

CURVE DI POSSIBILITÀ DI LAMINAZIONE DELLE PIENE (*)

DOMENICO PIANESE – FABIO ROSSI (**)

SOMMARIO: Viene proposto un metodo di tipo probabilistico per la valutazione dell'effetto di laminazione esercitato da una capacità d'invaso. Il metodo è basato sulla stima delle massime portate di piena di durata assegnata e sull'applicazione di un criterio estremante per la scelta della durata critica. Una verifica del metodo è stata effettuata in base ai dati idrometrografici registrati alla stazione del Crati a Conca. Vengono infine proposte le curve di possibilità di laminazione, che rappresentano la relazione fra l'effetto di laminazione e l'invaso massimo adimensionale. Tali curve danno un quadro completo delle possibilità di laminazione di un serbatoio al variare delle dimensioni delle luci, assegnati la morfologia dell'invaso ed il tipo degli scarichi.

Résumé: Une méthode fondée sur le calcul des probabilités pour l'évaluation de l'effet d'écrêtement exercé par une capacité de retenue est proposée. La méthode est basée sur l'estimation des plus grands débits de crue d'une durée assignée et sur l'application d'un critère extrême pour le choix de la durée critique. Une vérification de la méthode a été effectuée en base aux données limnographiques enregistrées à la station du Crati à Conca. Enfin, on propose les courbes de possibilité d'écrêtement qui représentent la relation entre l'effet d'écrêtement et la retenue a-dimensionnelle la plus grande. De telles courbes donnent un tableau complet des possibilités d'écrêtement d'un réservoir selon la variation des dimensions des déversoirs une fois fixés la morphologie de la retenue et le type des déversoirs.

Summary: A probabilistic-type method is suggested for evaluating the flood routing effect of a storage capacity. The method is based on the estimation of the maximum flood discharges of given duration and the application of a extremal criterion for the choice of the critical duration. Runoff data recorded at the station of the Crati at Conca were used to test the method. Finally, flood routing possibility curves are proposed which represent the relationship between flood routing effect and dimensionless maximum storage. These curves give full picture of a reservoir's flood routing possibilities as the dimensions of the outlets change, given the morphology of the storage and the type of outlets.

Zusammenfassung: Vorgeschlagen wird eine Methode des Wahrscheinlichkeitstyps für die Bewertung des Hochwasserrückalteeffekts der durch die Verwendung eines Rückhaltebeckens erzielt wird. Die Methode basiert auf der Bewertung der maximalen Höchstdurchflüsse bei festgesetzter Dauer und auf der Anwendung eines beschränkten Kriteriums für die Wahl der Prüfdauer. Eine Überprüfung dieser Methode wurde auf Basis der in der Warte von Crati a Conca registrierten Durchflussmessungen durchgeführt. Am Ende werden die Wahrscheinlichkeitskurven des Hochwasserrückhalts vergelegt, die Beziehung zwischen dem Hochwasserrückalteeffekt und der dimensionslosen maximalen Stauung darstellen. Diese Kurven ergeben eine Gesamtübersicht über die Wahrscheinlichkeit des Hochwasserrückhalts eines Wasserbehälters bei unterschiedlichen Ausmassen der Öffnungen nach Festsetzung der Morphologie der Stauung und des Typs der Entlastungsanlagen.

(*) Ricerca finanziata col contributo M.P.I. 40%.

(**) Dipartimento di Idraulica, Gestione delle Risorse Idriche ed Ingegneria Ambientale dell'Università di Napoli.

1. Premesse.

I corsi d'acqua incassati nelle piane alluvionali formano da sé il proprio alveo in modo da contenere le portate di piena ordinarie, corrispondenti a periodi di ritorno di 1 o 2 anni. Per delimitare l'alveo di piena vengono generalmente creati sistemi di lunghe arginature, che possono subire danni notevoli, fino a cedere in qualche punto, quando le portate di piena superano di molto quelle ordinarie. Quando poi si verificano eventi di piena straordinari, corrispondenti a periodi di ritorno molto elevati, gli alvei vengono sconvolti, e si determinano situazioni transitorie di erosione e di deposito che possono compromettere la stabilità delle opere di difesa o la sufficienza delle sezioni idriche.

I costi di manutenzione e il rischio di fallanza delle arginature possono venire drasticamente ridotti per effetto di invasi a monte destinati alla laminazione delle piene, ottenuti o riservando una congrua capacità al disopra di quella utile nei serbatoi ad uso promiscuo, o creando appositamente vasche di espansione o di laminazione ad uso esclusivo di piena.

Nel progettare le opere di scarico degli invasi di laminazione, interessa che per le piene ordinarie l'invaso disponibile risulti impegnato al minimo e che per portate superiori, viceversa, la portata uscente dagli scarichi sia soggetta ad incrementi minimi all'aumentare del carico. Lo scopo può essere raggiunto facendo ricorso a scarichi con luci regolabili, il cui uso, però, viene generalmente sconsigliato per motivi di sicurezza. In alternativa si realizzano, di norma, opere di scarico a luci fisse munite di dispositivi limitatori di portata.

Fissato il tipo di scarico, agli effetti del dimensionamento risulta utile valutare la relazione con cui, per un assegnato periodo di ritorno, la portata massima uscente diminuisce all'aumentare dell'invaso di laminazione. Tale relazione, che può essere rappresentata mediante la curva di possibilità di laminazione, dà un quadro completo delle possibilità di laminazione, di un serbatoio al variare delle dimensioni delle luci, una volta assegnata la morfologia dell'invaso ed il tipo degli scarichi.

2. Metodi di dimensionamento proposti nel passato.

I metodi solitamente adottati per il dimensionamento degli invasi di laminazione, e, più in generale, per la determinazione delle curve di possibilità di laminazione, si riconducono generalmente alla ricostruzione di un idrogramma di piena di progetto, ritenuto critico per il funzionamento dell'invaso (GREGORIG, 1940). Tuttavia, seguendo tale metodo, è difficile valutare il rischio idrologico, rappresentato dalla probabilità di superamento del massimo volume d'invaso nella durata di esercizio.

MARONE (1964 e 1971) ha messo in evidenza che, almeno per idrogrammi di tipo semplice ad un solo picco, la forma dell'onda ha relativamente scarsa influenza sulle possibilità di laminazione, che vengono quindi a dipendere essenzialmente dal tipo di scarico, a battente o a stramazzo, dalla portata istantanea al colmo e dal deflusso totale dell'onda di piena. In tale ipotesi, il rischio idrologico può essere valutato se si riesce a stimare la distribuzione di probabilità del deflusso di piena condizionata ad un assegnato valore della portata al colmo. Tuttavia, a prescindere dalla difficoltà di valutare tale distribuzione in mancanza di dati idrometrici diretti, resta comunque incerta la durata della piena cui far riferimento, soprattutto tenuto conto che le piene più critiche per gli invasi sono costituite da eventi « lunghi », di forma complessa, a più picchi successivi. Tale problema è stato risolto solo nel caso di funzionamento idraulico molto semplice, in pratica per luci regolabili, da ETOH e MUROTA (1984) con un approccio probabilistico. Ancora ricorrendo a schemi idraulici semplificati, BACCHI e MAIONE (1984) hanno valutato l'influenza di un volume finito di laminazione sulla distribuzione di probabilità dei colmi di piena.

Un altro tipo di approccio è stato seguito da SUPINO (1967 e 1969), che ha adottato un criterio estremante per definire l'idrogramma di piena di progetto. Tra tutti gli eventi di piena generati da precipitazioni di intensità costante in un intervallo di durata variabile e con uguale periodo di ritorno, si sceglie quello che determina il massimo invaso. Nella sua trattazione Supino trascurava, o considerava in maniera molto semplificata, la risposta del bacino idrografico. PRINCIPATO e PUGLIESE CARRATELLI (1977 e 1978), MORIGGI e ZAMPAGLIONE (1978) e D'ALPAOS (1979) hanno corretto il metodo di Supino per tenere conto della trasformazione afflussi-deflussi, utilizzando forme diverse dell'idrogramma unitario istantaneo per caratterizzare la risposta del bacino. Seguendo tale approccio, resta, tuttavia, la difficoltà di valutare su base probabilistica i parametri che definiscono il modello deterministico di trasformazione afflussi-deflussi.

In questo lavoro si propone di applicare il criterio estremante direttamente ai deflussi invece che alle precipitazioni. Si considerano, per un assegnato periodo di ritorno T , le massime portate di piena $Q_{t,T}$ in intervalli di durata t variabile, e quindi si determina la durata t critica che provoca il massimo invaso. In sostanza, invece di ricavare mediante un modello di trasformazione afflussi-deflussi gli idrogrammi di piena provocati da piogge di assegnato periodo di ritorno T e di assegnata durata t , si valutano direttamente le $Q_{t,T}$ dai dati idrometrografici applicando le tecniche di analisi statistica delle piene su base regionale.

Il metodo proposto sarà qui applicato al caso dei serbatoi di laminazione muniti di un tipo unico di luce di scarico, a battente o a stramazzo.

Non sussiste però alcuna difficoltà ad estendere il metodo al caso di serbatoi muniti di due o più luci, di tipo e dimensioni anche diverse: basterà, allo scopo, modificare opportunamente la scala di efflusso caratteristica del serbatoio.

