

## 11 Scale di deflusso di piena dei corsi d'acqua naturali in Puglia

*di F.A.Sciancalepore, P.Villani, V.A.Copertino e M.Fiorentino*

### 11.1 Introduzione

Nell'analisi statistica delle piene due sono i tipi di incertezza di cui si tiene generalmente conto: quella relativa al modello probabilistico da adottare e quella relativa alla stima dei parametri per la specificazione del modello. In realtà occorre considerare anche l'incertezza insita nell'operazione di misura del dato idrometrico: infatti, nella pratica, i valori delle massime portate annuali, utilizzati in tali analisi statistiche, sono stimati a partire dalle altezze idrometriche registrate nelle stazioni di misura o, a volte, considerando le tracce lasciate dalle piene.

Il passaggio dal valore idrometrico a quello di portata avviene, come è noto, utilizzando una scala di deflusso, solitamente determinata sperimentalmente attraverso l'esecuzione di misure di portata e di altezza idrometrica contemporanee. Se il valore della piena rientra nel campo delle misure sperimentali gli errori di stima delle portate sono piuttosto contenuti, e non dovrebbero superare il 10% (Dickinson, 1967; Herschy, 1978;), anche se in ambiente montano tali misure debbono essere effettuate con particolari accorgimenti (Bathurst, 1986; Ganhal, 1990).

Molto spesso, invece, la stima delle portate di piena viene ottenuta in base all'extrapolazione ai valori alti della scala di deflusso: in tal caso gli errori di stima possono essere di entità anche molto elevata e se ne può tener conto solo con un'accurata indagine che richiede sia l'analisi delle rilevazioni storiche idrometriche, sia indagini in sito volte all'accertamento delle condizioni idrauliche nelle quali si svolge il moto, nella sezione di misura e in un tratto di canale di sufficiente lunghezza a monte e a valle. Tali indagini sono piuttosto onerose ed inoltre risentono comunque delle incertezze di stima di una serie di parametri idraulici e geometrici, soprattutto in corsi d'acqua in ambiente montano (Bathurst, 1986).

In alternativa, al fine di esaminare per lo meno l'influenza che tali errori di misura possono avere sull'analisi statistica delle piene, si possono adoperare dei procedimenti indiretti di tipo statistico.

Nell'ipotesi che gli errori di misura siano di natura non sistematica, se ne possono valutare gli effetti ricorrendo a modelli di errore, ad esempio di tipo lineare (Federici e Rosso, 1984; Rosso, 1985) oppure di tipo discontinuo (Potter e Walker, 1981; 1982). Gli effetti di tali errori sulle stime dei parametri delle distribuzioni di probabilità dei massimi annuali delle portate al colmo di piena, in particolar modo quando tali stime

sono condotte a partire da campioni di limitata numerosità, possono essere molto significativi. Ad esempio Matalas *et al.* (1975), sulla base del confronto fra la distribuzione empirica dei coefficienti di asimmetria campionari e quelle teoriche derivate da una serie di modelli probabilistici, ha introdotto il concetto di effetto di separazione, secondo il quale alcuni eventi o alcune serie sembrano non appartenere alla popolazione comune. Tale effetto viene comunemente interpretato ricorrendo a modelli probabilistici con capacità descrittive adeguate (Rossi *et al.*, 1984); in alternativa però, può essere anche ascritto alla presenza di diversi tipi di errori di misura (Potter e Walker, 1985).

A causa delle difficoltà nell'esecuzione di misure dirette per le portate di piena, non è stata mai eseguita una verifica a posteriori del modello dell'errore, per cui, allo stato attuale delle conoscenze, tali modelli risultano inapplicabili nella pratica.

Nel seguito si fa riferimento ad una metodologia di identificazione e di correzione dell'errore basata sulla ricostruzione dei valori delle portate massime tramite un'adeguata scala di deflusso delle piene. Come è ben noto, infatti, i dati sui massimi valori annuali delle portate al colmo di piena vengono forniti dal S.I.M.I. sulla base dell'interpretazione della lettura idrometrica attraverso una o più scale di deflusso per ogni anno di osservazione. L'analisi dei fattori fisici che determinano la variabilità di tali scale di deflusso conduce alla formulazione di un'ipotesi per una loro regolarizzazione statistica, utilizzando parametri di chiaro significato fisico. L'applicazione di tale metodologia viene effettuata con riferimento ad alcuni bacini strumentati del compartimento di Bari e vengono mostrati, per essi, gli effetti degli errori di misura sui principali parametri statistici della distribuzione di probabilità delle massime piene annue.

## 11.2 Cause di variabilità temporale delle scale di deflusso empiriche e loro possibili correzioni

Gli Annali del S.I.M.I. forniscono diverse elaborazioni relative ai dati idrometrici: il valore del massimo annuale della portata al colmo di piena istantanea; la relazione fra la portata  $q$  e l'altezza idrometrica  $h$ , fornita numericamente attraverso coppie di valori  $(q, h)$  fino ad un valore relativo alla massima portata effettivamente misurata nell'anno; al di sopra di tale valore è stata fornita per un certo periodo, che per il compartimento di Bari va fino al 1948-54, una scala di deflusso analitica; in seguito, anche in questo campo di valori, la scala di deflusso è stata fornita solo numericamente.

Tali scale di deflusso, numeriche o analitiche, sono in genere variabili di anno in anno e, a volte, anche all'interno dello stesso anno. Le cause di tali variazioni possono essere molteplici, e non sempre vengono riportate negli Annali. In mancanza di un riscontro più diretto, esse possono essere distinte in due classi: di tipo strutturale, in

quanto incidenti sulla natura stessa delle relazioni  $q-h$ , quando ad esempio vi è una variazione dell'ubicazione dello strumento o vengono realizzati manufatti lungo l'alveo che ne modificano il regime idrometrico; oppure ascrivibili a variazioni dell'alveo e della sezione, derivanti dal loro adattamento alla variabilità naturale del regime idrometrico stesso.

Nel seguito si fa l'ipotesi che le variazioni del primo tipo siano sempre identificabili a priori, per cui vengono considerati solo gli effetti dovuti alle variazioni del secondo tipo.

Tranne nel caso di piene catastrofiche, che producono modifiche macroscopiche nella sezione e nell'alveo, e che in ogni caso si deve cercare di individuare a priori, le variazioni nelle grandezze geometriche ed idrauliche indotte dalle variazioni naturali delle portate sono spesso di natura casuale, sia per entità che per dislocazione; l'ordine di grandezza di tali modifiche è inferiore alle dimensioni tipiche della sezione riferita alla piena di modellamento ed esse rimangono all'interno di tale sezione. Di conseguenza, le variazioni osservate anno per anno nelle scale di deflusso empiriche, riflettono tale natura casuale e la loro estrapolazione ai valori più elevati della portata introduce un ulteriore elemento di variabilità nella stima del massimo annuale della portata.

Per chiarire l'influenza di questo tipo di variabilità sulla scala di deflusso delle portate, si è fatto riferimento ad un semplice schema idraulico con sezione compatta di tipo trapezio, i cui parametri geometrici caratteristici sono dati in Fig. 11.1; si sono generate delle irregolarità di forma semicircolare nel perimetro bagnato, casuali per numero e dimensione; in ogni situazione è stata valutata la scala di deflusso specifica in moto uniforme ed in stato critico. In Fig. 11.1 sono anche mostrati i risultati di tali esperimenti: sono evidenti le fluttuazioni casuali delle scale di deflusso intorno al valor medio nella zona delle altezze idriche interessate dalle irregolarità, mentre tutte le scale di deflusso convergono al valor medio per i valori maggiori. Si confronti questo comportamento con quanto mostrato in Fig. 2a, in cui sono riportati i valori contemporanei delle misure di altezza idrometrica e portata, nonché le scale di deflusso per anno, della stazione sull'Ofanto a Rocchetta S. Antonio scalo.

