

## SCALE DI DEFLUSSO DI PIENA DI CORSI D'ACQUA NATURALI

*P. Claps<sup>1</sup>, M. Fiorentino<sup>2</sup>, F. Laio<sup>1</sup>*

- (1) Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili - Politecnico di Torino – e-mail: claps@polito.it; laio@polito.it
- (2) Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente – Università della Basilicata – Potenza – e-mail: fiorentino@unibas.it

### SOMMARIO

*Nella presente memoria si riconsidera il processo di determinazione dei dati di portata al colmo di piena pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) attraverso una revisione della scala delle portate utilizzata. In particolare, si presenta una metodologia di validazione, da affiancare ai più classici metodi basati sui confronti monte-valle o sulla trasformazione afflussi-deflussi, che consiste nel valutare una relazione livelli-portate con validità limitata al campo delle portate di piena. L'analisi delle scale di deflusso del SIMN ha consentito di riscontrare l'unicità di tale relazione nelle sezioni idrometriche considerate, risultato supportato anche da considerazioni di carattere idraulico. La metodologia è stata quindi applicata ad un caso studio relativo ad alcuni bacini della Basilicata, consentendo di correggere alcune incongruenze presenti nelle serie storiche.*

### 1 INTRODUZIONE

La relazione tra la portata defluente in una certa sezione di un'asta fluviale e l'altezza idrica, denominata scala di deflusso, è alla base dei procedimenti di misura in continuo delle portate. In questo tipo di utilizzo, si considera una relazione univoca, che a rigore non vale nei transitori di moto vario. La scala di deflusso è solitamente determinata sperimentalmente attraverso l'esecuzione di misure di portata e di altezza idrometrica contemporanee. In condizioni di piena, se il valore della portata rientra nel campo delle misure sperimentali gli errori di stima sono piuttosto contenuti (Dickinson, 1967; Herschy, 1978). Molto spesso, invece, la stima delle portate di piena viene ottenuta in base all'estrapolazione 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 apposite indagini (Federici e Rosso, 1984; Potter e Walker, 1981; 1982). E' comunque di fondamentale importanza, ai fini di una valutazione corretta della misura, che si riconosca che la scala delle portate presenta incertezza via via crescente con il valore dell'altezza idrometrica (Kuczera, 1996; Clarke, 1999). Inoltre, la scala di deflusso risulta spesso variabile nel tempo, dal momento che possono intervenire una serie di fattori, di origine sia naturale che antropica, ad indurre modificazioni alla morfologia dell'asta fluviale, e quindi al regime idraulico che in essa si instaura (v. es. Sciancalepore et al., 1994).

Mentre l'elevata incertezza nella stima dei valori di piena sembra ineliminabile, almeno senza ricorrere a complicate campagne di misura o modellazioni numeriche, il problema della stabilità delle scale di deflusso è trattabile in maniera più semplice: infatti, quando si concentra l'attenzione sui soli eventi di piena, si può sfruttare il fatto che per elevati valori di portata la scala di deflusso può essere ritenuta poco variabile. Infatti, la parte di alveo che più viene modificata è la sezione di morbida (savanella), soggetta a variazioni di forma che incidono nella misura delle portate medio-basse. Per portate elevate vengono interessate, quando esistono, anche le aree golenali, che presentano spesso sezioni notevolmente maggiori della sola sezione di magra. Anche nel caso in cui le aree golenali non vengano attivate in corrispondenza di eventi notevoli, la variazione di sezione risulta sovente piccola nel complesso. Di conseguenza è lecito supporre che la scala di deflusso per elevati valori di portata possa rimanere quasi costante nel tempo, ed è quindi possibile determinare una scala delle portate con validità limitata agli eventi di piena.

In questo lavoro viene presentata una metodologia per la stima di scale di deflusso di piena, nella quale si realizza contestualmente una revisione (e, se necessario, correzione) della serie delle portate massime annue al colmo determinate in sezioni di misura di corsi d'acqua naturali. L'applicazione è stata effettuata sulle sezioni di misura storiche dei corsi d'acqua della Basilicata, in corrispondenza delle quali sono state acquisite tutte le scale di deflusso usate dal SIMN (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale).