Nel paragrafo 3 viene mostrata la validità del metodo proposto per valutare l'effetto di laminazione per un assegnato evento di piena. Nel paragrafo 4 il metodo viene esteso ad un approccio di tipo probabilistico, verificandone l'affidabilità in base alle registrazioni idrometrografiche nella stazione del Crati a Conca. Nel paragrafo 5, infine, vengono introdotte le curve di possibilità di laminazione in forma adimensionale, mostrandone l'utilità nei problemi di progetto.

3. Effetto di laminazione per un dato evento di piena.

3.1. SCALA DI EFFLUSSO CARATTERISTICA DEL SERBATOIO.

L'azione di laminazione esercitata da un invaso su un dato evento di piena viene studiata attraverso un modello di tipo cinematico, associando all'equazione di continuità la scala di efflusso caratteristica del serbatoio. Quest'ultima si riporta, in genere, ad una espressione monomia del tipo:

$$v = K q_u^v \quad (1)$$

in cui q_u è la portata uscente in corrispondenza del volume v invasato nel serbatoio, con K e v assunti costanti. La (1) viene ottenuta nell'ipotesi:

— che q_u vari con il carico H sulla luce con legge:

$$q_u = c H^n \quad (2)$$

ammettendo costante il coefficiente di efflusso al variare di H , sicché risulta c costante ed n pari a 0,5 per luci a battente e a 1,5 per luci a stramazzo;

— che la curva dei volumi d'invaso possa essere espressa attraverso una relazione del tipo:

$$v = v_1 H^m \quad (3)$$

nella quale v_1 è il valore di v per $H = 1$, ed m è un parametro caratteristico della morfologia dello invaso, variabile da 1 a 4,5 nel caso di scarichi di fondo e da 1 ad 1,5 nel caso di scarichi di superficie.

Dal confronto della (1) con la (2) e la (3) risulta:

$$K = v_1 / c^v ; \quad v = m/n$$

In realtà, l'insieme delle opere di scarico di un serbatoio ha un funzionamento generalmente più complesso di quello descritto dall'equazione (1). Come si è già detto, infatti, si fa spesso ricorso a dispositivi limitatori di portata. Nei serbatoi ad uso esclusivo di piena si possono utilizzare opere di scarico costituite da luci di fondo realizzate mediante un setto verticale disposto in una sezione opportuna di un tronco venturimetrico. In tal caso il funzionamento degli scarichi varia al variare dell'intervallo di portate cui si fa riferimento (BIGGIERO, 1970): ad una prima fase (fase ordinaria) caratterizzata da deflusso a pelo libero, segue una seconda (fase di laminazione) con funzionamento a battente, caratterizzata da minori variazioni di portata all'aumentare del carico a monte. Esaurito l'invaso destinato alla laminazione, entra in funzione lo scarico di emergenza con funzionamento a stramazzo, per cui si hanno notevoli incrementi della portata uscente per modesti incrementi del carico sulla luce (fase di emergenza).

Anche nei serbatoi ad uso multiplo, destinati sia alla utilizzazione dei deflussi che all'attenuazione delle piene, è possibile inserire a valle della soglia dello scarico di superficie dei dispositivi limitatori di portata che provochino, al crescere del carico, il passaggio da un tipo di efflusso a stramazzo ad uno a battente (C. VIPARELLI, 1954; CIARAVINO e R. VIPARELLI, 1981; R. VIPARELLI, 1982). In entrambi i casi si ottengono, per ogni fase di funzionamento, relazioni diverse tra volumi invasati e portate uscenti.

Nel prosieguo, per valutare l'effetto di laminazione di un serbatoio munito di dispositivi limitatori di portata del tipo di quelli descritti, si farà riferimento alla sola fase di laminazione con funzionamento a battente, a cui corrisponde una scala di efflusso che si può porre nella forma:

$$v/v_0 = (q_u/q_0)^v \quad q_0 \neq 0 \quad (1')$$

con $v = 2 \cdot m$, mentre q_0 e v_0 sono rispettivamente la portata uscente ed il volume invasato in corrispondenza del valore H_0 del carico per cui si ha il passaggio da deflusso a pelo libero ad efflusso a battente ⁽¹⁾. Nella fase ordinaria, per portate in arrivo inferiori a q_0 , si ammetterà che la portata uscente sia uguale alla portata entrante, sicchè l'effetto dell'invaso su di un'onda di piena possa essere rappresentato attraverso lo schema di fig. 1. In questa $q(\tau)$ e $q_u(\tau)$ sono, rispettivamente, la portata entrante e la portata uscente all'istante τ , mentre con Q e Q_u si sono indicati i valori di colmo raggiunti nell'evento da q e q_u .

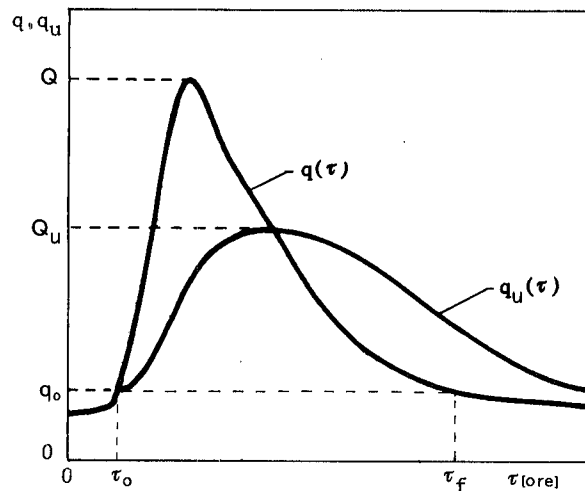


FIG. 1. ... Effetto di laminazione esercitato da un serbatoio a luci fisse con dispositivo limitatore di portata.

Agli effetti del dimensionamento si ammetterà, inoltre, che la capacità d'invaso destinata alla laminazione delle piene sia illimitata, sicchè non entri in funzione lo scarico di emergenza. Tuttavia, la metodologia proposta può essere facilmente applicata anche in fase di verifica, allorquando, fissata la capacità d'invaso destinata alla laminazione delle piene e le dimensioni delle luci, occorre valutare gli effetti dello scarico di emergenza su portate uscenti di periodo di ritorno superiori a quello di progetto.

3.2 - EQUAZIONE DIFFERENZIALE CARATTERISTICA DEL SERBATOIO.

L'equazione di continuità:

$$(q - q_u) d\tau = dv \quad (4)$$

sotto la condizione iniziale:

$$q_u(0) = q(0) = q_0 \quad (5)$$

associata alla scala di efflusso (1'), si scrive:

$$\frac{v v_0}{q_0^v} q_u^{v-1} \frac{dq_u}{d\tau} + q_u - q = 0 \quad (6)$$

che è l'equazione differenziale caratteristica di un serbatoio di laminazione.

⁽¹⁾ Nel caso di serbatoi ad uso promiscuo, con semplice scarico di superficie a stramazzo, e quindi per $q_0 = 0$ e $v = 2m/5$, si farà riferimento alla scala di efflusso nella forma (1).

La (6) può essere risolta per via analitica solo in alcuni casi particolari:

- i) invaso lineare ed idrogrammi di piena di forma assegnata (GREGORIG, 1940; MARONE 1964);
- ii) invaso non lineare, portata entrante costante (POSEY e FU-TE I, 1940).

Per definire, però, le possibilità di laminazione per un dato evento di piena, non è necessario integrare completamente la (6), ma basta determinare la relazione fra il coefficiente di laminazione $\eta = Q_u/Q$ e il massimo invaso adimensionale di laminazione $w = V/D$, essendo V il massimo invaso impegnato per la laminazione e $D = \int_{\tau_0}^{\tau_f} q(\tau) d\tau$ il deflusso di piena (vedi fig. 1). MARONE (1964 e 1971) e successivamente SARGINSON (1973) hanno determinato per via numerica la relazione $w = w(\eta)$ per invaso non lineare ed idrogrammi di piena di forma diversa.

In questo capitolo la relazione $w = w(\eta)$ viene ottenuta mediante l'applicazione di una tecnica di massimizzazione, nel caso più generale di invaso non lineare ed idrogramma di forma qualsiasi. Si premette alla descrizione di tale metodo la soluzione della (6) nel caso di invaso non lineare e portata entrante costante.

