CURVE PROBABILISTICHE DI POSSIBILITÀ DI DERIVAZIONE DEI DEFLUSSI

Pierluigi Claps(*), Mauro Fiorentino(*), Guglielmo Silvagni(**)

(*) *Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università della Basilicata, Potenza*
(**) *Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Roma "Tor Vergata", Roma*

SOMMARIO

Viene introdotta una metodologia probabilistica per la valutazione dei volumi idrici derivabili annualmente mediante impianti ad acqua fluente, con limitazione superiore di portata. In un ampio campo di rapporti tra portata massima derivabile e portata media del corso d'acqua, detti volumi risultano ben interpretabili attraverso una distribuzione di tipo Normale, con parametri strettamente legati al coefficiente di variazione delle portate medie giornaliere. Le curve probabilistiche che ne discendono risultano agevolmente determinabili nel caso in cui si disponga di dati idrometrici relativi alla sezione di interesse, e ancora identificabili in maniera affidabile mediante stima regionale del suddetto coefficiente di variazione. In Basilicata, regione considerata per la validazione dell'analisi, è peraltro emerso che questo coefficiente è strettamente legato ad un indice di deflusso profondo, che indica il peso relativo degli apporti sorgentizi perenni.

ABSTRACT

A probabilistic methodology is proposed for estimating annual water volumes withdrawn from rivers, when a limiting upper discharge threshold is present. In a wide range of ratios between the threshold and the average river discharge, these volumes are shown to be Normally distributed, with parameters strictly related to the coefficient of variation of the mean daily discharge. The probabilistic curves relating volumes to the above ratio and to the return period are thus easily obtainable in presence of runoff data in the river section of interest. Moreover, the curves can confidently be reconstructed by regional analysis of the above-mentioned coefficient of variation. In the region investigated (Basilicata, Italy), the latter coefficient has been shown to be strongly correlated to an index which indicates the relative contribution of the deep groundwater flow to the total runoff.

1. INTRODUZIONE

Alcuni grandi schemi idrici prevedono il riempimento dei propri invasi oltre che con i deflussi dell'asta fluviale su cui l'invaso insiste, anche con quelli di altri corsi d'acqua, i deflussi dei quali vengono derivati di norma con impianto ad acqua fluente e convogliamento a superficie libera (di solito in galleria) verso gli invasi stessi. Con linguaggio forse improprio, ma oggi entrato a far parte del gergo tecnico comune, questi collegamenti vengono indicati con il nome di *gronde*. Questo tipo di opere, già molto diffuso, tende ad essere sempre più utilizzato per aumentare i benefici di grandi invasi esistenti. In Basilicata, regione con diversi schemi idrici interconnessi, si prevede, ad esempio, di far confluire all'invaso di Monte Cotugno sul F.Sinni i deflussi sia del F. Sarmento, affluente di destra del Sinni stesso ma con confluenza a valle del citato invaso, sia del F. Sauro, affluente del F. Agri. Inoltre, gli invasi di Acerenza e di Genzano, posti su due tributari minori del F. Bradano, riceveranno i deflussi del F. Basento derivati alla traversa di Trivigno, posta poco a valle della città di Potenza.

Le opere di convogliamento vengono ovviamente dimensionate cercando un punto di equilibrio tra i costi da sostenere per la loro realizzazione e i benefici che possono scaturire dall'utilizzazione delle acque che si vanno ad invasare. Ciò è possibile in quanto, con l'aumentare della portata massima derivabile, i primi crescono con regolarità mentre i secondi tendono a aumentare sempre meno. Per corsi d'acqua di dimensioni non particolarmente grandi e con regimi tendenti al torrentizio, quali ad esempio quelli di natura appenninica, questo equilibrio viene generalmente raggiunto per portate massime derivabili dell'ordine di grandezza della portata media del corso d'acqua.

I volumi idrici mediamente derivabili possono essere agevolmente stimati mediante l'uso delle ben note curve di durata delle portate. È però da dire che, se ciò consente un dimensionamento di massima dell'opera di derivazione, non permette di certo di poter valutare il rischio idrologico di derivare annualmente volumi d'acqua inferiori a quelli di progetto. Di qui l'esigenza di identificare una metodologia appropriata per il dimensionamento delle gronde su base probabilistica. La metodologia che si ricerca deve avere, preferibilmente, oltre all'ovvio requisito di fornire, in sezioni con dati idrometrici, la distribuzione di probabilità dei volumi idrici annualmente derivati per ogni fissato limite superiore della portata derivabile, il requisito di consentire la determinazione della suddetta distribuzione in assenza di dati storici di portata nella sezione fluviale di interesse e, anche se in via subordinata, quello della semplicità.

Si può notare come, a differenza delle procedure adottate per il dimensionamento degli invasi, in questo caso la tecnica della simulazione del fenomeno fisico mediante generazione di serie sintetiche di portate statisticamente equivalenti non sembra essere la più indicata. Infatti, una corretta simulazione del processo di derivazione richiede, in generale, la schematizzazione delle portate ad una scala di aggregazione temporale molto breve (giornaliera o inferiore) che, se sempre possibile nel caso in cui si dispone di osservazioni storiche nella sezione di interesse, presenta notevoli difficoltà laddove è richiesta un'analisi regionale dell'informazione idrologica.

Dal punto di vista teorico, il meccanismo della derivazione delle portate fluviali può essere studiato analizzando il processo delle portate superiori ad una prefissata soglia (la portata massima derivabile) e, conseguentemente, quello dei volumi idrici al di sotto di detta soglia. Per il caso in esame, però, sembra difficile sia ricondursi a risultati ottenuti relativamente al processo dei deflussi annui, estensivamente studiato per definire la distribuzione dei *runs* (v. es. Yevjevich, 1972, cap. V), che a quelli relativi al processo dei picchi al di sopra di una soglia (v. es. Bacchi et al., 1992) per il quale i risultati più affidabili si hanno per ipotesi estremanti e per soglie piuttosto elevate. In ogni caso, anche nel semplice caso di processo di base Normale ed indipendente (quindi anche incorrelato) non è nota la distribuzione di probabilità dei volumi al di sopra di una soglia, mentre esistono espressioni per il suo valor medio (v. es. Bras e Rodriguez-Iturbe, 1985). Nel presente contesto ci si trova di fronte ad un processo, quello dei deflussi giornalieri, autocorrelato ed altamente asimmetrico, del quale sono di interesse le caratteristiche degli attraversamenti di soglie piuttosto basse (come si vedrà meglio più avanti), per cui la configurazione del processo sembra abbastanza lontana dalle condizioni di applicabilità dei risultati ottenuti in letteratura relativamente alle proprietà degli attraversamenti.