## **2 DATI A DISPOSIZIONE E LORO VALIDAZIONE**

### **2.1 Le scale di deflusso**

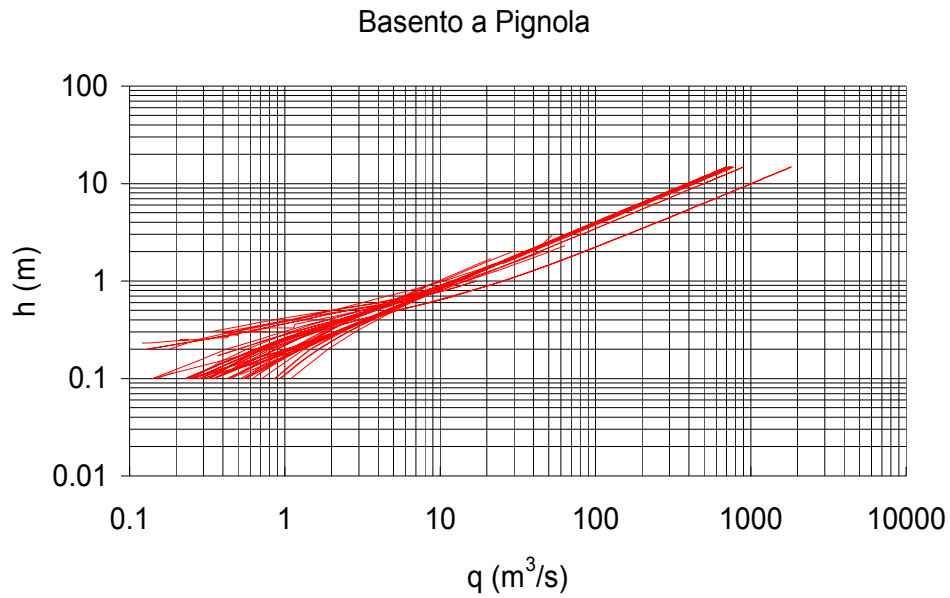
Gli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) riportano nella parte II, sez.C, le scale di deflusso in forma numerica, consistenti in coppie di valori misurati di altezza idrica e portata. Per valori superiori alla massima portata misurata, viene invece seguita una relazione analitica. In particolare, per portate elevate, le scale di deflusso sono ottenute per estrapolazione da un modello del tipo :

$$q = c \cdot h^{3/2} - d \quad (1)$$

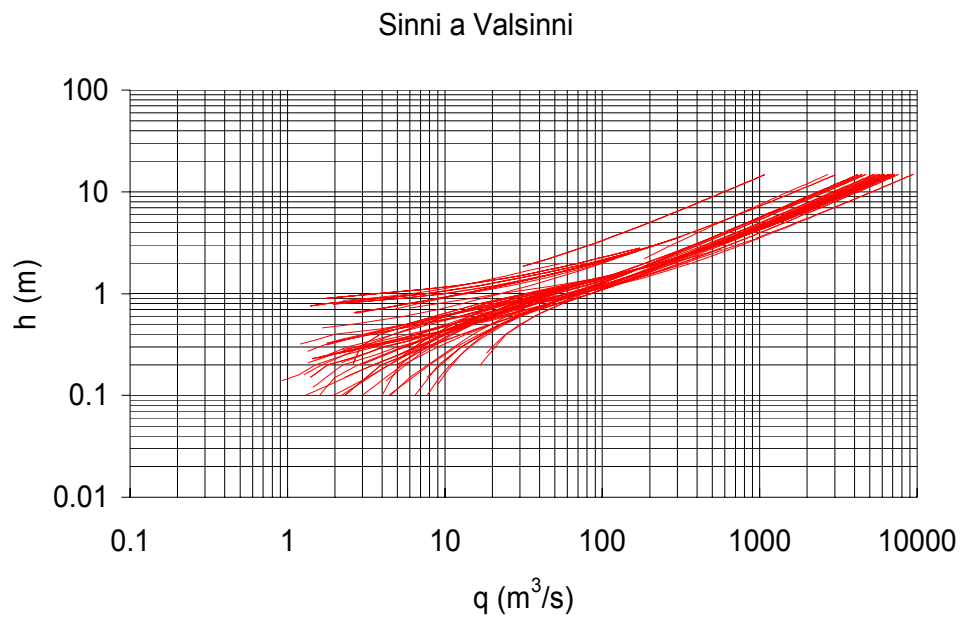
in cui :

- $q$  = portata;
- $h$  = altezza idrometrica;
- $c, d$  = coefficienti da stimare.

Dall'analisi delle scale di deflusso che così risultano emerge una spiccata variabilità da un anno all'altro ed anche all'interno di ogni singolo anno, essendo possibile rintracciare fino ad otto differenti scale di deflusso in uno stesso anno. Nelle Figure 1 e 2 sono riportati due esempi della variabilità delle scale di deflusso utilizzate dal SIMN in una stessa sezione idrometrica, con riferimento a due delle sezioni considerate nell'applicazione.