3.3. PORTATA ENTRANTE COSTANTE.

Nel caso di portata entrante $q(\tau) = q = \text{costante}$ nell'intervallo $(0, t)$, la (6) può essere integrata, sotto la condizione iniziale (5), ricorrendo ad uno sviluppo in serie di potenze. Riferendosi alle grandezze adimensionali (fig. 2a):

$$\bar{\tau} = \tau/t \quad ; \quad \bar{v}_0 = v_0/tq \quad ; \quad \bar{v}_t = v(t)/tq \quad ; \quad (7)$$

$$\bar{q}_u = q_u(\tau)/q \quad ; \quad \bar{q}_0 = q_0/q \quad ; \quad \bar{q}_{u,t} = q_u(t)/q \quad (8)$$

la (6) si scrive:

$$d\bar{\tau} = \frac{v \bar{v}_0}{\bar{q}_0^v} \frac{\bar{q}_u^{v-1}}{(1 - \bar{q}_u)} d\bar{q}_u \quad (9)$$

Sviluppando in serie il termine in $\bar{q}_u$, ed integrando tra 0 ed 1, la (9) diventa:

$$\frac{\bar{q}_0^v}{\bar{v}_0} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{v}{v+i} (\bar{q}_{u,t}^{v+i} - \bar{q}_0^{v+i}) \quad (10)$$

Tenendo presente che (1') può essere messa nella forma:

$$\frac{\bar{q}_0^v}{\bar{v}_0} = \frac{\bar{q}_{u,t}^v}{\bar{v}_t} = \frac{\bar{q}_{u,t}^v - \bar{q}_0^v}{(\bar{v}_t - \bar{v}_0)}$$

ed introducendo il massimo invaso adimensionale di laminazione w_t e il coefficiente di laminazione η_t :

$$w_t = \bar{v}_t - \bar{v}_0 \quad ; \quad \eta_0 = \bar{q}_0 \quad ; \quad \eta_t = \bar{q}_{u,t} \quad (11)$$

si ottiene:

$$\frac{1}{w_t} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{v}{v+i} \eta_t^i \frac{[1 - (\eta_0/\eta_t)^{v+i}]}{[1 - (\eta_0/\eta_t)^v]} \quad (12)$$

che rappresenta la curva di possibilità di laminazione in forma adimensionale per portata entrante costante in $(0, t)$, invaso non lineare e portata iniziale diversa da zero. Nella fig. 2b la relazione $w_t = w_t(\eta_t)$ è stata rappresentata per il caso di scarichi di superficie non muniti di dispositivi limitatori di portata, cioè per $v = 2 m/3$ e per $\eta_0 = 0$, per diversi valori dell'esponente m della curva dei volumi d'invaso. Nelle figure 2c e 2d sono state riportate, invece, le curve $w_t = w_t(\eta_t)$ per il caso di scarichi di fondo, per assegnati valori rispettivamente di η_0/η_t e di v .

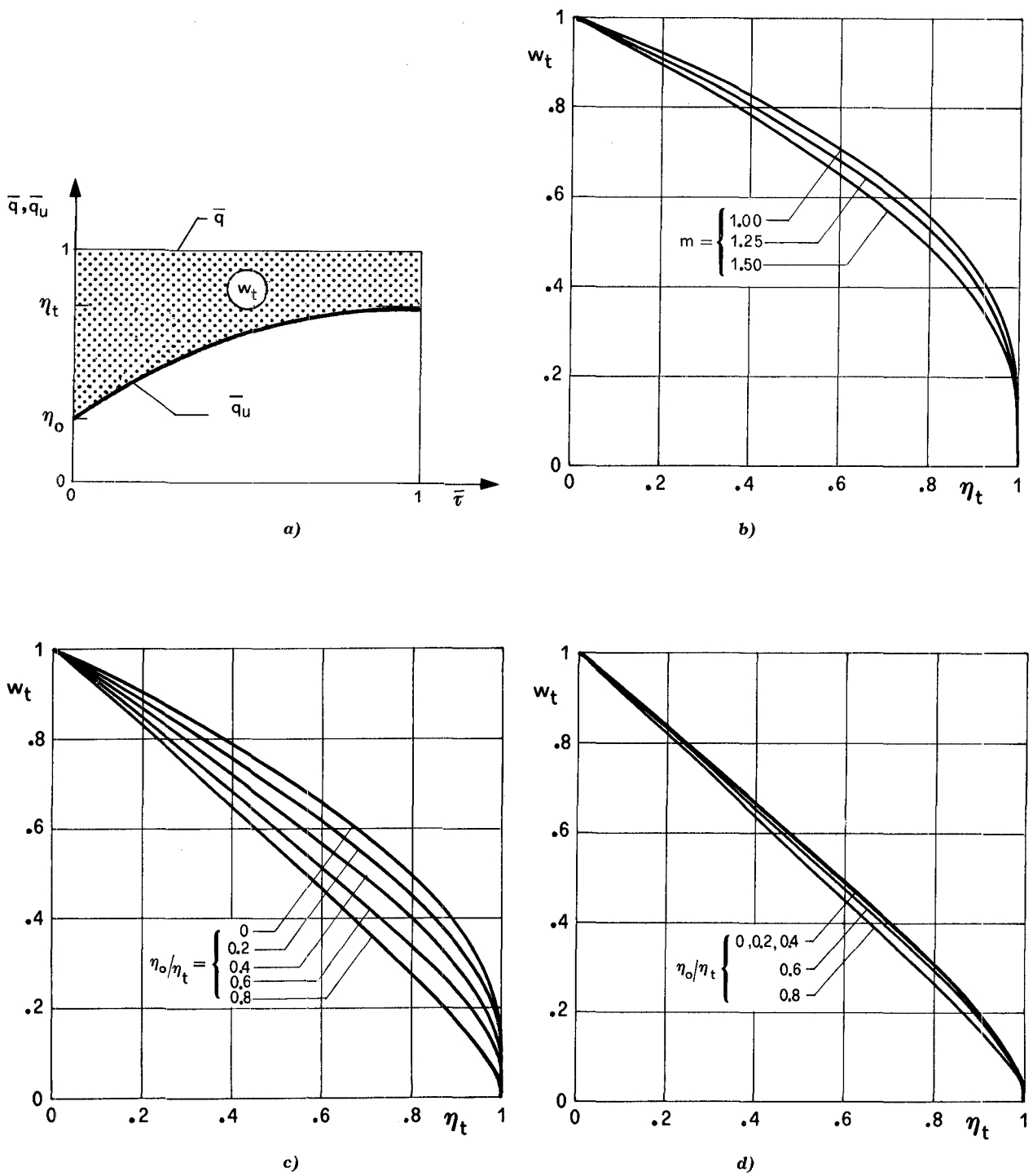


FIG. 2. — Effetto di laminazione esercitato da un invaso per portata entrante costante:

a) Rappresentazione in forma adimensionale della portata entrante $\bar{q} = 1$ e della portata uscente $\bar{q}_u$ in funzione del tempo $\bar{\tau}$.

Relazione tra l'invaso massimale adimensionale di laminazione w_t e il coefficiente di laminazione η_t per:

b) $\nu = 2m/3$ e $\eta_0 = 0$;

c) $\nu = 1$ e $\eta_0 \neq 0$;

d) $\nu = 5$ e $\eta_0 \neq 0$.

3.4. IDROGRAMMA DI PIENA DI FORMA QUALSIASI.

Nel caso più generale di portata entrante variabile nel tempo, la relazione $w = w(\eta)$, per fissati valori di v_0 , q_0 e v , può essere determinata ricorrendo ad una tecnica estremante (PENTA, 1983), costituita dalle seguenti fasi, illustrate nell'esempio di fig. 3:

i) si caratterizza l'idrogramma di piena $q(\tau)$ (fig. 3a) attraverso la *legge di riduzione dei colmi di piena con la durata t* (fig. 3b):

$$Q_t/Q = f(t) \quad (13)$$

nella quale

$$Q_t = \max_{\tau_0 \leq \tau' \leq \tau_f - t} \left(\int_{\tau'}^{\tau' + t} q(\tau) d\tau / t \right) \quad (14)$$

è il valore di colmo raggiunto durante l'evento dalla portata media in un intervallo di tempo di durata t , mentre Q è il colmo della portata istantanea;

ii) per una fissata durata t , posto $q = Q_t$, cioè ammesso costante Q_t in $(0, t)$, si determina $\eta_t = \bar{q}_{u,t}$ dalla (10) e quindi la massima portata uscente (fig. 3c):

$$Q_{u,t} = Q_t \eta_t \quad (15)$$

iii) si fa variare la durata, ripetendo per ogni t il procedimento indicato al punto precedente.

Una stima $\hat{Q}_u$ della portata massima Q_u uscente dal serbatoio in seguito all'evento di piena può essere ottenuta massimizzando $Q_{u,t}$ (fig. 3d):

$$\hat{Q}_u = \max_t Q_{u,t} \quad (16)$$

Analogamente, in base alla (1'), si ottiene una stima $\hat{V}$ dal massimo volume invasato V (fig. 3e).

Nell'esempio riportato in fig. 3, che si riferisce all'evento di piena del febbraio 1940 registrato nella stazione del Crati a Conca, è risultato $\hat{Q}_u = 521 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mentre dall'idrogramma uscente $q_u(\tau)$ ottenuto integrando numericamente la (6), si ha $Q_u = 540 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Seguendo il procedimento esposto, CELANO e PIANESE (1984) hanno eseguito un analogo confronto facendo riferimento agli idrogrammi di piena registrati alla stazione del Crati a Conca nel periodo 1933-63. In particolare, dalle strisce idrometrografiche gentilmente fornite dalla Sezione di Catanzaro del Servizio Idrografico Italiano (S.I.I.), sono stati presi in considerazione 47 idrogrammi con portata istantanea al colmo $Q > q_0 = 160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabella 1). Dalla fig. 4a si può osservare che gli scarti tra i valori teorici η e i valori stimati $\hat{\eta}$, calcolati per fissati valori di q_0 , v_0 e v , non superano il 10%.

TABELLA 1

Onde di piena registrate nella stazione di misura del Crati a Conca prese in esame.

N.	Data Piena	Q (mc/s)	N.	Data Piena	Q (mc/s)	N.	Data Piena	Q (mc/s)	N.	Data Piena	Q (mc/s)
1	22-02-1933	247	13	11-01-1938	301	25	24-01-1940	672	37	20-12-1950	242
2	25-11-1933	230	14	31-01-1938	252	26	18-02-1940	860	38	17-01-1951	707
3	17-12-1933	281	15	14-02-1938	232	27	25-02-1941	600	39	19-01-1951	355
4	14-01-1934	221	16	27-12-1938	341	28	26-01-1942	301	40	08-03-1951	1114
5	03-02-1934	335	17	06-01-1939	217	29	11-02-1942	386	41	02-02-1952	574
6	02-03-1935	639	18	27-01-1939	352	30	19-02-1942	266	42	09-02-1952	278
7	22-12-1935	514	19	25-03-1939	217	31	09-01-1943	286	43	16-02-1953	266
8	11-12-1936	406	20	08-12-1939	237	32	25-01-1945	666	44	25-12-1961	277
9	07-02-1937	370	21	31-01-1939	333	33	22-11-1945	321	45	20-01-1963	314
10	14-02-1937	341	22	06-01-1940	413	34	06-02-1947	332	46	18-02-1963	232
11	10-03-1937	237	23	12-01-1940	465	35	20-02-1947	375	47	01-02-1963	221
12	16-12-1937	262	24	21-01-1940	530	36	28-01-1948	235			

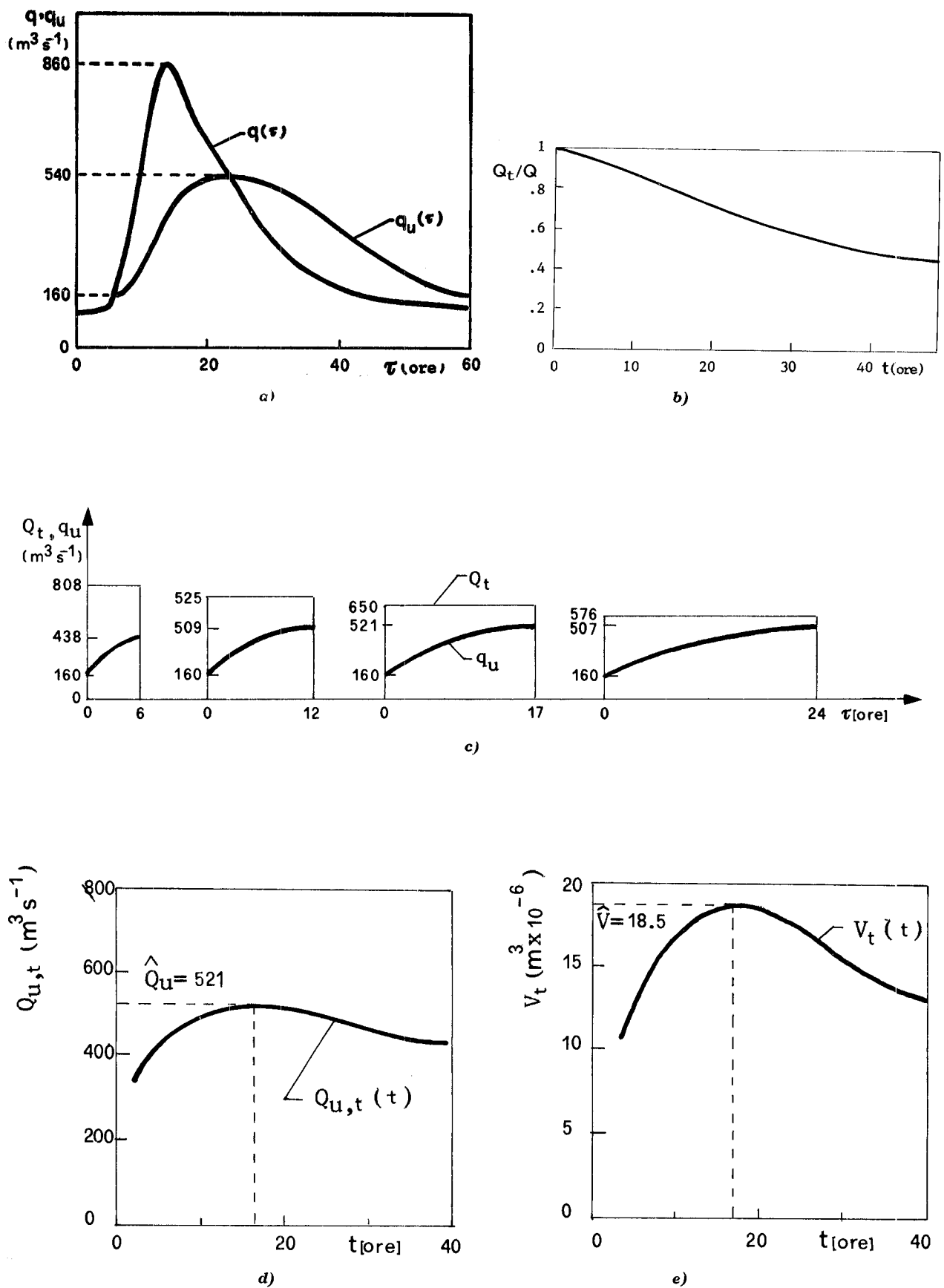


FIG. 3. — Effetto di laminazione esercitato da un invaso ($v_0 = 1.59 \times 10^6 \text{ m}^3$, $q_0 = 160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $v = 2$ per l'evento del febbraio 1940 registrato nella stazione del Crati a Conca;
a) valutazione mediante integrazione numerica;
b), c), d) valutazione mediante la tecnica estremante proposta.

Un confronto analogo è stato qui eseguito per il caso di invaso lineare e idrogrammi di piena di forma assegnata, per cui è nota la soluzione analitica della (6) (MARONE, 1964).

Precisamente, si sono considerati idrogrammi di:

- forma triangolare di durata $s \tau_c$, con $s = 2, 3, 4, 5$;
- forma gamma, del tipo:

$$q(\tau) = Q(\tau/\tau_c)^z e^{z(1-\tau/\tau_c)}, \text{ con } z = 1, 2.$$

Dalla fig. 4b si può osservare che gli scarti massimi tra i valori stimati $\hat{\eta}$ e i valori teorici η non superano il 6÷7%. Si può concludere che la tecnica proposta conduce a risultati del tutto soddisfacenti.

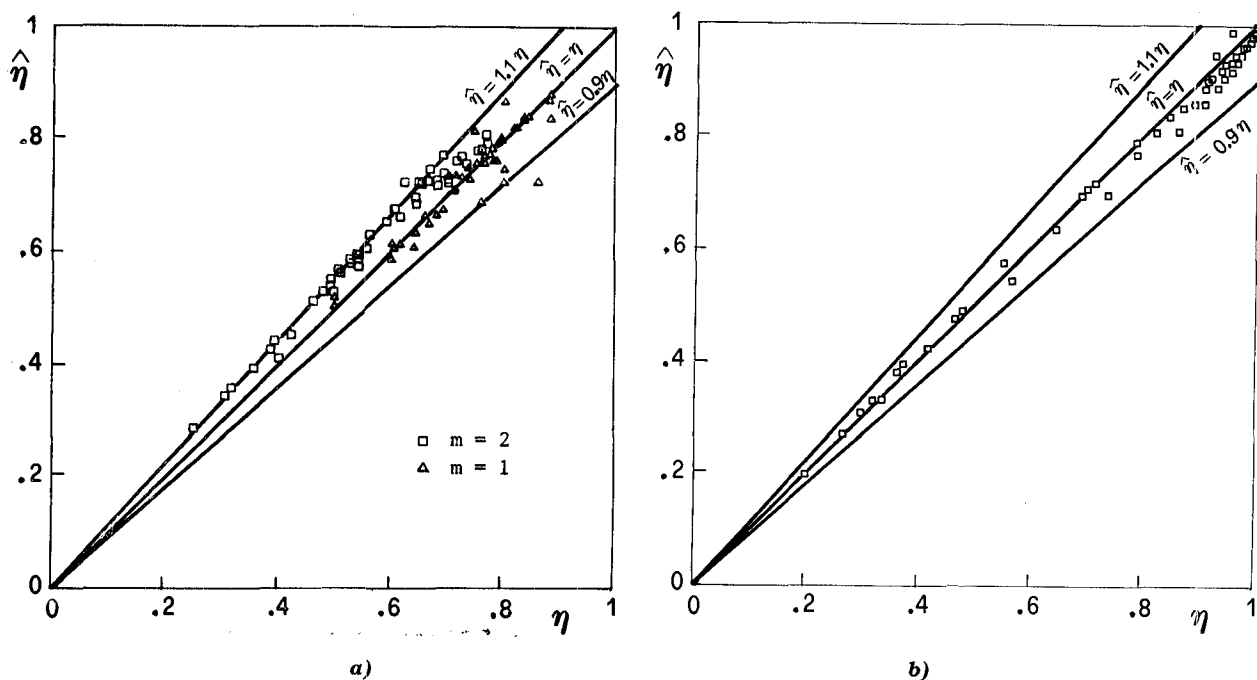


FIG. 4. — Confronto tra il coefficiente di laminazione teorico η e quello $\hat{\eta}$ stimato in base alla tecnica estremante proposta per:

- a) idrogrammi di piena del Crati a Conca per assegnati valori di $q_0 = 160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $\nu = 2m$ e per $v_0 = 1.59 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $m = 1$, o $v_0 = 2.53 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $m = 2$;
- b) idrogrammi di piena di forma triangolare o gamma per $\nu = 1$.

4. Effetto di laminazione per un assegnato periodo di ritorno.

4.1 - ESTENSIONE DEL METODO AD UN APPROCCIO PROBABILISTICO.

Il merito principale del metodo esposto nel paragrafo precedente è che esso può essere facilmente esteso da un approccio deterministico, e cioè riferito a un dato evento di piena, ad uno probabilistico. Infatti l'idrogramma di piena è stato caratterizzato dalla legge $Q_t(t)$ con cui il colmo della portata media nella durata t varia al variare di t . In un approccio probabilistico basterà valutare la legge $Q_{t,T}(t, T)$ con cui il massimo valore di Q_t corrispondente al periodo di ritorno T varia con t e T . Tale legge ha un significato del tutto analogo alla legge «intensità di pioggia-durata-periodo di ritorno», in grande uso nella pratica tecnica.

Una volta determinata la legge $Q_{t,T}(t, T)$ in base ai dati idrometrici disponibili, risulta immediata l'applicazione del metodo qui proposto per la risoluzione dei problemi connessi sia alla verifica che al dimensionamento di invasi destinati alla laminazione delle piene.

In un problema di verifica è nota la curva dei volumi d'invaso e sono fissati il tipo e le dimensioni degli scarichi, e quindi la scala di efflusso caratteristica del serbatoio, posta nella forma (1), per luci a stramazzo, o (1') per luci di fondo. Il bacino idrografico è caratterizzato dalla legge $Q_{t,T}(t, T)$.

Per valutare l'effetto di laminazione per un assegnato periodo di ritorno T , occorre determinare la legge $Q_{u,T}(T)$ con cui la massima portata uscente $Q_{u,T}$, che può essere superata mediamente una volta ogni T anni, varia con T . A tale scopo, per ogni T basterà applicare il metodo esposto al punto 3.4, ponendo $Q_{t,T}$ al posto di Q_t .

Una verifica empirica del metodo è stata effettuata per il bacino del Crati a Conca, in base alle registrazioni idrometrografiche disponibili. L'esempio è tratto dalla tesi di laurea di CELANO e PIANESE (1984).

4.2. APPLICAZIONE AL BACINO DEL CRATI.

4.2.1. Dati disponibili.

Da un confronto effettuato fra le serie delle piene annuali istantanee riportate nelle Pubblicazioni n. 17 del S.I.I. e le strisce idrometrografiche disponibili per il periodo 1933-1963, è risultato che queste erano incomplete in 11 anni, venendo a mancare l'evento di piena corrispondente al massimo annuale. Di conseguenza è stato preso a riferimento un periodo di $N = 20$ anni, considerando:

- i 47 idrogrammi con portata al colmo istantanea Q maggiore di $160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabella 1);
- le serie dei massimi annuali X ed X_t rispettivamente della portata istantanea e della portata media in intervalli di durata t (Tabella 2).

TABELLA 2

Stazione del Crati a Conca: Serie dei massimi annuali X e X_t rispettivamente della portata istantanea e della portata media in un intervallo di durata t ore.

Anno	X $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	X_2 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	X_4 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	X_6 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	X_8 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	X_{12} $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	X_{24} $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	X_{48} $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$
1933	281	273	267	261	258	257	244	215
1934	335	321	304	267	208	198	146	109
1935	639	617	603	570	545	428	410	349
1936	406	397	387	374	360	334	254	177
1937	370	361	351	337	317	285	218	151
1938	341	329	318	306	294	268	247	222
1939	352	329	304	290	275	241	169	141
1940	860	849	833	809	779	725	576	382
1941	600	589	575	560	539	493	410	329
1942	386	298	288	279	274	261	249	192
1943	286	282	274	263	249	222	169	129
1945	666	624	590	570	551	505	392	289
1947	375	362	350	341	333	314	295	234
1948	235	222	211	200	188	168	132	99
1950	242	233	219	206	194	177	134	100
1951	1114	1039	1004	958	911	828	597	441
1952	574	564	513	490	480	441	352	267
1953	266	255	244	233	223	202	169	142
1961	277	277	273	266	259	233	163	131
1963	314	288	258	236	219	192	176	144

4.2.2. Massime portate istantanee Q_T corrispondenti ad assegnati periodi di ritorno T .

La legge $Q_T(T)$, con cui la massima portata istantanea Q_T corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno T varia con T , è stata stimata in base all'analisi statistica delle piene condotta su base regionale.

Precisamente, si è applicata una tecnica basata sulla distribuzione dei valori estremi a doppia componente, two-component extreme value (TCEV), che costituisce una generalizzazione della legge di Gumbel, particolarmente adatta ad interpretare le piene a carattere « straordinario » caratteristiche dei bacini italiani (ROSSI & altri, 1984).

La funzione di distribuzione cumulata (FDC) del massimo annuale X indica la probabilità che la variabile X non superi un assegnato valore x , ed è legata al periodo di ritorno T dalla relazione:

$$F_X(x) = P[X \leq (x)] = 1 - 1/T \quad (17)$$

Per la distribuzione TCEV la FDC assume la seguente espressione:

$$F_X(x) = \exp[-\exp(-y) - \Lambda \exp(-y/\theta)]. \quad (18)$$

in cui y è la variabile standardizzata in base ai parametri ε_1 e K_1 della componente definita ordinaria:

$$y = \frac{1}{0,4343 K_1} \cdot \left(\frac{x}{\varepsilon_1} - 1 \right) \quad (19)$$

A causa del limitato numero di dati disponibili, stime sufficientemente precise dei quattro parametri Λ , θ , K_1 ed ε_1 possono essere ottenute solo applicando tecniche di regionalizzazione basate su criteri di similitudine idrologica. In particolare, è stato adottato un approccio gerarchico proposto da FIORENTINO & altri (1985), suddiviso in 3 livelli di analisi:

i) I parametri Λ e θ , che caratterizzano l'asimmetria e quindi il comportamento della distribuzione nel campo degli alti valori di T , sono stati stimati su base nazionale, in base a 39 serie lunghe ($N > 35$) di dati. Precisamente si è trovato $\Lambda = 0.173$ e $\theta = 3.0$, valori regionali che si possono ammettere costanti per i bacini italiani, esclusi i bacini alpini.

ii) Il parametro K_1 , che caratterizza la variabilità della distribuzione, è stato stimato in base ai dati disponibili per i bacini della Campania e della Calabria, ed è stato posto pari a $K_1 = 1.0$, valore regionale caratteristico delle due regioni.

iii) Il parametro ε_1 , che rappresenta la moda della componente ordinaria, è stato infine stimato in base alla serie di 20 valori disponibili per il bacino del Crati (Tabella 2), applicando il metodo della massima verosimiglianza vincolata ai tre parametri regionali Λ , θ e K_1 (FIORENTINO e GABRIELE, 1985).

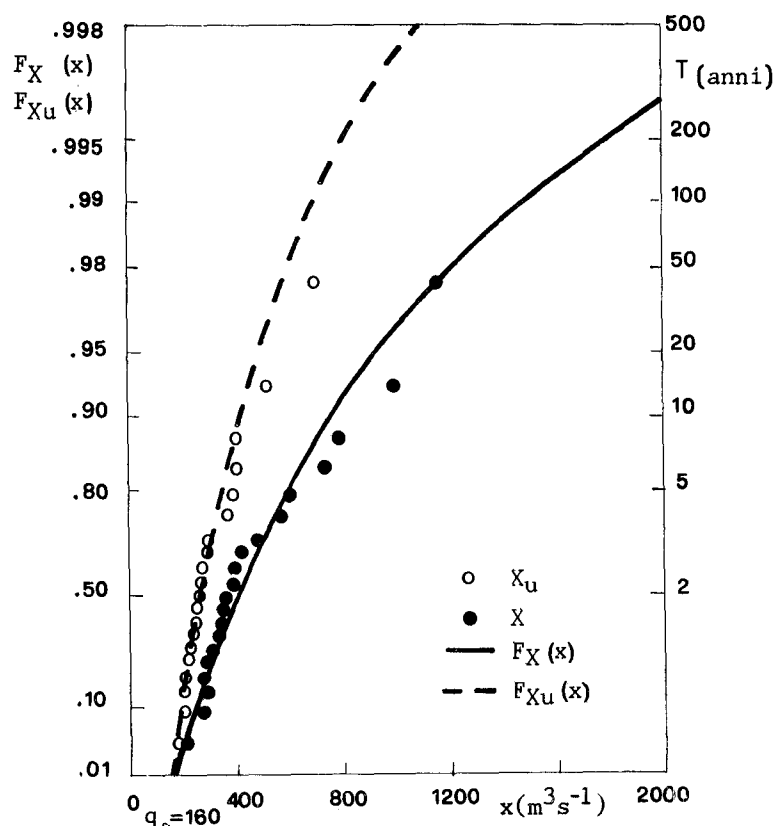


FIG. 5. — Confronto tra le distribuzioni di probabilità dei massimi annuali X_u della portata uscente ottenuti per integrazione numerica (pallini vuoti) e stimati in base al metodo proposto (curva a tratti) per la stazione del Crati a Conca e per $q_0 = 160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $v_0 = 1.59 \times 10^6 \text{ m}^3$, $p = 2$. Sono riportate anche le distribuzioni osservate (pallini pieni) e stimate in base al modello TCEV (curva continua) dei massimi annuali X della portata entrante.

Nella fig. 5 è stato effettuato il confronto in carta probabilistica di Gumbel tra la FDC osservata e stimata dei massimi annuali della portata istantanea. La FDC osservata è stata ottenuta dalla serie dei valori osservati riportati in Tabella 2, usando la posizione di Hazen per i motivi esposti da CUNNANE (1978).

4.2.3. Massimi valori $Q_{t,T}$ della portata media di durata t corrispondenti ad assegnati periodi di ritorno T .

Stimata la legge $Q_T(T)$, si può valutare facilmente anche la legge con cui il massimo valore $Q_{t,T}$ della portata media di durata t e corrispondente al periodo di ritorno T varia con t e T . Nel Flood Studies Report (NERC, 1975) per i bacini della Gran Bretagna si è trovato empiricamente che il rapporto $Q_{t,T}/Q_T$ risulta praticamente indipendente da T , mentre varia con la durata t con legge di riduzione:

$$Q_{t,T}/Q_T = (1 + t/t_c)^{\beta-1} \quad (20)$$

in cui t_c e β sono parametri caratteristici del bacino. SILVAGNI (1984), in base ai dati idrometrografici di 5 stazioni installate nel bacino del Volturno, ha confermato la validità della (20) osservando che:

— il parametro β può essere assunto pari all'esponente della legge di probabilità pluviometrica del bacino sotteso, posta nella forma monomia:

$$h_{t,T} = a_T t^\beta \quad 0 < \beta < 1 \quad (21)$$

essendo $h_{t,T}$ il massimo valore dell'altezza di pioggia nella durata t , corrispondente al periodo di ritorno T , mentre a_T è pari ad $h_{1,T}$;

— il tempo caratteristico t_c che compare nella (20) dipende essenzialmente dal tempo di ritardo t_r secondo la legge di regressione:

$$t_c = 2 t_r. \quad (22)$$

Nel caso del Crati a Conca, seguendo il procedimento esposto al punto 4.2.2 per le portate istantanee, sono state ottenute le stime del parametro $\varepsilon_{1,t}$ delle serie storiche delle X_t , applicando il metodo della massima verosimiglianza vincolata ai tre parametri regionali Λ , θ e K_1 , supposti indipendenti da t (Tabella 3). Dai dati pluviografici disponibili nel bacino sotteso si è ottenuto una stima $\beta = 0,45$ dell'esponente della legge (21). Mediante un'analisi di regressione si è ottenuta una stima del tempo caratteristico t_c (Tabella 3) e quindi della legge di riduzione dei colmi di piena di equazione (20), rappresentata in fig. 6.

Si osservi che, in mancanza di dati idrometrografici, t_c può essere valutato in base a modelli di regionalizzazione, del tipo della (22), in funzione dei parametri geomorfometrici caratteristici della risposta del bacino.

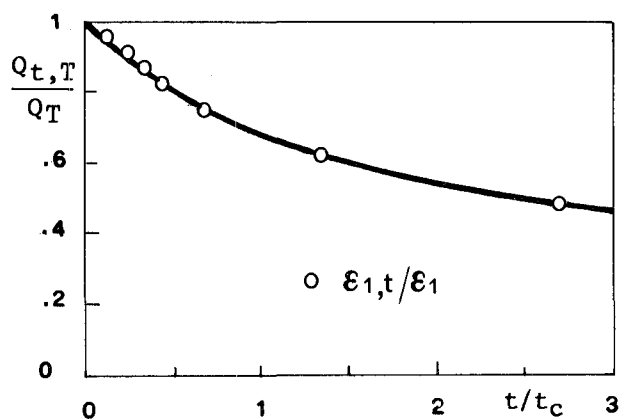


FIG. 6. — Legge di riduzione dei colmi di piena con la durata t , per la stazione del Crati a Conca.

4.2.4. Massime portate istantanee $Q_{u,T}$ uscenti da un serbatoio di laminazione per assegnati periodi di ritorno T .

Si è considerato un serbatoio di laminazione di caratteristiche assegnate. Per ciascuna delle 47 onde di piena indicate in Tabella 1, si sono ottenute le portate al colmo uscenti Q_u mediante integrazione numerica dell'equazione (6) (Tabella 4).

Dai valori di Q_u si è ricavata la serie dei massimi annuali X di Q_u , che è stata rappresentata in carta probabilistica di Gumbel in fig. 5, ottenendo quindi una stima diretta della legge $Q_{u,T}(T)$ con cui la massima portata istantanea uscente $Q_{u,T}$, corrispondente a un dato periodo di ritorno T , varia con T .

Per confronto in fig. 5 è stata riportata anche la stima della legge $Q_{u,T}(T)$ ottenuta mediante il metodo proposto in questo lavoro. Per un fissato T :

- i) si è valutata Q_T in base al metodo esposto al punto 4.2.2;
- ii) si è ottenuta, in base alla (20), la legge di riduzione della $Q_{i,T}$ con la durata t ;
- iii) fissato t , per una portata entrante $Q_{i,T}$ costante in $(0, t)$ si è ottenuta la portata a colmo uscente $Q_{u,t,T}$ corrispondente, in base alla (10);
- iv) si è applicato il criterio estremante, determinando il massimo $Q_{u,t,T}$ al variare di t .

Al variare di T , procedendo numericamente si è ottenuta la curva a tratto discontinuo $Q_{u,T}(T)$ riportata in fig. 5. Si può osservare che il confronto è pienamente soddisfacente.

TABELLA 3

Stazione del Crati a Conca: Stime di massima verosimiglianza del parametro $\varepsilon_{1,t}$ dalle serie di Tab. 2; tempo caratteristico t_c nella legge di riduzione dei colmi di piena.

t	ore	0	2	4	6	8	12	24	48
$\varepsilon_{1,t}$	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	310,9	295,7	282,2	269,6	255,8	232,8	192,3	151,2
$\varepsilon_{1,t} / \varepsilon_1$		1	0,951	0,908	0,867	0,823	0,749	0,619	0,486

Dalla (20) per $\beta = 0,45$ si ottiene:

$$t_c = \frac{\sum t}{\sum [(\varepsilon_{1,t} / \varepsilon_1)^{1/(\beta-1)}] - 1} = 17,8 \text{ ore}$$

TABELLA 4

Stazione del Crati a Conca: Serbatoio di laminazione con $q_0 = 160 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$; $v_0 = 1,59 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $v = 2$.
Portate al colmo uscenti Q_u , ottenute per integrazione numerica delle 47 onde di piena con portata al colmo Q , riportate in Tab. 1; Evidenziati i massimi annuali X_u di Q_u e X di Q .

N.	Q $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	Q_u $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	N.	Q $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	Q_u $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
1	247	197	25	672	460
2	230	204	26	860	521
3	281	249	27	600	403
4	221	195	28	301	242
5	335	241	29	386	269
6	639	396	30	266	215
7	514	393	31	286	223
8	406	288	32	666	402
9	370	265	33	321	253
10	341	263	34	332	287
11	237	200	35	375	282
12	262	198	36	235	186
13	301	242	37	242	189
14	252	208	38	707	355
15	232	190	39	355	260
16	341	254	40	1114	560
17	217	182	41	574	371
18	352	228	42	278	233
19	217	182	43	266	209
20	237	199	44	277	228
21	333	240	45	314	208
22	413	332	46	232	178
23	465	371	47	221	176
24	530	393			

5. Problema di progetto: curve di possibilità di laminazione.

In un problema di progetto, fissato il periodo di ritorno T , sono incognite le dimensioni degli scarichi e la capacità d'invaso da destinare alla laminazione delle piene. Il bacino idrografico è caratterizzato dalle leggi $Q_T(T)$ e $Q_{i,T}(t, T)$. È nota la curva dei volumi d'invaso di equazione (3).

Si considera anche fissato il tipo delle opere di scarico ed in particolare l'esponente n della (2), e quindi anche l'esponente v che compare nella (1) e nella (1').

Si faccia prima riferimento al caso delle luci a stramazzo, per cui $v = 2 m/3$. Risulta incognito il parametro K , che compare nella (1), che dipende da un'unica variabile di dimensione, la larghezza b_s di sfioro. All'aumentare di b_s , aumenta la massima portata uscente $Q_{u,T}$, corrispondente al periodo di ritorno T fissato, mentre diminuisce, a pari T , il massimo volume V_T al disopra della soglia. La relazione fra $Q_{u,T}$ e V_T , definita *curva di possibilità di laminazione*, dà il quadro delle soluzioni possibili sotto l'aspetto idraulico e idrologico.

La curva di possibilità di laminazione può essere posta in forma adimensionale, facendo riferimento al coefficiente di laminazione:

$$\eta_T = Q_{u,T} / Q_T \quad (23)$$

e all'invaso massimo adimensionale:

$$\bar{V}_T = V_T / (Q_{i_c,T} t_c) \quad (24)$$

pari al rapporto fra V_T e il deflusso di piena in una durata di riferimento, posta pari al tempo caratteristico t_c che compare nell'equazione (20). Si ottiene, quindi, una relazione

$$\eta_T = f(\bar{V}_T) \quad (25)$$

che, in base al metodo proposto, risulta indipendente dal periodo di ritorno T .

Si noti che, quando la lunghezza di sfioro b_s tende a 0, η_T tende a 0 e $\bar{V}_T$ tende ad ∞ , mentre per $b_s \rightarrow \infty$, $\eta_T \rightarrow 1$ e $\bar{V}_T \rightarrow 0$.

In fig. 7a è stata riportata la curva di possibilità di laminazione in forma adimensionale per il bacino del Crati a Conca, con $v_1 = 1 \times 10^5 m^3$ nella relazione (3) e con $v = 2/3$ o $4/3$, ricavata numericamente applicando il metodo proposto.