Sulla base delle considerazioni precedenti, si può formulare l'ipotesi che esista un'unica scala di deflusso delle portate di piena. Essa può essere identificata facendo riferimento direttamente ai valori osservati delle altezze idrometriche in corrispondenza della massima portata istantanea annuale, considerandoli appartenenti ad un'unica scala di deflusso, eliminando così una causa di variabilità nella stima di tali portate ed aumentandone di conseguenza l'affidabilità.

Si possono formulare diverse ipotesi di modello analitico per l'interpretazione dei dati corrispondenti ai massimi annuali delle portate di piena. Ad esempio il S.I.M.I. estrapola in genere le scale di deflusso con un'espressione del tipo:

$$q = a h^{3/2} - b \quad (11.1)$$

che sembra, in qualche misura nell'esponente, richiamare le scale di deflusso in stato critico, salvo considerare, con il termine aggiuntivo, che tale scala non passa per l'origine a causa dello zero idrometrico non coincidente con la quota di fondo della sezione.

Dal punto di vista idraulico, più corretta appare un'espressione del tipo:

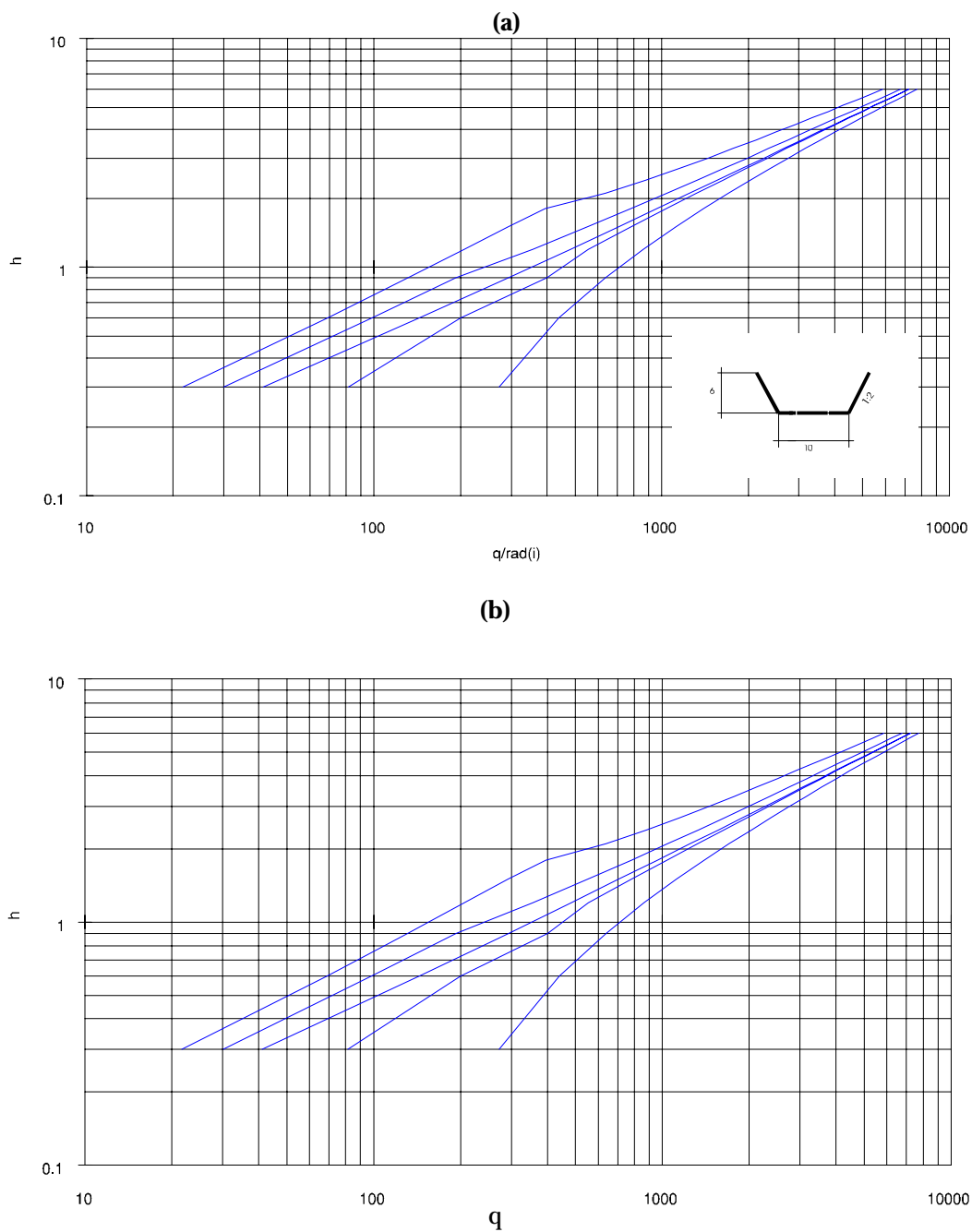
$$q = a (h - h_0)^c \quad (11.2)$$

inizialmente proposta da Herschy (1985), in cui  $h$  è l'altezza idrometrica,  $h_0$  rappresenta una stima dello zero idrometrico rispetto al fondo dell'alveo,  $h - h_0$  è una stima del tirante idrico nella sezione,  $a$  è una stima della portata per tirante idrico unitario, e l'esponente  $c$  può assumere valori variabili in funzione della forma della sezione e delle condizioni in cui si svolge il moto: è noto, ad esempio, che nel caso di moto uniforme, è possibile derivare teoricamente il valore di  $c$  per assegnata sezione (Marchi e Rubatta, 1981). Per sezioni molto larghe, come è generalmente il caso degli alvei naturali, risulta  $c$  molto prossimo a  $5/3$  in moto uniforme e  $3/2$  in condizioni di stato critico.

Se si considerano le grandezze  $q$  e  $h$  in un diagramma logaritmico, la (11.2) è rappresentata da una curva che tende, per  $h \gg h_0$ , ad una retta di pendenza  $c$ : in tal caso, moto uniforme e stato critico non sono fra loro facilmente distinguibili.

Maggiore importanza può assumere la presenza di piani di golena o, comunque, di sezioni di tipo non compatto, comuni negli alvei naturali. In Fig.11.3a viene riportato, a titolo di esempio, un caso di scala di deflusso in moto uniforme di sezione con banchine laterali; per costruire la scala di deflusso è stata adoperata la formula di Chezy mentre la discontinuità nel perimetro bagnato all'altezza  $h_1$  della savanella è stata trattata dividendo la sezione attraverso linee verticali e sommando le portate relative ad ogni sottosezione. La scala di deflusso può essere scomposta in tre parti: per  $h \ll h_1$  si è nella condizione teorica della (11.2), con  $h_0 = 0$ , per cui l'andamento è pressochè rettilineo, con pendenza  $5/3$ ; per  $h \gg h_1$  le perturbazioni indotte dalla presenza della banchina tendono ad attenuarsi e si tende ancora ad una situazione del tipo (11.2) con  $c = 5/3$ , ma con  $h_0 > 0$ ; nella situazione intermedia, invece, anche in diagramma logaritmico vi è una certa curvatura. Nella stessa Fig.11.3a viene mostrata una curva interpolante del tipo (11.2) con  $c$  ed  $h_0$  non fissati a priori: essa si adatta bene ai valori teorici, anche nel tratto intermedio; in tal caso, però, i valori ricavabili per il parametro  $c$  tendono ad essere notevolmente superiori a  $5/3$ .

Per confronto, in Fig.11.3b, vengono riportati i dati relativi alle massime piene annuali per l'Ofanto a Monteverde scalo, per la quale è nota a priori la presenza di ampi piani golenali.



