

RIESAME ED INTEGRAZIONE DI SERIE DI PORTATE AL COLMO MEDIANTE SCALE DI DEFLUSSO DI PIENA

P. Claps¹, D. Ganora¹, F. Laio¹ & R. Radice¹

(1) Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili, Politecnico di Torino, Italia.
e-mail: claps@polito.it, daniela.ganora@polito.it, francesco.laio@polito.it,
roberta.radice@polito.it.

SOMMARIO

La revisione di un catalogo di eventi di piena, spesso associata ad attività di valutazione a scala regionale del rischio di alluvione, richiede un accurato controllo delle fonti e – nei casi di maggiore impegno – di riconsiderare le relazioni altezza idrometrica - portata usate per la ricostruzione dei valori di massimo annuo della portata istantanea. La costruzione di relazioni altezza-portata relative al campo delle sole portate di piena (scale di deflusso di piena) consente di valutare l'omogeneità delle ricostruzioni effettuate nel passato e di determinare le portate relative a valori non pubblicati di altezza idrometrica. In questo lavoro, il metodo presentato da Claps et al. (2003) viene riesaminato introducendo una maggior oggettività di stima attraverso il ricorso a test statistici. In particolare viene presentato un protocollo finalizzato a valutare la necessità di sdoppiare temporalmente la scala di deflusso ed a ricercare il corretto punto di transizione. Definite la scala o le scale di deflusso in accordo con il protocollo, si definisce un criterio a soglia per la validazione delle portate già ricostruite. Ne risultano scale di deflusso di piena validate e congruenti con i dati del passato, che possono consentire la ricostruzione di dati non ancora pubblicati.

La metodologia è stata applicata a dati relativi a 45 bacini dell'Italia Nord-Occidentale corredati di almeno 5 coppie altezza-portata in condizioni di piena massima annua. Indipendentemente dalla numerosità dei dati, la procedura ha consentito di definire scale di deflusso affidabili per 30 stazioni e di far risaltare alcune corrispondenze altezza-portata poco verosimili.

1 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

I numerosi cambiamenti che hanno interessato negli ultimi 40 anni l'assetto dei servizi di monitoraggio idrologico in Italia hanno portato a livelli di grande criticità l'informazione relativa alle serie storiche di massimo annuo della portata istantanea. Ad oggi, l'unica informazione certificata disponibile in modo omogeneo sul territorio nazionale è costituito dalla Pubblicazione Speciale n. 17 del SIMN (*Min. LL.PP.*, 1939-1970) la cui ultima edizione è del 1970. L'utilità e necessità di provvedere a periodiche revisioni delle procedure di valutazione probabilistica delle piene su scala regionale si scontra quindi con il grave ritardo che il nostro paese sconta nella costruzione di un catalogo sistematico degli eventi di piena occorsi in Italia dopo il 1970. Se da un lato la

scarsa disponibilità di dati rappresenta uno stimolo per il perfezionamento dei metodi di analisi regionale delle portate di piena (v. es. *Claps & Laio*, 2008), resta indiscutibile la necessità di ampliare la base di dati a disposizione per cercare di ridurre l'incertezza associata alla stima delle piene con elevato periodo di ritorno (*Clarke*, 1999).

E' inoltre quanto mai opportuno procedere alla revisione dei dati disponibili, specie se provenienti da fonti diverse dalla citata Pubblicazione n. 17. E' questo il caso del progetto, attivato da ARPA Piemonte, che ha dato origine al presente lavoro. In particolare, il progetto si origina dalla disponibilità, in molte sezioni del territorio piemontese, di misure di altezza idrometrica raccolte sia prima che dopo il 1970 dalla Sezione di Torino dell'Ufficio Idrografico del Po - Parma, facente capo al Servizio Idrografico gestito dal Ministero dei Lavori Pubblici. Tali altezze idrometriche, opportunamente convertite in valori di portata al colmo, andranno ad integrare la base di conoscenza attualmente disponibile sulle portate di piena dei corsi d'acqua in Piemonte; questa conversione richiederebbe la conoscenza di scale di deflusso, meglio se su base annua, tarate dagli uffici competenti a partire da periodiche misure simultanee di altezza idrometrica e portata. Anche in assenza di questa informazione, *Claps et al.*(2003) hanno mostrato che in condizioni di piena, a causa della scarsa variabilità delle scale annue nel campo delle portate elevate, può essere lecito utilizzare una scala delle portate unica, valida cioè per più anni, e come tale definita 'scala di deflusso di piena'. In questo lavoro, estendendo e sistematizzando la procedura di *Claps et al.*(2003) viene definito un 'protocollo', basato su test statistici, per la corretta determinazione delle scale di deflusso di piena e per la validazione di coppie altezza-portata in tutto il campo di osservazione.