**Figura 1.** Scale di deflusso in campo bi-logaritmico del Basento a Pignola.



**Figura 2.** Scale di deflusso in campo bi-logaritmico del Sinni a Valsinni, con indicazione del campo relativo alle portate al colmo di piena.

Dall'esame delle Figure 1 e 2 si nota che le scale di deflusso tendono a disporsi in una forma a fuso, più aperta per i valori di portata minori. Tale andamento tipico è ben esemplificato dal caso del Basento a Pignola, dove si evidenzia una certa stabilità delle condizioni idrometriche nella sezione di misura, tanto maggiore quanto più grandi sono i valori di portata al colmo. Ciò risulta in accordo con l'ipotesi che le variazioni nella geometria della sezione, causate dalle portate di modellamento e di piena ordinaria, non abbiano grande influenza sui valori più elevati di altezza idrometrica e portata. In considerazione di questo, appare corretto usare un'unica scala di deflusso per interpretare i valori di portata al colmo di piena, come verrà esposto nel successivo paragrafo 3.

Andamenti simili a quello del Basento a Pignola si riscontrano per molte tra le stazioni analizzate, ma non mancano casi particolari. Un esempio viene dalla sezione di misura del Sinni a Valsinni (Figura 2), per la quale sembra che si possano distinguere due periodi di osservazione distinti, caratterizzati da un diverso comportamento idrometrico. In linea generale, un simile cambiamento può essere dovuto a variazioni del posizionamento dell'apparecchiatura di misura oppure a modificazioni profonde della geometria della sezione, concomitanti ad eventi di piena particolarmente gravosi. Il caso in questione evidenzia una variazione di zero idrometrico, tra il 1942 ed il 1950, cosa di cui si ritrova conferma negli Annali idrologici. Infatti, l'apparecchiatura idrometrografica posta nella sezione di Valsinni andò completamente distrutta nell'alluvione del Novembre 1944 e pertanto si dovette ricostruire la stazione.

Non sempre l'ipotesi circa una eventuale variazione nello zero idrometrico trova conferma negli Annali Idrologici; qualora comunque l'andamento del "fuso" facesse propendere per una variazione dello zero idrometrico, un possibile riscontro di tale variazione potrebbe venire dall'utilizzo di una forma matematica per la scala di deflusso proposta da Herschy (1985),

$$q = a \cdot [h - h_0]^b \quad (2)$$

che si presta più efficacemente della (1) a descrivere l'andamento della relazione altezza-portata in ambito fluviale. Nella (2)  $a$ ,  $h_0$  e  $b$  rappresentano i coefficienti da stimare, ed in particolare  $h_0$  esprime una stima dell'altezza a cui è situato lo zero dell'asta idrometrica di misura. E' sufficiente quindi stimare anno per anno il valore di  $h_0$  e verificare se vi siano variazioni nel tempo del suo valore. Per esempio, per la sezione del Sinni a Valsinni (Figura 2) si riscontra la diversità tra il gruppo di scale di deflusso superiore, corrispondente al periodo che va dal 1937 al 1942, e quello inferiore, a cui si riferisce il successivo periodo di misura, dal 1950 al 1977. Nel prosieguo dell'analisi si farà quindi in modo da rendere omogenea la serie storica completa, tenendo conto della variazione nel valore dello zero idrometrico. Questo tipo di analisi è stato ripetuto per tutte le stazioni idrometrografiche oggetto del presente lavoro, in modo da identificare, nel caso che gli Annali Idrologici fossero carenti di informazioni a riguardo, eventuali variazioni di tipo strutturale, o conseguenti a cause naturali, delle scale di deflusso.

## 2.2 Dati relativi al caso di studio

L'esame delle relazioni  $h-q$  in piena richiede dati di altezza idrica  $H$  e di portata  $Q$  relativi al colmo dell'evento. Questi dati sono reperibili, in parte, sulle pubblicazioni del SIMN. In particolare le fonti sono la sezione F degli Annali Idrologici, denominata "Eventi di carattere eccezionale", e la Pubblicazione N°17 ("Dati caratteristici dei corsi d'acqua Italiani"). Il campione di stazioni idrometriche considerate in questo lavoro è un sottoinsieme rappresentativo di quelle poste dal SIMN sui corsi d'acqua della Basilicata. Ulteriori informazioni sulle piene storiche nel caso specifico dei fiumi lucani sono state reperite in Caloiero & Mercuri (1982). Le stazioni idrometriche considerate ed alcune caratteristiche ad esse associate sono riportate in Tabella 1. Maggiori dettagli relativi alla scelta delle stazioni ed all'analisi preliminare dei dati sono reperibili in Colosimo & Veltri (1987), Veltri (1987) e Di Leo (1994).