**Fig.11.1:** scale di deflusso in moto uniforme (a) e stato critico (b) per una sezione trapezia di assegnate caratteristiche geometriche e con irregolarità casuali sul perimetro bagnato

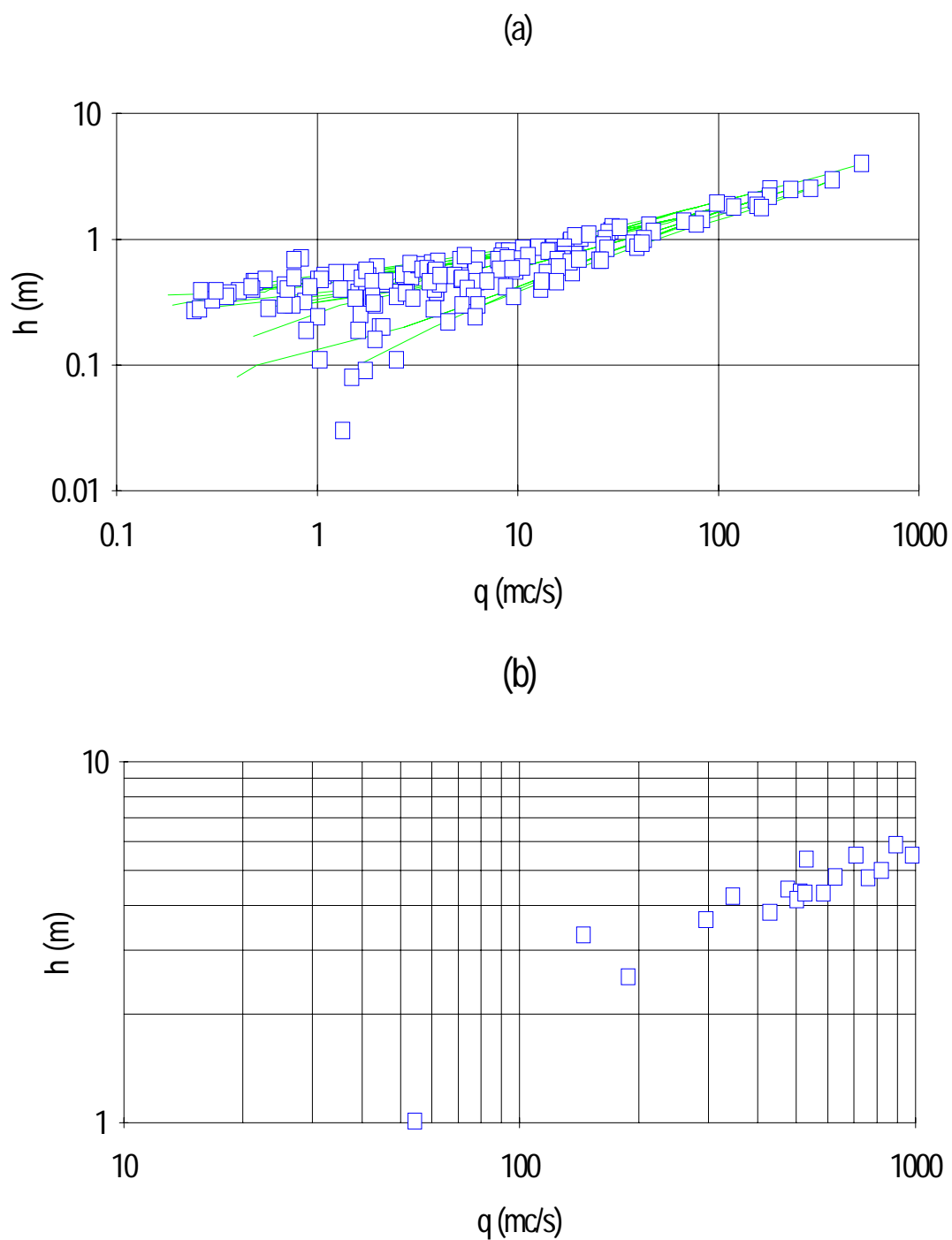


Fig.11.2: Stazione di Ofanto a Rocchetta S. Antonio:

- scale di deflusso per anno, con indicazione delle misurazioni empiriche di portata effettuate
- valori relativi ai massimi annuali delle portate di piena, letti in corrispondenza delle rispettive scale di deflusso annuali

Nel seguito viene condotta un'analisi statistica sull'adattamento della (11.2) considerando per ogni stazione idrometrografica, di volta in volta  $c$  fissato e pari a  $5/3$  oppure come parametro incognito da stimare. I risultati verranno confrontati in termini di migliore adattamento dell'espressione regressiva ai dati attraverso un coefficiente di regressione multipla corretto per tenere conto del fatto che i due modelli sono a numero di parametri diverso. Si ricorda che tale analisi viene condotta con riferimento ai soli dati di portata massima annua.