Lo sviluppo dei metodi è avvenuto a seguito dell'accurato esame delle condizioni di misura verificatesi nelle sezioni storiche SIMN dei corsi d'acqua di Piemonte e Valle d'Aosta. In particolare sono state acquisite le scale di deflusso annuali usate dal S.I.M.N. e sono state rilevate tutte le segnalazioni presenti sugli annali relative ad eventuali modifiche nella geometria, nella posizione e nello zero di riferimento delle sezioni. Nel seguito viene descritto lo schema utilizzato, la metodica di individuazione e stima della scala di deflusso di piena ed il suo utilizzo per le fasi di validazione dei dati storici. L'impiego delle relazioni così individuate consentirà di ampliare in modo consistente, grazie alla trasformazione delle altezze idrometriche non pubblicate in dati di portata, il patrimonio di dati di piena dei corsi d'acqua considerati.

1.2 Scale di deflusso di piena

Secondo l'approccio proposto da *Claps et al.* (2003), concentrando l'attenzione sui soli eventi di piena, si può formalizzare e verificare l'ipotesi che per elevati valori di portata la scala di deflusso sia stabile nel tempo. Secondo questa ipotesi le variazioni nella geometria della sezione causate dalle portate di modellamento ordinarie avrebbero influenza trascurabile sui valori più elevati di altezza idrometrica e portata. Per portate elevate vengono infatti interessate, quando esistono, le aree golenali, che presentano spesso sezioni notevolmente maggiori della sola sezione di magra e la cui configurazione geometrica varia poco nel tempo. Di conseguenza è lecito proporre un'unica scala di deflusso 'di piena' per interpretare i valori massimi annui. In questi casi il modello scelto per la taratura delle scale di deflusso di piena è la relazione di *Hersch* (1985):

$$q = a \cdot (h - h_0)^b \quad (1)$$

dove q indica la portata, h è l'altezza idrometrica, a e b rappresentano dei coefficienti da stimare ed h_0 esprime una stima dell'altezza a cui è situato il fondo alveo, cioè l'altezza idrometrica h per cui la portata è nulla.

La relazione (1) può essere vincolata a mantenere un esponente $3/2$ o $5/3$, in accordo con le classiche formule di resistenza di Chèzy o Gauckler-Strickler, oppure avere un valore h_0 noto a priori. Si osserva, tuttavia, che quando il campione è poco numeroso è preferibile fissare un parametro per realizzare una stima a due parametri, pervenendo così a stime più robuste. *Claps et al.* (2003), ad esempio, fissano per alcuni bacini lucani l'esponente a $3/2$ o $5/3$ o, in altri casi, semplificano la forma della relazione ponendo h_0 pari a zero. In quest'ultimo caso si riesce a linearizzare l'equazione e a stimare i due parametri incogniti attraverso una regressione lineare.

L'applicazione ed estensione dell'approccio di *Claps et al.* (2003) vengono presentate nei paragrafi seguenti con riferimento alle attività di revisione del catalogo degli eventi di piena in Piemonte.

2 COSTRUZIONE DELLE SCALE DI DEFLUSSO DEI CORSI D'ACQUA PIEMONTESE

2.1 Presentazione dei dati

La metodologia proposta da *Claps et al.* (2003) è stata riconsiderata per la revisione del catalogo degli eventi di piena relativi a circa 40 stazioni ubicate nell'Italia Nord-Occidentale (Figura 1) oggi in gran parte gestite da ARPA Piemonte.

I dati utilizzati provengono dagli Annali Idrologici, con integrazioni fornite direttamente dall'Area Previsione e Monitoraggio Ambientale di ARPA Piemonte, che ha rilevato le competenze dell'ufficio di Torino del S.I.M.N., Magistrato per il Po.

