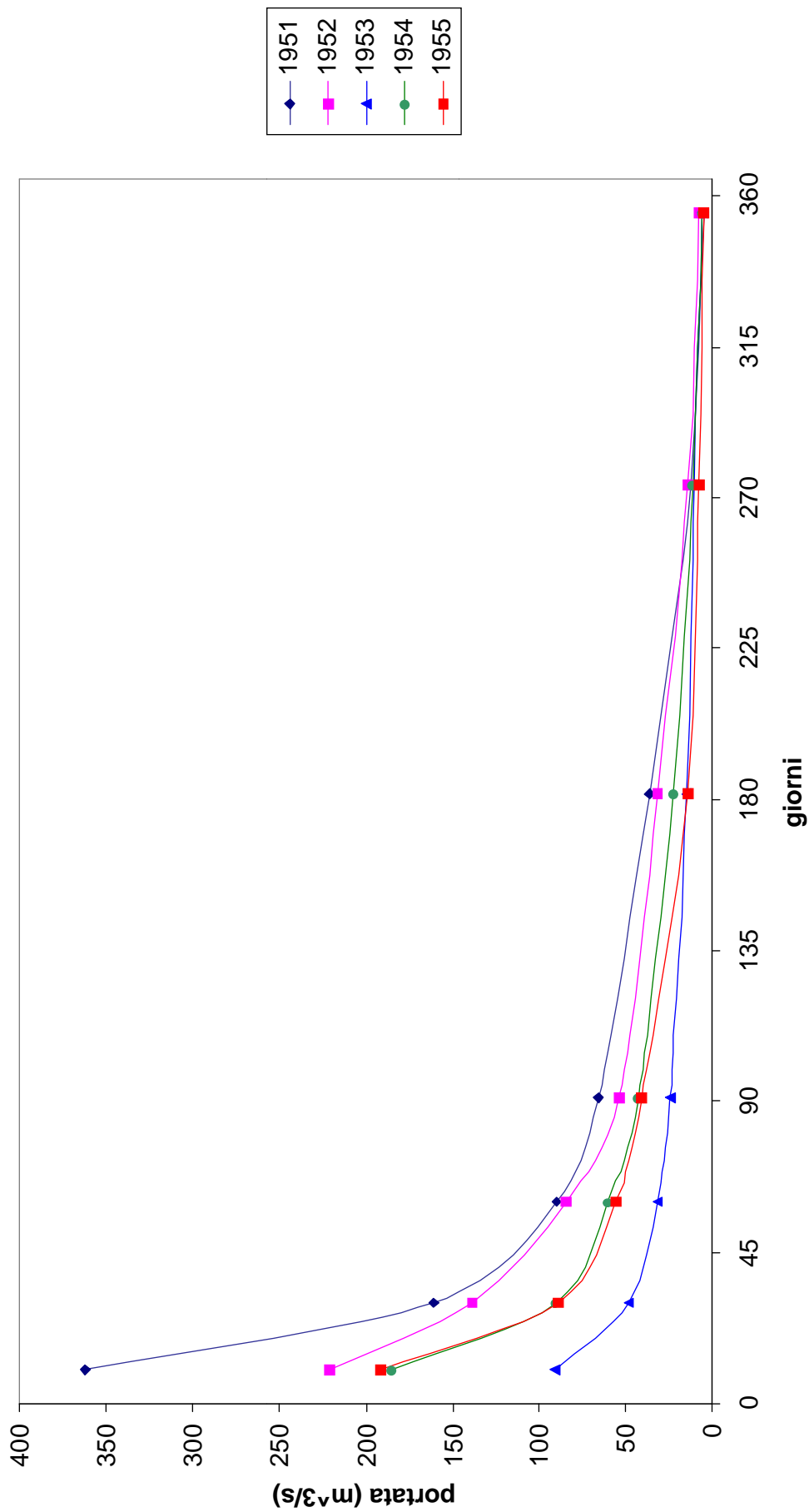
curva di durata media Bagnone a Bagnone (1951-77)



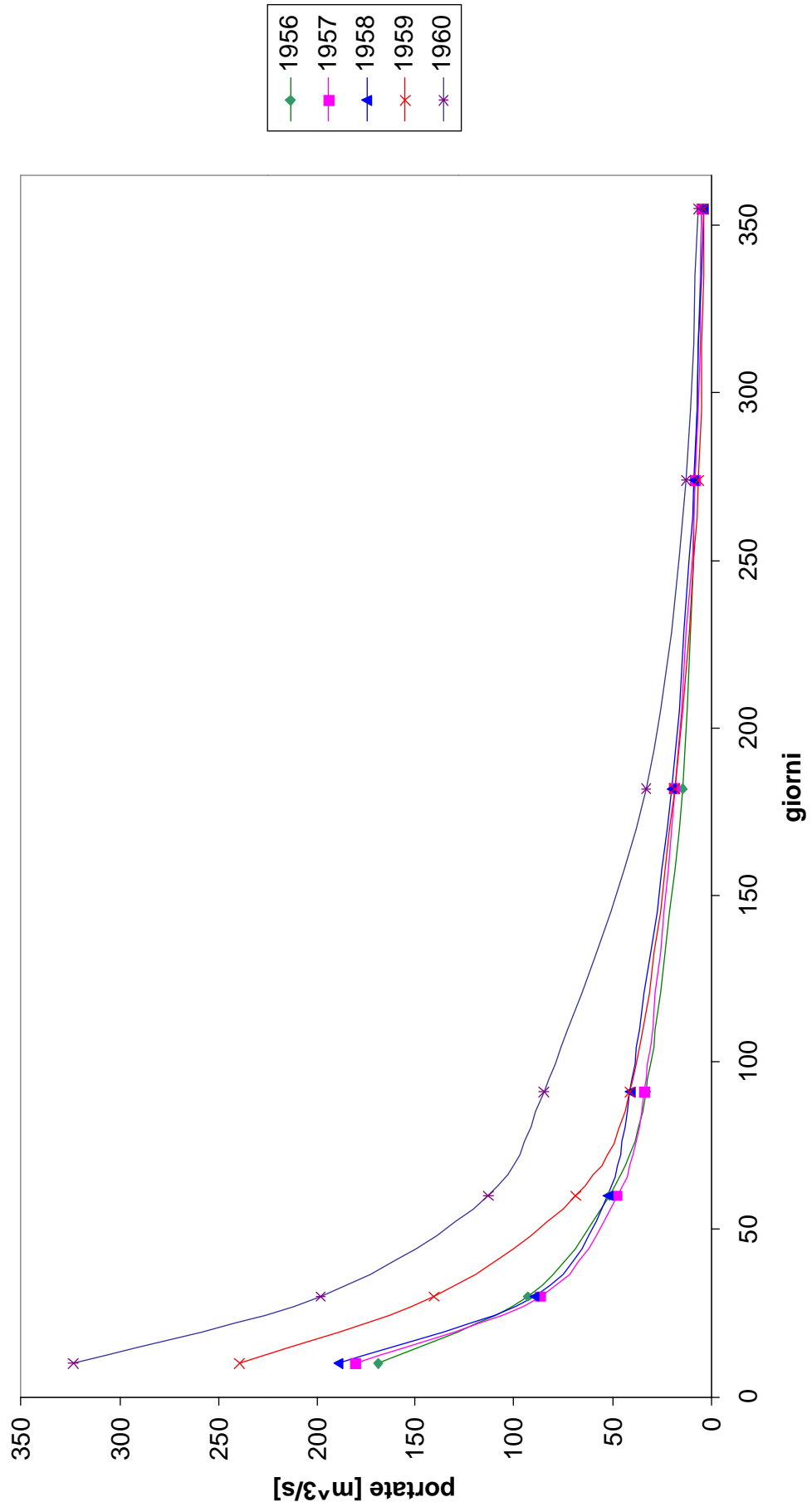
curve di durata con assegnata probabilità (Bagnone a Bagnone)



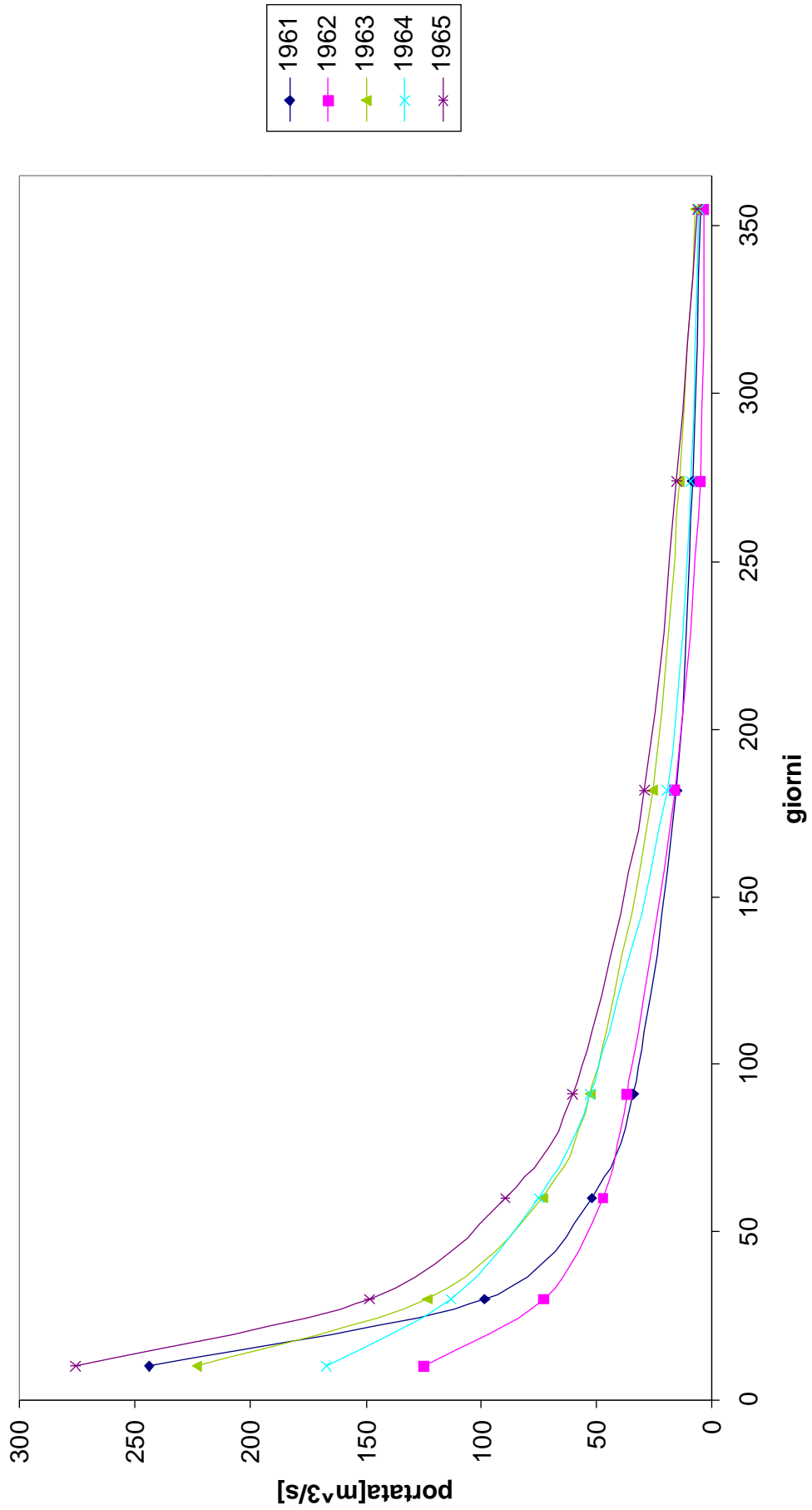
curve durate annuali (Calamazza)



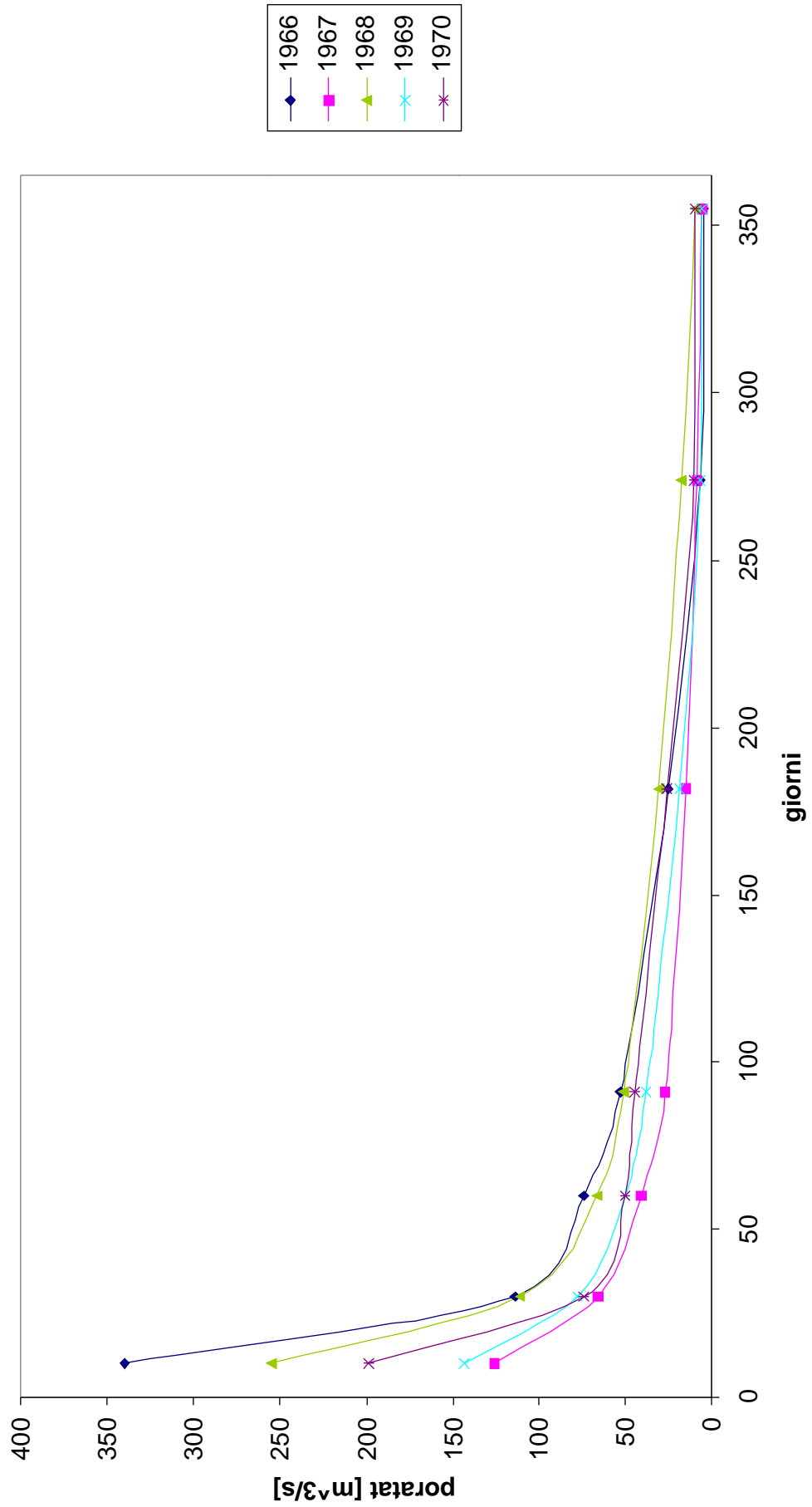
curve di durata annuali (Calamazza)