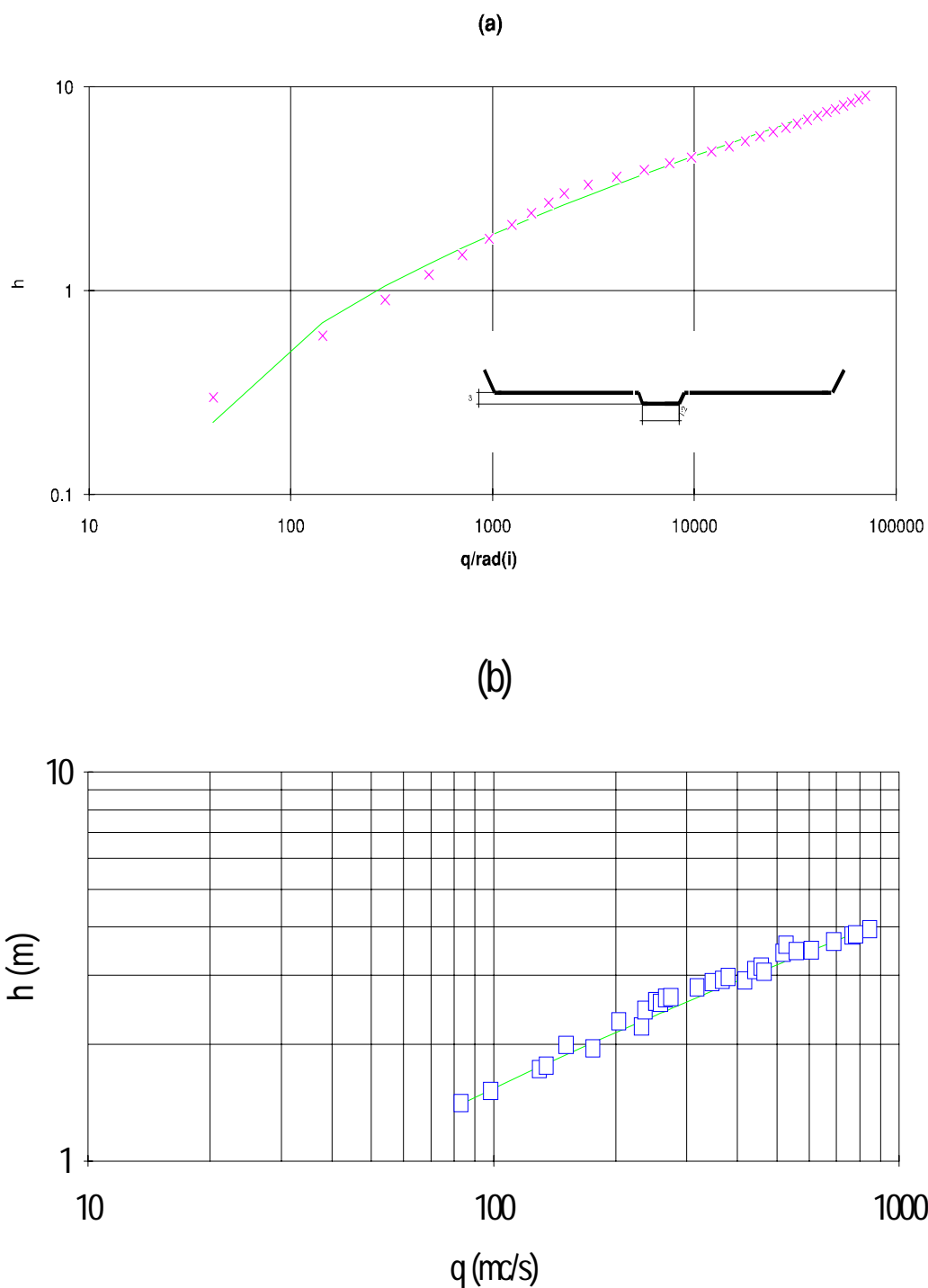
### 11.3 Presentazione dei dati

Il compartimento di Bari del S.I.M.I. ha tenuto in osservazione, a partire dal 1926 e fino al 1985, 24 stazioni idrometriche funzionanti però non tutte contemporaneamente poichè si è proceduto, nel corso degli anni, all'attivazione o alla dismissione di alcune di esse. La localizzazione delle stazioni idrometrografiche prese in considerazione nel presente studio è individuabile nella corografia in Fig. 11.4. Gli intervalli di funzionamento variano da solo qualche anno ad un arco di tempo quasi coincidente con l'intero periodo esaminato, come si può vedere in Tab. 11.1.

Ci si è quindi posti il problema di individuare un sottoinsieme di stazioni che costituissero un campione il più possibile omogeneo ed affidabile per le successive analisi statistiche: ad es. Veltri (1987), come caratteristiche preliminari per l'effettuazione di rilievi in sito, propone di selezionare stazioni che abbiano determinati requisiti in termini di numero minimo di anni di osservazione, ultimo anno di funzionamento, che deve essere successivo al 1970, e range rappresentativo di superficie dei bacini idrografici relativi alle sezioni. Nel caso in esame, poichè lo scopo del lavoro è principalmente la valutazione e l'attenuazione degli effetti degli errori di misura sulle caratteristiche statistiche delle serie delle massime piene annuali, vengono prese in considerazione tutte le stazioni con un numero di anni di funzionamento superiore ad 8, anche se attualmente non in funzione.

Per ogni stazione il S.I.M.I. fornisce annualmente le caratteristiche del sito ossia posizione geografica, distanza dalla foce, superficie del bacino sotteso, sue quote massima e media, tipo dello strumento e quota dello zero idrometrico. Inoltre, come già detto, sugli Annali figurano le coppie costituite dalle altezze idriche e i corrispondenti valori di portata, entro un certo valore di tirante, oltre il quale viene presentata una relazione che è di tipo analitico, fino ad un anno compreso tra il 1948-1954, di tipo numerico, negli anni più recenti. Detta relazione, quando è analitica, ha la forma vista nella (11.1), con  $a, b$  e  $c$  noti; in particolare  $b$  è sempre pari a  $3/2$  e  $c$  è spesso minore di zero, in accordo col fatto che la quota dello zero idrometrico è generalmente maggiore del punto più depresso della sezione.

Esaminando, per una stessa stazione, le relazioni tra tirante idrico e portata si nota subito come esse siano variabili anno per anno e, in taluni casi, anche all'interno di



**Fig.11.3:** scale di deflusso per alvei a sezione non compatta

- a) caso teorico
  - x valori ricavati con la formula di Chezy
  - curva interpolante
- b) stazione di Ofanto a Monteverde scalo
  - valori relativi alle massime piene annue
  - curva interpolante



uno stesso anno, alcune volte in modo notevole, altre volte in maniera quasi trascurabile; ad esempio, per la stazione di Atella a ponte sotto Atella vengono fornite tre scale di deflusso diverse nel 1935, 1936, 1939. Il numero di variazioni, per ogni anno, delle scale di deflusso è visualizzato in Tab. 11.1 per tutti i siti esaminati.

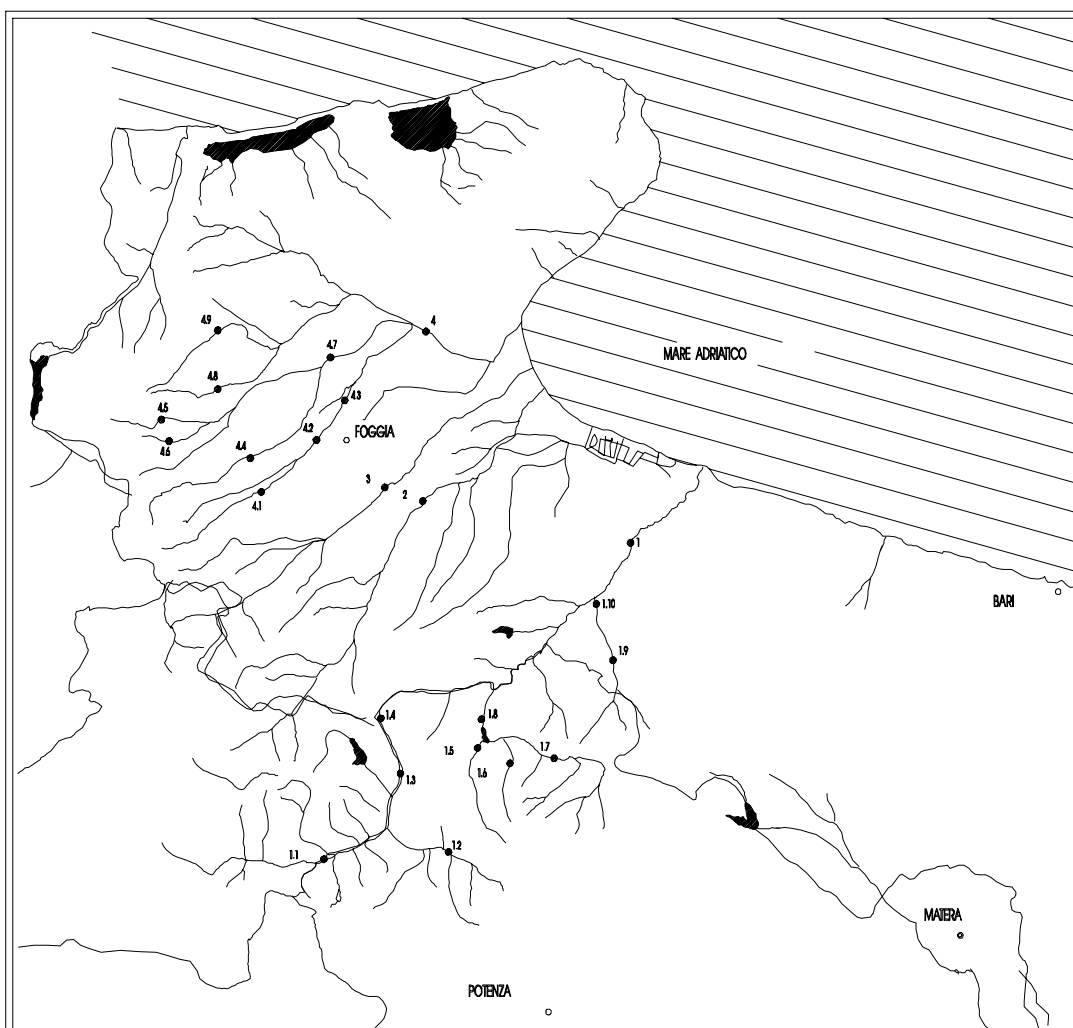
Le scale di deflusso annuali fornite dalla parte II degli Annali del S.I.M.I. sono state rappresentate, per ogni stazione, su diagrammi bilogaritmici: ad esempio, per il fiume Ofanto a Rocchetta S. Antonio scalo si nota, in Fig. 11.2a, un fuso con forti caratteristiche di disomogeneità per bassi valori delle portate, che tendono invece ad attenuarsi per i valori più alti, confermando l'ipotesi espressa precedentemente sull'esistenza di un'unica scala di deflusso per i massimi al colmo, una volta depurati degli effetti dovuti a variazioni macroscopiche. L'attenuazione di tale variabilità risulta ancora più evidente in Fig. 11.2b, in cui si sono appunto rappresentati i valori di altezza idrica letti sulle scale annuali delle portate in corrispondenza dei relativi massimi istantanei per la stessa stazione.