Per ricostruire le scale di deflusso di piena sono necessari i valori di altezza idrica h e di portata q relativi al massimo colmo di piena dell'anno. Si sono considerate sezioni per cui fossero disponibili almeno 5 coppie di altezza idrometrica e portata di piena. Tali valori sono ottenibili: (1) dai 4 volumi della Pubblicazione n.17 del S.I.M.N. per quanto riguarda le portate, (2) dalla sezione F ("Eventi di carattere eccezionale") degli Annali Idrologici presenti negli anni 1957, 1959, 1960, 1966, 1968, 1970, (3) dai *record breaking*, ovvero coppie altezza idrica - portata indicate sugli Annali Idrologici con riferimento ai massimi eventi di piena registrati fino al momento di redazione dell'Annale; (4) dalle strisce idrometriche originali, come avvenuto per la gran parte delle altezze di piena fornite da Arpa Piemonte. Nei pochi casi in cui non sia stata reperita l'altezza idrometrica di piena, si è ricorsi all'applicazione inversa della scala di deflusso analitica annuale. È importante sottolineare che, talvolta, fonti diverse forniscono valori contrastanti di altezza idrometrica per uno stesso anno: in tali casi si è data priorità alle altezze provenienti dalla lettura degli idrogrammi, in quanto le strisce costituiscono una testimonianza della situazione reale.

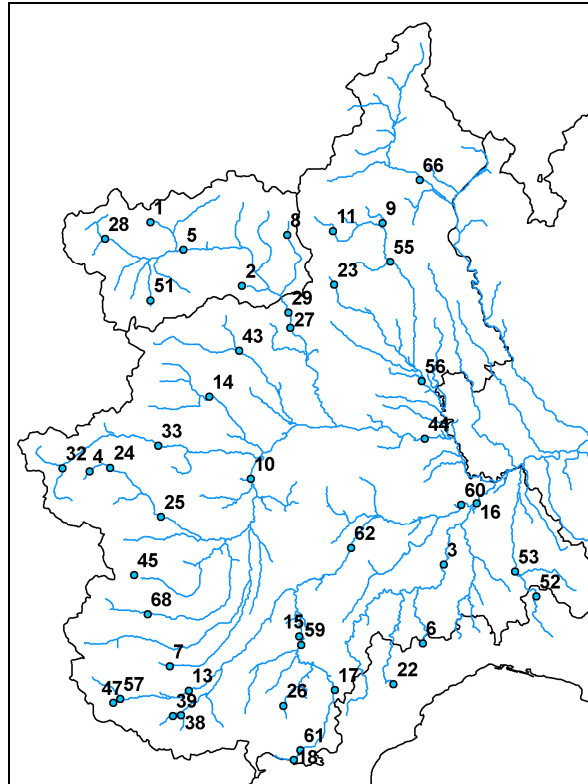


Figura 1. Ubicazione delle stazioni idrometriche considerate.

Nella sezione C degli Annali idrologici si sono altresì reperite informazioni fondamentali circa la quota dello zero idrometrico e la minima altezza idrometrica registrata fino all'anno cui l'Annale si riferisce, utilizzata come h_0 nell'eq. (1). È importante specificare che eventuali variazioni della quota dello zero idrometrico devono essere tenute in debito conto per rendere omogenea la serie storica. Per questo motivo, tutti i valori di altezza idrometrica registrati, compresi quelli relativi al valor minimo assoluto, sono stati riferiti all'ultima quota nota dello zero idrometrico, potendosi così riferire la portata alla quota relativa ($h-h_0$). Nonostante questo accorgimento, dai grafici ($h-h_0, q$) è emerso che molte stazioni probabilmente presentano uno sdoppiamento temporale nell'andamento delle scale (Figura 2) riconducibile, ad esempio, a probabili variazioni non rilevate del posizionamento dello strumento di misura. Spesso infatti le quote riportate sugli annali sono approssimate al metro e risulta impossibile evidenziare tali spostamenti. È anche possibile che si siano verificate modifiche della geometria della sezione, indotte da eventi particolarmente rilevanti.

Definita la base di dati ($h-h_0, q$) di partenza, si è costruita la procedura per la selezione delle scale di piena e la validazione dei dati, descritta nei paragrafi che seguono.

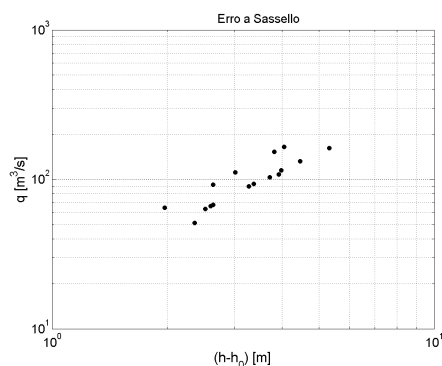


Figura 2. Erro a Sassello. Le coppie altezza – portata suggeriscono l’opportunità di uno sdoppiamento della scala di deflusso di piena.