In questo lavoro, al fine di poter correttamente indirizzare l'approfondimento teorico del problema in esame e con l'obiettivo immediato di fornire utili indicazioni di carattere metodologico di supporto alla progettazione delle gronde, sono state analizzate le modalità di variazione delle distribuzioni di probabilità dei volumi annualmente derivabili al variare della portata massima di progetto e delle caratteristiche principali del processo dei deflussi. Ciò è stato fatto utilizzando undici serie storiche di portate medie giornaliere relative ai corsi d'acqua del versante jonico della Basilicata.

2. DEFINIZIONE DI CURVA DI POSSIBILITÀ DI DERIVAZIONE

Dovendo dimensionare una galleria o un canale di derivazione delle portate fluviali va essenzialmente individuata la massima portata derivabile, che rappresenta la grandezza di dimensionamento idraulico ed idrologico con riferimento al problema in discussione. Tale massima portata di progetto può essere utilmente considerata in termini adimensionali, rapportandola alla media generale $\boldsymbol{q}$ delle portate del corso d'acqua, attraverso un *rapporto di derivazione* r_d. Il valore di progetto di r_d dovrà consentire, fermi restando requisiti di ordine idraulico e strutturale, di conseguire gli obiettivi idrologici e gestionali in base ai quali l'opera viene predisposta, obiettivi che sono ovviamente legati alla utilizzazione di un certo volume annuo di acqua.

Nella pratica tecnica si procede di solito ad una valutazione solo parziale dell'*efficienza* della gronda al variare di r_d determinando la modalità con cui la portata media derivata $E[Q_{r_d}]$ varia con r_d. La curva ($E[Q_{r_d}]$, r_d) chiamata dall'Evangelisti (1964) *curva di utilizzazione del corso d'acqua*, può essere, infatti, agevolmente ottenuta dalla curva di durata riferita a tutto il periodo storico di osservazione. Va precisato che adoperando la curva di durata *media* del corso d'acqua, cioè quella, molto utilizzata, che si ottiene mediando tra le diverse curve di durata calcolate anno per anno, si otterrebbe un risultato diverso e meno corretto. Non sembra inutile osservare che, comunque, disponendo dei dati di portata media giornaliera, è immediato calcolare per via diretta il valor medio del volume derivato mediante semplice sommatoria delle portate derivabili; queste ultime saranno pari a quella massima di progetto quando in alveo è presente una portata maggiore di questa, oppure a quella disponibile nel caso opposto.

In considerazione del fatto che le curve ($E[Q_{r_d}]$, r_d) sono analoghe a quelle di possibilità di regolazione (v. es. Penta e Rossi, 1979), in uso per il dimensionamento dei serbatoi, sembra opportuno che esse vengano indicate con il nome di curve medie di *possibilità di derivazione dei deflussi*.

Il dato medio $E[Q_{r_d}]$ determinato sull'intero periodo di osservazione ha tuttavia una utilità relativa, in quanto non porta con sé alcuna nozione della variabilità da anno ad anno del dato di portata media annualmente derivata Q_{r_d}. Infatti l'obiettivo idrologico connesso al dimensionamento dell'opera va anche definito in base al rischio di non raggiungimento del volume che si vuole derivare per un dato rapporto r_d.

È anche utile osservare che le curve medie di possibilità di derivazione forniscono un'indicazione del volume idrico realmente utilizzabile solo nel caso in cui i volumi derivati sono molto piccoli se confrontati con il volume di regolazione di un eventuale invaso recipiente. Nel caso contrario, infatti, per mancanza di capacità utile di detto invaso, i volumi derivabili potrebbero risultare non invasabili, e quindi non utilizzabili.

In altri termini, sembra opportuno fissare il requisito di progetto come quello di derivare una portata media annuale $Q_{r_d,\Phi}$ riferita ad un generico rapporto di derivazione r_d e corrispondente a una probabilità Φ di non raggiungimento. Fissata la probabilità Φ, la curva che si ottiene per $Q_{r_d,\Phi}$ al variare di r_d può definirsi *curva probabilistica di possibilità di derivazione dei deflussi* relativa ad una probabilità di deficit pari a Φ. Esso si verifica in media una volta ogni T anni, essendo $T = 1/\Phi$ il periodo di ritorno del deficit di probabilità Φ.

3. DETERMINAZIONE DELLE CURVE PROBABILISTICHE IN PRESENZA DI DATI

Nei sistemi idrici qui considerati, la valutazione dell'efficienza della derivazione eseguita mediante un impianto ad acqua fluente a servizio di una gronda può essere riferita ad una scala temporale annua. Il dato di deflusso derivato su base annua è rilevante in quanto i volumi vengono invasati e non direttamente consegnati all'utenza, per cui entrano nel meccanismo della regolazione degli invasi recipienti. L'analisi su base annua, inoltre, è utile perché semplifica le fasi di determinazione della distribuzione di probabilità dei volumi derivati, in quanto il processo di base è sostanzialmente stazionario se considerato globalmente nell'intervallo annuale, e ciò consente di individuare più chiaramente alcune proprietà delle curve oggetto di questo studio.

A questo proposito sarebbe necessario indicare se si parla di dati aggregati sull'anno solare o su quello idrologico. Tuttavia, relativamente al processo qui studiato, tale distinzione non è necessaria in quanto tutti i risultati ottenuti, sia qualitativi che quantitativi, non hanno mostrato praticamente alcuna variazione nel passare dall'anno solare a quello idrologico. In ogni caso, si precisa che le figure, le tabelle ed i risultati numerici di seguito riportati sono relativi a serie valutate nell'anno solare.