Nel caso di luci di fondo, facendo al solito riferimento alla fase di laminazione, con funzionamento a battente, risultano incogniti i parametri q_0 e v_0 che compaiono nella (1'), che dipendono da due variabili di dimensione, la larghezza b e l'altezza a della luce.

La curva di possibilità di laminazione viene espressa da una relazione fra η_T e $\bar{V}_T$ del tipo:

$$\eta_T = f(\bar{V}_T, \eta_{0,T}) \quad (26)$$

che risulta ancora indipendente dal periodo di ritorno, ma varia col rapporto

$$\eta_{0,T} = q_0 / Q_T \quad (27)$$

Note le caratteristiche del bacino e quelle dell'invaso, assegnato il tipo di scarico, risulta dunque possibile tracciare sul piano $(\bar{V}_T, \eta_T)$ un fascio di curve parametriche in $\eta_{0,T}$.

In fig. 7b sono state riportate, a titolo di esempio, le curve di possibilità di laminazione ricavate, per diversi valori del parametro $\eta_{0,T}$, per il bacino del Crati a Conca, avendo assunto $v_1 = 1 \times 10^5 m^3$ e $v = 4$.

Come si può osservare, il parametro $\eta_{0,T}$ ha un'influenza modesta.

Per un fissato periodo di ritorno, è possibile ottenere praticamente lo stesso effetto di laminazione, a pari invaso impegnato, con diversi valori di $\eta_{0,T}$ e quindi di q_0 .

Esistono, dunque, almeno in teoria, infine coppie di valori di a e di b equivalenti per un assegnato periodo di ritorno. Si noti che quando a tende ad ∞ e $b \rightarrow 0$, $\eta_T \rightarrow 0$ e $\bar{V}_T \rightarrow \infty$, mentre per $a \rightarrow 0$ e $b \rightarrow \infty$, $\eta_T \rightarrow 1$ e $\bar{V}_T \rightarrow 0$. In pratica esistono dei limiti funzionali per cui le dimensioni delle luci non possono scendere al di sotto di valori minimi per scongiurare i rischi di ostruzione.

La scelta del valore ottimale di q_0 cui proporzionare la luce andrà fatta tenendo presente che all'aumentare di q_0 tende a diminuire l'azione di laminazione esplicata dal serbatoio sulle piene con portate al colmo aventi periodo di ritorno compreso tra quello corrispondente a q_0 e quello di progetto, mentre tenderà ad aumentare per le piene con portate al colmo aventi un periodo di ritorno superiore a quello di progetto.

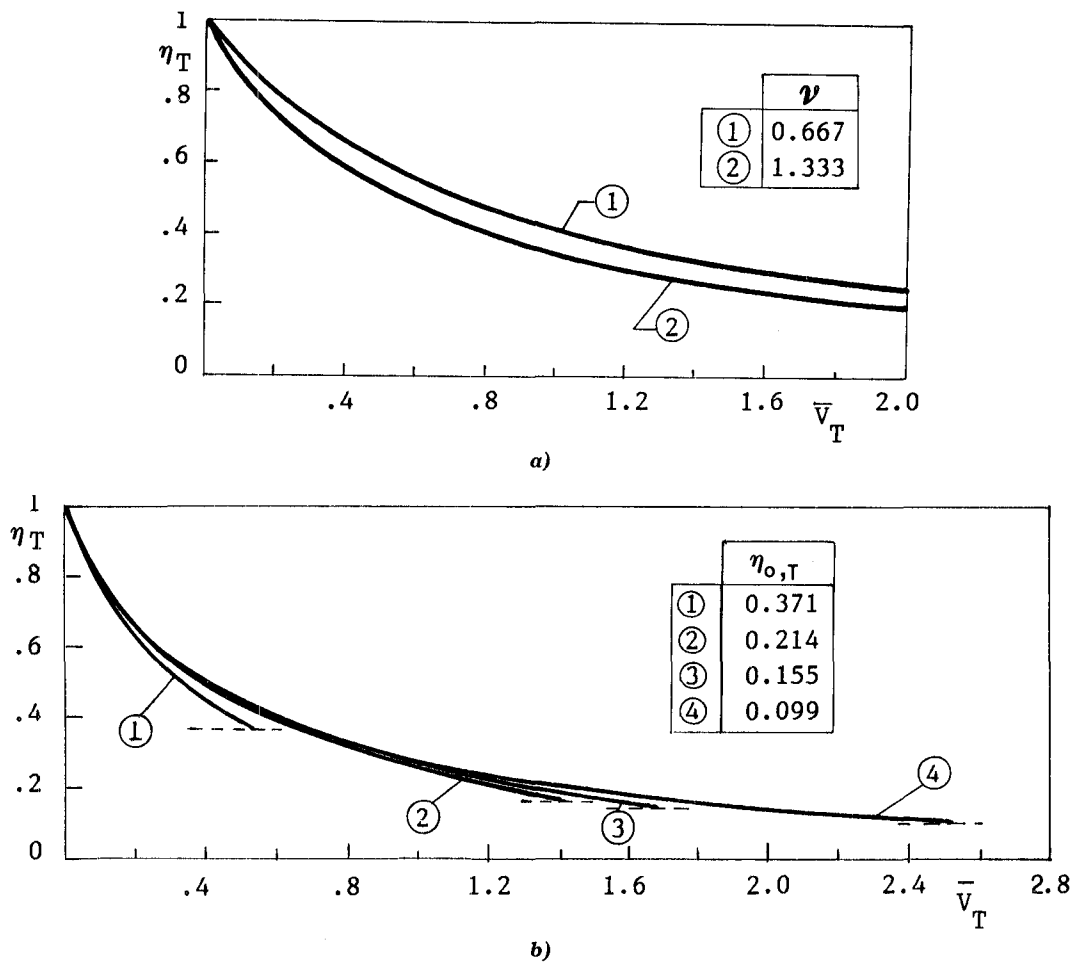


FIG. 7. — Curve di possibilità di laminazione per la sezione del Crati a Conca e per $v_t = 10^5 \text{ m}^3$;
a) per luci a stramazzo;
b) per luci di fondo e $\nu = 4$.

6. Conclusioni.

I costi di manutenzione ed il rischio di fallanza dei sistemi di difesa fluviale costituiti da lunghe arginature possono venire drasticamente ridotti creando, a monte della zona da proteggere, capacità di invaso destinate alla laminazione delle piene.

I metodi proposti nel passato per la verifica e il progetto di tali invasi sono tutti riconducibili, sostanzialmente, a due filoni:

- ricostruzione di un idrogramma di piena di progetto;
- ricerca della durata dell'evento piovoso che renda massimo il volume invasato nel serbatoio di piena.

Nel primo dei due approcci si hanno notevoli difficoltà nello stimare la distribuzione di probabilità del deflusso di piena condizionata ad un assegnato valore della portata al colmo. Nel secondo c'è la difficoltà di valutare su base probabilistica i parametri che definiscono il modello deterministico di trasformazione afflussi-deflussi.

Nel presente lavoro è stato proposto un metodo di tipo probabilistico per la valutazione dell'effetto di laminazione esercitato da una capacità d'invaso, basato sulla stima delle massime portate di piena di durata assegnata e sull'applicazione di un criterio estremante per la scelta della durata critica. Il bacino è stato caratterizzato mediante la legge con cui i colmi di piena di assegnata durata variano con il periodo di ritorno, di equaz. (18), e con la legge di riduzione dei colmi di piena con la durata, di equaz. (20). Il comportamento del serbatoio è stato simulato mediante l'equazione (6).

Illustrata la tecnica utilizzata, si è effettuata una verifica del metodo proposto utilizzando i dati idrometrografici registrati alla stazione del Crati a Conca, confrontando le distribuzioni dei massimi annuali X_u della portata uscente ottenuti, rispettivamente, per integrazione numerica della equazione (6) applicata alle reali onde di piena, e stimati in base al modello proposto (fig. 5).

Sono state, infine, proposte le curve di possibilità di laminazione, che rappresentano la relazione fra l'effetto di laminazione e l'invaso massimo adimensionale. Tali curve danno, in definitiva, un quadro completo delle possibilità di laminazione di un serbatoio al variare delle dimensioni delle luci, una volta che siano assegnati la morfologia dell'invaso ed il tipo degli scarichi.