2.2 Definizione preliminare delle scale di deflusso di piena

2.2.1 Taratura di una scala singola e diagramma diagnostico

L’analisi effettuata sulle ex stazioni S.I.M.N. ha mostrato come non sia sempre possibile tarare una scala delle portate di piena valida per l’intero intervallo temporale di funzionamento della stazione. Nel seguito si fornisce un metodo per stabilire quando e come è necessario effettuare una suddivisione in modo da calibrare due scale differenti.

La prima operazione è consistita nella stima della relazione (1) sulle coppie $(h-h_0; q)$, costruita attribuendo, come detto, ad h_0 il valore corrispondente alla minima altezza idrometrica storica. Potendo linearizzare la relazione (1), si è calcolato il coefficiente di regressione lineare corretto R^2_{adj} (e.g. *Rosso & Kottegodra, 2008*) come:

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{n-1}{n-p} \cdot \frac{\sum (q_i - \hat{q}_i)^2}{\sum (q_i - \bar{q})^2} \quad (2)$$

dove q_i indica la generica portata, \hat{q}_i la portata stimata, \bar{q} la media della serie delle portate osservate, n è la consistenza della serie storica di coppie (h, q) considerate in fase di stima, p rappresenta il numero di coefficienti da stimare (nel caso in esame $p = 2$). Grazie all’analisi dei grafici bilogaritmici $(h-h_0; q)$, si è osservato però che un R^2_{adj} elevato non garantisce necessariamente che la scala così ottenuta sia pienamente soddisfacente (si veda, ad esempio, il caso del Po a Meirano in Figura 3).

Si è pertanto analizzata anche la sistematicità nel segno degli scarti $y = (q_{oss} - q_{stim})$ tra portate di taratura e portate stimate. Se, infatti, gli scarti risultano prevalentemente positivi (negativi) prima di una certa data e negativi (positivi) dopo, si può presumere la presenza di due scale distinte.

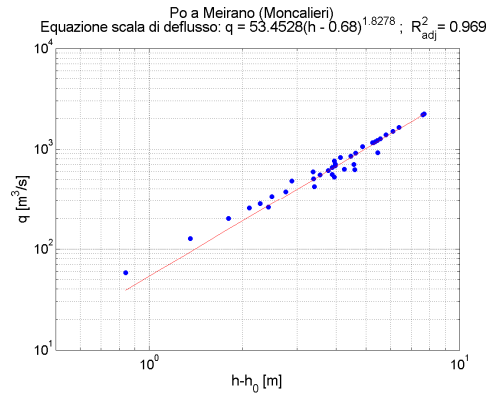


Figura 3. Prima taratura per la scala di deflusso di piena per il Po a Meirano (Moncalieri).

Una statistica idonea ad evidenziare la non casualità degli scarti nel tempo può essere il *p-value* della statistica t di Student del coefficiente angolare del trend temporale degli scarti. Il *p-value* è elevato quando gli scarti si dispongono secondo un andamento casuale intorno ad una retta orizzontale, mentre un *p-value* basso indica una significativa dipendenza dal tempo (Figura 4) ed indica la necessità di tarare scale diverse per periodi diversi.

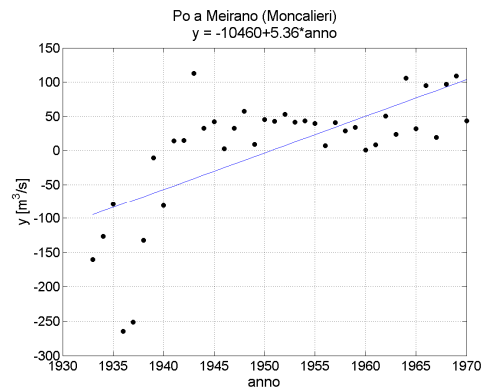


Figura 4. Analisi degli scarti per il Po a Meirano (Moncalieri).

L'analisi congiunta del valore di R_{adj}^2 e del *p-value* è stata effettuata attraverso la costruzione del diagramma diagnostico riportato in Figura 5, dove sono state rappresentate le coppie (R_{adj}^2 , *p-value*) per tutti i bacini presi in esame. In un grafico di questo tipo si possono distinguere, sulla base dei valori assunti dai due parametri, quattro aree:

- Una prima area (zona 1) è quella in cui le scale di deflusso di piena presentano un R_{adj}^2 molto basso, ma per cui il *p-value* è medio - alto: in questi casi la curva tarata non è accettabile e non è possibile procedere con una suddivisione dei dati per

intervalli temporali;

- Una fascia (zona 2) in cui il p -value è molto basso, per cui risulterebbe possibile migliorare la stima della scala di piena identificando due periodi temporali per cui tarare due relazioni distinte. In questa fascia la variabilità di R^2_{adj} incide solo sulla qualità finale della taratura e non sulla separazione delle curve;
- Una zona (3) di 'transizione' definita da valori medio - alti di p -value ed R^2_{adj} intermedi: per le sezioni interessate da questa condizione la decisione di procedere con la valutazione di scale distinte rimane a discrezione dell'operatore. Ricadono, ad esempio, in quest'area le sezioni per cui vi è una forte variabilità campionaria delle coppie (h,q) di piena, o in cui la consistenza dei dati è molto bassa oppure vi sono sdoppiamenti non individuabili secondo un criterio cronologico;
- Una quarta zona caratterizzata da valori medio - elevati sia dell' R^2_{adj} sia del p -value, indicanti che la scala stimata è soddisfacente ed è valida per l'intero arco temporale cui i dati di taratura si riferiscono;

L'analisi dei casi occorsi nell'area in esame ha consentito di stabilire dei limiti indicativi tra le diverse zone del diagramma diagnostico:

zona 1. $R^2_{adj} < 0.5$ e p -value > 0.15 ;

zona 2. R^2_{adj} qualsiasi e p -value < 0.05 ;

zona 3. $0.5 < R^2_{adj} < 0.7$ e p -value > 0.05 oppure R^2_{adj} qualsiasi e $0.05 < p$ -value < 0.15 ;

zona 4. $R^2_{adj} > 0.7$ p -value > 0.15 .

Non essendo basata su valutazioni quantitative, tale delimitazione del piano (R^2_{adj} , p -value) può fornire una suddivisione solo di primo tentativo se applicata a regioni diverse da quella esaminata.

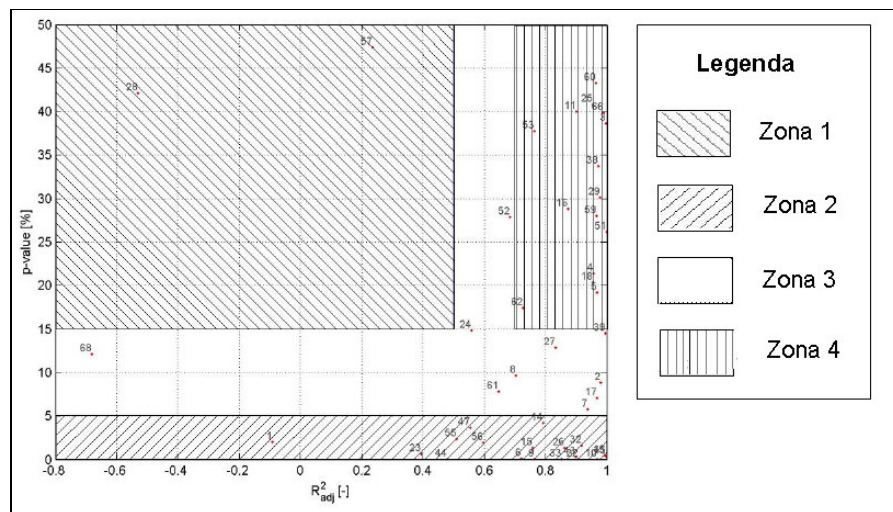


Figura 5. Diagramma diagnostico R^2_{adj} - p -value per le valutazioni iniziali relative all'efficienza della scala singola di deflusso di piena.

2.2.2 Selezione del punto di sdoppiamento delle scale

Per le sezioni ricadenti nella zona 2 e nella zona 3 di Figura 5, sono stati definiti due sottoinsiemi temporalmente distinti di valori di misura, così da scegliere, in modo quanto più possibile oggettivo e ripetibile, l'anno a partire dal quale sdoppiare la scala. Sebbene tale compito sia talvolta facilitato dalla conoscenza di informazioni ausiliarie, come l'anno di spostamento dell'idrometro, non è solitamente immediato individuare l'anno a partire dal quale dividere il campione. A tale scopo è stata considerata la statistica:

$$W_m = \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y}_i)^2 + \sum_{j=m+1}^n (y_j - \bar{y}_j)^2 \quad (3)$$

che presuppone di dividere la serie degli n scarti $y = q_{oss} - q_{stim}$ di Figura 4 in due gruppi formati rispettivamente da m ed $n-m$ valori, aventi rispettivamente media \bar{y}_i e \bar{y}_j .

Il calcolo di W_m , in analogia con le procedure usate per il ricampionamento statistico, viene ripetuto variando m da 1 a n , che equivale a far variare con continuità il punto di suddivisione delle scale, allo scopo di ricercare l'anno che identifica il minimo assunto dalla statistica W_m . La separazione dei dati per la taratura delle due scale avverrà appunto in corrispondenza dell'anno trovato.

Per l'Erro a Sassello, ad esempio, la migliore suddivisione si ottiene considerando come punto di sdoppiamento il 1949 (Figura 6, a sinistra). Di conseguenza sono stati stimati i parametri per due scale di deflusso di piena (Figura 6, a destra): una valida dal 1943 al 1949 e l'altra per gli anni successivi.

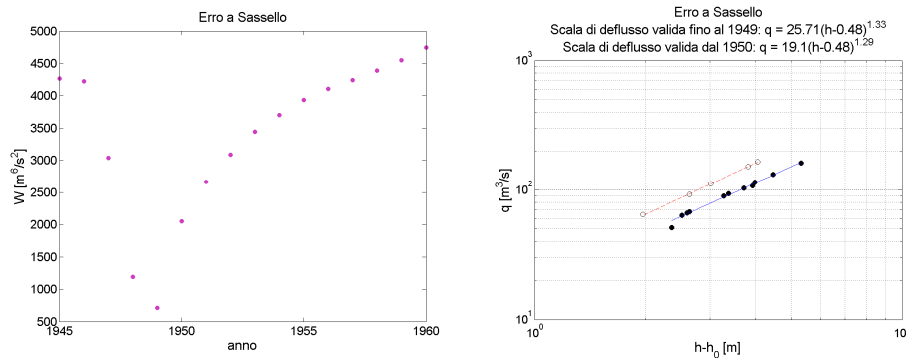


Figura 6. Sinistra) Andamento temporale della statistica W_m (3) per l'Erro a Sassello. Destra) Scale di deflusso stimate dopo lo sdoppiamento. Con i pallini bianchi si indicano i dati fino al 1950, in nero quelli successivi.

L'applicazione sistematica della procedura descritta all'intero campione di stazioni considerate ha portato ad individuare 18 casi di sezioni con sdoppiamento delle scale di deflusso, come descritto in Tabella 1.

Stazione	stazione	periodo	n	h_0 [m]	a	b	R^2_{adj}
Artanavaz a St.Oyen	1	fino al 1962	9	0.08	36.56	2.48	0.83
		dal 1963	6	0.08	12.26	2.21	0.81
Erro a Sassello	6	fino al 1949	5	0.48	25.71	1.33	1.00
		dal 1950	11	0.48	19.09	1.29	0.99
Mastallone a Ponte Folle	9	fino al 1942	8	-0.16	13.22	1.90	0.79
		dal 1943	23	-0.16	24.06	1.96	0.95
Po a Meirano (Moncalieri)	10	fino al 1940	6	0.68	53.56	1.67	0.93
		dal 1941	32	0.68	64.57	1.74	0.99
Stura di Demonte a Gaiola	13	fino al 1944	6	-0.1	54.78	1.65	0.99
		dal 1956	9	-0.1	68.12	1.37	1.00
Stura di Lanzo a Lanzo	14	fino al 1946	16	-0.14	169.13	1.05	0.19
		dal 1947	23	-0.14	111.84	1.82	0.99
Tanaro a Farigliano	15	fino al 1949	5	0.94	202.12	1.38	0.76
		dal 1950	22	0.94	137.61	1.39	0.87
Bormida di Mallare a Ferrania	22	fino al 1944	10	0.04	0.04	7.60	0.95
		dal 1945	28	0.04	13.56	3.04	0.95
Cervo a Passobreve	23	fino al 1944	8	-0.98	0.24	3.77	0.64
		dal 1951	5	-0.98	22.15	1.26	0.89
Corsaglia a Presa Centrale Molline	26	fino al 1942	5	0.02	10.38	1.76	-0.46
		dal 1945	n < 5	-	-	-	-
Dora Riparia a Oulx	32	fino al 1945	18	-0.37	26.66	1.48	0.71
		dal 1946	10	-0.37	39.57	1.68	0.99
Dora Riparia a Sant'Antonino di Susa	33	fino al 1933	n < 5	-	-	-	-
		dal 1934	21	0	100.49	1.80	0.95
Orco a Pont Canavese	43	fino al 1945	13	0.9	5.31	3.68	0.83
		dal 1947	28	0.9	33.95	2.40	0.95
Po a Casale	44	fino al 1939	8	-1.98	156.88	1.58	0.98
		dal 1957	n < 5	-	-	-	-
Po a Crissolo	45	fino al 1957	7	0.065	52.60	1.91	1.00
		dal 1958	8	0.065	48.60	1.46	1.00
Rio Bagni a Vinadio	47	fino al 1936	n < 5	-	-	-	-
		dal 1937	4	0.07	11.10	0.72	0.99
Sesia a Ponte Aranco (Isolella)	55	fino al 1944	9	-0.18	9.27	2.81	0.80
		dal 1945	6	-0.18	641.83	0.74	0.84
Sesia a Vercelli	56	fino al 1932	n < 5	-	-	-	-
		dal 1934	5	0.68	518.78	1.06	0.86