3.1. DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ DELLE PORTATE MEDIE DERIVATE

L'analisi probabilistica dei volumi derivati richiede innanzitutto che venga definita la variabile aleatoria di interesse. In questo lavoro noi assumeremo che essa sia rappresentata dal rapporto tra la portata derivata media annua e la portata media generale del corso d'acqua, rapporto che verrà indicato con q_{r_d}, = Q_{r_d} / $\boldsymbol{q}$. Data una serie storica di portate medie giornaliere e fissato il rapporto di derivazione, la serie delle portate adimensionali q_{r_d} per tutti gli anni a disposizione è ottenibile immediatamente determinando anno per anno il valor medio delle portate giornalmente defluite al disotto della soglia $r_d\,\boldsymbol{q}$.

Le serie di q_{r_d} qui analizzate sono state dedotte dai dati di portata media giornaliera disponibili per tutte le stazioni idrometriche del Servizio Idrografico Italiano che hanno storicamente funzionato in Basilicata per almeno 10 anni. In Tab. I sono riportate le denominazioni delle sezioni di misura ed alcune caratteristiche delle serie storiche di portate medie giornaliere esaminate.

Tabella I. *Caratteristiche delle serie storiche delle portate medie giornaliere analizzate. Per la serie n. 1 sono stati considerati i dati antecedenti l'entrata in funzione dell'invaso di S. Giuliano (1960).*

Codice	*Stazione*	*Periodo di osservazione*	*Lunghezza serie (anni)*	*Area del bacino (Km^2)*	*Portata media (m^3/s)*	C_V
1	Bradano a Tavole Palatine	*1933-1971*	*22*	*2743*	*7.24*	*3.73*
2	Bradano a San Giuliano	*1926-1950*	*21*	*1631*	*6.34*	*6.02*
3	Bradano a Ponte Colonna	*1928-1971*	*40*	*459*	*2.01*	*3.53*
4	Basento a Menzena	*1929-1971*	*28*	*1405*	*13.16*	*3.72*
5	Basento a Gallipoli	*1927-1971*	*40*	*848*	*9.38*	*2.81*
6	Basento a Pignola	*1926-1971*	*43*	*45*	*0.77*	*2.04*
7	Agri a Tarangelo	*1926-1962*	*34*	*507*	*9.89*	*1.36*
8	Agri a Grumento	*1961-1977*	*17*	*278*	*6.73*	*1.17*
9	Agri a Le Tempe	*1929-1971*	*41*	*174*	*4.42*	*1.21*
10	Sinni a Valsinni	*1937-1976*	*33*	*1142*	*20.48*	*1.61*
11	Sinni a Pizzutello	*1925-1980*	*48*	*233*	*7.29*	*1.85*

L'analisi è stata impostata sull'ipotesi di Normalità della grandezza q_{r_d}, ipotesi che è emersa dall'osservazione in carta probabilistica delle frequenze cumulate di questa variabile, relative a ciascuna delle serie esaminate. Questa ipotesi è stata anche statisticamente verificata mediante l'applicazione del test sul coefficiente di asimmetria per la legge Normale (v. es. Rossi e

Silvagni, 1980) alle serie relative alle 11 stazioni considerate, serie ottenute facendo variare r_d da 0.5 a 5. Infatti, come si può notare dall'osservazione della Fig.1, l'ipotesi che l'asimmetria delle serie delle q_{r_d} sia non significativamente diversa da zero non può essere rigettata, con un livello di significatività del 5%, su tutto il campo dei valori di r_d considerati.

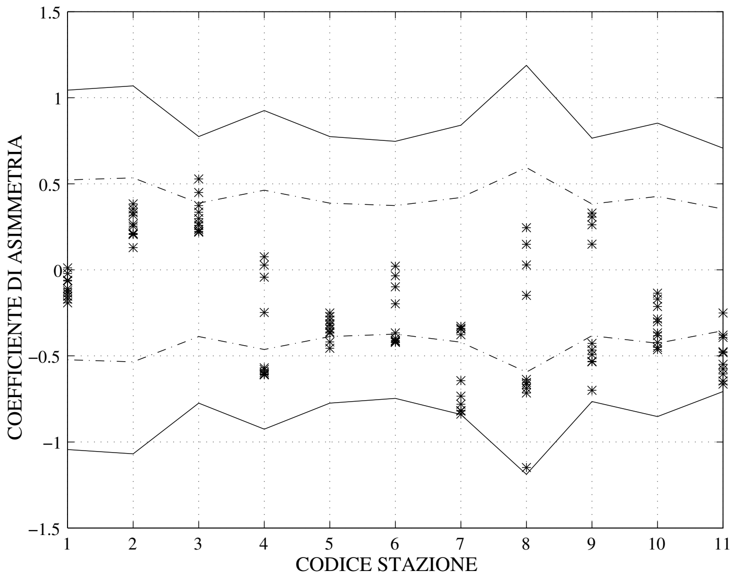

Figura *1. Applicazione del test di asimmetria alle serie di q_{rd} ottenute per le 11 stazioni considerate.*

3.2. CURVE PROBABILISTICHE DI POSSIBILITÀ DI DERIVAZIONE

Accertato che le serie in esame possono essere trattate come estratte da una popolazione Normale, la costruzione della famiglia di curve probabilistiche di possibilità di derivazione è immediata. Basta infatti adoperare le medie e le varianze delle serie q_{r_d} ottenute al variare di r_d, per calcolare i valori $q_{r_d,\Phi}$ per qualsiasi probabilità cumulata Φ, usando la ben nota relazione

$$q_{r_d,\Phi} = E[q_{r_d}] + u_\Phi \, \sigma[q_{r_d}] \tag{1}$$

in cui $E[q_{r_d}]$ e $\sigma[q_{r_d}]$ rappresentano rispettivamente la media e lo scarto quadratico medio di q_{r_d} e u_Φ è il valore che la variabile normale standard assume in corrispondenza della probabilità cumulata Φ. Due esempi di costruzione delle curve probabilistiche, relativi alle serie storiche del Bradano a Ponte Colonna e dell'Agri a Le Tempe sono riportati in Fig.2.