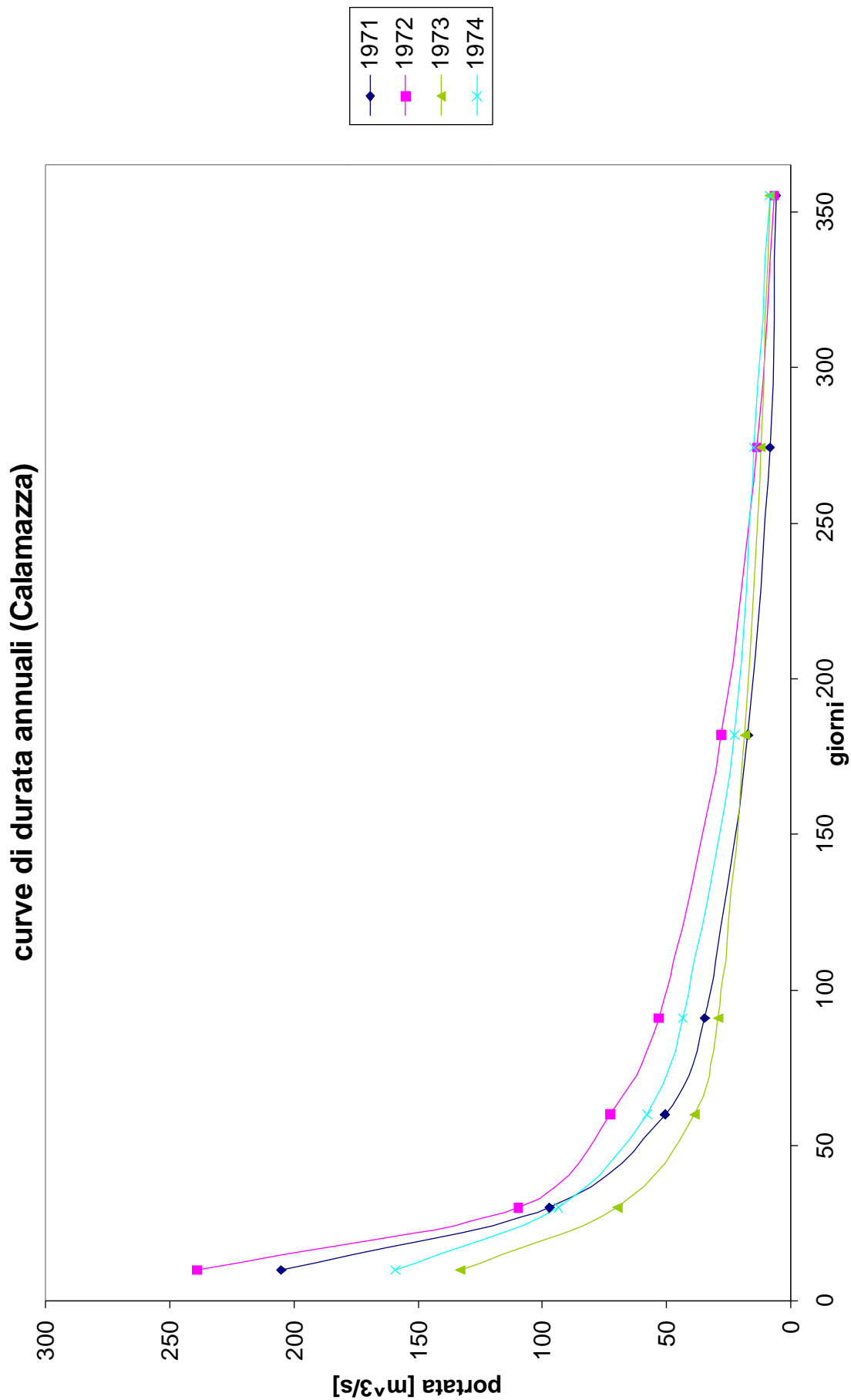


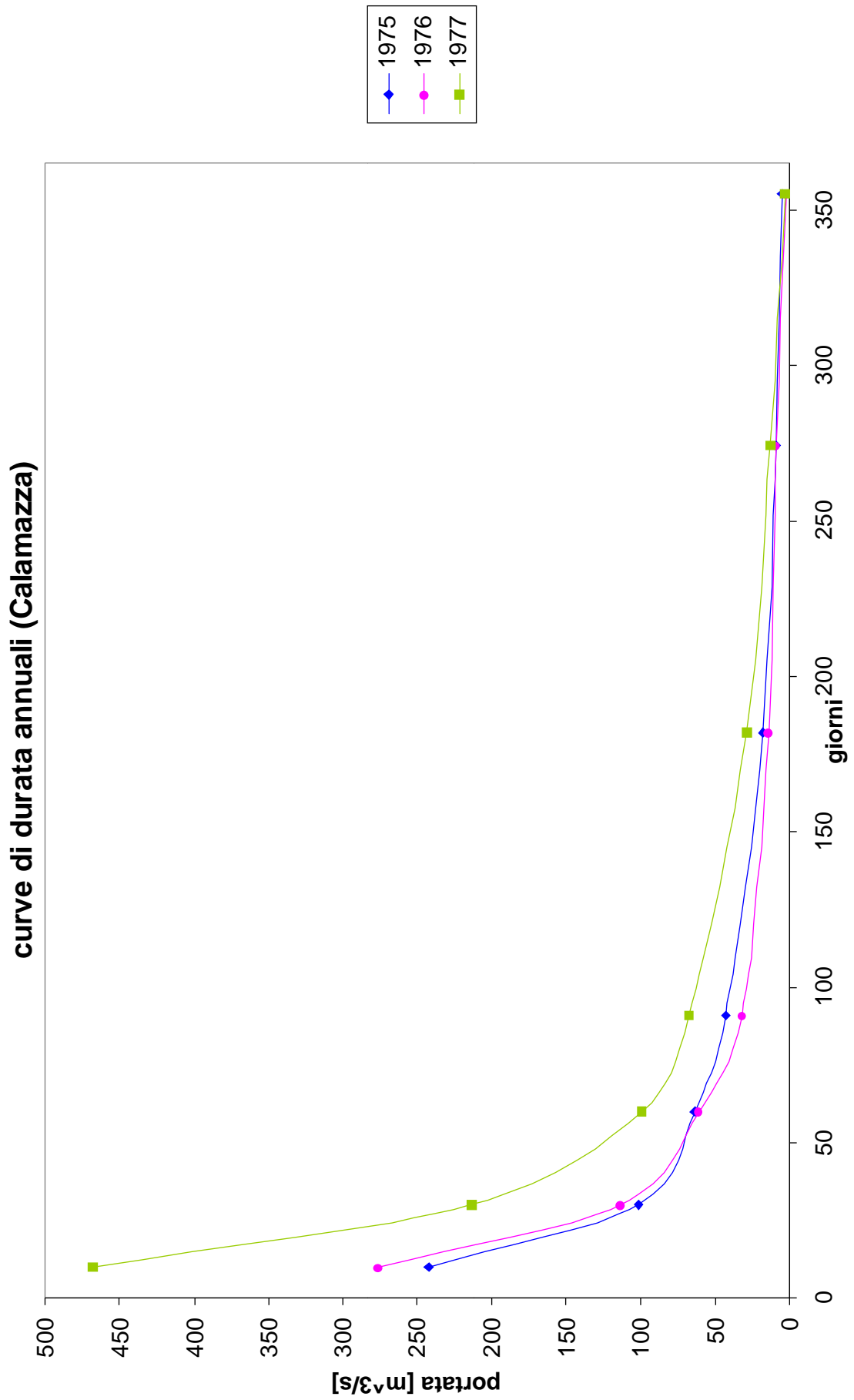
curve di durata annuali (Calamazza)

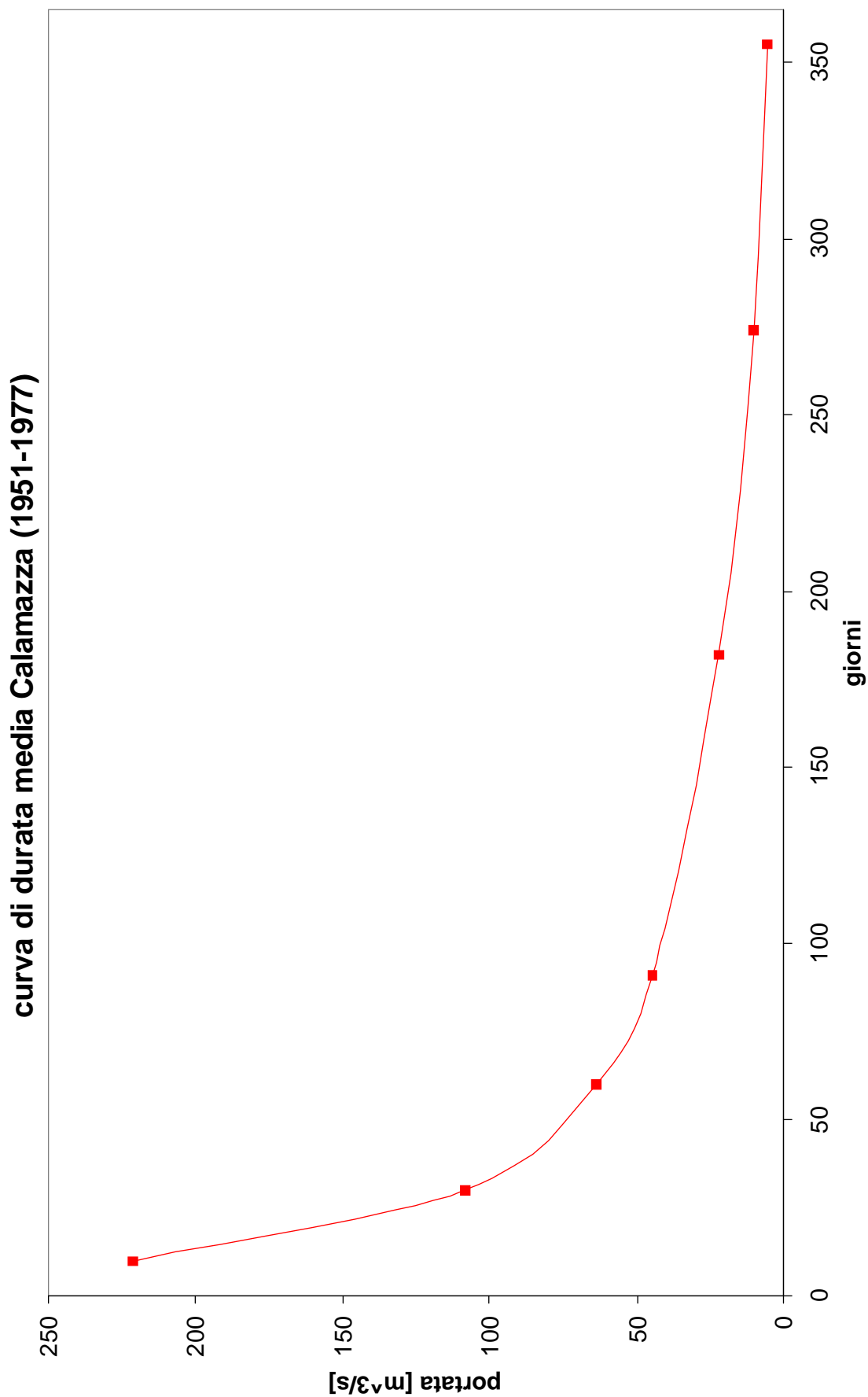


curve di durata annuali (Calamazza)

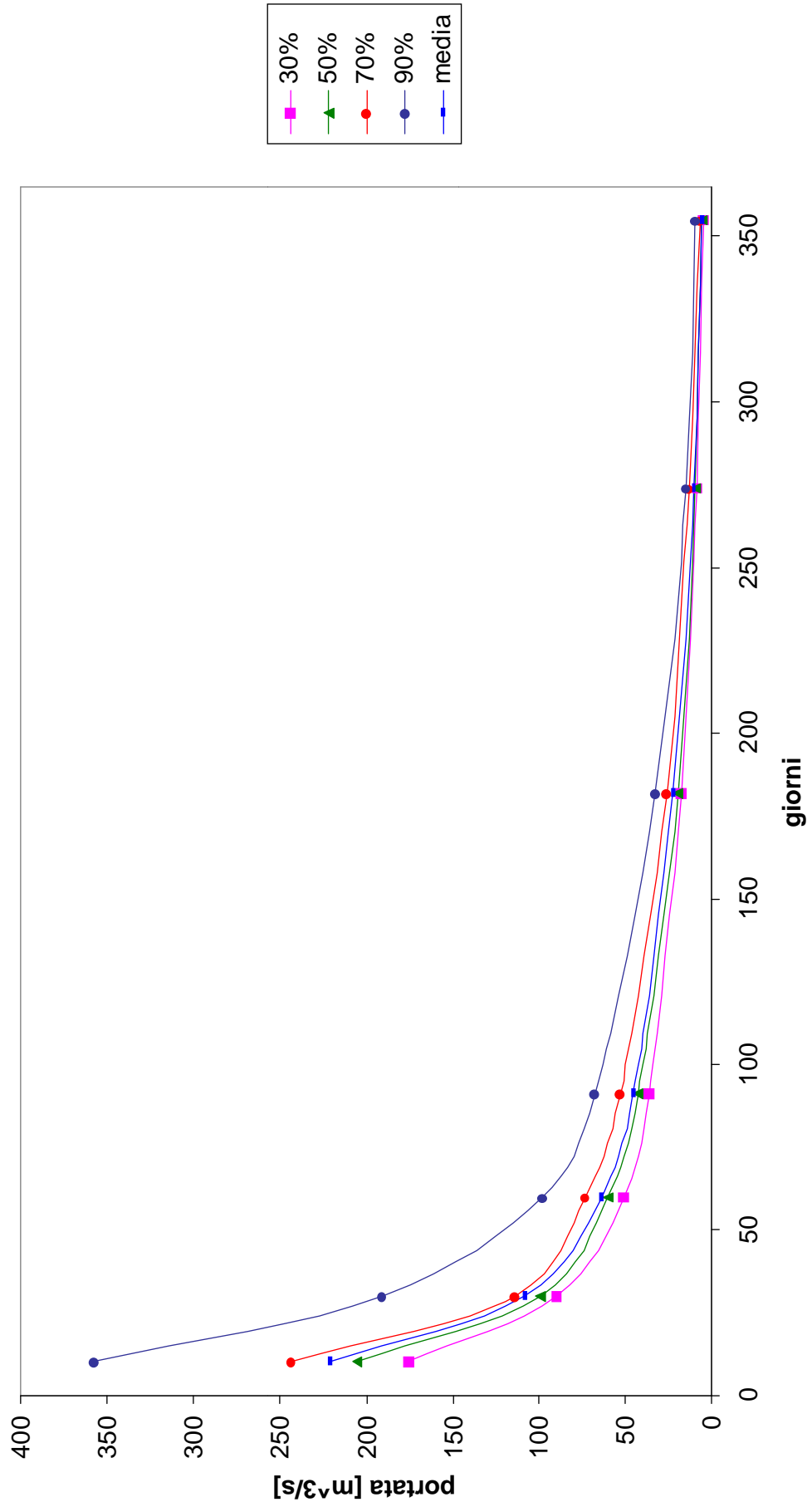




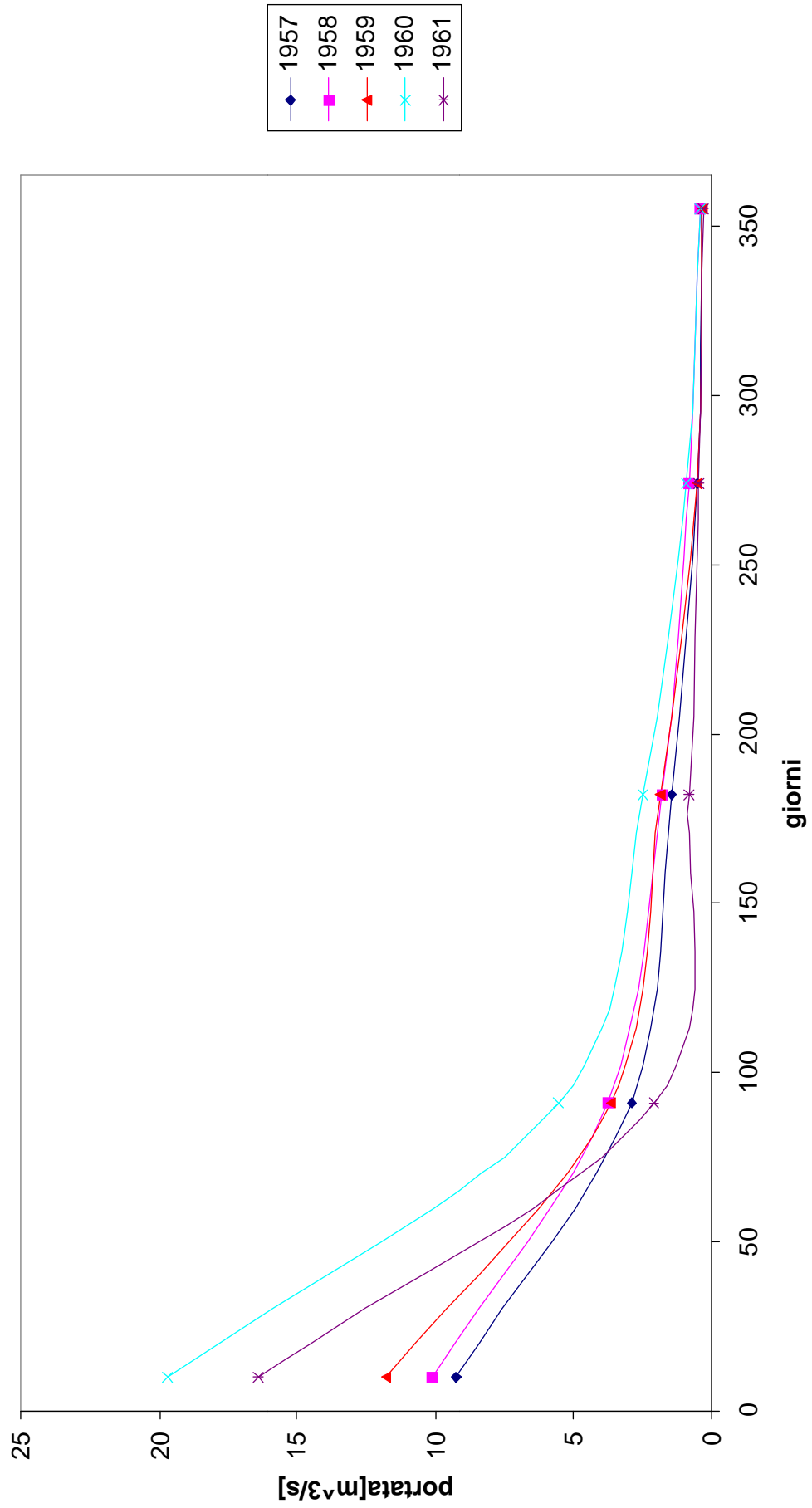




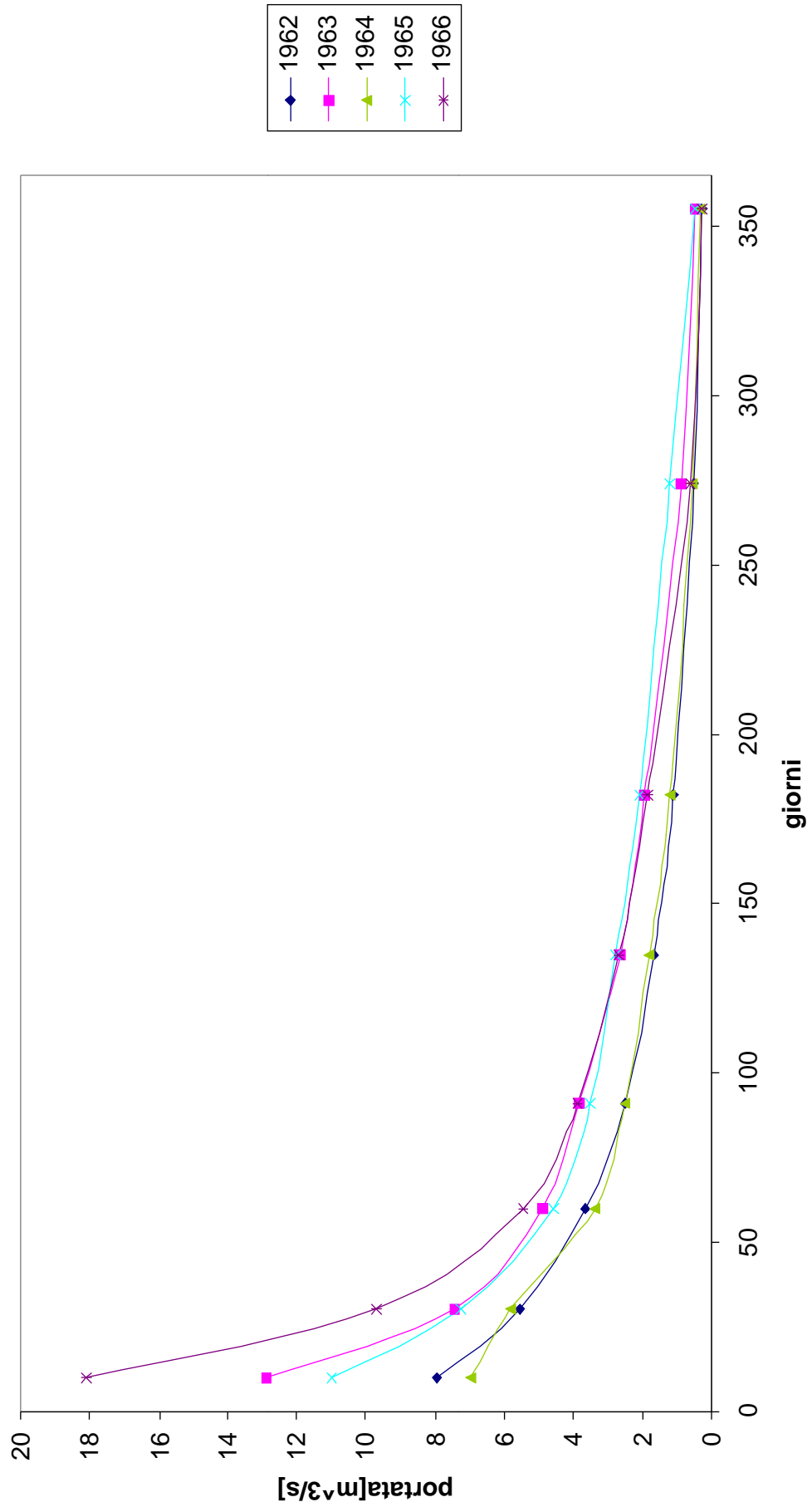
curve di durata con assegnata probabilità (Calamazza)



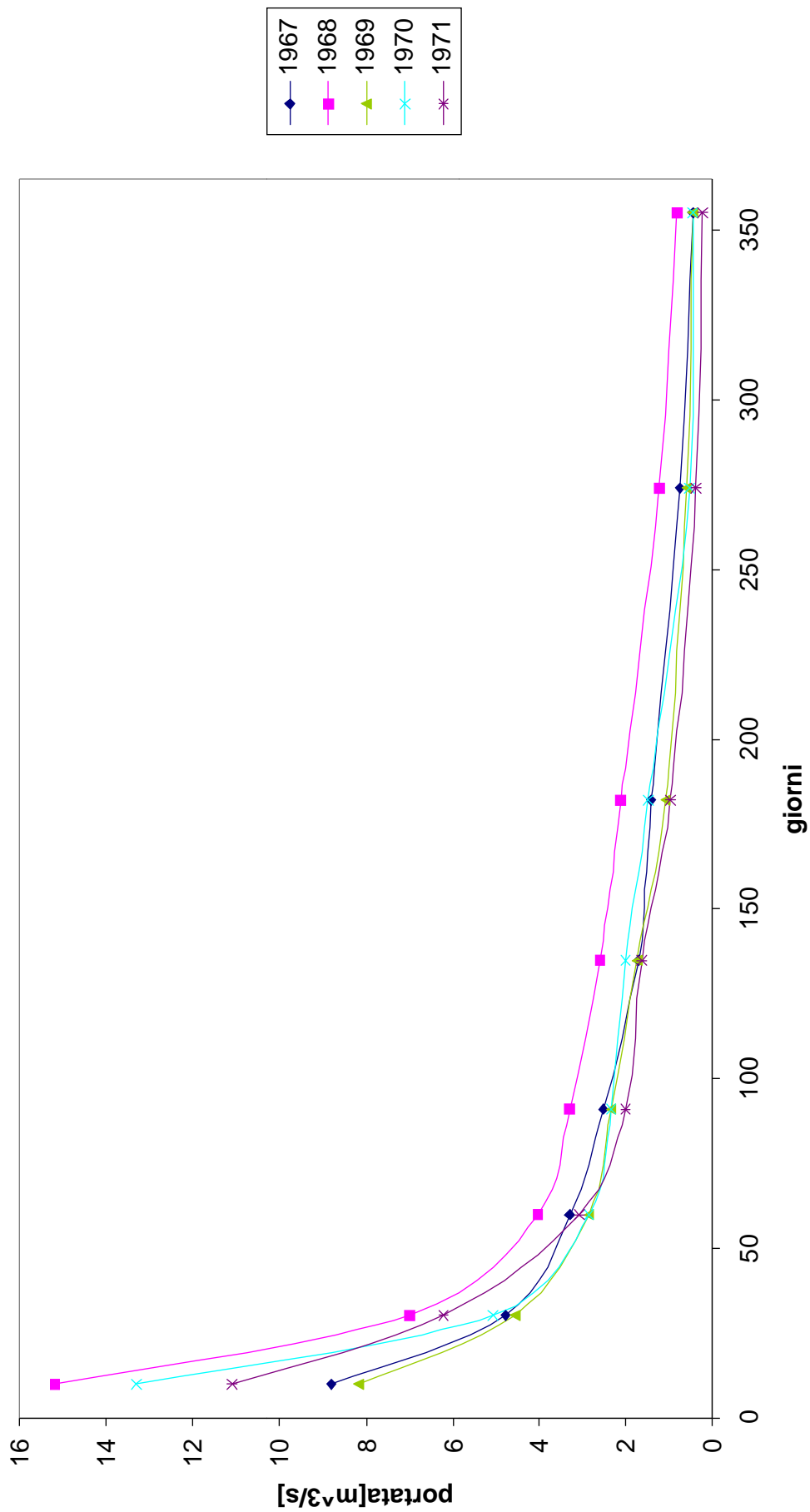
curve di durata annuali (Piccatello)



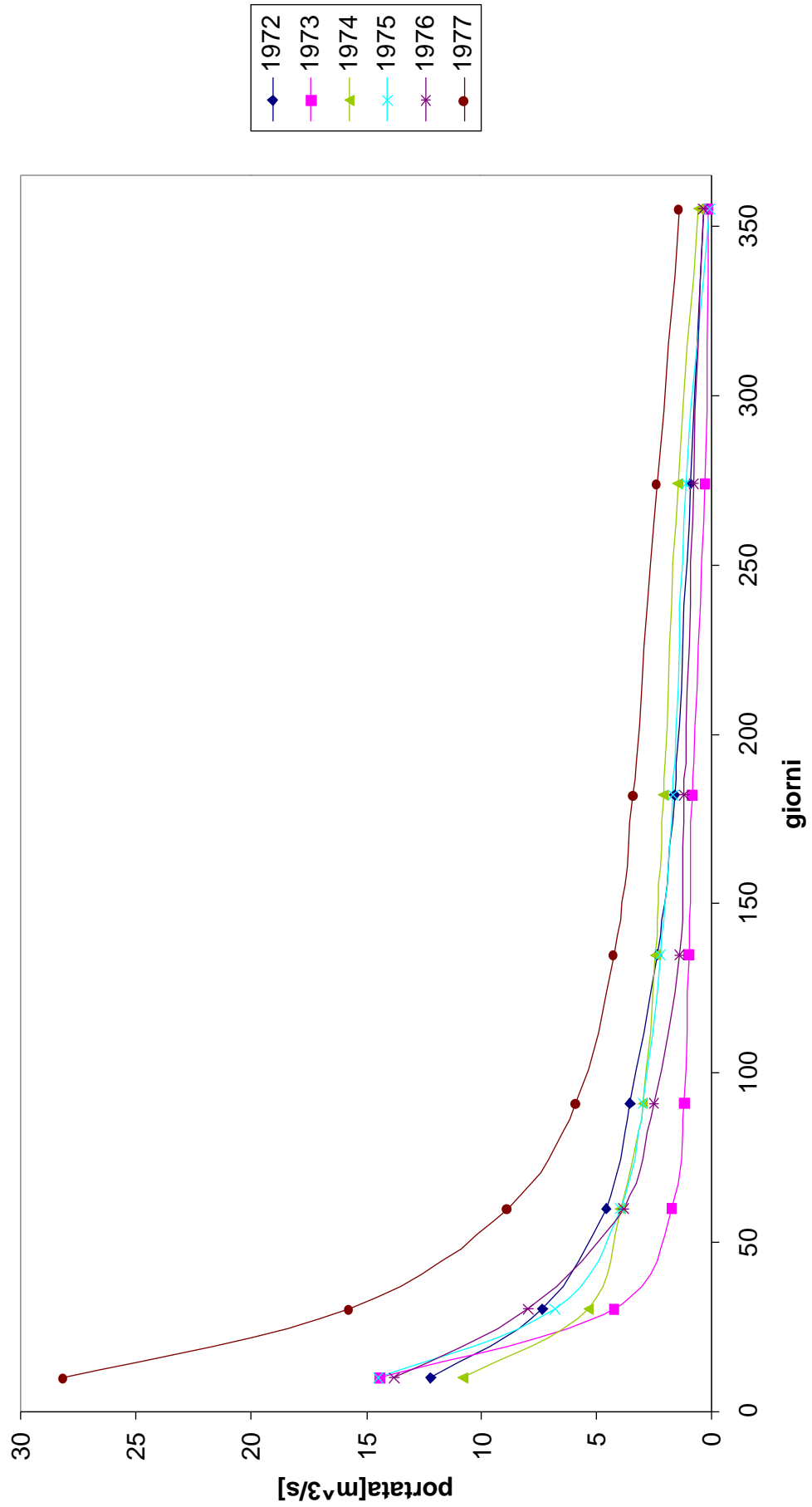
curve di durata annuali (Piccatello)

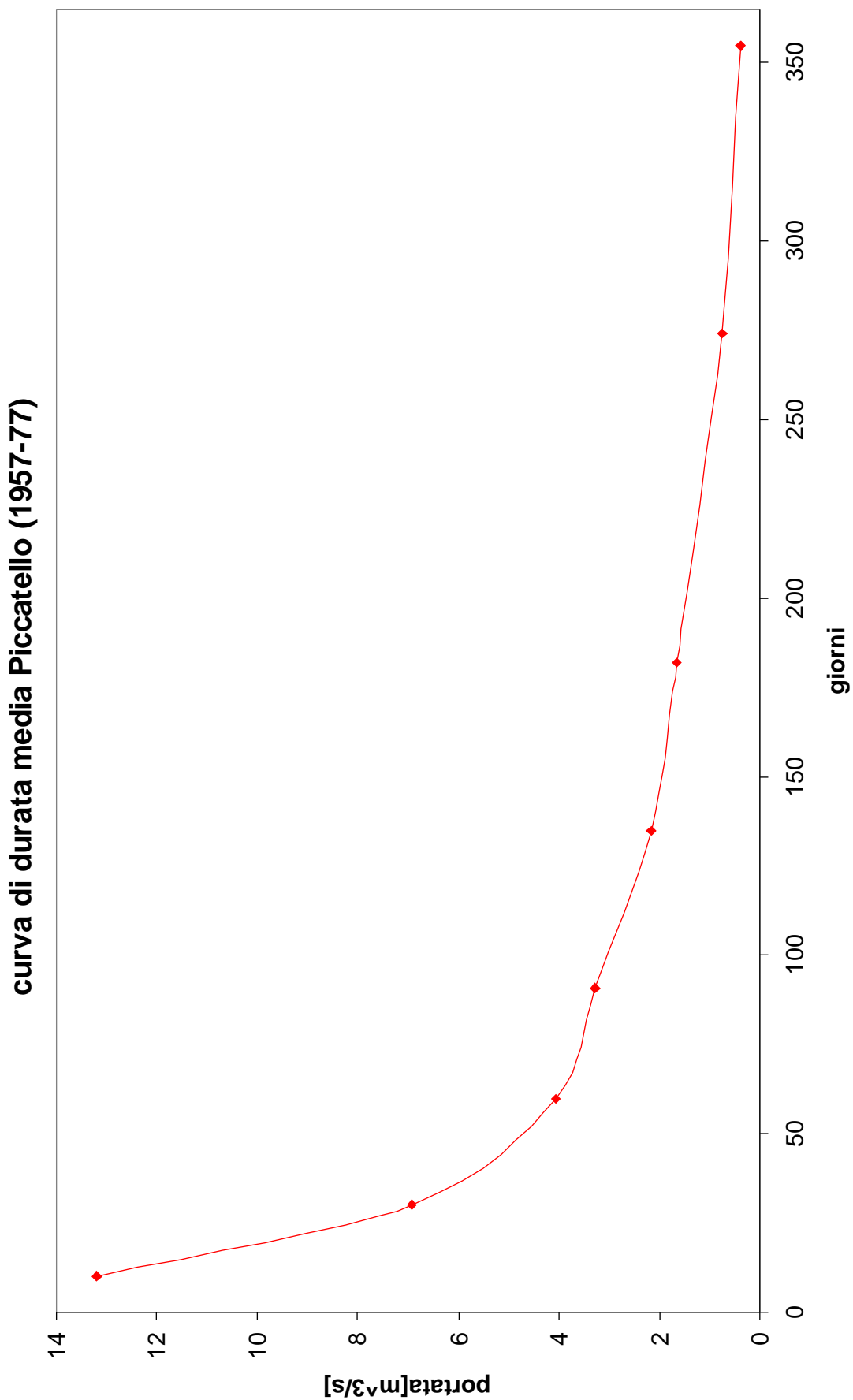


curve di durata annuali (Piccatello)

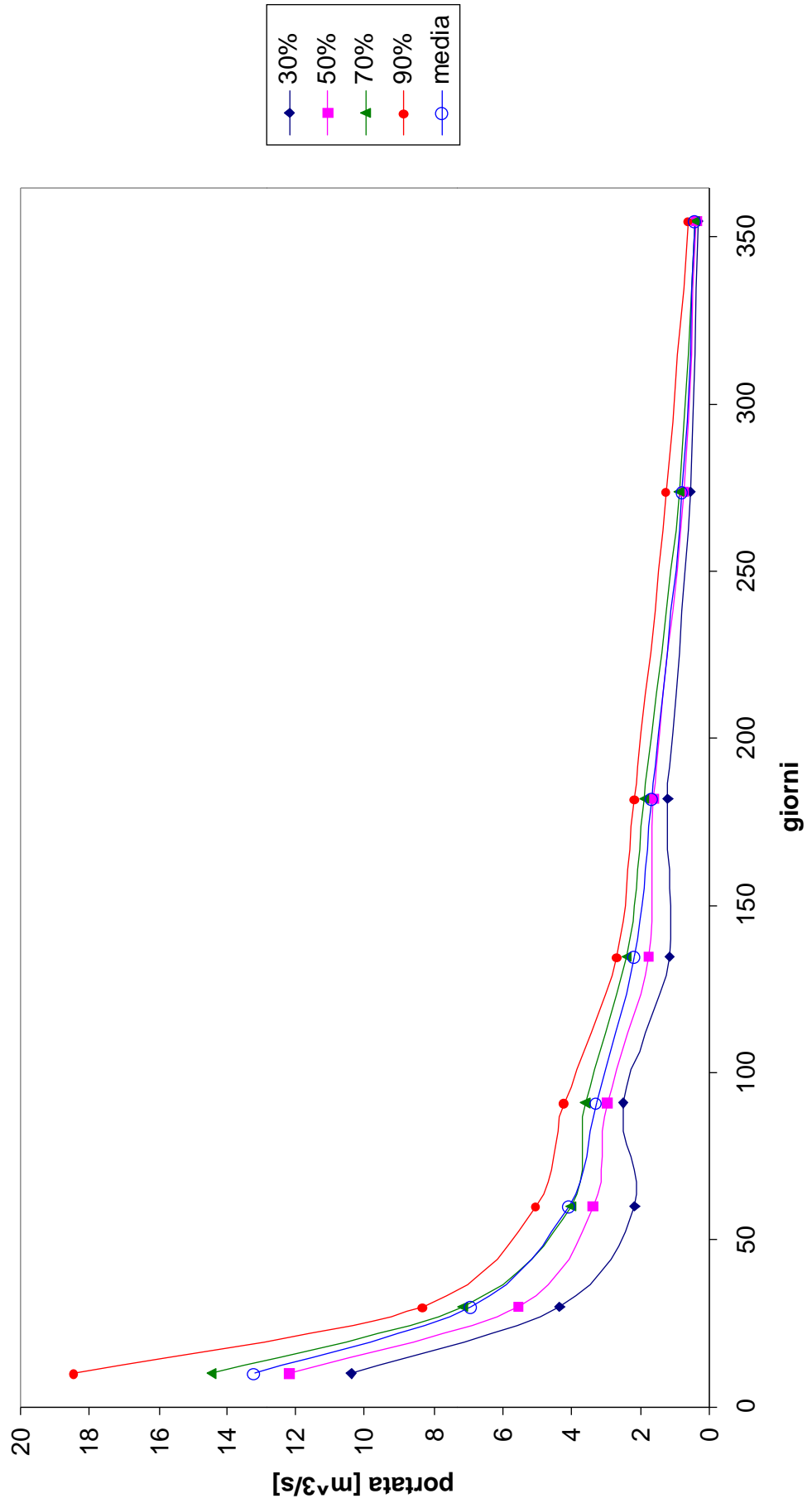


curve di durata annuali (Piccatello)

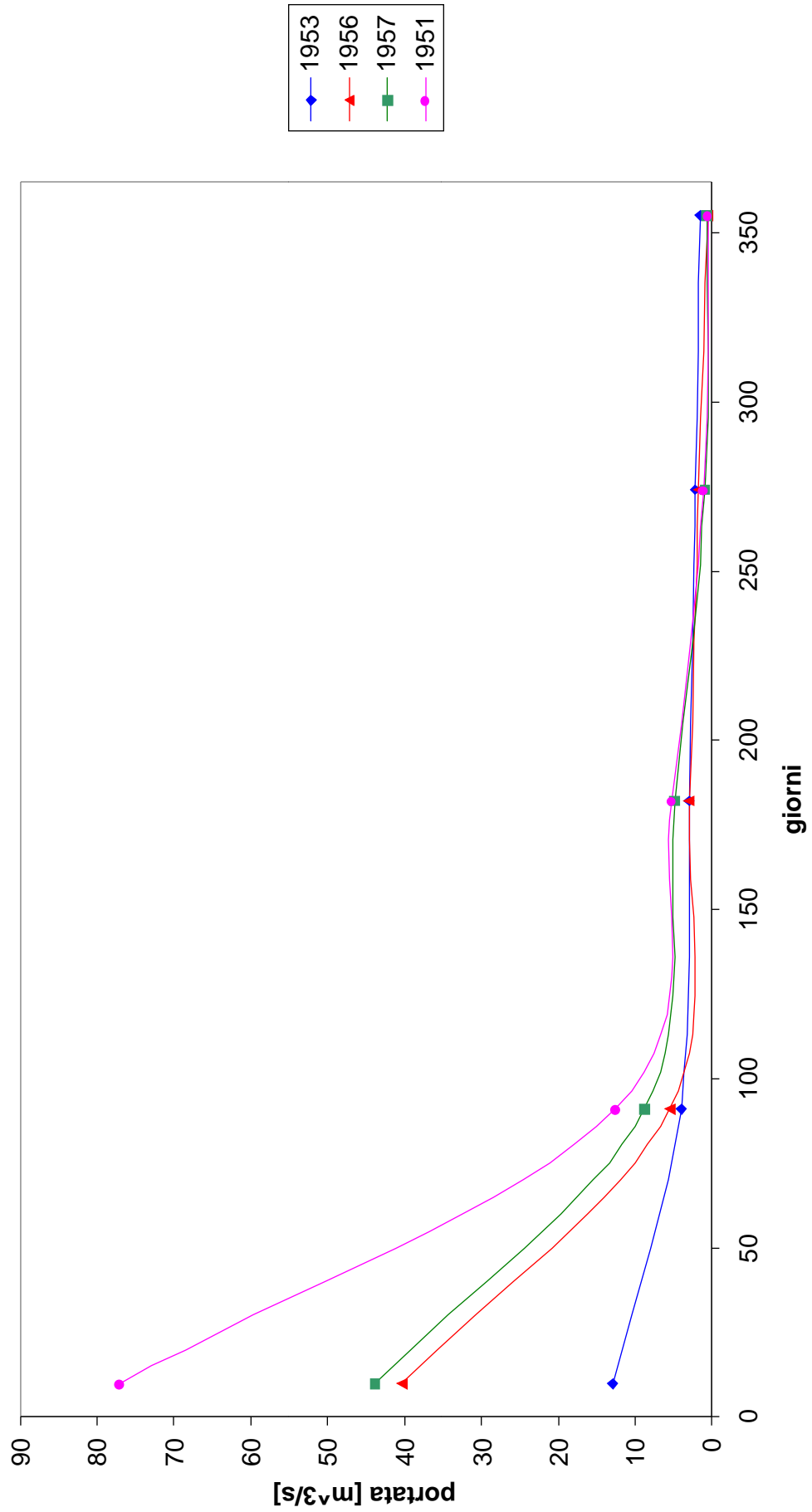




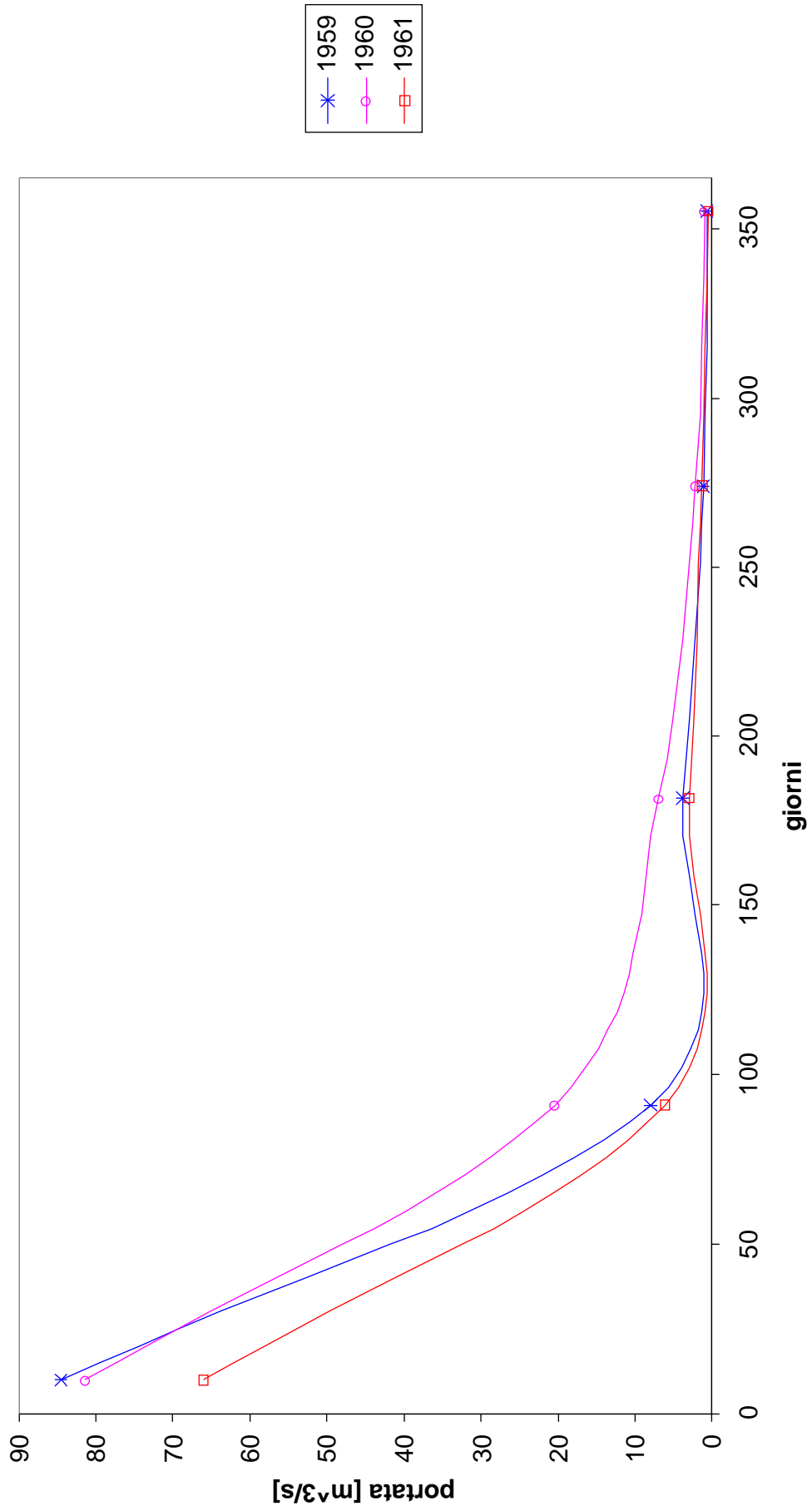
curve di durata con assegnata probabilità (Piccatello)



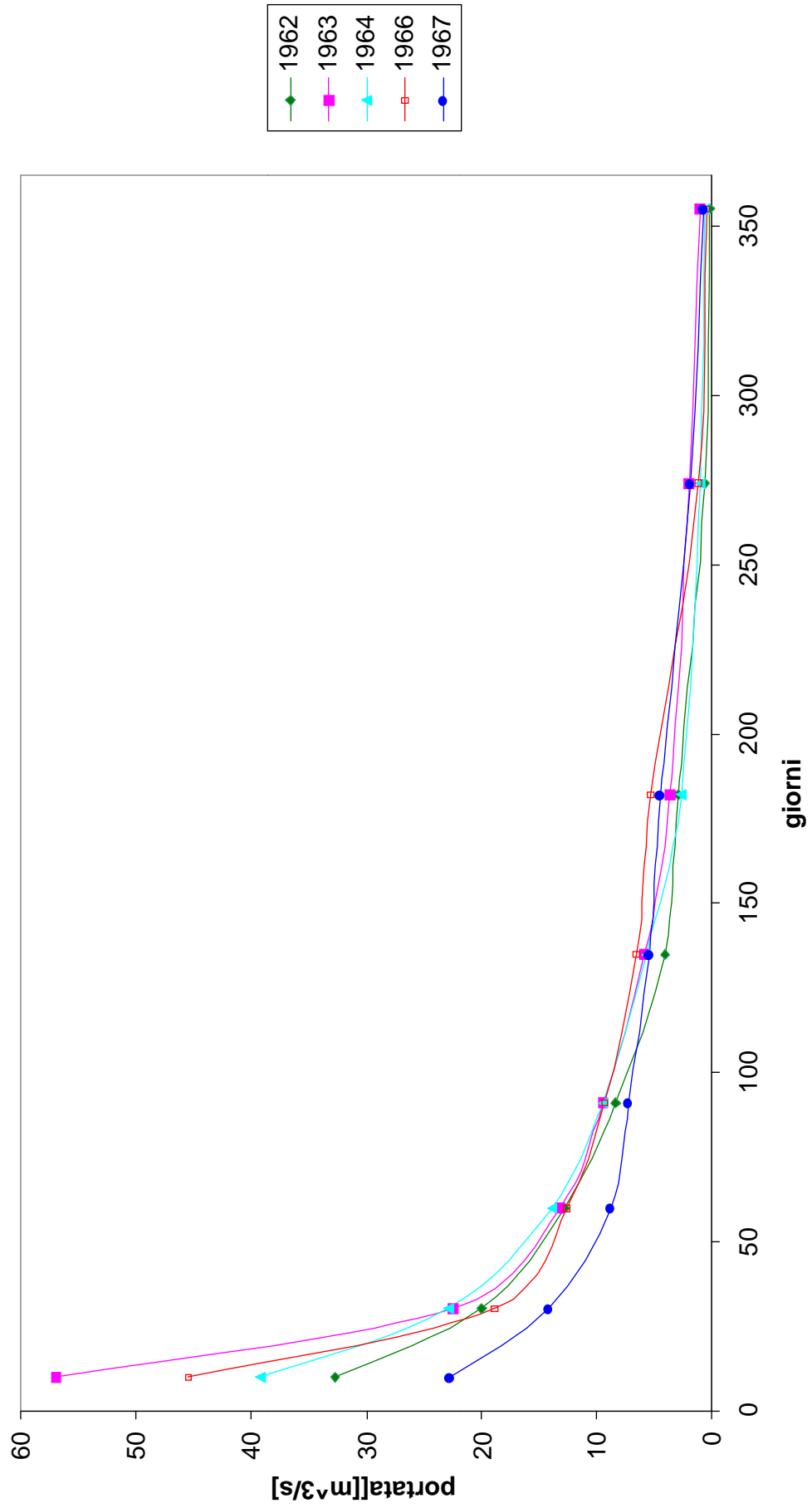
curve di durata annuali (Vara a Naseto)



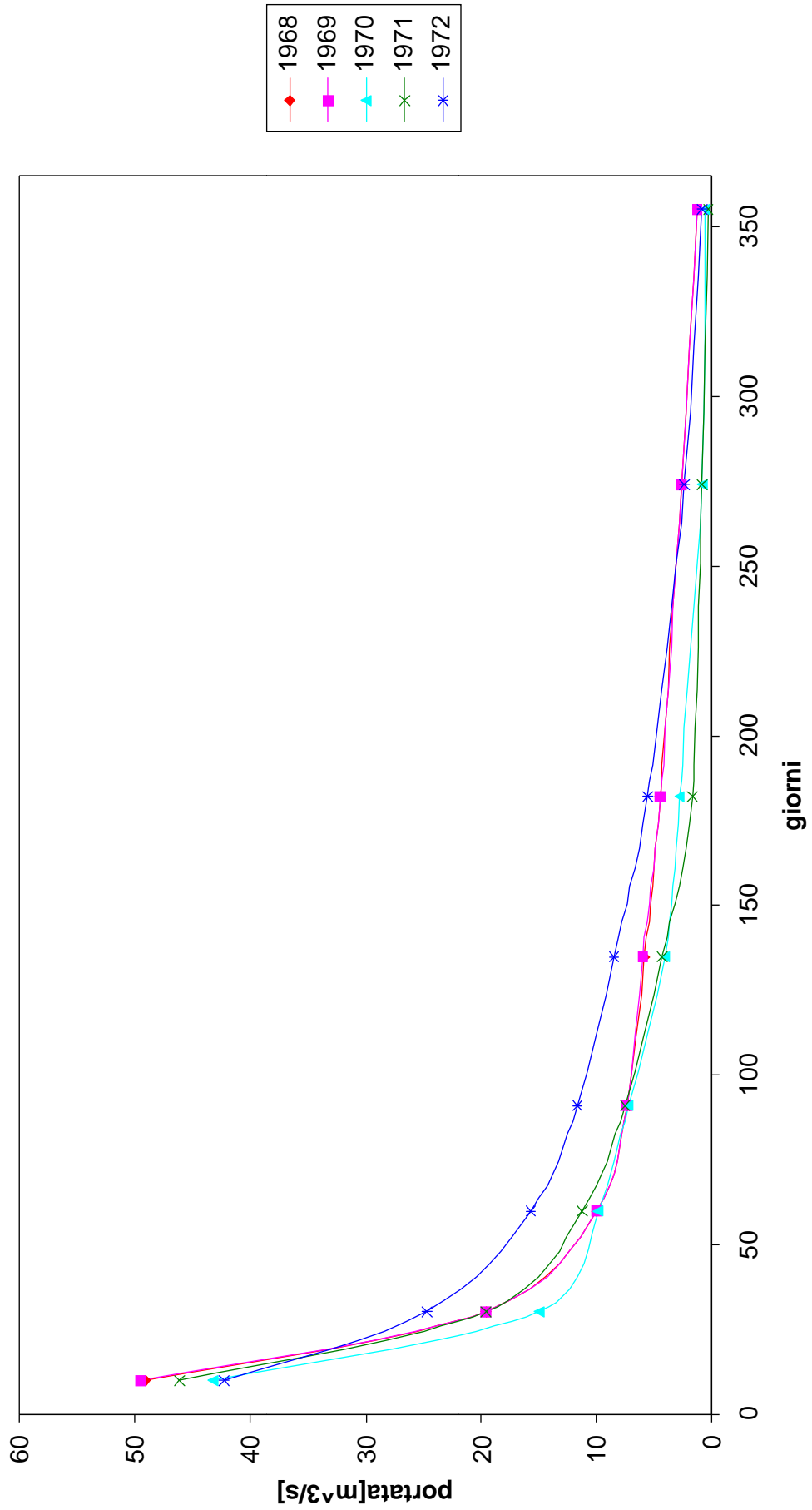
curve di durata annuali (Vara a Naseto)

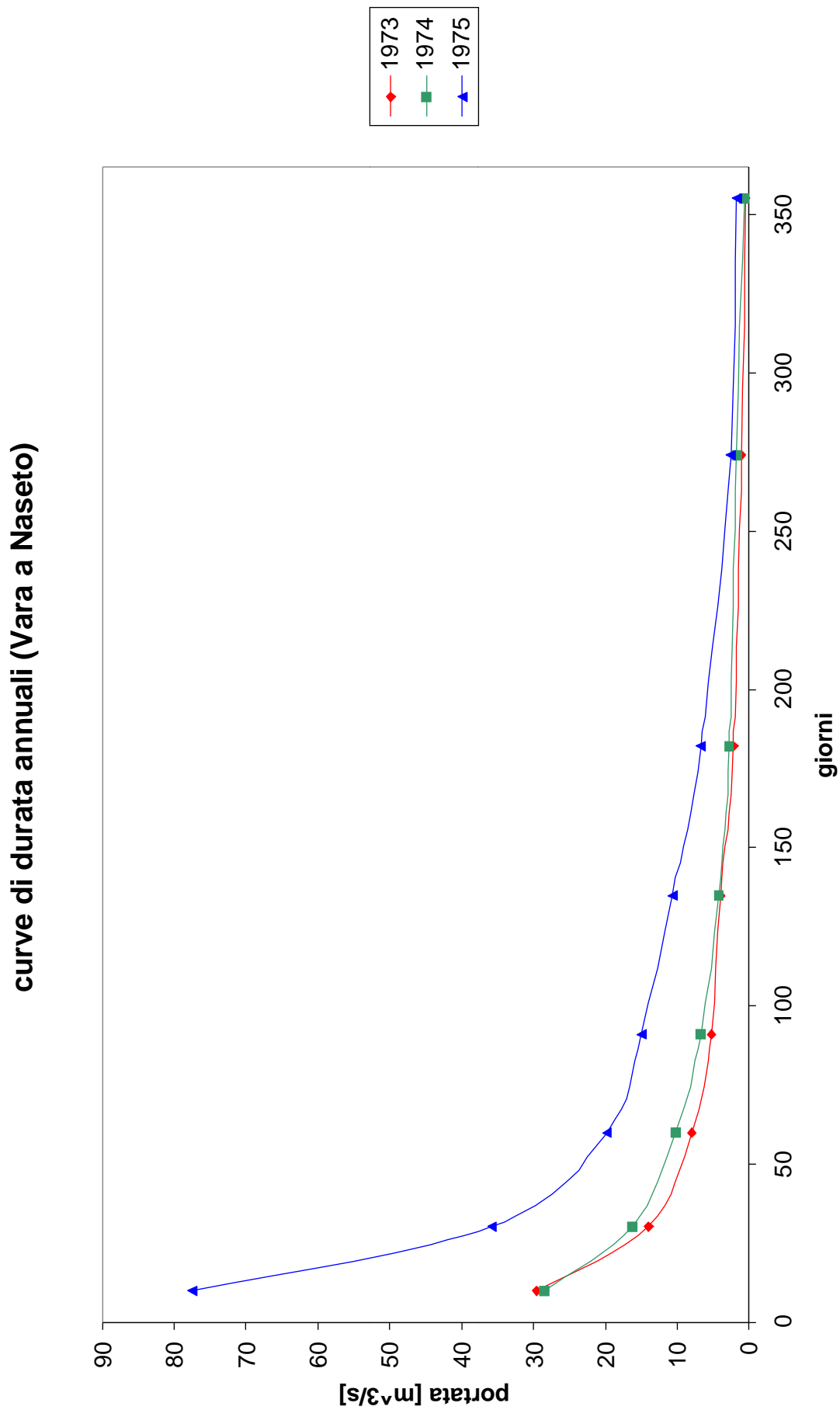


curve di durata annuali (Vara a Naseto)

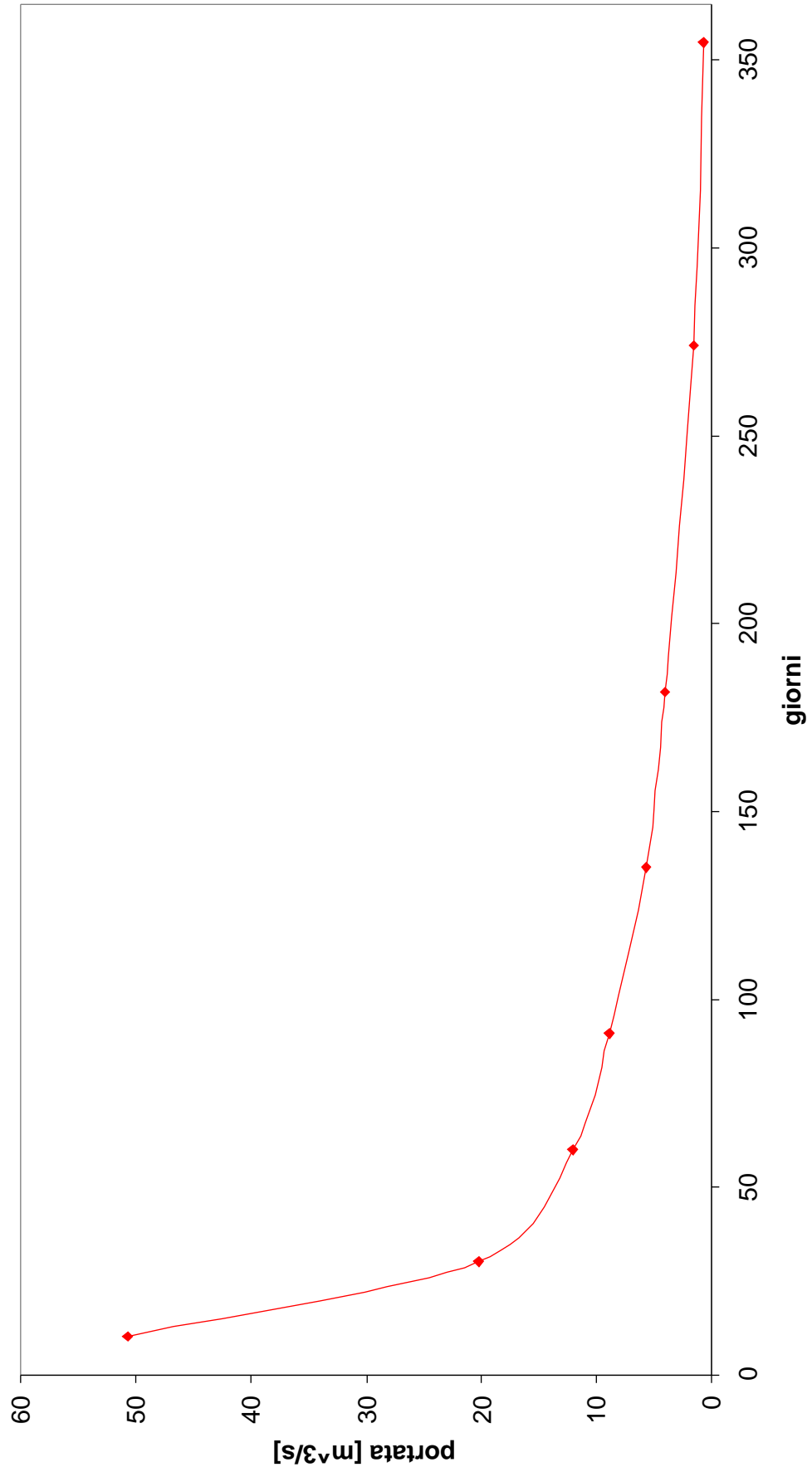


curve di durata annuali (Vara a Naseto)

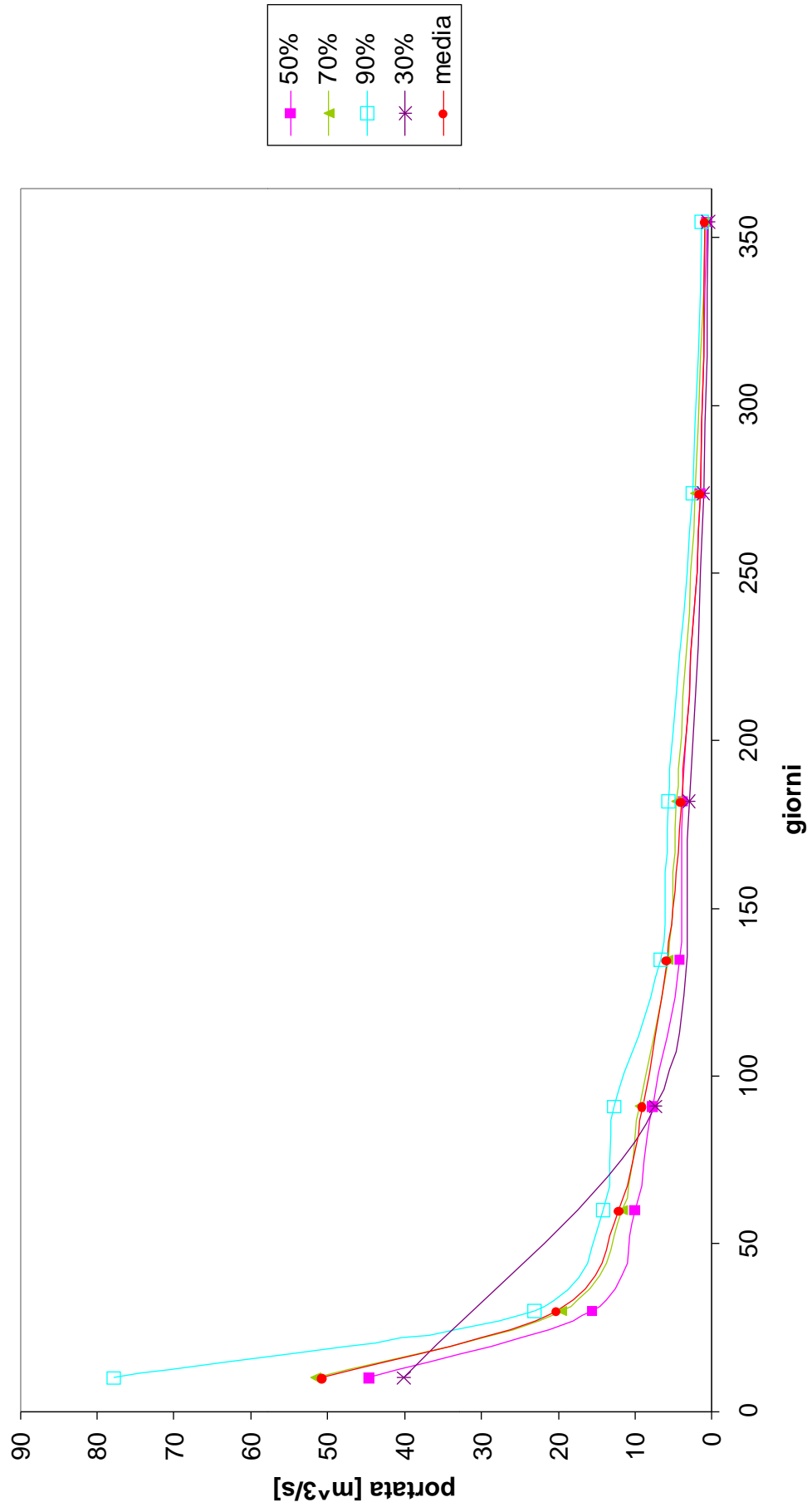




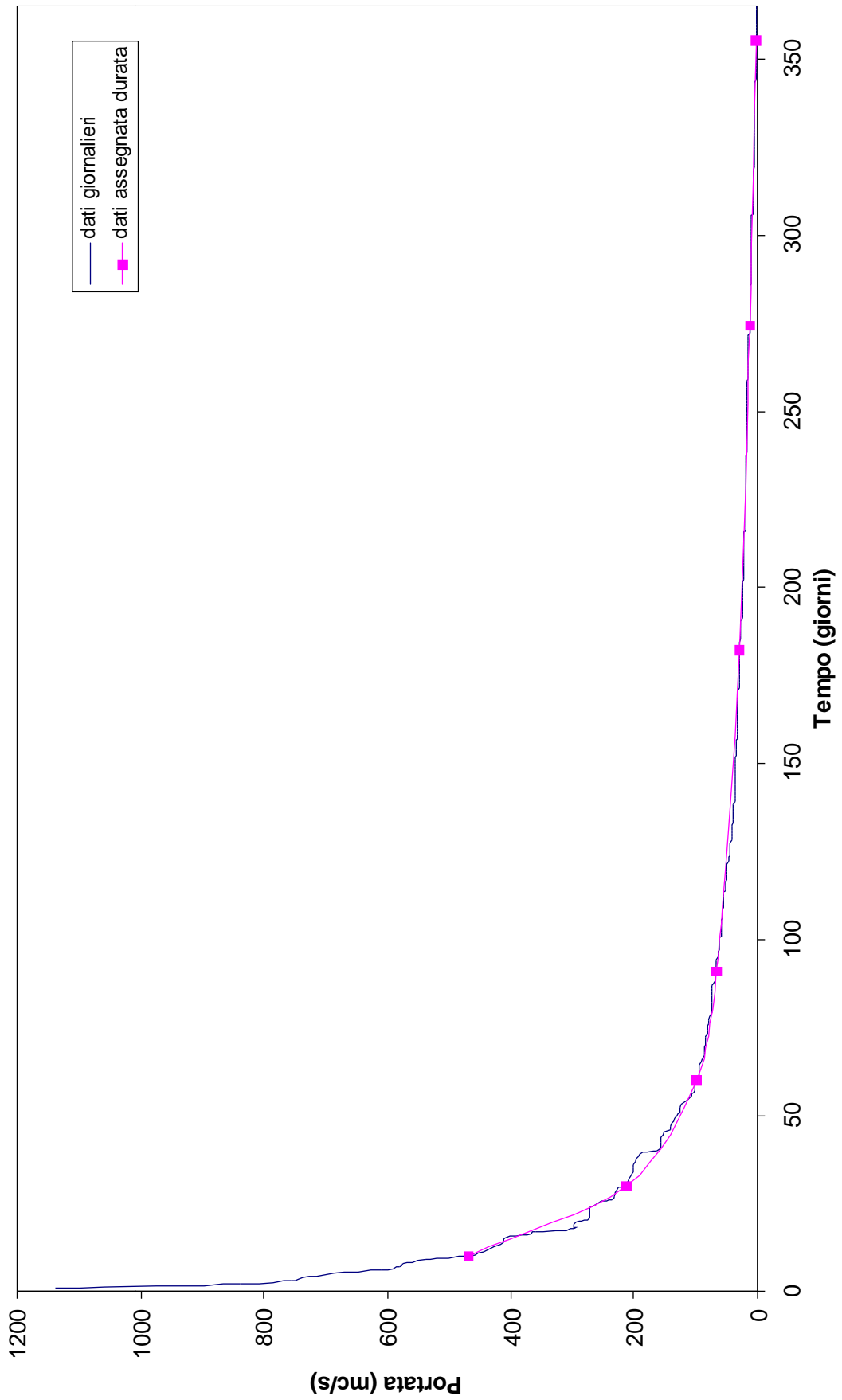
curva di durata media 1951-1977 (Vara a Naseto)