Tabella 1. Risultati della suddivisione in due scale di piena distinte per le sezioni della zona 2.

3 UTILIZZO DELLE SCALE DI DEFLUSSO DI PIENA IN AMBITO DI VALIDAZIONE

3.1 Individuazione dei valori anomali

In precedenza si è osservato che, a causa del fatto che la variabile di interesse corrisponda alla portata massima annua istantanea, le incertezze o errori di misura ad essa connessi possono risultare molto consistenti (Dickinson, 1967, Kuczera, 1996, Petersen-Øverleir, 2004, Aronica et al., 2006). Per questo motivo, uno degli obiettivi conseguenti alla stima delle scale di deflusso di piena per le varie sezioni è l'individuazione, ed eventuale rimozione, di possibili valori anomali nelle serie storiche delle portate, valori che, in prima applicazione, influiscono sulla stima dei parametri della scala di piena. Anche in questo caso, per introdurre una maggiore oggettività nell'analisi, si è fatto ricorso ad un procedimento ripetibile. Si è considerata la serie ϵ formata dagli scarti y presi in valore assoluto e ordinati in senso crescente. Per le sole relazioni aventi $R^2_{adj} < 0.98$ si è proceduto in maniera iterativa seguendo i seguenti passi:

- individuazione del massimo scarto ϵ_{max} e sua eliminazione dalla serie;

- calcolo della deviazione standard σ_ε della serie degli scarti da cui è stato eliminato il massimo valore:

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n'} (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{n'-1}} \quad (4)$$

dove $\bar{\varepsilon}$ è la media ed n' è la dimensione del campione degli scarti escluso ε_{\max} ;

- calcolo della statistica d :

$$d = \frac{\varepsilon_{\max}}{\sigma_\varepsilon} \quad (5)$$

- se d è maggiore di un valore soglia, allora il dato viene considerato un *outlier*, cioè non omogeneo al gruppo degli scarti della relazione stimata. Dopo la rimozione dell'*outlier* si procede nuovamente alla stima dei parametri della scala di deflusso;
- si ripete la procedura finché non si raggiunge un valore $R^2_{adj} \geq 0.98$ e non vi sono più valori per cui $d > d_{soglia}$.

Nel caso in esame, considerata la configurazione dei dati analizzati, si è stabilito di attribuire a d_{soglia} un valore pari a 7, valore che consente di ottenere un risultato del tutto analogo a quello che si otterrebbe con una procedura ‘a giudizio d’esperto’.

Seguendo questo procedimento i valori anomali vanno poi sostituiti con le portate ricostruite mediante la scala di deflusso finale (Fig. 7).

In tutto il campione in esame, applicando tale procedura si sono esclusi e corretti dieci valori di portata su un totale di circa 800 dati considerati.