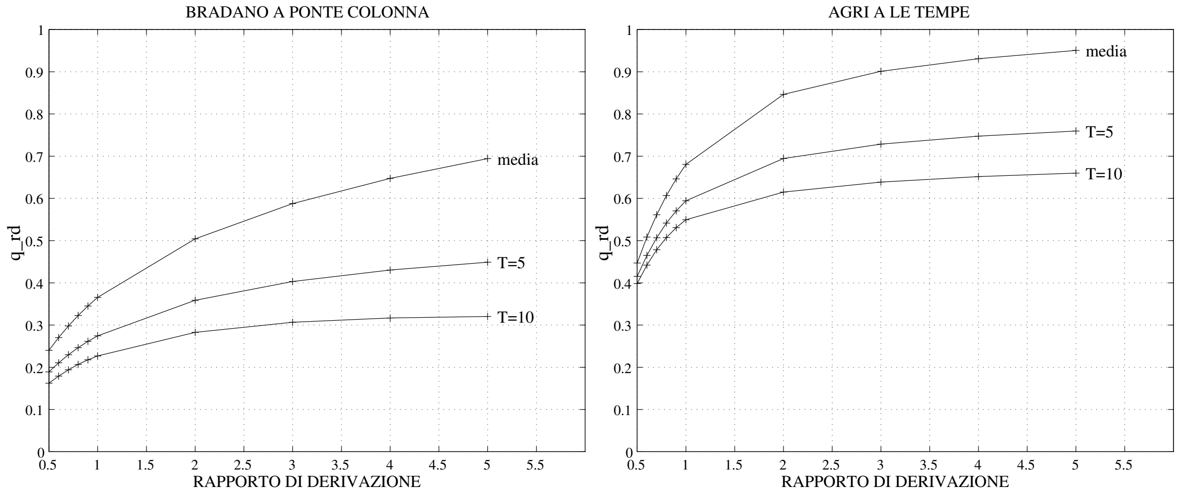

Figura 2. *Curve probabilistiche di possibilità di regolazione calcolate per diversi periodi di ritorno.*

Dall'osservazione della Fig.2 emergono alcuni punti meritevoli di discussione. Innanzitutto, l'incremento del rapporto di derivazione comporta un aumento dei volumi derivati che diventa sempre meno apprezzabile all'aumentare del periodo di ritorno di riferimento T, il che significa che quando il deflusso annuo è al disotto della media, i benefici derivanti dall'incremento di r_d tendono a ridursi. Inoltre, l'esame delle curve ottenute per due bacini di caratteristiche climatiche, morfologiche e geologiche molto diverse consente di evidenziare che laddove vi sono bassi coefficienti di variazione (e anche di asimmetria) delle portate giornaliere, la massima utilità marginale di derivazione si raggiunge per r_d molto bassi, oltre i quali non sembra esservi nessun interesse nello sviluppo della curva. Nel caso opposto, invece, c'è un progressivo aumento di "rendimento" con r_d che ha spiccate caratteristiche di regolarità.

3.3. REGOLARIZZAZIONE DELLE CURVE

Al fine di ottenere curve descritte da espressioni matematiche maneggevoli è opportuno ricercare una relazione di tipo correlativo tra i valori $q_{r_d,\Phi}$ e di r_d. Va segnalato, a tal proposito, che questo tentativo di regolarizzare gli andamenti ottenuti dall'applicazione della procedura sopra descritta risponde anche alla necessità di individuare pochi parametri in grado, da un lato, di attenuare alcune irregolarità delle curve attribuibili a difetti di campionatura dovuti alla limitata lunghezza delle serie storiche disponibili e, dall'altro, di semplificare la ricerca di quelle grandezze di chiaro significato fisico-statistico che controllano l'andamento delle curve stesse.

In Fig.3 è mostrato, per le 11 serie considerate, l'andamento delle medie $E[q_{r_d}]$, che possono anche essere denominate *coefficienti di utilizzazione*, in funzione del logaritmo del rapporto di derivazione, fatto variare da 0.5 a 1 con passo 0.1 e da 1 a 5 con passo 1. Queste curve mostrano, a gruppi, due diversi comportamenti. Nella parte superiore del grafico si dispongono, con andamento che perde il carattere di linearità per i valori di r_d più elevati, le curve relative a corsi d'acqua i cui deflussi sono influenzati in maniera significativa dagli apporti sorgentizi.

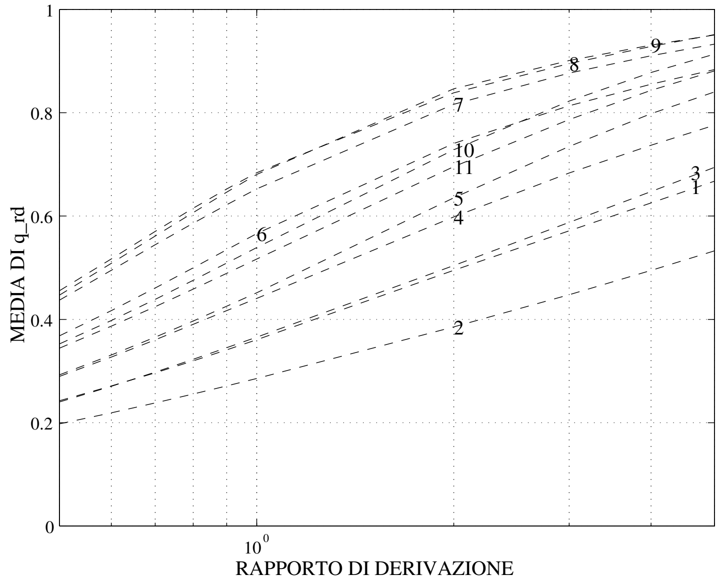

Figura 3. *Medie dei valori di* q_{r_d} *(coefficienti di utilizzazione) per le 11 stazioni considerate (Tab.I).*

A tal proposito, come elemento discriminante rispetto alla presenza di un apprezzabile deflusso di base può essere usato *l'indice di deflusso profondo Ip*, definito da Claps et al. (1993) come il rapporto tra la media della serie del minimo annuale della portata media mensile e la media mensile generale. Tale indice, riportato in Tab. II per i corsi d'acqua analizzati, mostra come le serie dell'Agri, del Sinni e quella del Basento a Pignola presentino una quota di deflusso sorgentizio decisamente più alta rispetto alle altre.