SIMBOLI

1. GRANDEZZE DIMENSIONALI:

a	= altezza della luce di fondo;
b	= larghezza della luce di fondo;
b_s	= larghezza della luce a stramazzo;
c	= coefficiente della scala di efflusso di equaz. (2);
D	= deflusso di piena;
$h_{t,T}$	= massima altezza di pioggia nella durata t , corrispondente al periodo di ritorno T ;
H	= carico sulla luce;
H_0	= valore di H per cui si ha il passaggio da deflusso a pelo libero ad efflusso a battente;
K	= coefficiente della scala di efflusso di equaz. (1);
q, q_u	= portata entrante ed uscente dal serbatoio;
q_0	= portata uscente all'inizio del funzionamento a battente;
Q, Q_u	= valore di colmo raggiunto da q e q_u in un assegnato evento di piena;
$Q_T, Q_{u,T}$	= valore di colmo raggiunto da q e q_u in corrispondenza del periodo di ritorno T ;
$Q_t, Q_{t,T}$	= valore di colmo raggiunto dalla portata media in un intervallo di durata t in corrispondenza di un assegnato evento di piena e, rispettivamente, del periodo di ritorno T ;
$Q_{u,t}, Q_{u,t,T}$	= valore di colmo della portata uscente dal serbatoio in corrispondenza di una portata entrante costante in un intervallo di durata t , pari a Q_t o $Q_{t,T}$;
$\hat{Q}_u$	= stima di Q_u , ottenuta mediante la tecnica estremante proposta;
t	= durata;
T	= periodo di ritorno;
t_c	= parametro della legge di riduzione dei colmi di piena con la durata t , di equazione (20);
t_r	= tempo di ritardo;

v, v_0	= volume invasato nel serbatoio in corrispondenza di q_u e q_0 ;
v_1	= valore di v per $H = 1$;
V, V_T	= volume massimo invasato nel serbatoio in corrispondenza di un assegnato evento di piena e, rispettivamente, del periodo di ritorno T ;
$\hat{V}$	= stima di V , ottenuta mediante la tecnica estremante proposta;
x	= valore della variabile X o X_u ;
X, X_u	= massimo annuale delle portate istantanee entranti od uscenti dal serbatoio;
X_t	= massimo annuale delle portate medie in un intervallo di durata t ;
a_T	= massima altezza di pioggia per $t = 1$ ora, corrispondente al periodo di ritorno T ;
ε_1	= parametro della distribuzione dei valori estremi TCEV;
τ	= tempo;
τ_c	= tempo di colmo relativo ad un idrogramma di piena di forma triangolare o gamma;
τ_0, τ_f	= istante di inizio e fine piena.

2. GRANDEZZE ADIMENSIONALI:

K_1	= parametro della distribuzione dei valori estremi TCEV;
m	= esponente della legge dei volumi di invaso, di equaz. (3);
n	= esponente della legge di efflusso, di equaz. (2);
$\bar{q}, \bar{q}_u (= q/q, q_u/q)$	= portata entrante o uscente adimensionale;
$\bar{q}_0 (= q_0/q)$	= portata iniziale adimensionale;
$\bar{q}_{u,t} (= Q_{u,t}/q)$	= massima portata uscente adimensionale, riferita a $\bar{q} = 1$ nell'intervallo $(0,t)$;
s	= parametro di forma degli idrogrammi di piena di tipo triangolare;
$\bar{v}_0, \bar{v}_t (= v_0/tq, v/tq)$	= volume invasato adimensionale all'inizio e alla fine dell'intervallo $(0,t)$;
$\bar{V}_T (= V_T/Q_{t_c,T} t_c)$	= massimo invaso adimensionale corrispondente al periodo di ritorno T ;
$w (= V - v_0/tq)$	= massimo invaso adimensionale di laminazione, corrispondente ad un assegnato evento di piena;
$w_t (= \bar{v}_t - \bar{V}_0)$	= massimo invaso adimensionale di laminazione, riferito a $\bar{q} = 1$ nell'intervallo $(0,t)$;
y	= variabile standardizzata della distribuzione dei valori estremi TCEV;
z	= parametro di forma degli idrogrammi di piena di tipo gamma;
β	= parametro della legge di riduzione dei colmi di piena con la durata t , di equazione (20).
$\eta, \eta_T (= Q_u/Q, Q_{u,T}/Q_T)$	= coefficiente di laminazione relativo ad un assegnato evento di piena e, rispettivamente, al periodo di ritorno T ;
$\eta_0, \eta_{0,T} (= q_0/q, q_0/Q_T)$	= portata iniziale adimensionale relativa ad un assegnato evento di piena e, rispettivamente, al periodo di ritorno T ;
$\eta_t (= Q_{u,t}/q)$	= coefficiente di laminazione, riferito a $\bar{q} = 1$ nell'intervallo $[0,t]$;
$\hat{\eta}$	= stima di η , ottenuta mediante la tecnica estremante proposta;
$\wedge, \vartheta$	= parametri della distribuzione dei valori estremi TCEV;
$\bar{\tau} (= \tau/t)$	= tempo adimensionale;
ν	= esponente della scala di efflusso caratteristica del serbatoio, di equazione (1) o (1').

RINGRAZIAMENTI.

Si ringrazia l'ing. MARIA TERESA CELANO che, pur non avendo partecipato alla stesura di questa nota, ha dato, nello svolgimento della tesi di laurea, un contributo determinante alla ricerca.

Si ringrazia inoltre il prof. ANDREA PENTA che ha gentilmente messo a disposizione i dati relativi alla stazione idrometrografica del Crati a Conca, forniti dalla Sezione di Catanzaro del Servizio Idrografico.

BIBLIOGRAFIA

- BACCHI B. & MAIONE U.: *Influenza di un volume di laminazione sulla distribuzione di probabilità dei colmi di piena*. « L'Energia Elettrica », n. 10, 1984.
- BIGGIERO V.: *Limitatori di portata con passaggio da deflusso a pelo libero ad efflusso a battente*. Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia, Quaderno n. 52, Napoli 1970.
- CELANO M. T. & PIANESE D.: *Effetto di laminazione esercitato da una capacità d'invaso*. Tesi di Laurea non pubblicata - Università di Napoli, 1984.
- CIARAVINO G. & VIPARELLI R.: *Opere di scarico per serbatoio artificiale a uso promiscuo, con laminazione delle piene*. Parte I: *Criteri generali di progettazione*. Istituti Idraulici dell'Università di Napoli, Pubbl. n. 423, 1981.
- CUNNANE C.: *Unbiased plotting position*. « Journal of Hydrology », 37, pp. 205-222, 1978.
- D'ALPAOS L.: *Sul dimensionamento di un invaso ad uso esclusivo di piena*. « L'Energia Elettrica », n. 3, 1979.
- ETOH T. & MUROTA A.: *Risk in flood control with storage and drainage facilities*. Intern. Assoc. Hyd. Research, Illinois, USA, 1984.
- FIORENTINO M. & GABRIELE S.: *Distribuzione TCEV - Metodi di stima dei parametri e proprietà statistiche degli stimatori*. « Geodata », 1985.
- FIORENTINO M., ROSSI F. & VERSACE P.: *Regional flood frequency estimation using two-component extreme value distribution*. « Journal of Hydrological Sciences », 30, 1, 3, 1985.
- GREGORIG R.: *Sulla laminazione dell'onda di piena per effetto dell'inserzione di un serbatoio in un corso d'acqua*. « L'Energia Elettrica », n. 5, 1940.
- MARONE V.: *Calcolo di massima dell'effetto di laminazione di un serbatoio sulle piene*. « L'Energia Elettrica », n. 10, 1964.
- MARONE V.: *Calcolo di massima di un serbatoio di laminazione*. « L'Energia Elettrica », n. 9, 1971.
- MORIGGI S. & ZAMPAGLIONE D.: *Proporzionamento delle vasche di laminazione a servizio delle reti fognarie*. « Ingegneria Ambientale », n. 5, 1978.
- NATURAL ENVIRONMENTAL RESEARCH COUNCIL: *Estimation of flood volumes over different durations*. « Flood Studies Report », Vol. I, pp. 352-361 - Londra, 1975.
- PENTA A.: *Criteri di stima della capacità di invaso necessaria per la laminazione delle piene*. Dip. Difesa del Suolo, Università della Calabria, memoria n. 85, 1983.
- POSEY C. J. & FU-TE I.: *Functional design of flood control reservoirs*. Trans. ASCE, paper n. 2093, Vol. 105, pp. 1638-1674, 1940.
- PRINCIPATO G. & PUGLIESE CARRATELLI E.: *Sul proporzionamento di un serbatoio di laminazione*. « L'Energia Elettrica », n. 5, 1977.
- PRINCIPATO G. & PUGLIESE CARRATELLI E.: *Sulle condizioni più gravose per il dimensionamento di un serbatoio di laminazione delle piene*. Atti del XVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 1978.
- ROSSI F., FIORENTINO M. & VERSACE P.: *Two-component extreme value distribution for flood frequency analysis*. « Water Resources Research », pp. 847-856, 1984.
- SARGINSON E. J.: *Flood control in reservoirs and storage ponds*. « Journal of Hydrology », 19, pp. 351-359, 1973.
- SILVAGNI G.: *Valutazione dei massimi deflussi di piena*. Istituti Idraulici dell'Università di Napoli, Pubbl. n. 494, 1934.
- SUPINO G.: *Il metodo del volume di invaso e la moderazione delle piene nelle reti idrografiche*. (Osservazioni generali - calcolo dei serbatoi). « Giornale del Genio Civile », n. 10, 1967.
- SUPINO G.: *Limitazione delle piene con due serbatoi in serie* (Scarichi a battente e a stramazzo). « Giornale del Genio Civile », n. 1-2, 1969.
- VIPARELLI C.: *Su un particolare tipo di imbocco studiato per le opere di scarico del serbatoio di Monticchio sull'Agri*. Istituti Idraulici dell'Università di Napoli, Pubbl. n. 89, 1954.
- VIPARELLI C.: *Scarichi di superficie per serbatoi artificiali*. Corso di specializzazione in geotecnica, Napoli, 1954-1955.
- VIPARELLI R.: *Opere di scarico per serbatoio artificiale a uso promiscuo con laminazione delle piene*. Parte II: *Opere di scarico del serbatoio di Monticchio sull'Agri e del serbatoio di Monte Cotugno sul Sinni*. Istituti Idraulici dell'Università di Napoli, Pubbl. n. 437, 1982.