TABELLA 1 – Caratteristiche delle stazioni idrometriche considerate. Per piena media si intende la media dei massimi annui di portata al colmo

Stazione	Area (Km <sup>2</sup> )	Anni di oss.	Piena media (m <sup>3</sup> /s)
Bradano a S.Giuliano	1657	17	507
Bradano a p.te Colonna	461	32	202
Basento a Menzena	1492	24	401
Basento a Gallipoli	853	38	353
Basento a Pignola	42	28	35
Agri a Tarangelo	511	32	189
Agri a Le Tempe	176	27	87
Sinni a Valsinni	1140	22	555
Sinni a Pizzutello	232	19	262

Come già accennato in precedenza, i massimi annui di portata al colmo sono ricavati usando le scale di deflusso dello specifico anno, in particolare nella parte in cui esse sono estrapolate. La probabilità che tali dati siano affetti da errore è quindi piuttosto elevata, ragione per cui si rende necessaria una procedura di validazione della stima della portata che tenga conto del numero maggiore possibile di informazioni.

Una possibilità interessante in questo senso si ha nei casi in cui su uno stesso corso d'acqua siano presenti due o più stazioni idrometriche. In tal caso si può verificare la congruenza del dato registrato a monte con quello misurato a valle, durante lo stesso evento di piena. In altre parole, poiché la portata deve in qualche maniera essere proporzionale all'area sottesa dalla sezione in cui si esegue la sua misura, si va a verificare questo legame per tutti gli eventi di piena. Nel caso si dovesse riscontrare la tendenza opposta, si valutano i possibili motivi di tale incongruenza.

I casi che possono determinare incongruenze sono, in generale:

- esondazione prima della sezione di misura di valle;
- laminazione dell'onda di piena;
- errore nell' estrapolazione dalla scala di deflusso;

d) errore di misura dell' altezza idrica.

L'analisi di congruenza tra le portate si può realizzare attraverso un confronto grafico tra le varie stazioni idrometriche poste sulla stessa asta fluviale, ponendo sull'asse delle ordinate i valori di portata al colmo registrati alla stazione di monte e sulle ascisse i corrispondenti valori registrati a valle. Le Figure 3 e 4 riportano esempi di detti confronti; in esse è riportata la bisettrice del piano  $Q_{monte}-Q_{valle}$  per agevolare la comparazione.

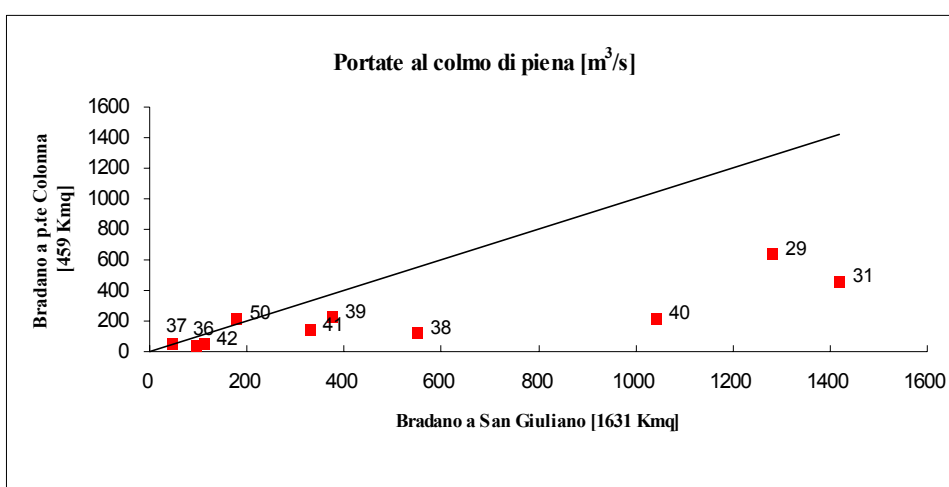


Figura 3. Confronto tra le portate di monte e di valle per il fiume Bradano. I numeri a destra dei simboli definiscono l'anno a cui è relativo l'evento