Tabella II. *Indici di deflusso profondo (Ip) calcolati per i bacini elencati in Tab. I.*

Codice stazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ip	0.027	0.01	0.013	0.034	0.055	0.142	0.298	0.345	0.311	0.143	0.128

Di fatto, però, il campo nettamente non lineare risulta di scarso interesse pratico, in quanto per i fiumi di questo gruppo si raggiungono coefficienti di utilizzazione molto elevati già per un rapporto di derivazione pari a 2, tali da rendere marginalmente inefficaci ulteriori incrementi di r_d. Le curve medie di possibilità di derivazione relative all'altro gruppo possono essere invece molto ben approssimate da rette in campo semilogaritmico su tutto l'arco dei valori di r_d considerati.

Pertanto, nel campo dei valori di r_d di interesse tecnico, per tutte le serie è possibile ritenere valida una relazione del tipo:

$$E[q_{r_d}] = \alpha + \beta \, ln \, r_d \tag{2}$$

Le stime dei coefficienti α e β sono state ottenute con coefficienti di determinazione R^2 non inferiori a 0.97. Per le curve del primo gruppo sopra menzionato (comprendente le stazioni n. 6,7,8,9,10 e 11) sono stati considerati per le stime valori di r_d fino a 2.

La completa definizione delle curve probabilistiche di possibilità di derivazione mediante l'espressione (1) richiede che sia ricondotta ad una formulazione analitica anche la relazione tra lo scarto quadratico medio delle portate medie derivate annualmente, q_{r_d} , ed r_d.

A tal riguardo, in Fig.4 è mostrato in campo semilogaritmico, per ogni serie, l'andamento di $\sigma[q_{r_d}]$ al variare di r_d. Si evince chiaramente come lo scarto quadratico medio di q_{r_d}, così come la sua media, dipenda linearmente dal logaritmo di r_d. Rispetto alla discussione che verrà esposta più avanti, sulla variabilità regionale dello scarto, è utile rimarcare che la Fig.4 mostra chiaramente come i valori dello scarto varino in maniera piuttosto casuale all'interno di una banda molto ristretta, evidenziando una tendenza all'omogeneità su una scala regionale, anche a fronte della presenza nella regione di bacini profondamente diversi, così come visto sopra, sotto il profilo idrogeologico.

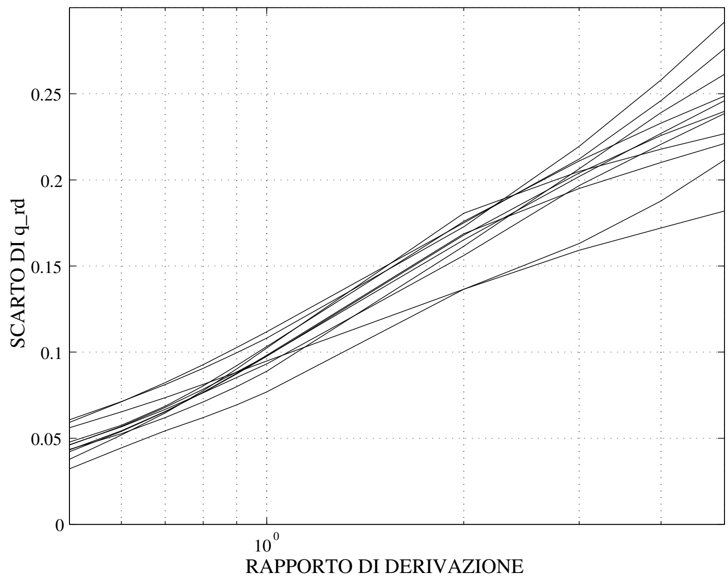

Figura 4. *Scarti quadratici medi delle serie di* q_{r_d} *calcolate per le sezioni di Tab. I.*

4. REGIONALIZZAZIONE DELLE CURVE

La disponibilità di dati di portata media giornaliera in sezioni di interesse rispetto alla derivazione delle portate è un'eventualità improbabile, da considerare come un'eccezione alla regola. Di norma, quindi, la costruzione delle curve di possibilità di derivazione viene ad essere effettuata in assenza di dati idrometrici diretti, adoperando criteri di similitudine idrologica che possono eventualmente derivare da un'analisi regionale della variabile in studio.

L'analisi regionale tende ad individuare parametri omogenei su zone ben delimitate oppure situazioni di dipendenza statistica tra parametri relativi al comportamento della variabile ed altre grandezze, fisiche o idrologiche, misurabili o stimabili per altra via.

Da quanto riportato in precedenza per il caso di sezioni con dati, risulta evidente che i parametri delle curve di possibilità di derivazione da regionalizzare sono la media e lo scarto quadratico medio relativi ad ogni rapporto di derivazione. In particolare occorrerà identificare le modalità con le quali questi parametri statistici variano da sito a sito.

4.1. ANALISI REGIONALE DELLA MEDIA DI q_{r_d}

La generalizzazione dell'espressione (2) per l'applicazione a sezioni fluviali prive di dati idrometrici richiede la parametrizzazione dei coefficienti α e β in essa contenuti. A questo proposito è utile rimarcare che le caratteristiche del processo ottenuto tramite interposizione di una soglia dipendono fortemente dai caratteri di variabilità (ed anche di autocorrelazione) del processo originario, in particolare per quanto riguarda la media. E' facile immaginare, infatti, che a parità di rapporto di derivazione, una sezione con deflusso molto variabile consentirà di derivare, in media, meno di una con deflusso più stabile. Stabilità che, ad esempio, può scaturire dalla presenza di consistenti apporti sorgentizi. Partendo da questa consapevolezza, si è cominciato dal porre in relazione le medie $E[q_{r_d}]$ delle diverse stazioni con i rispettivi coefficienti di variazione C_V delle portate medie giornaliere.