Come si è detto, i motivi delle variazioni delle scale di deflusso, anche nel corso di uno stesso anno, possono essere di natura strutturale o conseguenti a cause naturali, ed occorre una procedura per la loro identificazione a priori.

A questo proposito occorre distinguere fra mutamenti dovuti a spostamenti dello zero idrometrico nella stessa sezione di misura oppure dovuti a variazioni nell'ubicazione o nella forma della stessa e, per ognuno dei casi, occorre fare attenzione al fatto che non sempre tali variazioni vengono segnalate dagli Annali.

Nel secondo caso, una corretta procedura statistica richiede che per ogni variazione venga considerata una serie storica diversa ed infatti in Tab.1 vengono riportati, per le stesse stazioni, numeri d'ordine differenti.

Quando si ha a che fare solo con variazioni dello zero idrometrico si può cercare di omogeneizzare i dati per i diversi periodi in maniera da ottenere una sola serie storica, di numerosità maggiore. Quando lo spostamento dello zero viene segnalato sugli Annali, se ne tiene direttamente conto nelle elaborazioni; alcune volte, però, tale variazione può essere dedotta solo a posteriori, dall'osservazione delle scale di deflusso di piena: infatti, da un punto di vista idraulico, un cambiamento dello zero idrometrico introduce essenzialmente una traslazione dell'origine nella scala di deflusso, oltre che una leggera modifica della pendenza, in scala logaritmica. Se ne può tenere conto considerando tale traslazione come una stima della variazione dello zero idrometrico. Tale procedura si è rivelata spesso di una certa importanza: più volte, infatti, le variazioni di zero idrometrico segnalate sugli Annali, non sono risultate di entità tali da essere rilevate da una semplice analisi statistica al contrario di altre non segnalate. Ad esempio, per il Salsola a P.te Foggia-S. Severo, nel periodo 1933-55 è segnalata una variazione dello zero idrometrico negli anni 1936-49: nelle Fig. 11.5 ne sono mostrati gli effetti sia sulle scale di deflusso per anno che sulle stime delle massime portate di piena annuali. E' evidente che, in questo caso, la variazione



## ELENCO DELLE STAZIONI IDROMETRICHE:

- |      |                                       |      |                                      |
|------|---------------------------------------|------|--------------------------------------|
| 1)   | Ofanto a S.Samuele di Cafiero         | 3)   | Cervaro ad Incoronata                |
| 1.1) | Ofanto a Cairano                      | 4)   | Candelaro a Ponte 13 Luci            |
| 1.2) | Atella a Ponte sotto Atella           | 4.1) | Celone a S.Vincenzo                  |
| 1.3) | Ofanto a Monteverde scalo             | 4.2) | Celone a Ponte SS Foggia-S.Severo    |
| 1.4) | Ofanto a Rocchetta S.Antonio          | 4.3) | Celone a Ponte FS Foggia-S.Severo    |
| 1.5) | Arcidiaconata a Ponte Rapolla-Lavello | 4.4) | Vulgano a Ponte Troia-Lucera         |
| 1.6) | Lapilloso a Ponte SS 168              | 4.5) | Salsola a Casanova                   |
| 1.7) | Venosa a Ponte Ferroviario            | 4.6) | Casanova a Ponte Lucera-Motta        |
| 1.8) | Venosa a Ponte S.Angelo               | 4.7) | Salsola a Ponte Foggia-S.Severo      |
| 1.9) | Locone a Ponte Brandi                 | 4.8) | Triolo a Ponte Lucera-Torremaggiore  |
| 2)   | Carapelle a Carapelle                 | 4.9) | S.Maria a Ponte Lucera-Torremaggiore |

Fig.11.4: corografia delle stazioni idrometriche del S.I.M.I. per gli anni fino al 1985

segnalata non ha influenza pratica sulla determinazione dei parametri delle scale di deflusso di piena. In Fig. 11.6 vengono invece riportati i dati relativi alle massime piene annue per il Celone a P.te Foggia-S.Severo per gli anni 1942-85: in tale periodo gli Annali non riportano nessuna variazione d'alveo o di quota di riferimento, pure la presenza di una traslazione delle altezze idrometriche sembra evidente per gli anni 1942-59.

## 11.4 Regolarizzazione delle serie storiche

Sulla base delle considerazioni precedenti, si è proceduto alla identificazione delle scale di deflusso di piena per ognuna delle stazioni idrometrografiche selezionate. Una volta eliminate le eventuali cause di variabilità di tipo strutturale, i dati relativi per ogni stazione ai massimi annuali delle piene al colmo sono stati regolarizzati utilizzando la (11.2). Nel caso il parametro di potenza  $c$  venga fissato pari a  $5/3$  la (11.2) conduce ad un modello linearizzabile del tipo:

$$y = m x + n \quad (11.3)$$

$$\text{in cui: } y = q^{3/5}$$

$$x = h$$

$$m = a^{3/5}$$

$$n = m h_0$$

Nel caso più generale, la (11.2) conduce ad un modello del tipo:

$$y = m'x + n' \quad (11.4)$$

$$\text{in cui: } y = \log q$$

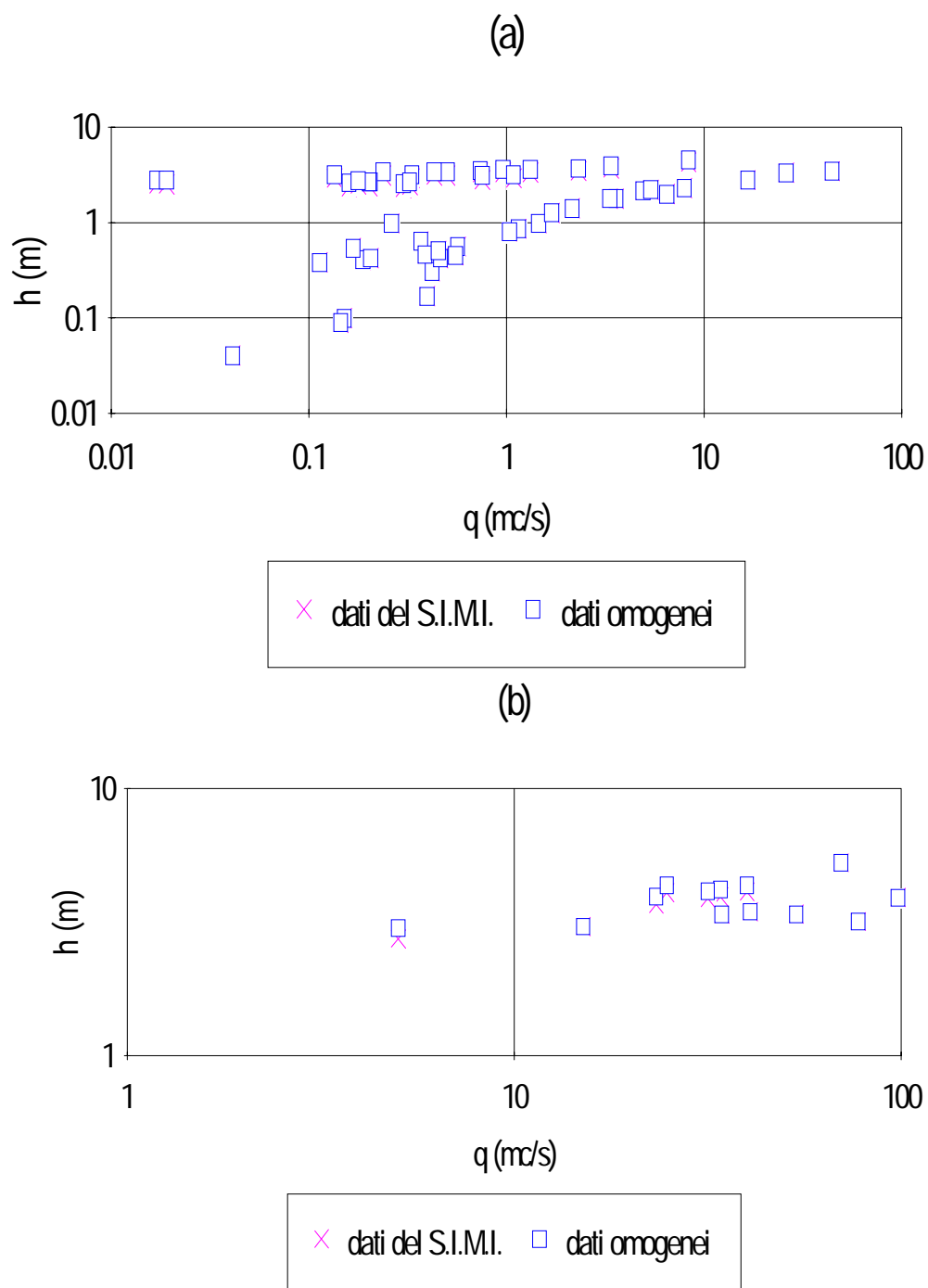
$$x = \log (h-h_0)$$

$$m' = \log a$$

$$n' = c$$

che è quindi quasi lineare in campo logaritmico, in quanto le stime dei parametri  $n'$  ed  $m'$  dipendono, a loro volta, dal parametro incognito  $h_0$ .

Nella letteratura tecnica sono presenti numerosi esempi di modelli statistici per l'interpretazione delle scale di deflusso, anche se nessuno si riferisce direttamente alle sole scale di deflusso di piena. Ad esempio Knighton (1975) considera modelli



**Fig.11.5:** Stazione Salsola a p.te Foggia S.Severo: effetti di una variazione di zero idrometrico segnalata dagli Annali  
a) misure idrometriche dirette  
b) stime delle massime portate di piena annue

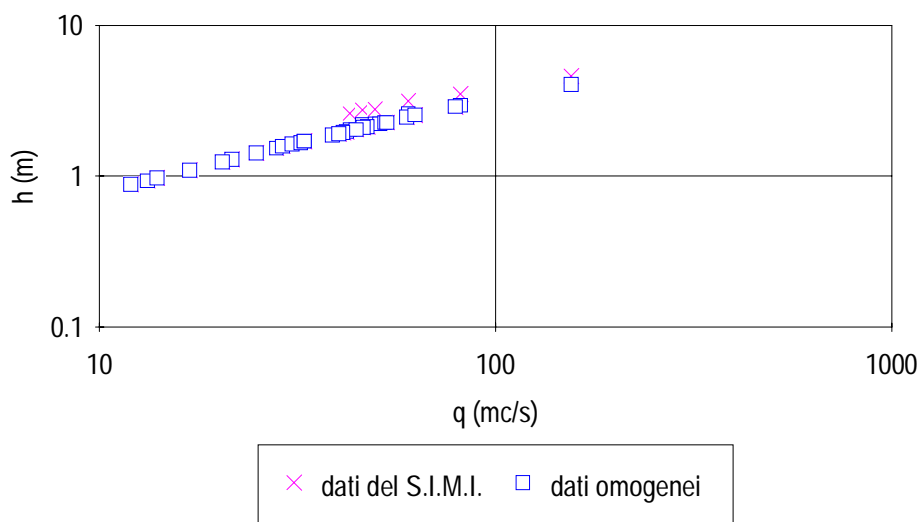


Fig.11.6: Stazione Celone a p.te Foggia-S.Severo: effetti di una variazione dello zero idrometrico non segnalata dagli Annali Idrologici sulle stime delle massime portate annue

di tipo lineare in campo logaritmico; Richards (1973) mostra invece l'adattamento di modelli quadratici in campo logaritmico. Ferguson (1986), in base ad una dettagliata analisi teorica, considera relazioni non lineari: in particolare vengono adottate espressioni a spezzata, identificate con una serie di tecniche statistiche differenti (Eschner, 1983; Bates, 1990).

Nel presente lavoro si fa riferimento ai modelli di tipo più semplice; modelli più complessi, dei tipi visti in precedenza, potranno essere costruiti solo considerando dati geometrici e di scabrezza e modelli idraulici o statistici ad interpretazione idraulica che costituiscano scale di deflusso sintetiche (Colosimo e Veltri, 1987; Bates, 1990).

Nel seguito vengono presi in considerazione entrambi i modelli (11.3) e (11.4) per confronto.

Si nota, in particolare, che il modello (11.3) non sembra adattarsi completamente alle curvature delle scale di deflusso di piena empiriche, che fanno pensare, come si è detto, all'esistenza di piani di golena. Viceversa, utilizzando il modello (11.4) si ottengono spesso stime di  $h_0$  di non chiara interpretazione fisica dato il loro elevato valore, probabilmente influenzato dal fatto che la (11.4) viene tarata direttamente sui valori dei massimi annuali delle altezze idriche. Inoltre occorre tener presente la difficoltà di ottenere una buona precisione nella stima di tre parametri, al posto di

stazione	numero di scale di deflusso per ogni anno													osservaz.	
	26	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85		
Ofanto a S.Samuele di Cafiero		1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1			1 1 2 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2										o +*
Ofanto a Cairano									1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1						o
Atella a p.te sotto Atella			2 3 3 2 2 3 1 1 1 1		1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1										o
Ofanto a Rocchetta S.Antonio	1 1 1 1 1 1 1 1 3 1 2 1 1 1 2 1 2 1 1				1 1 1 2 2 2 3										- +*
Ofanto a Monteverde							1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1								o *
Arcidiaconata a p.te Rap.-Lav.					2 2 1 1	1 1 3 2 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 2				2 1 1 1 2					o x
Lapilloso a p.te s.s.168											1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1				o
Venosa a p.te ferroviario											2 1 1 1 2 1 2 1 1 2 2 2 1				o
Venosa a p.te S.Angelo	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1				1 1 2 1 2 2 2	2 1 2 2	3 1 2 1 3 1	1 1 1 1 1							
Locone a p.te Brandi										1 2	1 1 1 1 1 2 1 1 1 1				*
Carapelle a Carapelle			1 3 1 1 1 2 2 1 1		1 1 1 2 1	1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1				1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1					*
Cervaro a Incoronata	1 1 1 1 3	3 3 1 1 1 2 1 1 2 2			1 1	1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 3 1 1 2				1 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1					o +
Candelaro a strada bonifica 24										1 1 1 1 1 2 2					*
Celone a S.Vincenzo										1 1 1 1 1 2 1	1 2 1 2 2 1	1 1 1 1			*
Vulgano a p.te Lucera-Troia										1 1				o	
Salsola a Casanova										1 3 2 1 1 1	2 1	2 2 1 1 1 2 1 1			o
Casanova a p.te Lucera-Motta										1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1				*	
Salsola a p.te Foggia-S.Severo			1 1 1 3 2 1 1 1 1 1 1			1 1 2 2 2 2	1 1 1 1 1 1 1 1 3			2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1					o +
Triolo a p.te Lucera-Torr.										1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1					
S.Maria a p.te Lucera-Torr.										1 1 1 2 1 3 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1					
Celone a p.te Foggia-Lucera			1 3 1 2 1 2												
Celone a p.te Foggia-S.Severo				1 1 2 1			1	2 1 2 2 1							o x
Locone a p.te Canosa-Lavello				1		1 1									
Candelaro a p.te 13 luci									1	1 1 1 1 1 2 2					

Tab.11.1: scale di deflusso, per ogni anno, delle 24 stazioni idrometriche considerate

- o stazione funzionante fino al 1985
- + variazione di zero idrometrico segnalata dagli Annali Idrologici
- x variazione di zero idrometrico non segnalata dagli Annali Idrologici
- \* presenza di piani golenali nota a priori

due, da un numero di dati che non è mai troppo elevato, come si può vedere in Tab. 11.2.