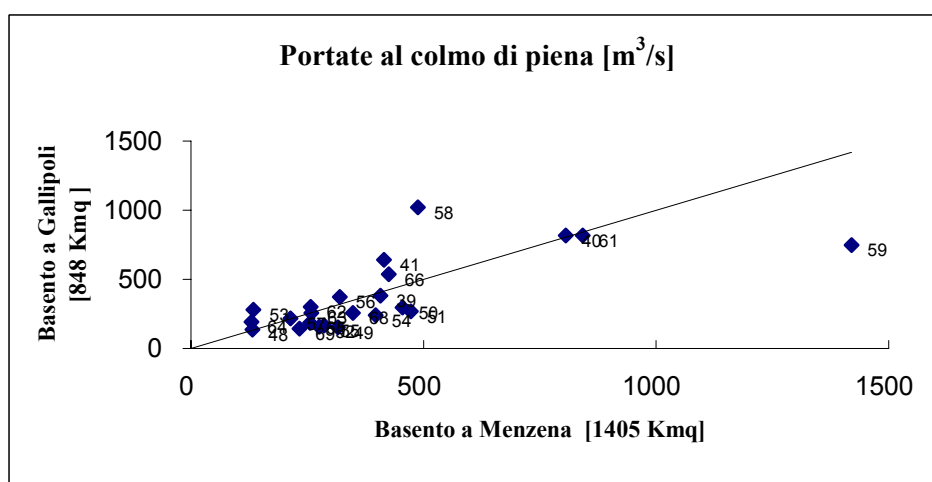


Figura 4. Confronto tra le portate di monte e di valle per il fiume Basento. I numeri a destra dei simboli definiscono l'anno a cui è relativo l'evento

Nel caso di Figura 3 la congruenza monte-valle è chiaramente rispettata, eccetto che per gli anni 1937 e 1950, che comunque non presentano una discrepanza particolarmente significativa. Diverso è il caso del Basento, per il quale invece si riscontrano chiare incongruenze in diversi anni. In particolare, nel 1941 e nel 1958 l'entità delle incongruenze non sembra imputabile a fenomeni di esondazione o di laminazione. Tali dati necessitano pertanto di un'ulteriore verifica, che può avvenire con i metodi descritti nel successivo paragrafo.

### 3 SCALE DI DEFLUSSO DI PIENA

Si è rilevato nelle Figure 1 e 2 che, a meno di variazioni dello zero idrometrico, per elevati valori di portata la scala di deflusso può essere ritenuta poco variabile. Anche dal punto di vista idraulico tale osservazione sembra essere ben fondata, dal momento che nella maggior parte dei casi la sezione d'alveo interessata dagli eventi di piena ha una estensione tale da rendere quasi ininfluenti eventuali variazioni di forma della savanella. Di conseguenza è lecito supporre che la scala di deflusso per elevati valori di portata possa rimanere quasi costante nel tempo, cosa che rende possibile determinare una scala delle portate espressamente dedicata al campo delle portate di piena.

Per le stazioni in Tabella 1 è stata stimata la scala di deflusso di piena utilizzando una relazione generale del tipo proposto da Herschy (equazione (2), in cui si considerano le altezze idrometriche e le portate di piena  $H$  e  $Q$  al posto di  $h$  e  $q$ ). In prima approssimazione, ed in particolare quando il campione è poco numeroso, si è tuttavia preferito utilizzare relazioni più semplici, in cui l'esponente viene fissato a  $3/2$  o a  $5/3$ , per congruenza con le formule di resistenza di Chezy o di Gauckler-Strikler. Ove possibile, la forma della relazione è stata inoltre semplificata ponendo il parametro  $h_0$  pari a zero. I parametri della relazione (2) sono stati stimati tramite regressione non-lineare ai minimi quadrati. Non sono stati presi in considerazione nella stima i punti ( $H$ ,  $Q$ ) chiaramente esterni all'andamento tipico della relazione (v. es. Figura 6). I coefficienti delle scale di deflusso di piena così ottenute sono riportati in Tabella 2.

TABELLA 2 – Parametri della scala di deflusso di piena, Equazione (2)

Stazione	n° Parametri	a	$h_0$	b	$R^2$
Bradano a S.Giuliano	2	24.940	0.0	1.780	0.907
Bradano a p.te Colonna	2	36.690	0.0	1.711	0.813
Basento a Menzена	2	46.810	2.310	5/3	0.770
Basento a Gallipoli	3	112.702	1.189	1.154	0.775
Basento a Pignola	2	9.836	-0.188	5/3	0.970
Agri a Tarangelo	2	32.490	0.960	5/3	0.593
Agri a Le Tempe	2	23.040	0.0	1.382	0.596
Sinni a Valsinni	2	159.682	1.068	5/3	0.899
Sinni a Pizzutello	1	32.000	0.0	5/3	0.399

I coefficienti di regressione  $R^2$  riportati in Tabella 2 sono complessivamente abbastanza soddisfacenti, anche se in alcuni casi (fiume Agri e, in maniera ancor più marcata, Sinni a Pizzutello) le coppie altezza-portata sono piuttosto disperse rispetto alla curva di regressione, probabilmente a causa di ripetute variazioni dello zero idrometrico. La scala di deflusso di piena così ottenuta è rappresentata in due esempi (Figure 5 e 6), in cui si riportano su diagramma bilogarithmico i massimi annui di portata ed altezza idrometrica per le stazioni del Basento a Menzena e del Basento a Pignola.

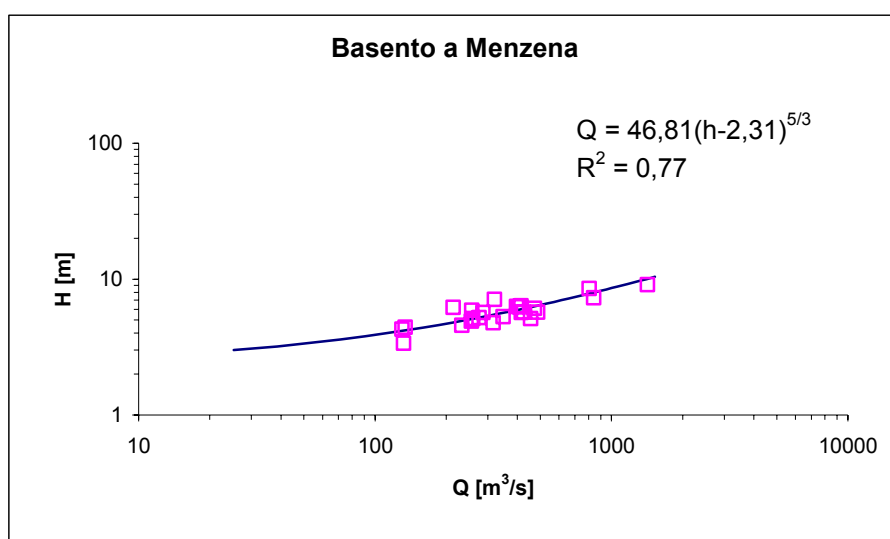


Figura 5. Scala di deflusso di piena per il Basento a Menzena.

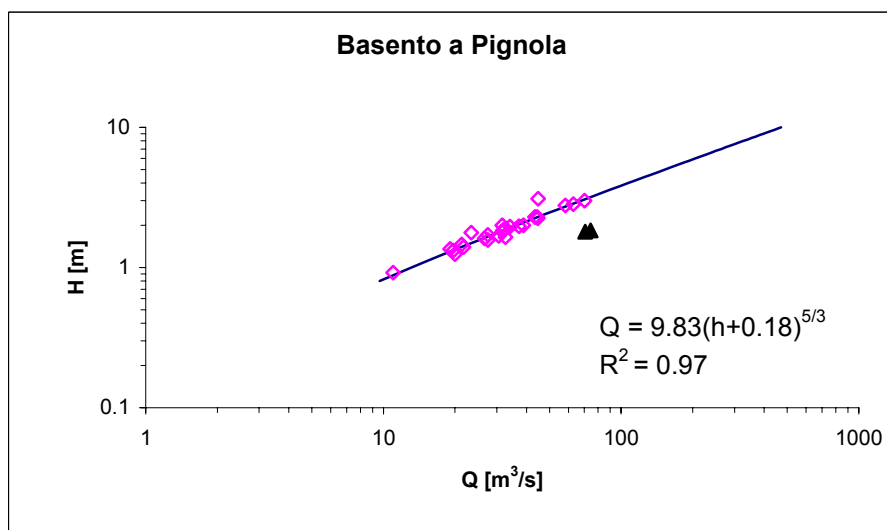
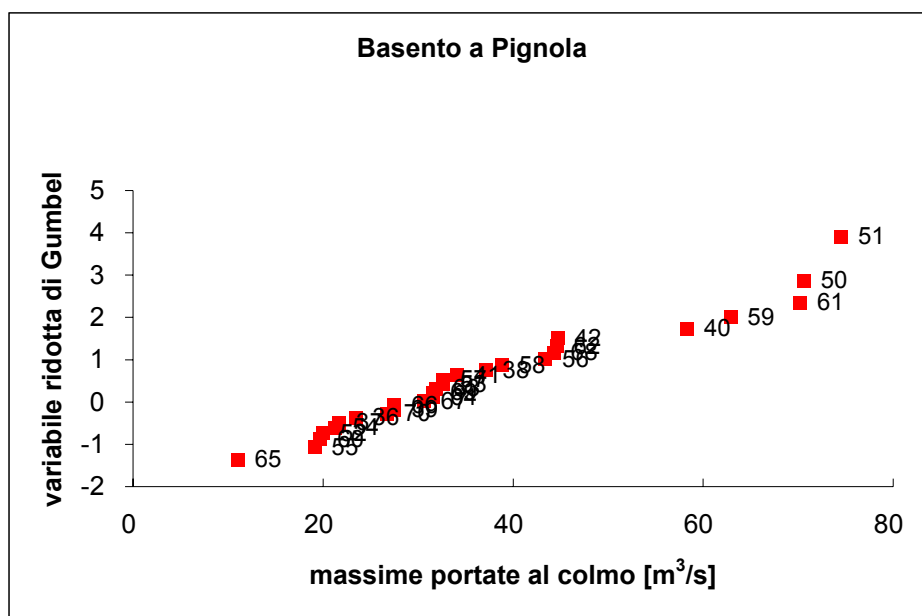