In Fig.5 sono mostrati i legami correlativi, in entrambi i casi confortati da coefficienti di determinazione superiori a 0.92, ottenuti tra i valori di α e β della (2) da un lato, ed i corrispondenti valori di C_v (v. Tab. I) dall'altro.

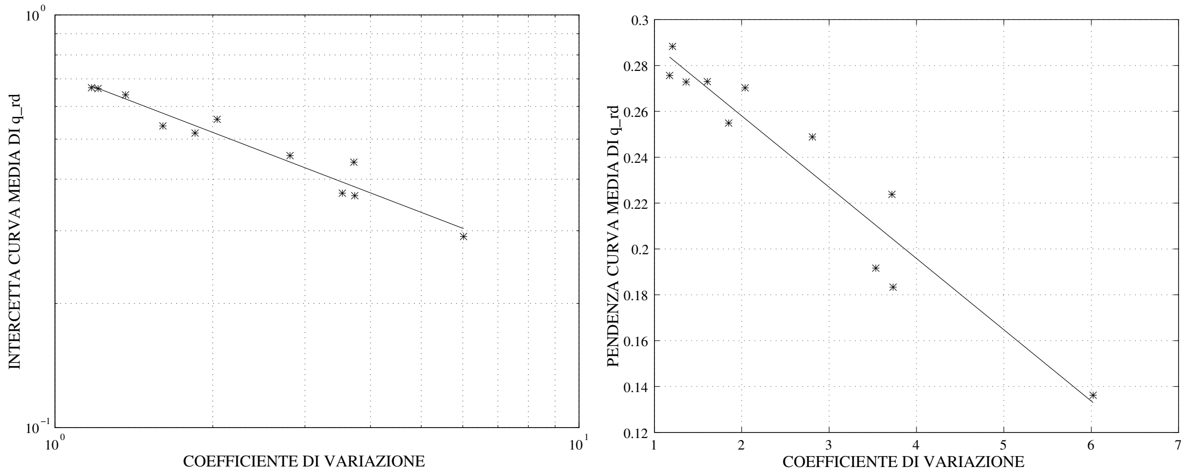

Figura 5. *Regressioni tra C_V dei dati giornalieri ed intercetta α e pendenza β della (2).*

Le relazioni trovate sono:

$$\alpha = 0.73\ C_V^{-0.49} \tag{3}$$

$$\beta = 0.32 - 0.031\ C_V \tag{4}$$

In definitiva la (2) si può quindi esprimere compiutamente in funzione di C_v, con minime semplificazioni, come:

$$E[q_{r_d}] = (2C_V)^{-1/2} + 1/3\ (1-0.1C_V)\ ln\ r_d \tag{5}$$

4.2. ANALISI REGIONALE DELLA VARIANZA DI q_{r_d}

Come mostrato in precedenza (Fig.4) gli scarti quadratici medi delle portate derivate adimensionali si mantengono, per ogni r_d, all'interno di una fascia piuttosto ristretta, senza mostrare evidenti tendenze discriminanti tra i diversi siti. Una valutazione statisticamente oggettiva della casualità della variazione di $\sigma[q_{r_d}]$ per ogni fissato r_d è stata fatta per tutti i valori di r_d adoperati, attraverso la costruzione degli intervalli di confidenza per la varianza (v. es. Spiegel, 1992, p.197), che discendono dall'ipotesi di Normalità di q_{r_d}. In tutti i casi, è risultato che le varianze relative alle diverse stazioni non possono essere statisticamente distinte (al 5% di significatività) dal loro valore centrale (rappresentato dalla media regionale $\sigma_R\ [q_{r_d}]$ pesata sul numero di dati). A titolo di esempio, in Fig.6 viene mostrato il risultato dell'applicazione del test appena descritto al caso $r_d = 3$.

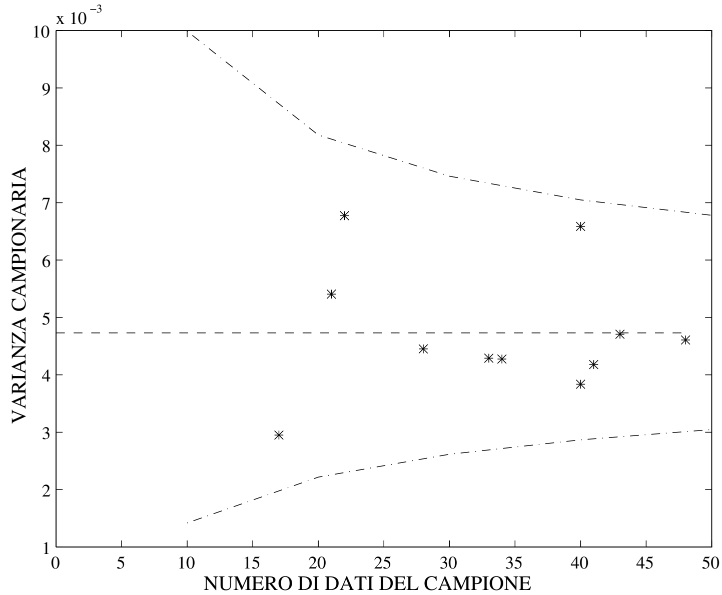

Figura 6. *Applicazione del test sulla costanza della varianza al caso r_d=3.*

Ciò premesso, è evidente che la dipendenza dei diversi valori di $\sigma[q_{r_d}]$ da r_d va riferita unicamente ai rispettivi valori medi pesati regionali $\sigma_R\,[q_{r_d}]$. Questa dipendenza, mostrata in Fig.7 è risultata espressa dalla relazione

$$\sigma_R\,[q_{r_d}] = 0.10 + 0.09\ ln\ r_d \tag{6}$$

validata da un elevatissimo valore del coefficiente di determinazione (R^2=0.998).