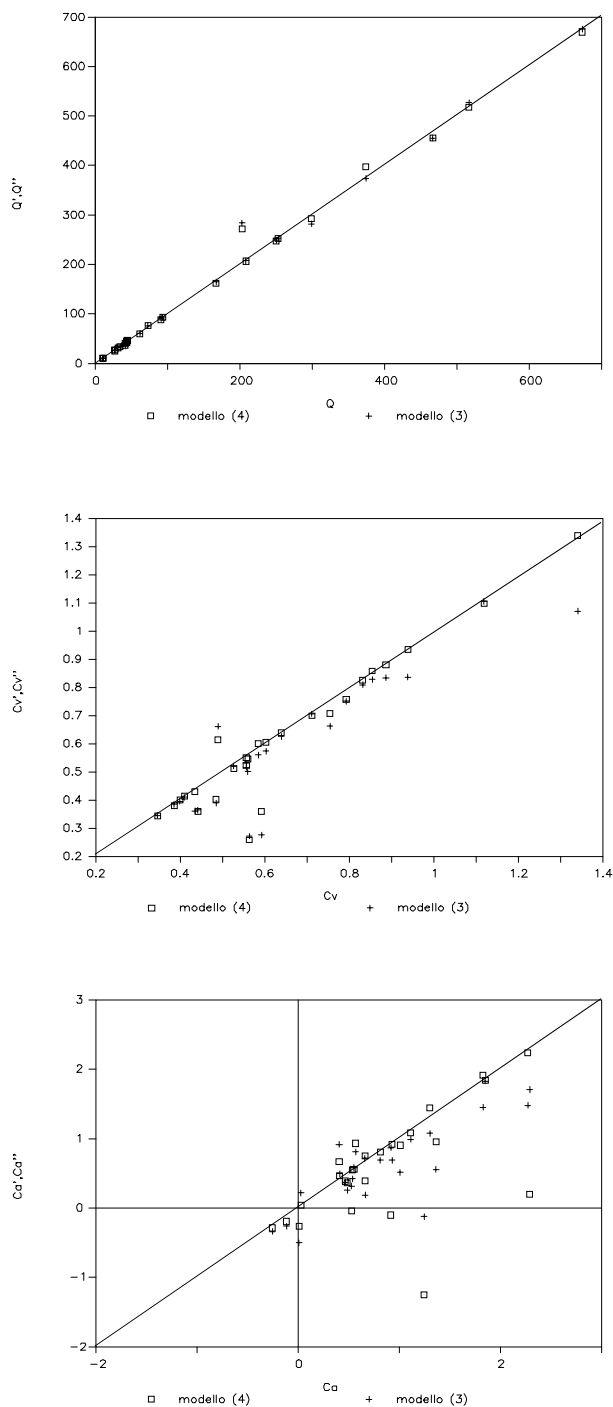
In tutti i casi è stato calcolato, come parametro che misura l'adattamento statistico delle due curve ai valori massimi, l'errore quadratico medio MSE, i cui valori, per ognuna delle stazioni in considerazione e per entrambi i modelli, sono riportati in Tab. 11.3.

Mediante le scale di deflusso di piena così ottenute si è proceduto a ricalcolare i valori dei massimi annuali delle portate istantanee in corrispondenza delle relative altezze, al fine di regolarizzare le serie storiche. Di quest'ultime sono quindi stati calcolati i parametri statistici fino al terzo ordine (media, coeff. di variazione, coeff. di asimmetria) sia prima che dopo la regolarizzazione.

Nelle Fig. 11.7 sono riportati gli andamenti di questi parametri relativamente ai dati storici ed a quelli regolarizzati con entrambi i modelli. In Tab. 11.4 sono riportate le principali caratteristiche statistiche relative ai coefficienti di variazione e di asimmetria delle serie storiche e di quelle ricostruite: le differenze relative tra le diverse ipotesi ricadono tutte ampiamente negli errori di campionatura, così come evidenziati, per la zona in questione, nei paragrafi precedenti (Copertino e Fiorentino, 1992). Questo sembrerebbe dire che, nel caso in questione, gli eventuali errori di misura hanno un'influenza piuttosto limitata sull'analisi statistica regionale delle piene. Naturalmente occorre fare una distinzione rispetto al parametro statistico che si sta considerando: infatti, come è evidente confrontando le diverse Fig. 11.7, le ipotesi introdotte con il modello proposto hanno effetti che si riscontrano man mano di più all'aumentare dell'ordine del parametro. Anche se, come si è detto, tali effetti nella regione esaminata non sono tali da richiedere la modifica delle ipotesi relative alle analisi statistiche regionali. Proprio perchè le influenze degli errori di misura vengono risentite maggiormente sui parametri di ordine più elevato, che sono quelli da cui dipendono gli eventi più estremi, è necessario estendere le analisi qui condotte anche ad altre regioni climatiche, per valutare gli effetti del modello proposto in maniera statisticamente significativa.

## 11.5 Conclusioni

Fra le fonti di incertezza nella stima delle massime portate di piena in un alveo naturale, può assumere un peso non trascurabile quella dovuta agli errori insiti nel passaggio fra altezza idrometrica, letta direttamente alla stazione idrometrografica, e conseguente valore di portata, ottenuto attraverso una scala di deflusso, specialmente nel caso in cui esse derivino da estrapolazione delle misure dirette di altezza e portata contemporanee effettuate in corrispondenza di regimi idrometrici molto inferiori ai valori corrispondenti alle massime piene annuali.



**Fig.11.7:** Confronto tra i parametri statistici delle serie dei massimi annuali delle portate di piena ottenuti dalle serie storiche e dalle serie ricostruite:

- $Q, C_v, C_a$  valori empirici osservati
- $Q', C_v', C_a'$  valori ricostruiti con il modello(3)
- $Q'', C_v'', C_a''$  valori ricostruiti con il modello (4)



La riduzione di tale incertezza richiede accurate indagini in sito, per la determinazione delle caratteristiche geometriche e di scabrezza dell'alveo e di un tratto di canale a monte e valle della sezione di interesse, e per la costruzione di un modello idraulico che tenga conto dei fenomeni idrodinamici, spesso molto complessi, soprattutto in ambiente montano, che coinvolgono sia il trasporto idrico che quello solido.

In attesa di un definitivo aggiornamento dei dati da parte del S.I.M.I., istituzionalmente preposto ad effettuare questo lavoro, si è fatto riferimento ad una procedura di tipo statistico per la regolarizzazione delle scale di deflusso di piena, considerando tutti i dati idrometrici relativi ai massimi annuali delle portate di piena come facenti parte di un'unica relazione. Tale relazione viene identificata attraverso un modello di regressione quasi-lineare in campo logaritmico, per il quale è possibile mostrare una semplice interpretazione di tipo idraulico. Vengono, infine, mostrati i risultati di tale regolarizzazione utilizzando i dati disponibili dagli Annali per alcune stazioni di misura idrometrografiche poste sotto osservazione dal compartimento di Bari del S.I.M.I., con particolare riferimento agli effetti sulla analisi statistica delle piene.

Il lavoro ed i risultati qui presentati rappresentano un primo stadio di una ricerca più ampia sull'analisi degli errori di misura delle portate e sulla verifica dell'attendibilità e della qualità dei dati idrometrografici attualmente in uso. Tale ricerca richiederà da un lato un approfondimento teorico di alcuni modelli statistici e della loro interpretazione idraulica, e dall'altro il reperimento e l'elaborazione di un maggior numero di dati idrometrografici, in ambienti fisiografici differenti.