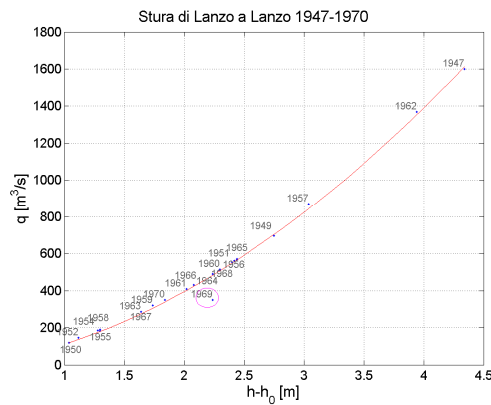


Figura 7. Individuazione dei valori anomali per la scala di piena della Stura di Lanzo a Lanzo. Il dato relativo al 1969, che si discosta dalla scala, è stato rimosso perché $d = 23 > 7$. In questo modo è stato possibile correggere i parametri della scala e migliorare il coefficiente di determinazione della stessa.

4 CONCLUSIONI

Sono state analizzati i dati di piena annuale di 45 sezioni idrometriche ubicate nell'Italia Nord-Occidentale, al fine di stabilire una procedura oggettiva per la taratura di scale di deflusso di piena. La relazione cui si è fatto riferimento è quella proposta da Herschy, in cui si è fissato il parametro h_0 ponendolo pari alla minima altezza idrometrica storica, riferita all'ultima quota di zero idrometrico rilevata. Una prima analisi sui coefficienti di determinazione calcolati sulle portate q e sui p-value associati al coefficiente angolare della retta degli scarti y ha consentito di stabilire che per due sezioni la pessima qualità dei dati non permette di stimare una relazione accettabile; per 15 sezioni la scala tarata a partire dall'intera serie storica è soddisfacente ed in 18 casi è consigliabile effettuare una divisione dei dati per tarare due scale distinte, situazione che identifica un cambiamento nel comportamento idrometrico della sezione. La scelta di suddividere o meno i dati rimane a discrezione dell'operatore in 10 casi, per i quali comunque non si è ritenuto possibile o accettabile procedere con la taratura di due scale distinte. Al termine della procedura si sono ottenute delle relazioni $h-q$ di piena relative a circa 30 sezioni, per le quali è stato possibile procedere con l'individuazione oggettiva dei valori anomali e la conseguente nuova stima delle scale di deflusso di piena. Per queste 30 sezioni risulta possibile la ricostruzione di nuovi valori di piena al colmo a partire da altezze idrometriche non pubblicate.

Ringraziamenti. Il lavoro è realizzato nell'ambito del Progetto Interreg IV FLORA, in partnership con Arpa Piemonte.

BIBLIOGRAFIA

- Aronica, G.T., Candela, A., Viola, F. & Cannarozzo, M. Influenza dell'incertezza relativa alla scala delle portate sulla modellazione afflussi-deflussi a scala giornaliera, *Atti del 30° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Roma, 2006.
- Claps, P., Fiorentino, M. & Laio, F. Scale di deflusso di piena di corsi d'acqua naturali, *Atti delle Giornate di Studio su La difesa idraulica del territorio*, Trieste, 10-12 Settembre 2003.
- Claps, P., Laio, F. Aggiornamento delle procedure di valutazione delle piene in Piemonte, con particolare riferimento ai bacini sottesi da invasi artificiali. VOLUME I: Costruzione e applicazione delle procedure di stima delle portate al colmo di piena. Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili, Politecnico di Torino, 306 pp., 2008. [<http://www.idrologia.polito.it/piene>].
- Clarke, R.T., Uncertainty in the estimation of mean annual flood due to rating-curve indefiniton, *J. Hydrol.*, 1999, 222, 185-190.
- Dickinson, W.T. Accuracy of discharge determinations, *Hydrol. Paper 20*, Colorado State University, Fort Collins (CO), 1967.
- Herschy, R.W., *Streamflow measurement*, Elsevier, London, 1985.
- Kuczera, G. Correlated rating curve error in flood frequency inference, *Water Resouces Res.*, 1996, 32(7), 2119-2127.
- Ministero LL.PP., Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, *Annali idrologici, parte seconda*, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato.
- Ministero LL.PP., Servizio Idrografico, *Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani*, Pubbl. N. 17, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato, 1939-1970.
- Petersen-Øverleir, A., Accounting for heteroscedasticity in rating curve estimates, *J. Hydrol.*, 2004, 292, 173-181.
- Rosso, R. & Kottegoda, N.T., *Applied Statistics for Civile and Environmental Engineers*, Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.