In definitiva, mediante la (5) e la (6), la (1) diventa,

$$q_{r_d,\Phi} = (2C_V)^{-1/2} + 1/3\ (1-0.1C_V)\ ln\ r_d\ + 0.1\ u_\phi\ (1 + ln\ r_d) \tag{7}$$

che rappresenta l'espressione analitica utilizzabile per il tracciamento delle curve probabilistiche di possibilità di derivazione, le quali vengono così a dipendere unicamente dalle stime della portata media generale del corso d'acqua $\boldsymbol{q}$ e del coefficiente di variazione C_V delle portate medie giornaliere. In termini dimensionali, i volumi idrici annualmente derivabili con un rapporto di derivazione r_d e corrispondenti ad una probabilità di deficit pari a Φ saranno immediatamente calcolati tramite la relazione

$$Q_{r_d,\Phi} = \boldsymbol{q} \cdot q_{r_d,\Phi} \tag{8}$$

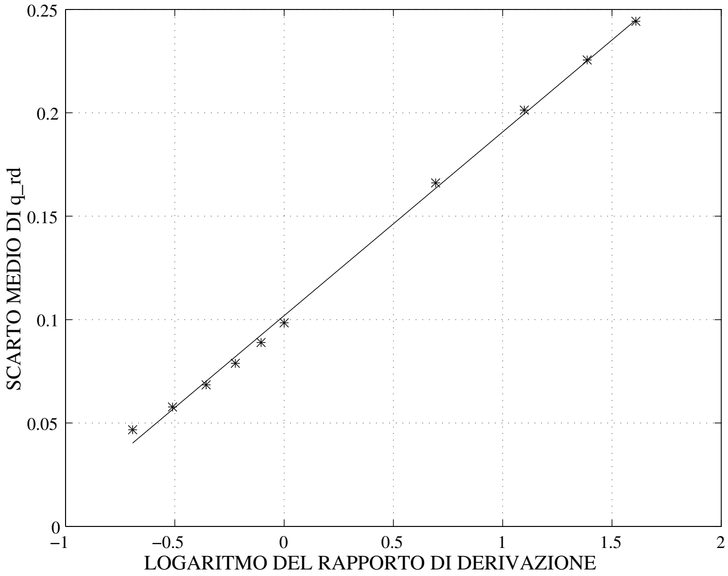

Figura 7. *Regressione tra il valor medio regionale $\sigma_R\,[q_{r_d}]$ ed il rapporto di derivazione r_d.*

In Fig. 8 è mostrato un esempio di ricostruzione delle curve di possibilità di derivazione relativamente alla stazione del Basento a Gallipoli. Come si può notare, l'errore di ricostruzione è sostanzialmente basso, tenuto conto del fatto che le curve sono ricostruite usando il solo C_V.

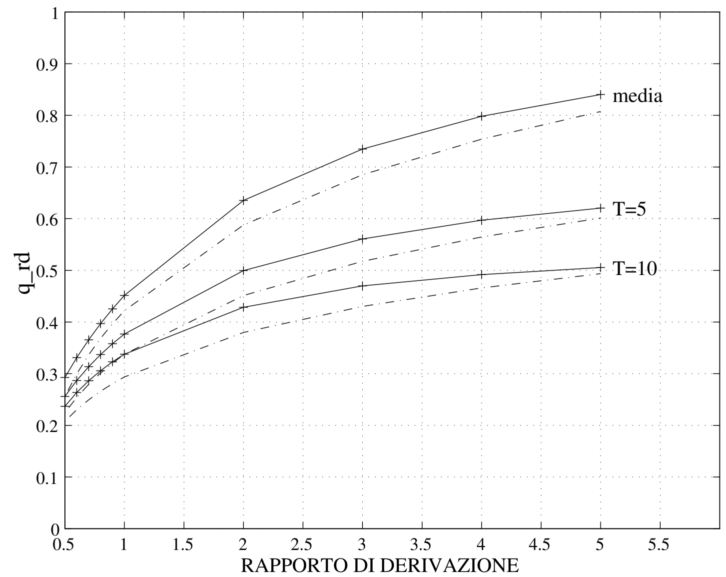

Figura 8. *Curve probabilistiche di possibilità di derivazione campionarie (tratto continuo) e ricostruite (tratto e punto) alla sezione del Basento a Gallipoli.*

Il risultato a cui si è pervenuti è certamente di notevole interesse, sia per quanto riguarda le indicazioni che esso fornisce ad un eventuale approfondimento teorico finalizzato ad una più dettagliata conoscenza del processo dei volumi derivabili con un impianto ad acqua fluente sia, e forse maggiormente, in quanto esso costituisce uno strumento tecnico sufficientemente semplice e affidabile per la stima probabilistica di detti volumi. Si può rilevare infatti che sia la media sia lo scarto quadratico medio delle portate medie giornaliere sono grandezze stimabili con buona affidabilità mediante analisi regionale. Per la prima di esse, in particolare, non occorre nemmeno menzionare i molteplici metodi di stima ed è sufficiente rimandare ai manuali tecnici o ai libri di testo di idrologia. La variabilità su base regionale dello scarto quadratico medio delle portate medie giornaliere, invece, non è stata altrettanto studiata in passato e, pertanto, con riferimento ad essa, sarà utile qualche ulteriore considerazione.

In primo luogo si può dire che la variabilità interna del processo dei deflussi giornalieri è dipendente da quella del processo delle precipitazioni che lo genera, che ha caratteri sostanzialmente stabili su scale regionali di medie dimensioni, ma dipende anche, forse in maniera preponderante, dalla natura idrogeologica del bacino imbrifero. Ne discende che bacini in similitudine climatica, ma principalmente idrogeologica, dovrebbero presentare coefficienti di variazione delle portate medie giornaliere non significativamente distinguibili tra loro.