Nome stazione	n.anni	Q	Cv	Ca
Ofanto a S.Samuele di Cafiero (1929-48)	12	673.4	0.346	-0.115
Ofanto a S.Samuele di Cafiero (1949-84)	33	466.6	0.409	0.570
Ofanto a Cairano	23	208.0	0.385	0.027
Atella a p.te sotto Atella	45	61.7	0.559	0.931
Ofanto a Rocchetta S. Antonio	20	516.6	0.484	0.009
Ofanto a Monteverde Arcidiaconata a p.te Rapolla-Lavello	32	44.9	0.639	0.812
Lapilloso a p.te S.S. 168	11	10.4	0.831	0.537
Venosa a p.te ferr.	13	41.4	0.886	1.30
Venosa a p.te S. Angelo (1929-55)	18	27.4	0.563	1.25
Venosa a p.te S. Angelo (1956-70)	12	91.1	0.938	0.486
Locone a p.te Brandi	10	43.2	1.34	2.27
Carapelle a Carapelle (1935-53)	8	298.9	0.434	0.661
Carapelle a Carapelle (1954-80)	25	252.9	0.556	1.83
Cervaro a Incoronata (1929-39)	11	166.9	0.441	0.528
(Cervaro a Incoronata (1940-55)	10	203.0	0.489	0.405
Cervaro a Incoronata (1956-85)	30	250.2	0.526	0.409
Celone a S.Vincenzo	16	34.2	0.584	1.01
Vulcano a p.te Troia-Lucera	19	72.9	0.79	0.468
Salsola a Casanova	18	42.9	0.754	1.36
Casanova a p.te Luce-ra-Motta (1969-82)	13	26.9	0.854	1.11
Salsola a p.te Foggia-S. Severo (1935-55)	13	41.4	0.592	0.918
Salsola a p.te Foggia-S. Severo (1956-85)	26	93.5	0.399	-0.253
Triolo a p.te Lucera-Torremagg. (1973-84)	9	31.6	0.71	0.552
Canale S.Maria a p.te Lucera-Torr. (1973-85)	8	11.	1.12	1.85
Celone a p.te Foggia-S. Severo	32	43.8	0.602	2.29

Tab.11.2: principali caratteristiche statistiche delle serie storiche dei massimi annuali delle portate al colmo di piena nelle 20 stazioni idrometriche considerate

stazione	MSE	
	mod. (3)	mod. (4)
Ofanto a S.Samuele	3863	3394
Ofanto a S.Samuele	2006	1954
Ofanto a Cairano	180.2	187.7
Atella a p.te s. Atella	209.3	209.4
Ofanto a Rocchetta	13110	12628
Ofanto a Monteverde	1840	1968
Arcidiacon. a p.te R.L.	107.9	100
Lapilloso a p.te SS168	0.026	0.259
Venosa a p.te ferrov.	7.3	15.3
Venosa a p.te S.Angelo	221	213
Venosa a p.te S.Angelo	2094	1713
Locone a p.te Brandi	5.86	342
Carapelle a Carapelle	955	2219
Carapelle a Carapelle	144.3	299.9
Cervaro a Incoronata	2476	2223
Cervaro a Incoronata	32457	38190
Cervaro a Incoronata	705.3	684.9
Celone a S.Vincenzo	4.65	13.7
Vulgano a p.te T.L.	9.64	7.1
Salsola a Casanova	4.08	22.3
Casanova a p.te L.M.	0.644	2.69
Salsola a p.te F.-S.Sev.	775	709
Salsola a p.te F.-S.Sev.	11.6	11.7
Triolo a p.te Luc.-Torr.	1.66	1.27
Can. S.Maria a p.te L.T.	0.288	0.078
Celone a p.te F.-S.Sev	2.15	9.82

Tab. 11.3 : misura dell'adattamento statistico dei modelli teorici scale di deflusso di piena considerati ai valori empirici

	Cv			Ca		
	storica	mod. (4)	mod. (3)	storica	mod. (4)	mod. (3)
media	0.558	0.522	0.507	0.812	0.438	0.481
coeff.var.	0.207	0.255	0.242	0.840	1.654	1.219

Tab.11.4: confronto tra le principali caratteristiche statistiche regionali delle serie empiriche e regolarizzate dei massimi annuali delle portate di piena al colmo, per le stazioni con numero di anni maggiore di 15

## 11.6 Bibliografia

- Bates B.C.: A statistical piecewise linear model of at-station hydraulic geometry, *Water Resour. Res.*, 26 (1), 109-118, 1990.
- Bathurst J.C.: Slope-area discharge gaging in mountain rivers, *J. Hydr. Eng. ASCE*, 112 (5), 376-391, 1986.
- Colosimo C. e Veltri M.: Scale di deflusso sintetiche applicate ai fiumi della Calabria e della Basilicata, in *Seminario su Leggi morfologiche e loro verifiche di campo*, Cosenza, 1987.
- Copertino V.A. e Fiorentino M.: Valutazione delle piene nella Puglia settentrionale, 1992 (in stampa).
- Dickinson W.T.: Accuracy of discharge determinations, *Hydrol. Paper 20*, Colorado State Univ., Fort Collins (CO), 1967.
- Eschner T. R.: Hydraulic geometry of the Platte river near Overton, *U.S.G.S. Prof. Pap. No. 1277-C*, 32 pp., 1983.
- Federici G. e Rosso R.: Gli effetti di errori di misura nelle osservazioni di portata sulle previsioni di piena, *Idrotecnica*, 3, 99-111, 1984.
- Ferguson R. I.: Hydraulics and hydraulic geometry, *Prog. Phys. Geogr.*, 10 (1), 1-31, 1986.
- Ganhal P.: Improved methods of measuring discharge in mountain rivers including problems of bed-load, *Mem. 22nd IAH Congress*, vol. XXII, 1458-1476, Lausanne, 1990.
- Herschey R.W.: Accuracy in Hydrometry, R.W. Herschey (Ed.), 353-397, Wiley, New York (NY), 1978.
- Herschey R. W.: Streamflow measurement, Elsevier, London, 1985.
- Knighton, A. D., Variations in at-a-station hydraulic geometry, *Am. J. Sc.*, 275, 186-218, 1975.
- Marchi E., Rubatta A.: Meccanica dei fluidi, UTET, 1981.
- Matalas N.C., Slack J.R. e Wallis J.R.: Regional skew in search of a parent, *Water Resour. Res.*, 11 (6), 815-826, 1975.

Potter K. W. e Walker J. K.: A model of discontinuous measurement error and its effects on the probability distribution of flood discharge measurements, *Water Resour. Res.*, 17 (5), 1505-1509, 1981.

Potter K.W. e Walker J.F.: Modelling the error in flood discharge measurements, *Time series methods in hydrosciences*, El-Shaarawi and Esterby (Ed.), 1982.

Potter K.W. e Walker J.F.: An empirical study of flood measurement error, *Water Resour. Res.*, 21 (3), 403-406, 1985.

Richards K. S.: Hydraulic geometry and channel roughness - A non linear system, *Am. J. Sc.*, 273, 877-896, 1973.

Rossi F., Fiorentino M. e Versace P.: Two component extreme value distribution for flood frequency analysis, *Water Resour. Res.*, 20 (7), 847-856, 1984

Rosso R.: Uno studio lineare sull'influenza degli errori di misura delle portate sulla stima delle piene, *Hydrol. Sciences J.*, 30 (1), 137-149, 1985.

Veltri M.: Scale di deflusso dei fiumi dell'Italia Meridionale: primi risultati, in *Seminario su Leggi morfologiche e loro verifiche di campo*, Cosenza, 1987.