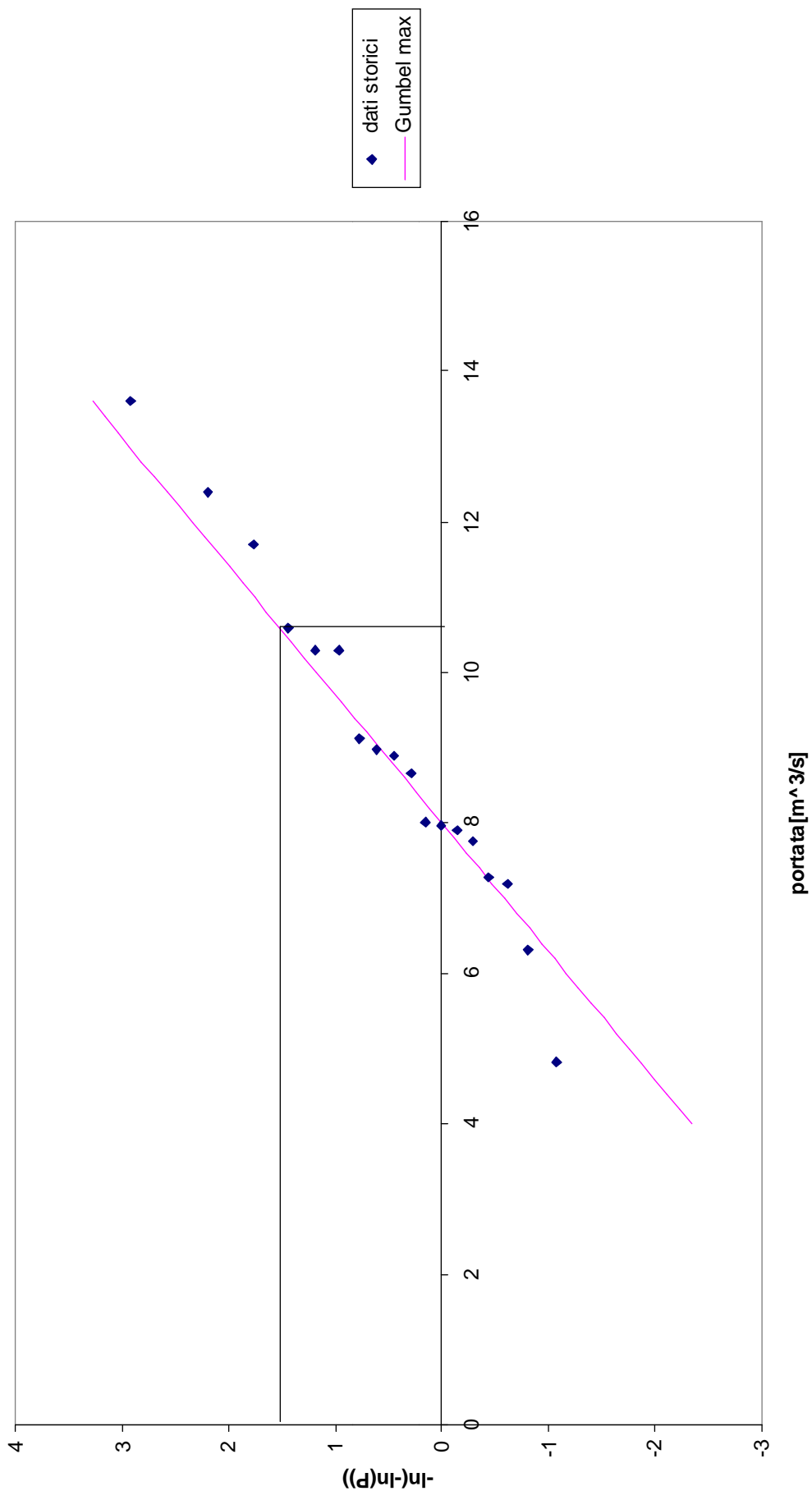
curve di durata con assegnata probabilità (Vara a Naseto)

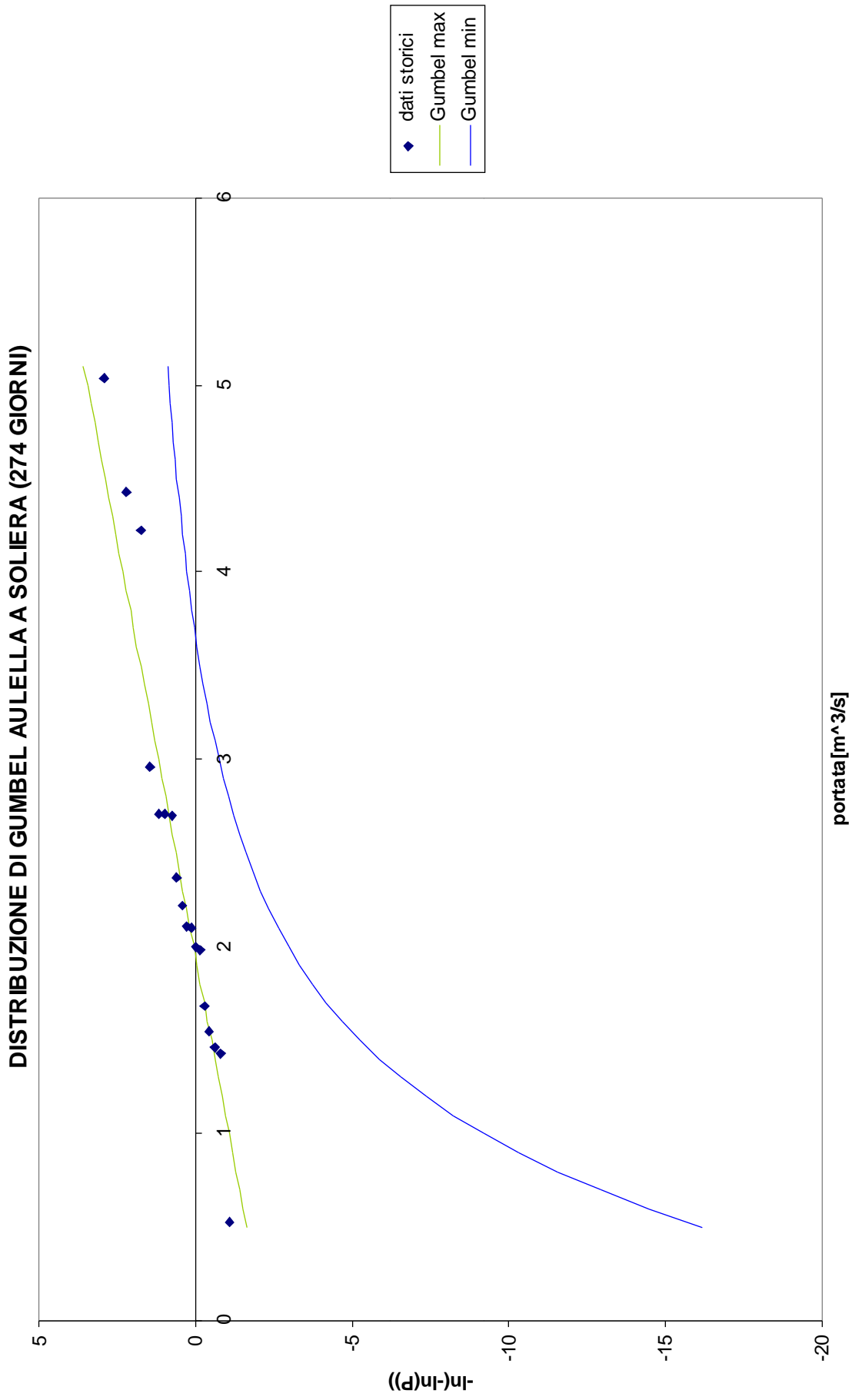


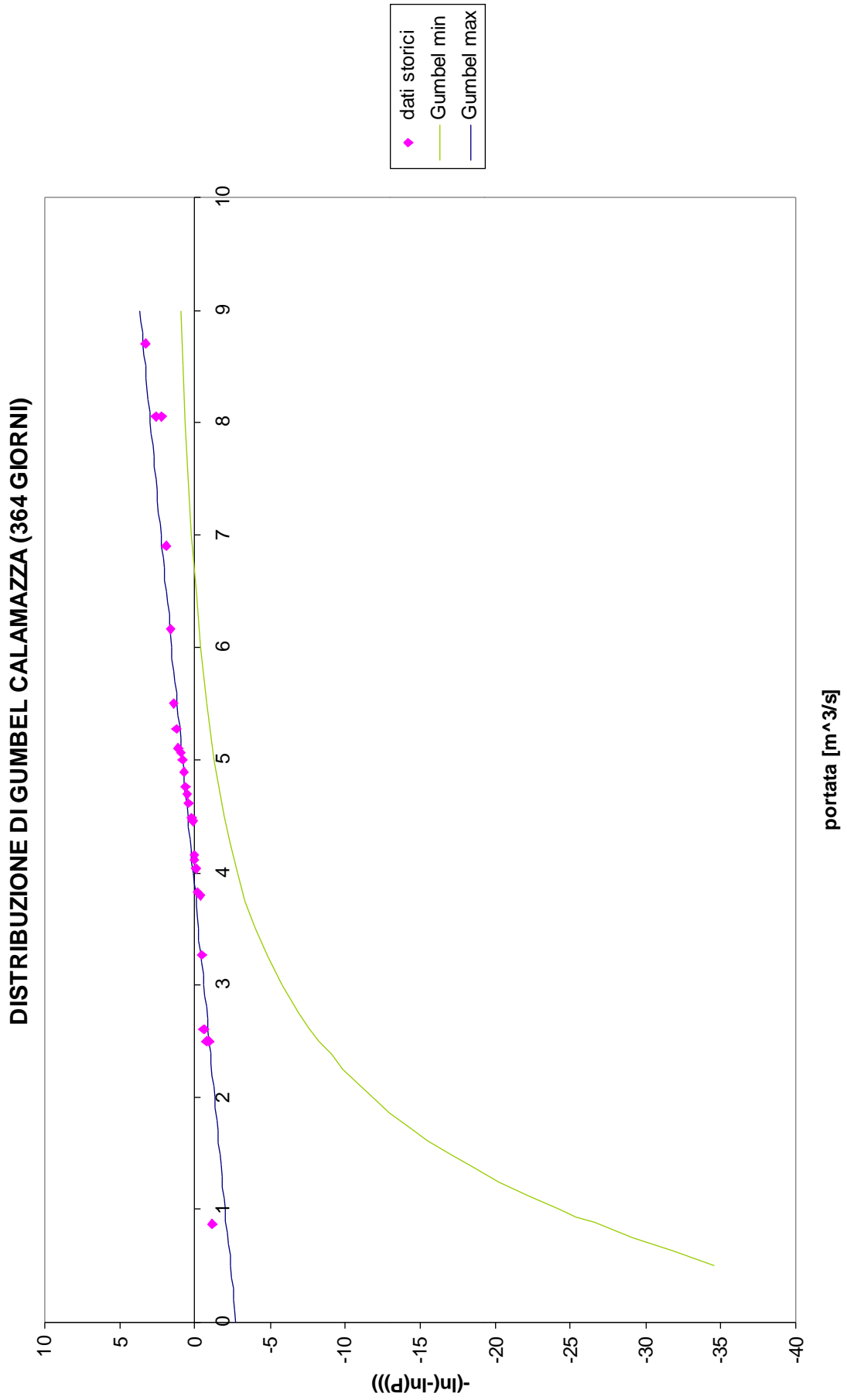
**Curva di durata annuale Calamazza (1977)**



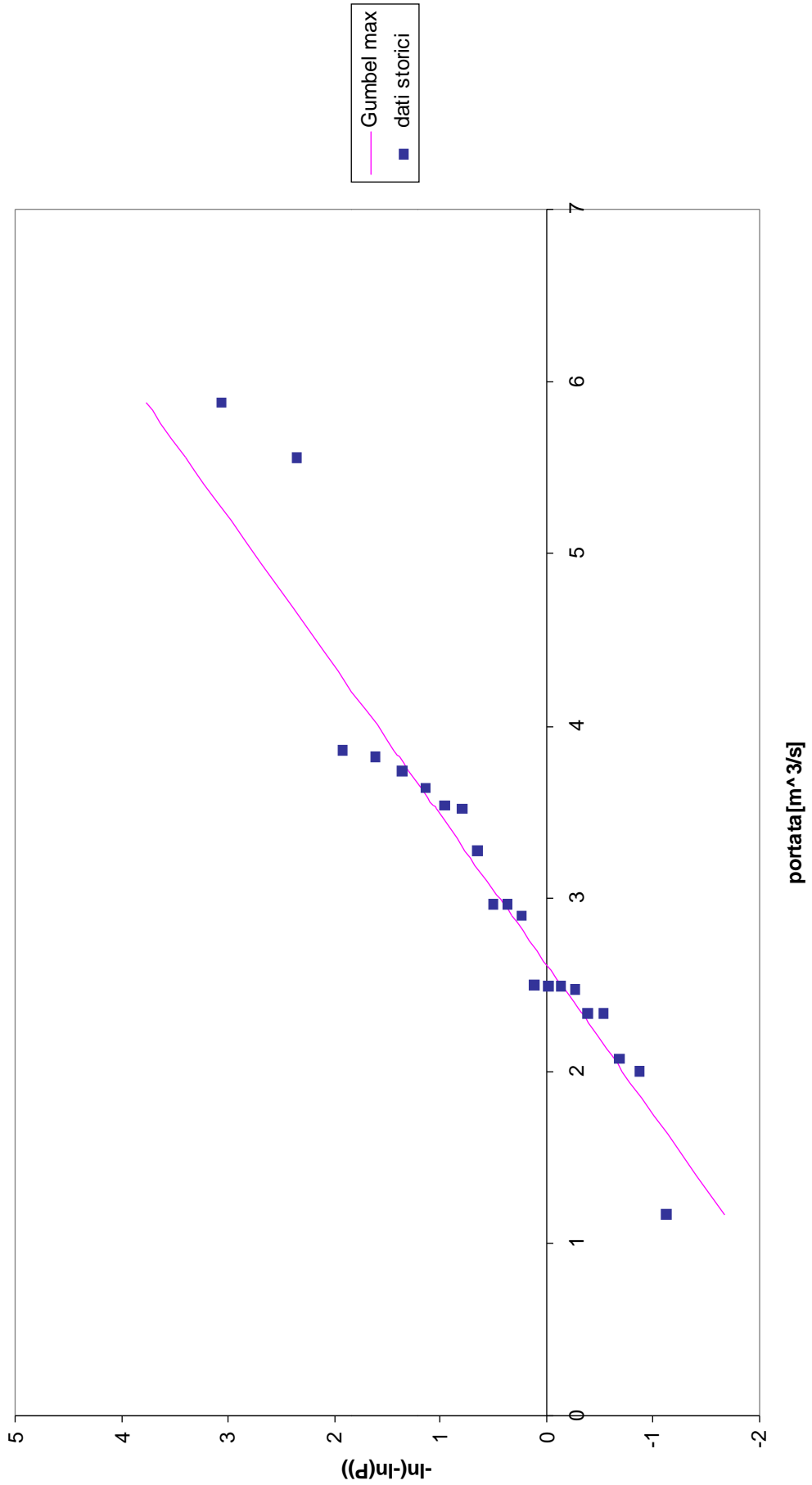
DISTRIBUZIONE GUMBEL AULELLA A SOLIERA (91 GIORNI)



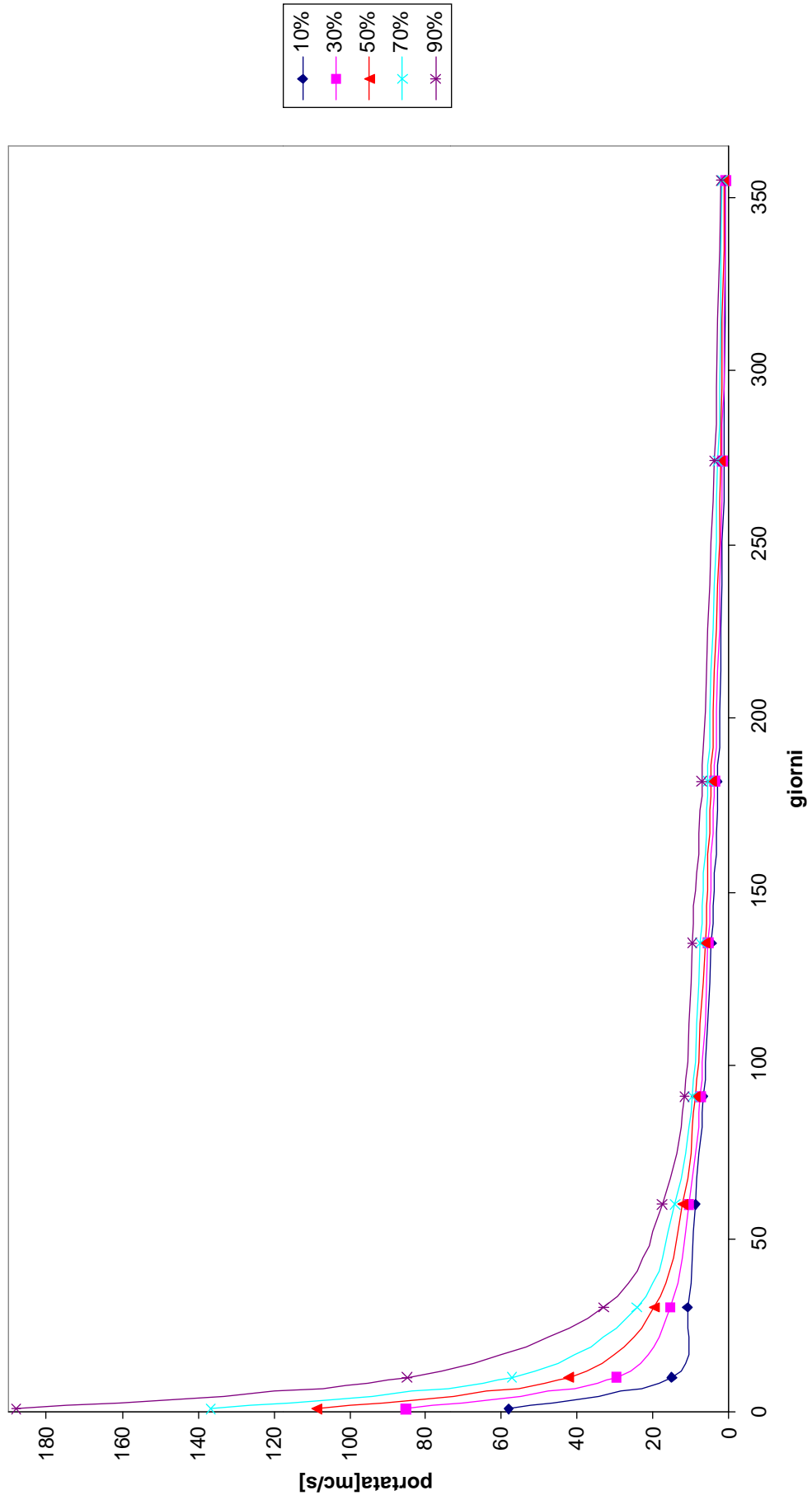




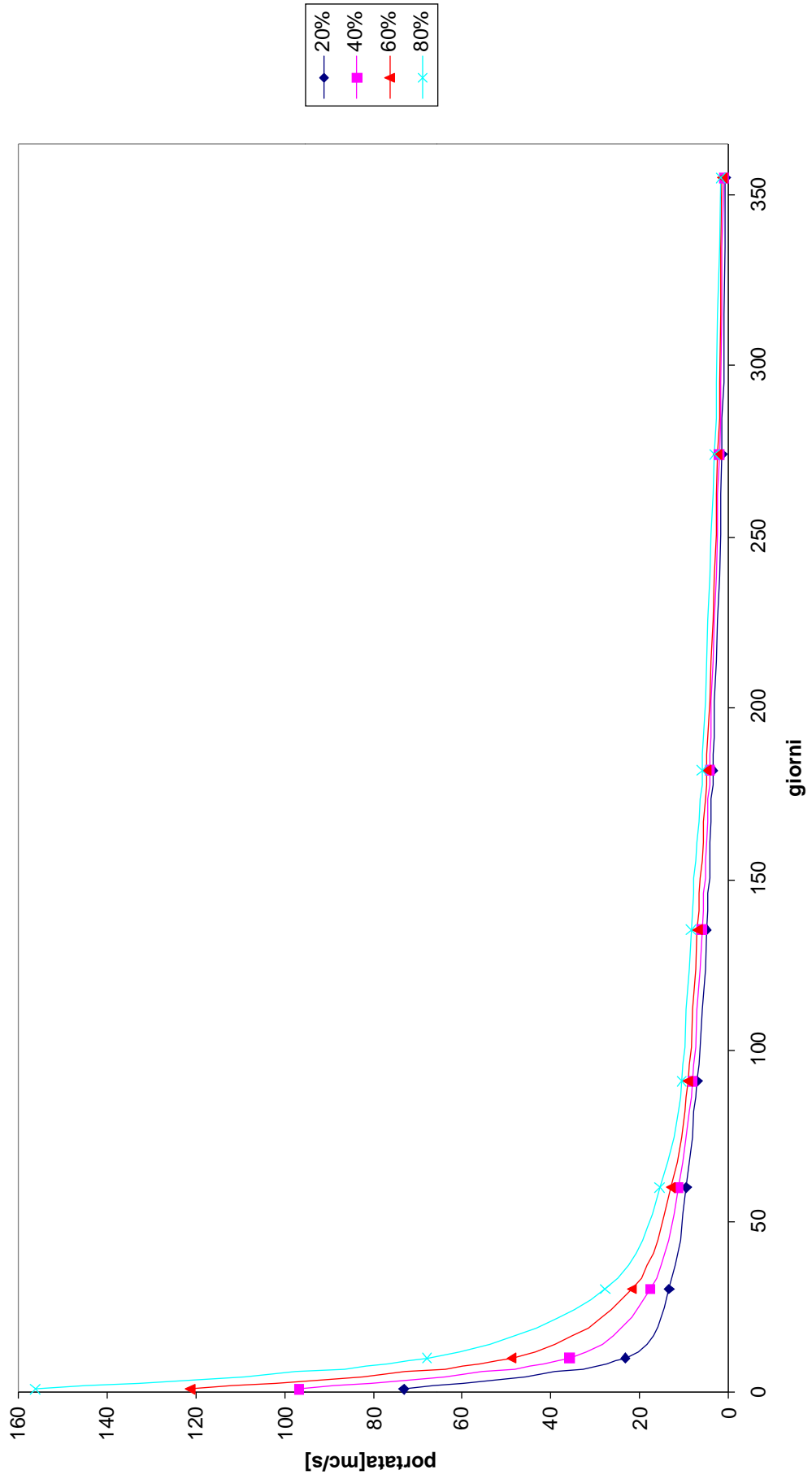
DISTRIBUZIONE GUMBEL PICCATTELLO (91 GIORNI)



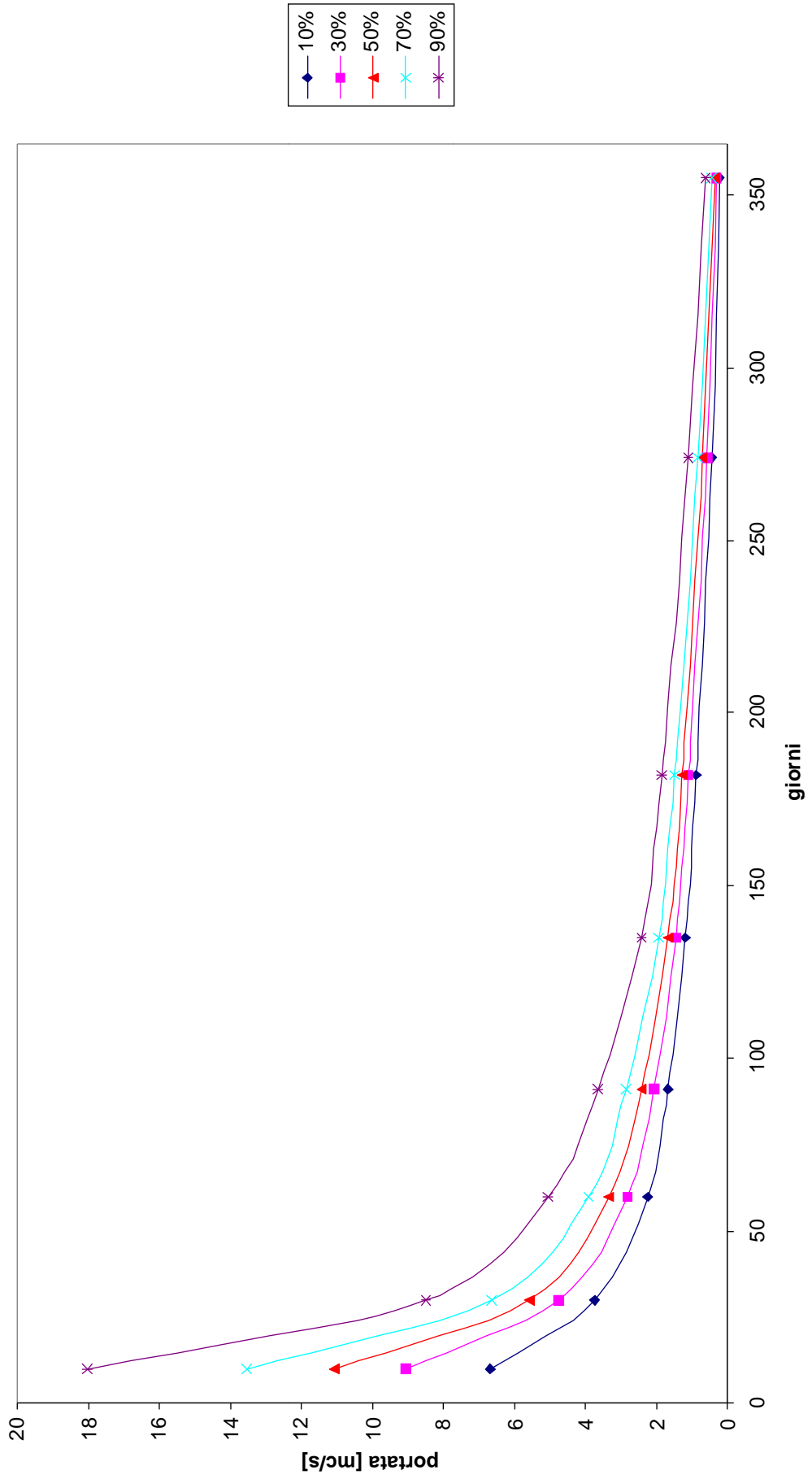
**DISTRIBUZIONE GUMBEL AULELLA A SOLIERA**



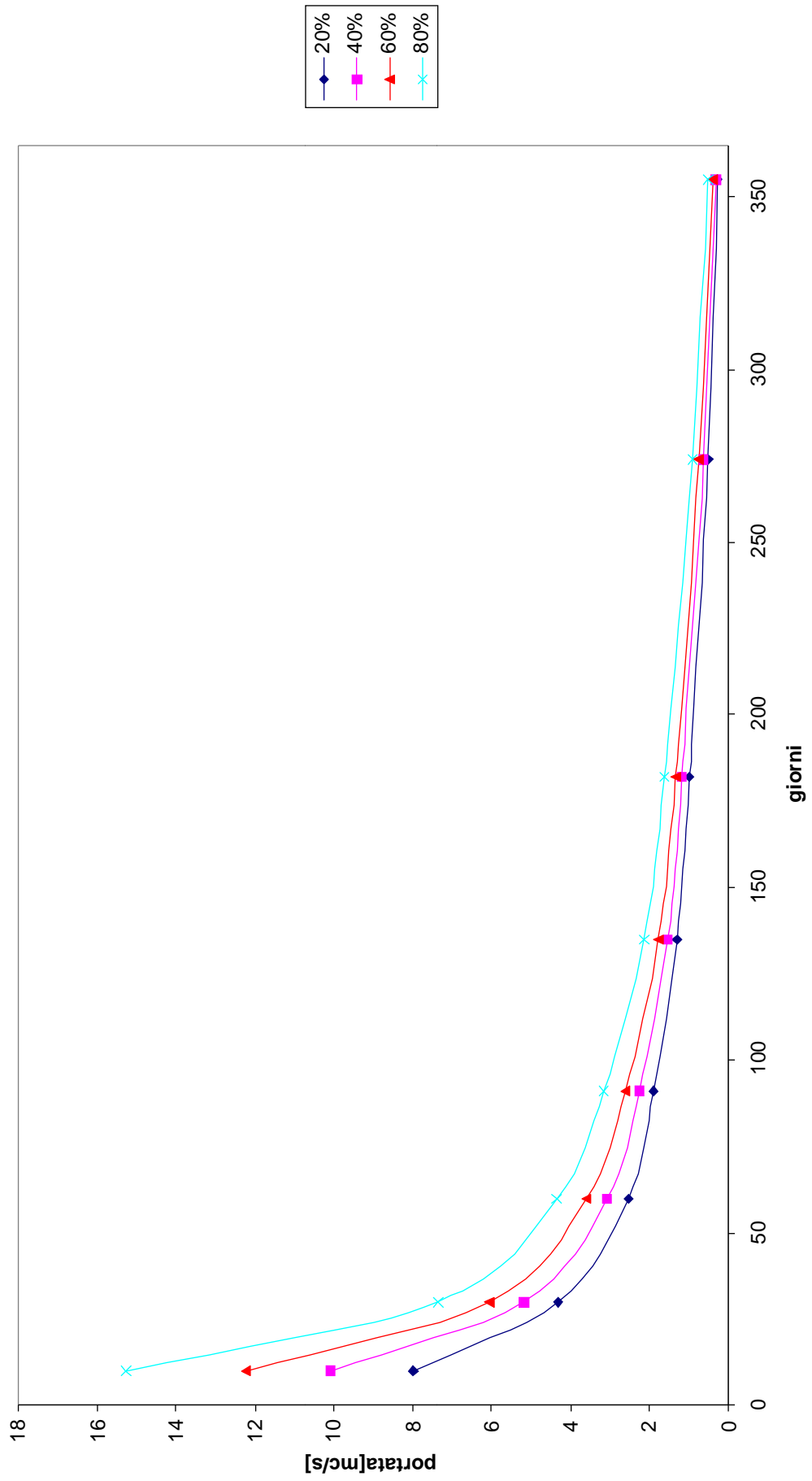
DISTRIBUZIONE GUMBEL AULELLA A SOLIERA



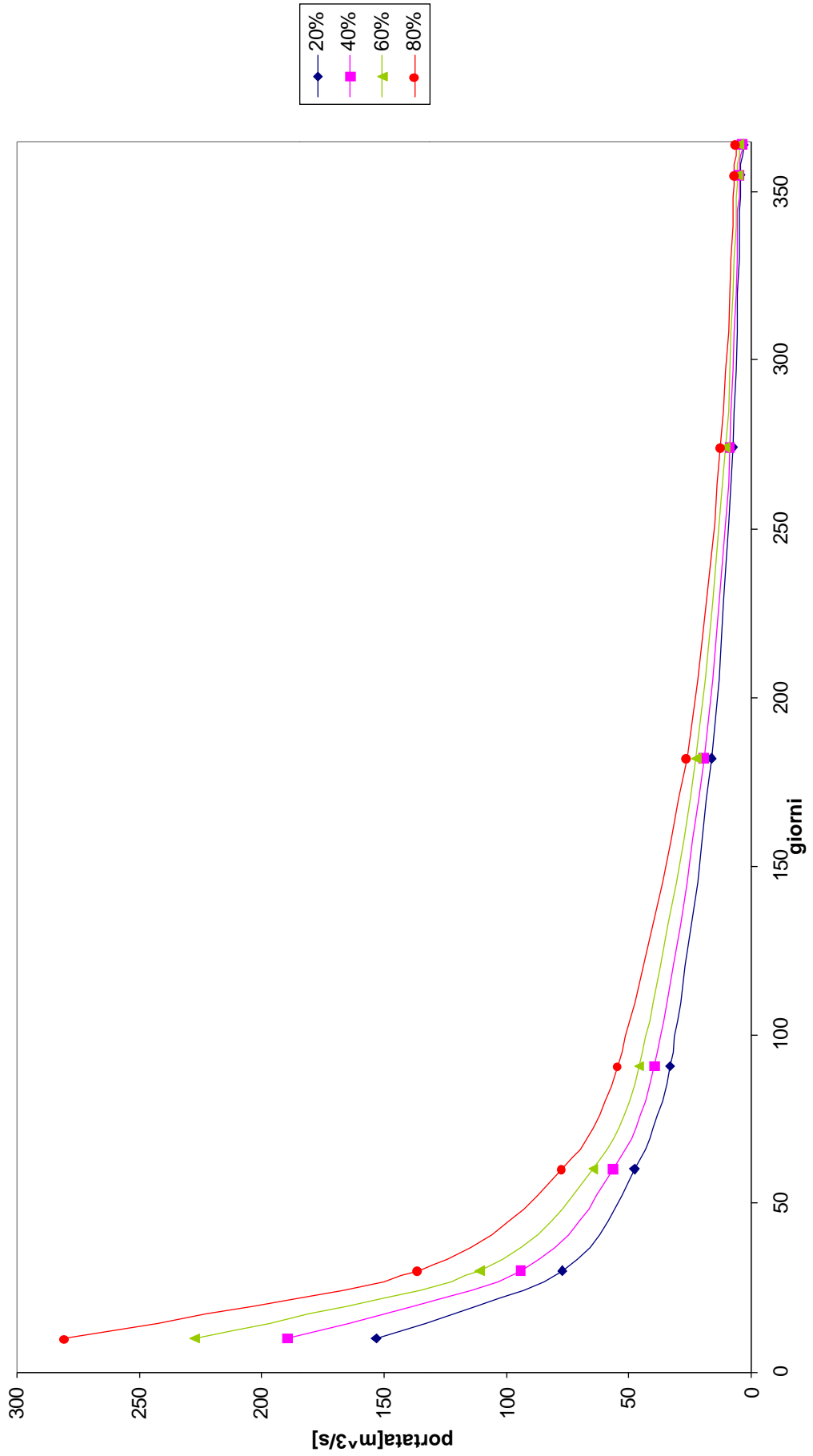
**DISTRIBUZIONE GUMBEL BAGNONE A BAGNONE**



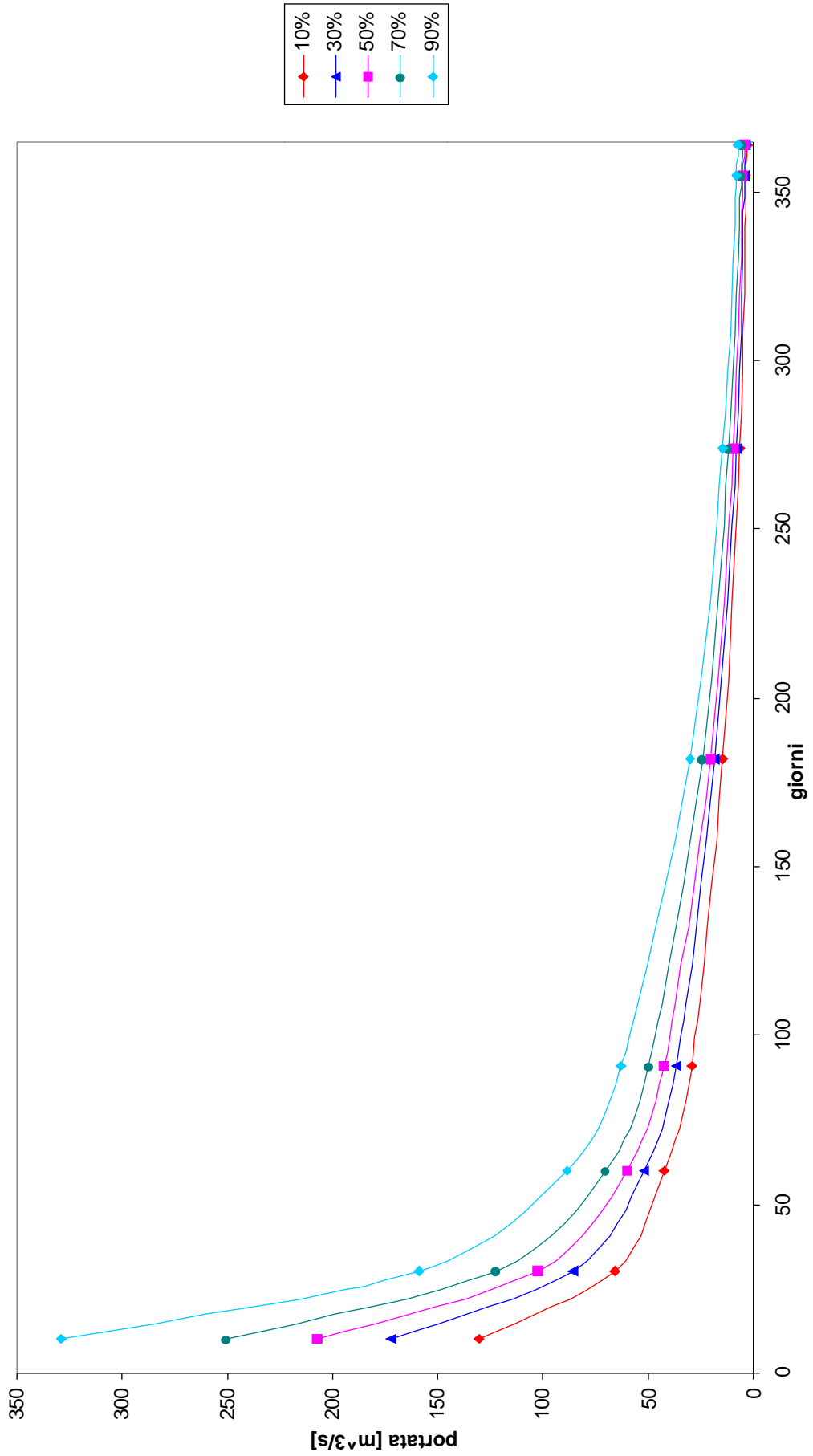
DISTRIBUZIONE GUMBEL BAGNONE A BAGNONE



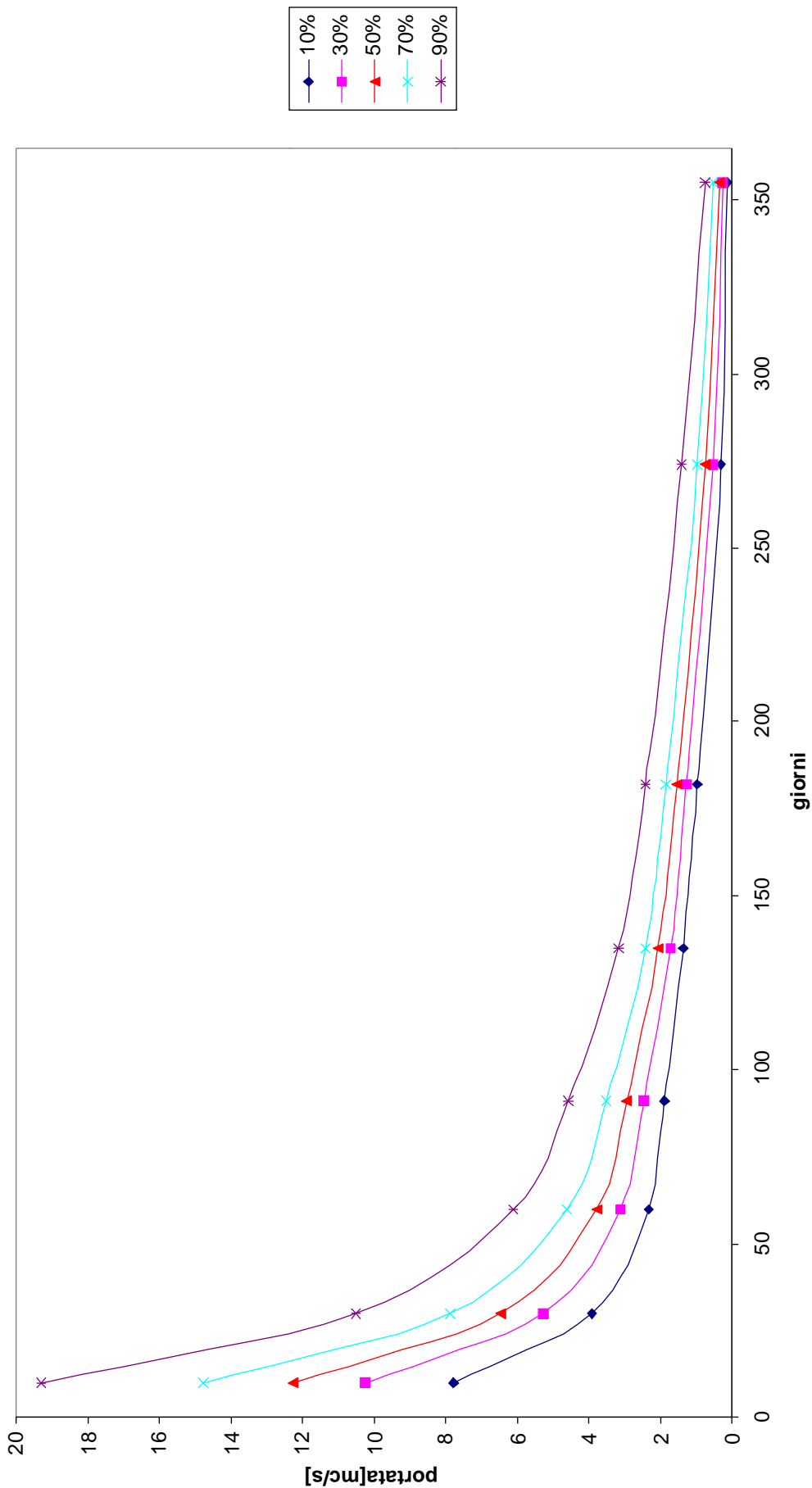
DISTRIBUZIONE GUMBEL CALAMAZZA



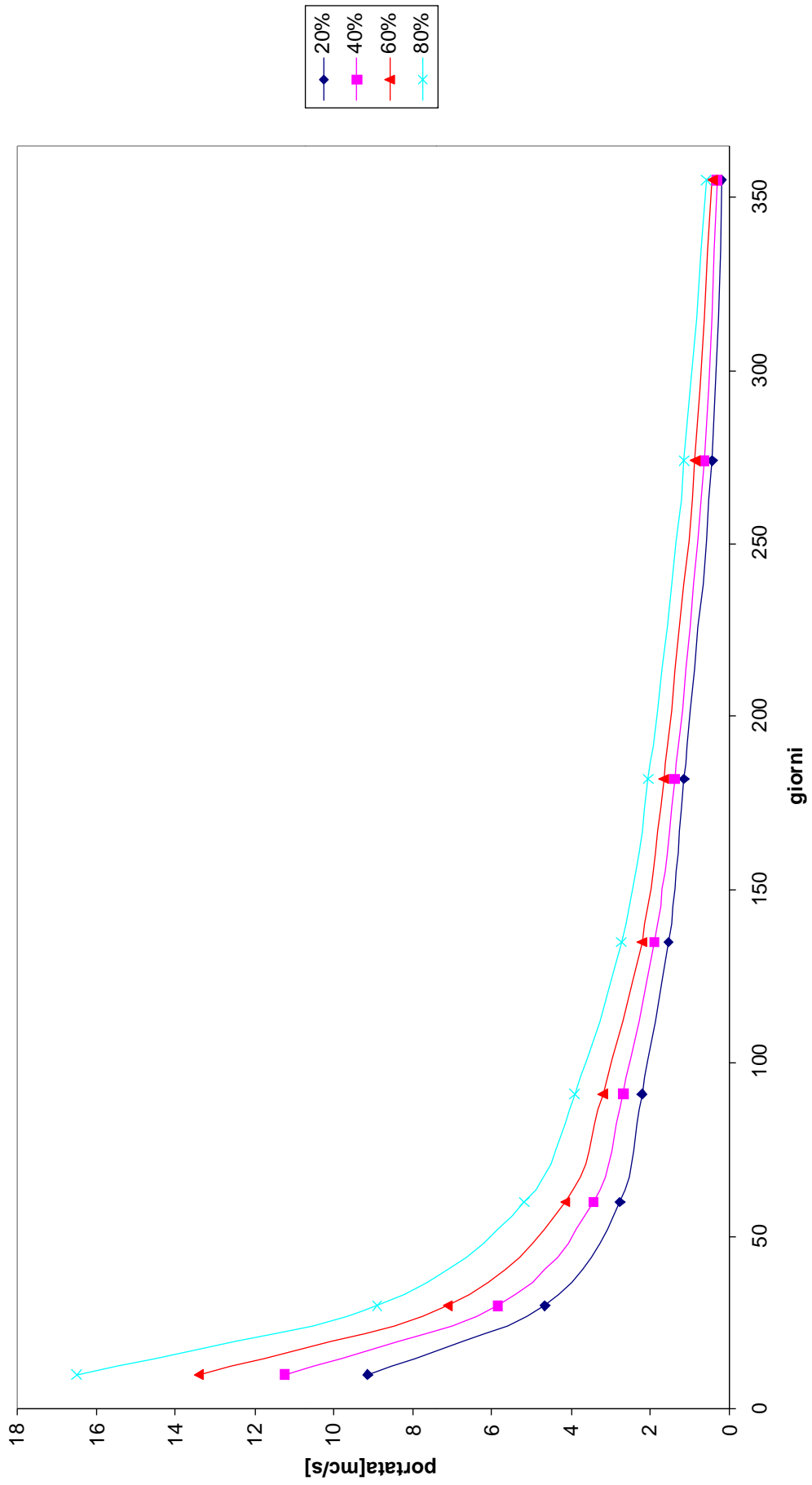
**DISTRIBUZIONE GUMBEL CALAMAZZA**



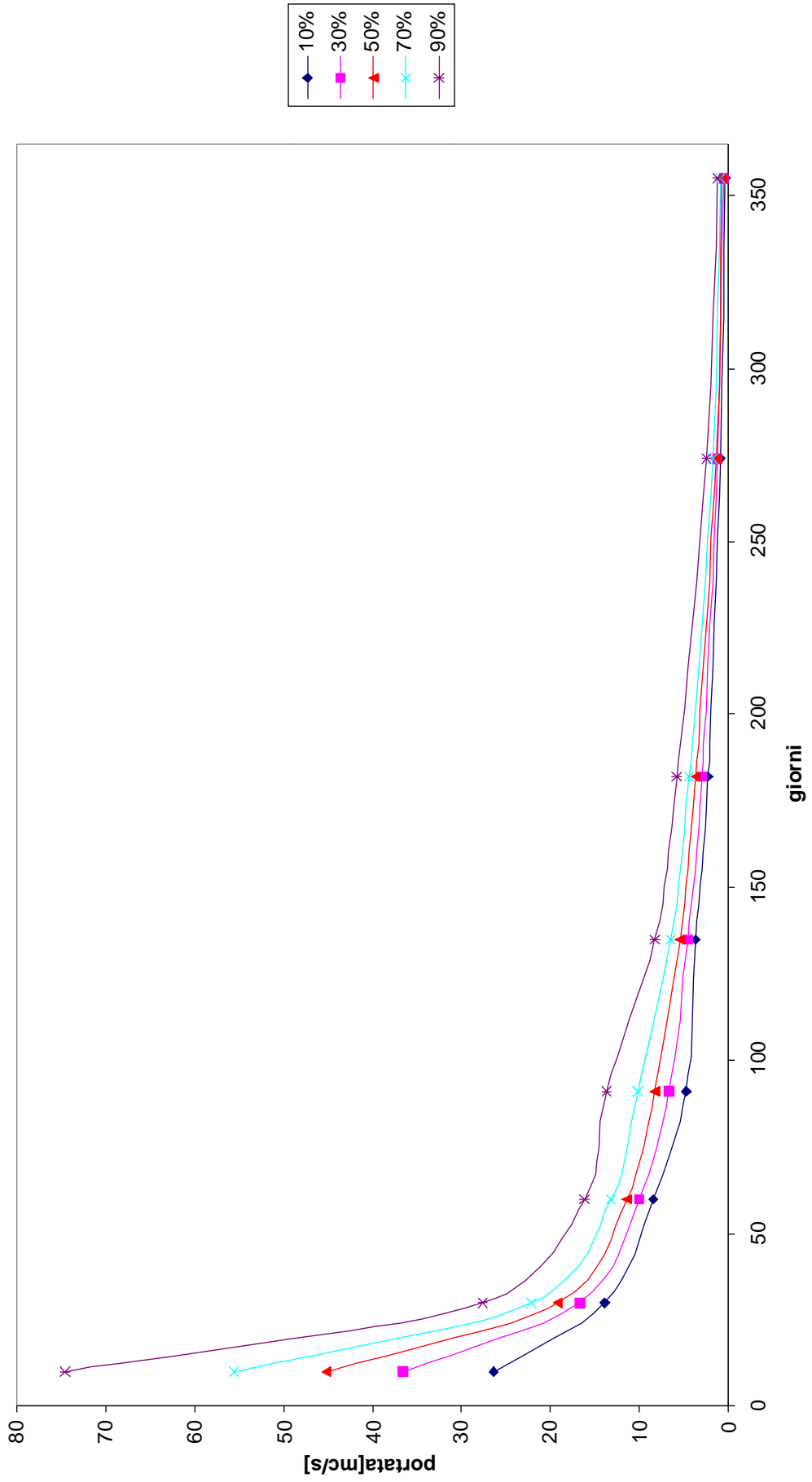
DISTRIBUZIONE GUMBEL PICCATTELLO



DISTRIBUZIONE GUMBEL PICCATTELLO



DISTRIBUZIONE GUMBEL VARA A NASETO



DISTRIBUZIONE GUMBEL VARA A NASETO