Figura 6. Scala di deflusso di piena per il Basento a Pignola. I punti segnati con i triangoli non sono stati usati nella stima della curva di regressione



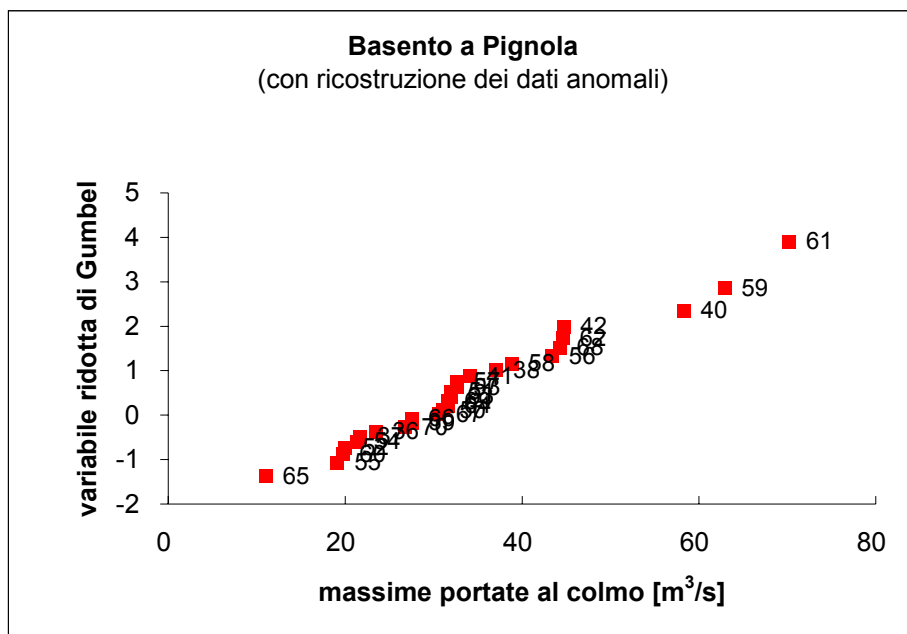
Nel caso di Figura 5 i punti tendono a disporsi con buona approssimazione intorno ad una curva interpolante, con i parametri riportati in Tabella 2, e si ha quindi una buona conferma dell'unicità della scala di deflusso di piena. Per il Basento a Pignola si ha invece una coppia di dati, relativi agli anni 1950 e 1951 e segnalati con dei triangoli, che si discostano chiaramente rispetto alla nuvola costituita dagli altri punti. Tale comportamento consente di individuare i due dati come sospetti, ossia eventualmente da correggere nel caso in cui si riscontrino altre evidenze della loro incongruenza. Nel caso del Basento a Pignola i confronti monte-valle non sono di grande aiuto, dal momento che la sezione di Pignola racchiude un bacino troppo ridotto anche rispetto a quella di Gallipoli, cosicché le due portate misurate non risultano in alcun modo comparabili. Una conferma indiretta della eventuale incongruenza può invece venire da considerazioni di tipo statistico, ossia valutando il comportamento dei massimi annui di portata su carta probabilistica di Gumbel. Per chiarire il procedimento, si sono riportati in carta probabilistica di Gumbel i massimi annui di portata per il Basento a Pignola (Figura 7).



**Figura 7.** Rappresentazione dei dati di portata al colmo del Basento a Pignola su carta probabilistica di Gumbel. Dati originali del SIMN. I numeri a destra dei simboli definiscono l'anno a cui è relativo l'evento.

In Figura 7 si nota che i due dati “sospetti”, relativi agli anni 1950 e 1951, si dispongono in maniera tale da indurre una curvatura verso l'alto nella parte alta della curva di frequenza delle piene; tale tipo di curvatura, che si presenta di solito per sezioni a valle di zone soggette ad esondazione, non sembra congruente con l'effettiva morfologia della zona in esame. Tale comportamento anomalo scompare in Figura 8,

dove si sono corretti i dati del 1950 e 1951 utilizzando la scala di deflusso di piena (con parametri tarati senza utilizzare le due misure “anomale”).



**Figura 8.** Rappresentazione dei dati di portata al colmo del Basento a Pinola su carta probabilistica di Gumbel. Dati del 1950-51 corretti tramite la scala di deflusso di piena. I numeri a destra dei simboli definiscono l'anno a cui è relativo l'evento.

Una volta corretti i dati anomali, si può verificare se le correzioni apportate siano rilevanti ai fini dell'analisi di frequenza delle piene. Nel caso del Basento a Pignola, ad esempio, si ha che la portata con tempo di ritorno centennale stimata tramite legge di Gumbel diminuisce del 16% (da 93 a 78  $m^3/s$ ) a seguito della correzione dei dati con la scala di deflusso di piena. L'aver determinato la scala di deflusso di piena consente inoltre di utilizzare ulteriori dati di altezza idrometrica eventualmente disponibili nella stazione considerata, aumentando così la numerosità del campione e diminuendo quindi l'incertezza di stima della piena di progetto.

#### 4 CONCLUSIONI

La validazione dei dati di portata al colmo di piena è un'operazione preliminare all'analisi di frequenza delle piene che, sebbene piuttosto importante, viene spesso tralasciata. La necessità della validazione deriva dal fatto che le portate al colmo di piena nei corsi d'acqua naturali sono usualmente valutate in maniera indiretta, ossia trasformando le misurazioni di livelli idrometrici tramite scale di deflusso. Nella maggior parte dei casi i livelli raggiunti durante le piene ricadono però in una zona di estrapolazione della scala di deflusso, dove è necessariamente minore la precisione della

relazione stimata. La metodologia qui presentata, basata sulla definizione di una scala di deflusso di piena, fornisce risultati interessanti ai fini della validazione dei dati di portata, come dimostra il caso studio relativo ad alcuni bacini della Basilicata. Infatti, si ottiene una relazione generale tra altezze idrometriche e portate di piena, che consente di risolvere alcune palesi incongruenze nei dati di portata, essenzialmente legate ad un'extrapolazione delle scale di deflusso non rispettosa della effettiva configurazione della sezione. Inoltre, la relazione ottenuta può essere utilizzata anche nei casi in cui si abbiano misure dei livelli idrometrici ma manchino completamente le relative scale di deflusso (situazione molto frequente in anni recenti), contribuendo così ad aumentare il numero di dati a disposizione per l'analisi di frequenza delle piene.

#### **RINGRAZIAMENTI**

Gli Autori ringraziano Giuseppe Di Leo per la collaborazione alla definizione del caso di studio ed all'elaborazione dei dati. Il lavoro è stato parzialmente finanziato con fondi CNR-GNDCI, U.O. 1.21, contributo n. 03.00039.GN42.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- Caloiero D. e Mercuri T., *Le alluvioni in Basilicata dal 1920 al 1980*, 1982
- Clarke R.T., Uncertainty in the estimation of mean annual flood due to rating-curve indefiniton, *J Hydrol.*, 222, 185-190, 1999.
- 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.
- Dickinson W.T.: Accuracy of discharge determinations, *Hydrol. Paper 20*, Colorado State Univ., Fort Collins (CO), 1967.
- Di Leo G.R., *Valutazione delle piene in Basilicata*, tesi di laurea non pubblicata, Università degli studi della Basilicata, Potenza, 1994.
- Federici G. e Rosso R.: Gli effetti di errori di misura nelle osservazioni di portata sulle previsioni di piena, *Idrotecnica*, 3, 99-111, 1984.
- Herschey R.W.: Accuracy in Hydrometry, R.W. Herschy (Ed.), 353-397, Wiley, New York (NY), 1978.
- Herschey R. W.: *Streamflow measurement*, Elsevier, London, 1985.
- Kuczera G., Correlated rating curve error in flood frequency inference, *Water Resour. Res.*, 32(7), 2119-2127, 1996.
- 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 hydrosociences*, El-Shaarawi and Esterby (Ed.), 1982.
- Sciancalepore F. A., Villani P., Copertino V. A., Fiorentino M., Scale di deflusso di piena dei corsi d'acqua naturali in Puglia, in Copertino e Fiorentino (a cura di), *Valutazione delle piene in Puglia*, GNDCI-CNR, pagg. 247-267, 1994.
- Veltri M.: Scale di deflusso dei fiumi dell'Italia Meridionale: primi risultati, in *Seminario su Leggi morfologiche e loro verifiche di campo*, Cosenza, 1987.