Per un'iniziale conferma di quanto appena asserito si è voluto verificare, con riferimento ai bacini idrografici del versante jonico della Basilicata, il grado di dipendenza di detto coefficiente di variazione dall'indice di deflusso profondo *Ip*, che come già mostrato discrimina ottimamente tra bacini con diversa percentuale di apporti sorgentizi. Per inciso, questo indice ha una notevole prerogativa di semplicità in quanto viene determinato sulla base dei minimi annuali dei deflussi mensili e non mediante l'analisi dei deflussi giornalieri. La relazione correlativa:

$$C_V = 0.80\, Ip^{-0.41} \tag{9}$$

ottenuta ancora con elevato coefficiente di determinazione (R^2=0.94) è mostrata in Fig. 9.

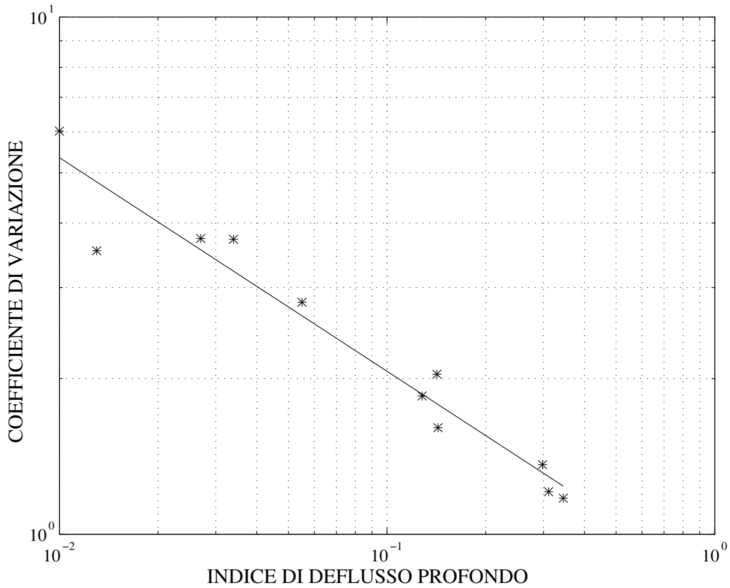

Figura 9. *Regressione tra il C_V dei dati giornalieri e l'indice di deflusso profondo.*

Questo risultato, relativo ad un numero relativamente piccolo di bacini appartenenti ad una regione piuttosto ampia, è di notevole interesse in quanto mostra che già per valori bassi di *Ip* il coefficiente di variazione delle portate medie giornaliere è controllato in maniera significativa da fattori idrogeologici. Inoltre, notando che la correlazione si evidenzia in campo logaritmico, si può rilevare come, già per valori molto bassi di *Ip*, appena superiori a valori oggettivamente indistinguibili da zero, questo indice consenta una chiara discriminazione di C_V.

5. CONCLUSIONI

In questo lavoro è stato rivisitato, alla luce di più attuali metodologie statistiche, un tema classico dell'idrologia tecnica, quello della valutazione dei volumi annualmente derivabili da un corso d'acqua mediante un impianto ad acqua fluente con limitazione superiore della portata derivabile. Si è ritenuto opportuno, infatti, estendere ad una problema legato al processo dei deflussi lontani dagli estremi idrologici l'approccio metodologico che ha condotto, negli ultimi decenni, a significativi progressi nell'interpretazione probabilistica di detti estremi.

I risultati conseguiti offrono ottimi elementi di comprensione del processo studiato sì da suggerire adeguanti spunti per l'approfondimento teorico della questione. Principalmente, però, l'obiettivo del lavoro è stato quello di approntare una metodologia di validità tecnica per la stima di detti volumi, valida sia nel caso in cui si dispone di osservazioni dirette di portate medie giornaliere, sia nel caso, molto più frequente, in cui è necessario fare ricorso a tecniche di analisi regionale.

Le curve probabilistiche di possibilità di derivazione, che mostrano per un dato rischio di deficit le modalità con le quali i volumi idrici annualmente derivabili variano con il rapporto tra portata massima derivabile e portata media del corso d'acqua, sono state infatti ricondotte ad espressioni analitiche relativamente semplici, ricavate per via correlativa con elevata significatività statistica. Esse sono risultate controllate essenzialmente da due parametri di chiaro significato fisico-statistico, quali la media e il coefficiente di variazione delle portate medie giornaliere. È stato mostrato, inoltre, come quest'ultimo risulti a sua volta controllato dalle caratteristiche di permeabilità del bacino idrografico tramite il cosiddetto indice di deflusso profondo, che permette di valutare l'aliquota del deflusso totale di un corso d'acqua attribuibile a contributi sorgentizi perenni.

I risultati dell'analisi condotta sono stati validati con riferimento all'intera, cospicua, base dei dati storici di portata media giornaliera raccolti alle stazioni del Servizio Idrografico Italiano relative ai bacini idrografici del versante jonico della Basilicata. Essi, pertanto, conferiscono un buon carattere di generalità alla trattazione utilizzata.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Bacchi, B., A. Brath and N.T. Kottegoda (1992) Analysis of the relationships between flood peaks and flood volumes based on crossing properties of river flow processes, *Water Resources Research*, 28 (10), 2773-2782.

Bras, R.L. and I. Rodriguez-Iturbe (1985) *Random Functions and Hydrology*, Addison Wesley.

Claps P., F. Rossi and C. Vitale, Conceptual-stochastic modeling of seasonal runoff using Autoregressive Moving Average models and different scales of aggregation, *Water Resour. Res.*, **29**(8), 2545-2559, 1993.

Evangelisti G. (1964) Impianti Idroelettrici, Vol. I., II edizione, Patron, Bologna.

Penta A. e F. Rossi, (1979) Curve di possibilità di regolazione dedotte con il metodo determinstico, Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Università di Napoli, n. 389.

Rossi,F. and G. Silvagni (1980) Analysis of annual runoff series, *Proc. Third IAHR Symposium on Stochastic Hydraulics*, Tokio, A-18(1-12).

Spiegel M. R.(1992) *Probabilità e Statistica*, Etas Libri, Milano.

Yevjevich,V. (1972) *Stochastic Processes in Hydrology*, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado.