

## *Analisi teorica e sperimentale del funzionamento delle briglie aperte*

### *Definizione e funzione delle briglie aperte*

Le briglie, che costituiscono un'opera trasversale al letto di un torrente, si possono distinguere, dal punto di vista idraulico e nei confronti del trasporto solido, in due grandi gruppi: le briglie chiuse e le briglie aperte.

La briglia aperta è caratterizzata dalla presenza, nella sua parte centrale, di un'apertura che può essere presidiata da una griglia o da barre in acciaio.

Lo scopo dell'apertura è quello di modulare la portata solida: il dimensionamento ottimale dovrebbe permettere il trattenimento del materiale di dimensioni maggiori, lasciando invece passare quello più fine. Nella realtà il funzionamento ideale descritto è in genere compromesso dalla presenza di legname e materiale vegetale in alveo che può intasare, se non sono stati previsti opportuni sistemi di intercettamento, le aperture della briglia: in questo modo, dopo un breve periodo iniziale, la briglia aperta potrà presentare un comportamento simile a quello delle briglie chiuse.

A causa di questa limitazione la briglia aperta non può garantire la sua completa funzionalità durante l'evento di piena, a meno di non prevedere opportuni dispositivi per la selezione del legname; il suo funzionamento può essere tuttavia ripristinato con la rimozione meccanica delle ostruzioni.

### *Classificazione delle briglie aperte*

Le briglie aperte costituiscono, in generale, un ostacolo al libero deflusso della

corrente provocando, in modo più o meno marcato, la formazione di un profilo di rigurgito a monte dell'opera e il deposito di una parte del materiale trasportato.

Per migliorare il loro funzionamento, in relazione agli obiettivi ricercati, sono state sperimentate in scala reale diversi tipi di aperture e di presidi particolari.

Si possono distinguere così i seguenti tipi di briglia (KETTL, 1984; ZOLLINGER, 1986):

- 1) la briglia a fessura, che presenta, nella sua parte centrale, un'apertura di forma rettangolare o trapezoidale. Il suo funzionamento selettivo è di tipo strettamente idraulico; attraverso la formazione di un profilo di rigurgito a monte dell'opera, infatti, essa obbliga la corrente ad un calo di velocità che favorisce il deposito delle particelle con diametro maggiore;
- 2) la briglia a finestra, che presenta una o più aperture di forma rettangolare o circolare che non interessano tutta l'altezza della briglia.

Il funzionamento selettivo di questa briglia presenta una *componente idraulica*, poiché la finestra è riconducibile ad una luce a battente che provoca un profilo di rigurgito a monte della briglia e una *componente meccanica* data dalle dimensioni delle finestre presenti nei confronti del materiale solido trasportato;

- 3) la briglia a pettine, che presenta una serie di elementi verticali in acciaio o calcestruzzo senza nessun elemento di chiusura superiore.

Questa briglia è utilizzata essenzialmente per l'arresto del materiale vegetale trasportato dalla corrente ma presenta lo

svantaggio di otturarsi completamente e di agire, in seguito, come briglia di ritenzione;

- 4) la briglia a funi, costituita, nella sua parte centrale da funi ancorate lateralmente e sul fondo. Anch'essa viene utilizzata per l'arresto del materiale vegetale;
- 5) la briglia a sperone, che presenta uno o più contrafforti situati nella parte centrale della briglia, con funzione sia di elementi selettivi che di dissipatori di energia per le colate detritiche.

Quella appena presentata è una classificazione basata essenzialmente sulla forma dell'apertura presente nel corpo della briglia in relazione ad una prima scelta relativa alla selettività richiesta all'opera.

Ognuna delle categorie descritte può essere integrata con un elemento filtrante costituito, normalmente, da travi in acciaio disposte secondo diverse modalità.

Si possono, allora, descrivere i seguenti tipi di filtro:

- 1) filtro a griglia orizzontale, costituito da elementi in acciaio disposti orizzontalmente. Poiché le fessure orizzontali mostrano una maggior facilità all'intasamento, con l'utilizzo di un filtro orizzontale si aumenta notevolmente l'effetto di ritenzione a scapito della selettività;
- 2) filtro a griglia verticale, che presenta gli elementi in acciaio disposti verticalmente. Poiché le fessure verticali dimostrano una maggior facilità all'autopulizia, con l'utilizzo del filtro verticale si aumenta l'effetto di ritenzione in fase di piena (poiché si bloccano fisicamente i massi di dimensioni maggiori e il materiale vegetale) ma si lascia la possibilità di una successiva autopulizia della briglia stessa;
- 3) filtro a griglia inclinata, composto di elementi in acciaio inclinati verso valle in modo da favorire la risalita verso l'alto del materiale vegetale, impedire l'ostruzione dell'apertura e mantenere la selettività durante tutto l'evento di piena;
- 4) filtro di tipo reticolato, costituito da elementi in acciaio orizzontali e verticali formanti una vera maglia reticolare. Questo tipo di filtro è stato utilizzato in passato per cercare di favorire, spesso

invano, la cernita del materiale grossolano e il passaggio di quello più minuto.

### *Analisi del processo di riempimento*

Ogni tipo di briglia aperta è riconducibile, a fini idraulici, alla briglia a fessura che presenta un comportamento idraulico analogo a quello dei restringimenti.

Rimanendo nell'ambito della teoria unidimensionale, i profili che si possono instaurare in presenza di un restringimento sono generalmente di quattro tipi, in funzione della pendenza del fondo e dell'energia posseduta dalla corrente a monte della briglia a fessura.

Si possono innanzitutto distinguere due casi a seconda che l'alveo abbia pendenza minore (caso 1) o maggiore (caso 2) della pendenza critica e due sottocasi a seconda che l'energia specifica della corrente indisturbata sia minore (caso a) o maggiore (caso b) dell'energia minima all'interno della fessura.

La presenza dell'ostacolo, costituito dal restringimento della sezione, provoca nella corrente in arrivo una variazione del moto sensibilmente diversa nei quattro casi.

Se, come nel caso delle briglie a fessura, lo scopo del restringimento è quello di ottenere un deposito a monte dello stesso, i casi da considerare sono solo quelli in cui si ottiene una velocità minore di quella indisturbata di moto uniforme nel canale.

Ciò si verifica, in primo luogo, quando la pendenza del canale è maggiore di quella critica e quindi la corrente in moto uniforme risulta in corrente rapida (casi 2a e 2b) e, in secondo luogo, quando la pendenza del canale è minore di quella critica e l'energia specifica posseduta dalla corrente di monte è maggiore di quella minima del restringimento (caso 1a).

Poiché i torrenti di montagna hanno generalmente una pendenza maggiore di quella critica e si è in presenza di corrente rapida, i casi più interessanti da analizzare sono quelli in cui la pendenza del fondo è maggiore della pendenza critica (casi 2a e 2b).

Tra i due, quello che permette un maggiore calo della velocità e quindi un maggior deposito del materiale trasportato, è il caso 2a corrispondente ad una pendenza dell'alveo maggiore della pendenza critica e ad un'energia specifica della corrente di monte inferiore a quella che la corrente stessa deve assumere all'interno del restringimento.

### Considerazioni di tipo energetico sull'ampiezza della fessura

Note le condizioni più favorevoli al deposito si può fornire un primo criterio di progettazione:

*la larghezza della fessura deve essere tale da provocare un risalto a monte della briglia; l'energia specifica minima nella fessura deve quindi essere superiore a quella di moto indisturbato nel canale.*

È evidente che non esiste una dimensione univoca per garantire che ciò avvenga: basta infatti che la corrente presenti energia specifica inferiore a quella minima nel restringimento. Secondo Cola (1970) si deve porre l'energia specifica minima del restringimento pari a circa 1,5-2 volte quella della corrente di moto uniforme a monte, anche se non esiste né una verifica sperimentale né una giustificazione teorica di questo criterio.

Nonostante questo suggerimento, il problema relativo al dimensionamento rimane; la larghezza ottimale della fessura, infatti, dovrebbe essere progettata in funzione del tipo di invaso a disposizione a monte ed in funzione della possibilità di autopulizia (intesa come svuotamento autonomo) del volume depositato:

- con una fessura stretta è possibile fermare una maggior quantità di trasporto solido (infatti la zona interessata dal fenomeno del deposito è, in questo caso, più lunga);
- mentre con una fessura larga si permette una migliore autopulizia del bacino a monte della briglia durante le piene minori.

Volendo rimanere nell'ambito del caso

2a, con presenza di un profilo di rigurgito e di corrente lenta, si può calcolare la larghezza massima della fessura.

Imponendo che la larghezza della fessura  $b_f$  sia tale che l'energia specifica di moto uniforme  $H_0$  sia inferiore alla energia specifica minima della sezione nella fessura, si può scrivere:

$$\omega \cdot \left( h_0 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot B^2 \cdot h_0^2} \right) \leq 1,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b_f}}$$

dove  $\omega$  rappresenta un eventuale coefficiente di proporzionalità; risolvendo rispetto a  $b_f$ , l'uguaglianza si ottiene:

$$b_f = \frac{Q}{\sqrt{g}} \cdot \left[ \frac{1,5}{\omega \cdot \left( h_0 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot B^2 \cdot h_0^2} \right)} \right]^{3/2}$$

È possibile calcolare il valore del tirante  $h_0$  utilizzando una opportuna formula di moto uniforme. Se, per esempio, si usa l'equazione di Chezy e la si sostituisce nella precedente equazione si ottiene la seguente:

$$b_f = \frac{B}{\sqrt{g}} \cdot \left[ \frac{1,5}{\omega \cdot \left( \frac{h_0^{1/3}}{\chi^{2/3} \cdot i^{1/3}} + \frac{\chi^{4/3} \cdot i^{2/3}}{2 \cdot g \cdot h_0^{2/3}} \right)} \right]^{3/2}$$

dalla quale si nota che  $b_f$  risulta praticamente indipendente dalla portata.

Si è così giunti alla conclusione che se per una determinata portata, per esempio quella massima, si verifica il passaggio in corrente lenta, ciò avviene anche per qualsiasi altra portata e quindi anche per quelle molto piccole.

È importante sottolineare che queste considerazioni sono valide nel caso di un canale rettangolare a fondo fisso, mentre in alveo naturale a sezione irregolare e a fondo mobile, la corrente tenderà a concentrar-

si in uno o più piccoli canali dove il moto presenta carattere di corrente veloce.

### *Analisi del deposito a monte della briglia aperta*

Dopo aver descritto la funzionalità della briglia aperta nei confronti della sola corrente liquida, si procede ora all'analisi del suo funzionamento in un torrente con trasporto solido.

Il deposito a monte della briglia aperta avviene attraverso la formazione di un gradino  $\Delta Z_v$  che, a partire della posizione iniziale del risalto, si propaga verso valle come si evince chiaramente dalla fotografia 1.

La condizione asintotica a cui tende il deposito a monte della briglia (ARMANINI, 1994) sarà quindi quella rappresentata in figura 1.

Sul profilo sono evidenziate cinque sezioni particolarmente significative:

- a) la sezione 0, relativa al moto indisturbato nel canale di monte, caratterizzata da un tirante  $h_0$  e una velocità  $v_0$ ;
- b) la sezione 1, collocata all'inizio del deposito, caratterizzata da un tirante  $h_1$  e una velocità  $v_1$ ;
- c) la sezione 2, situata alla fine del deposito, caratterizzata da un tirante  $h_2$  e una velocità  $v_2$ ;
- d) la sezione 3, subito a monte del restringimento;
- e) la sezione 4, situata nel restringimento, caratterizzata da un tirante  $h_f$  e una velocità  $v_f$  (il pedice  $f$  indica i valori che le grandezze assumono all'interno della fessura nel restringimento).

Mantenendo la portata costante e prescindendo da eventuali fenomeni di intasamento della fessura nella briglia la situazione asintotica presenta una corrente in moto uniforme sul deposito (i tiranti  $h_1$  e  $h_2$  hanno lo stesso valore) ed è quindi possibile definire le grandezze presenti sul deposito: tirante ( $h_v$ ), velocità ( $v_v$ ).



56 Foto 1 - Deposito a monte della briglia aperta sul rio Valscura nel comune di Caldonazzo (TN).

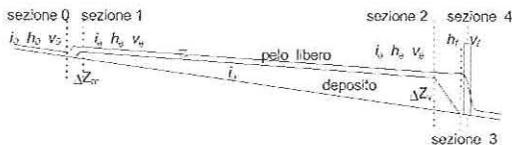


Fig. 1 - Profilo longitudinale del deposito a monte della briglia aperta.

La pendenza del deposito a monte della briglia tende a portarsi verso la pendenza di equilibrio corrispondente alla portata liquida, alla portata solida e alla granulometria dei materiali trasportati: si ha così la pendenza del profilo dell'alveo ( $i_0$ ).

Immediatamente a monte della briglia aperta si forma un deposito (determinato da alcune condizioni relative alla velocità presente sul deposito  $v_d$  e a quella che la corrente assume nella fessura) con altezza  $\Delta Z_v$ .

Il deposito si dispone, inoltre, con un gradino a monte (che assume valori diversi a seconda della pendenza del canale e della pendenza del deposito) denominato  $\Delta Z_m$ .

### Profilo di equilibrio del deposito

Una prima grandezza discriminante per lo studio del comportamento idraulico del fenomeno è rappresentata dalla pendenza secondo cui si dispone il deposito.

Questa non è la pendenza di compensazione così come è generalmente calcolata (ossia la pendenza che compete ad una determinata portata liquida, calcolata esplicitando la pendenza  $i$  nell'equazione di Shields cioè  $i_c = \Delta D \theta_{cr} / R_h$ ) bensì la pendenza che si ha in condizioni di equilibrio con la presenza contemporanea di portata liquida e di portata solida.

Il valore di tale pendenza è facilmente ricavabile se all'equazione di Shields si associa un'equazione relativa al trasporto solido.

Si assume come equazione relativa al trasporto solido quella di Meyer-Peter e Müller che, espressa nelle variabili adimensionali di Einstein, fornisce la seguente:

$$\Phi = 8 \cdot (\theta_{ef} - \theta_{cr})^{1.5}$$

dove:

$$\Phi = \frac{q_s}{D \sqrt{g \cdot \Delta \cdot d}}$$

$$\theta_{ef} = \frac{u_*^2}{g \cdot \Delta \cdot d}$$

in cui  $u_*^2 = g \cdot R_H \cdot i_\theta$  rappresenta la velocità di attrito.

Sostituendo la  $\theta_{ef}$  della formula di Einstein (che rappresenta la  $\theta_{cr}$  in presenza di trasporto solido) nell'equazione di Shields si arriva facilmente alla:

$$i_\theta = \Delta \cdot \frac{D}{R_h} \cdot \left[ \theta_{cr} + \left( \frac{1}{8} \cdot \frac{q_s}{D \sqrt{g \cdot \Delta \cdot D}} \right)^{2/3} \right]$$

che fornisce la pendenza di equilibrio cercata.

Come si può facilmente osservare confrontando le due equazioni viste per ottenere la pendenza di equilibrio, il valore che si ottiene in presenza di una determinata portata solida è maggiore di quello che si determina con la presenza di sola portata liquida.

La presenza del valore di portata solida  $q_s$ , essendo un valore difficilmente quantificabile in maniera precisa, condiziona notevolmente l'applicazione in sede di progettazione della formula completa per la determinazione della pendenza di equilibrio. Ciò non è comunque un problema irrisolvibile perché se al posto della pendenza di equilibrio si sostituisce quella detta di compensazione ottenuta dall'equazione di Shields si opera, come vedremo in seguito, a favore di sicurezza.

### Calcolo dell'altezza di deposito $\Delta Z_v$ a monte della briglia

In questa sede si tralascia il calcolo del- 57

l'altezza del gradino a monte del deposito passando subito all'analisi di ciò che succede in prossimità della briglia aperta.

Il profilo del deposito a monte di una briglia aperta è ben rappresentato nella seguente figura 2:

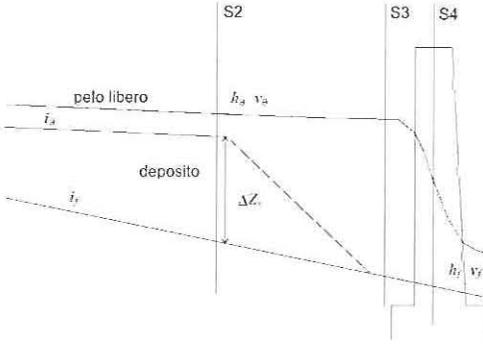


Fig. 2 - Profilo del deposito in prossimità della briglia aperta.

La condizione che distingue in modo essenziale i diversi casi è la necessità che all'interno della fessura vi sia una velocità della corrente superiore o, al massimo, uguale a quella presente sul deposito per garantire la fuoriuscita del materiale depositato dalla zona di deposito (ARMANINI, 1994).

Si possono così individuare due diversi comportamenti a seconda della velocità che la corrente assume nel restringimento e quindi della larghezza relativa alla fessura:

1. il restringimento è tale che la velocità critica assunta (pari a quella che rende minima l'energia specifica,  $v_{fc}$ ) è maggiore della velocità  $v_\theta$  presente sul deposito (briglia a "fessura stretta").
2. il restringimento è tale da far assumere alla corrente una velocità  $v_f$  minore della  $v_\theta$  (briglia a "fessura larga").

Nel secondo caso si è in presenza di una briglia con fessura molto larga che permette il passaggio della corrente senza la formazione di un profilo di rigurgito a monte.

Poiché la velocità durante il passaggio nella fessura cala, si ottiene un deposito tale da influenzare il tirante idrico all'interno della fessura in modo da garantire un va-

lore della velocità uguale a quello assunto sul deposito.

Con riferimento alla figura 2, per il calcolo dell'altezza  $\Delta Z_v$  si dovranno imporre le seguenti condizioni:

- a) velocità nella fessura uguale a quella presente sul deposito ( $v_f = v_\theta$ );
- b) nessuna perdita di energia nel passaggio dalla sezione 2, sul deposito, alla sezione 3, immediatamente a monte della fessura, e tra la sezione 3 e la sezione 4, nella fessura;

si può così porre:

$$\Delta Z_v + H2 = H4$$

da cui sostituendo le espressioni relative si ottiene:

$$\Delta Z_v + h_\theta + \frac{v_\theta^2}{2 \cdot g} = h_f + \frac{v_f^2}{2 \cdot g}$$

imponendo la condizione a) e semplificando si ottiene:

$$\Delta Z_v = h_f - h_\theta$$

Per l'equazione di continuità si ha:

$$h_f = h_\theta \cdot \left[ \frac{B}{b_f} \right]$$

che sostituita nell'equazione precedente fornisce l'altezza di deposito:

$$\Delta Z_v = h_\theta \cdot \left[ \frac{B}{b_f} - 1 \right]$$

Si ricorda che questo è il valore calcolato a prescindere dalle perdite di energia, di tipo Borda, che si hanno nel passaggio tra la sezione 2 e la sezione 3.

La situazione, visualizzata sul grafico H-h, è rappresentata da uno spostamento verso l'alto della curva relativa all'energia specifica sul deposito (sezione 2) di una altezza pari all'altezza di deposito  $\Delta Z_v$ , così calcolata.

Nel caso di "briglia a fessura stretta" si è in presenza di un restringimento tale da garantire una velocità dell'acqua pari o maggiore di

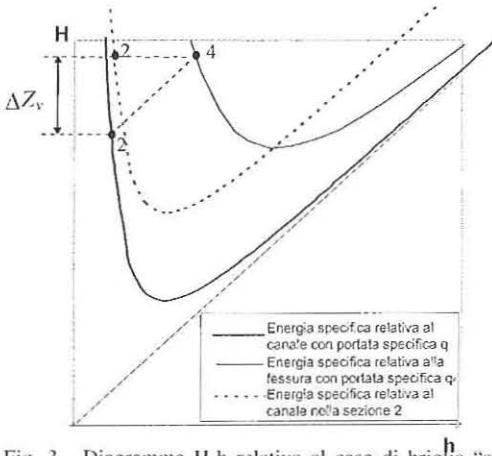


Fig. 3 - Diagramma H-h relativo al caso di briglia "a fessura larga".

quella sul deposito consentendo, quindi, la fuoriuscita di tutto il trasporto solido.

Per calcolare il deposito  $\Delta Z_v$  basta così imporre, almeno in un primo momento, la costanza dell'energia tra le sezioni 2 e 4; in questo modo si ottiene:

$$\Delta Z_v + H_2 = H_4$$

dove  $H_4$  assume il valore minimo compatibile con il restringimento imposto.

Sostituendo le espressioni relative ad  $H_2$  e  $H_4$  nell'equazione precedente si ottiene:

$$\Delta Z_v + h_\theta + \frac{v_\theta^2}{2 \cdot g} = h_f + \frac{v_f^2}{2 \cdot g}$$

da cui, risolvendo rispetto a  $\Delta Z_v$ :

$$\Delta Z_v = \left( h_f + \frac{v_f^2}{2 \cdot g} \right) - \left( h_\theta + \frac{v_\theta^2}{2 \cdot g} \right)$$

Nel caso in cui la fessura è di tipo rettangolare ed esprimendo tutto in funzione di  $h_\theta$  si ottiene:

$$\Delta Z_v = 1.5 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_f^2}{g}} - \left( h_\theta + \frac{Q_\theta^2}{2 \cdot g \cdot B^2 \cdot h_\theta^2} \right)$$

La situazione è rappresentabile su un diagramma Energia specifica-Tirante.

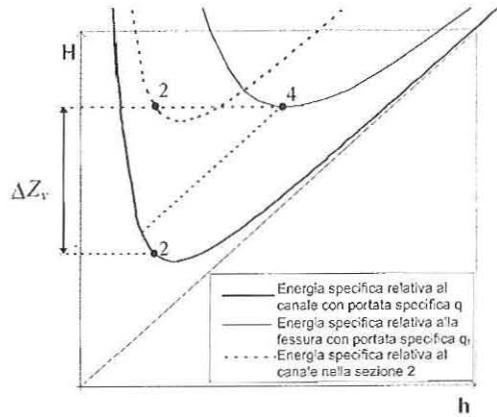


Fig. 4 - Diagramma H-h relativo al caso di briglia a "fessura stretta".

### Confronto tra i due casi elencati

La distinzione adottata tra briglia a "fessura stretta" o a "fessura larga" non è univocamente determinata.

La condizione di moto uniforme esistente sul deposito, funzione del diametro e della quantità del materiale trasportato, determina, infatti, il tipo di approccio che occorre adottare.

Così, per una stessa briglia si possono considerare entrambe le definizioni a seconda della pezzatura e della quantità del materiale trasportato. In presenza di una grande quantità di materiale grossolano (e quindi con  $i_\theta$  elevato), la briglia può presentare una fessura di tipo "largo"; in presenza di materiale fino o in esigua quantità (e quindi con  $i_\theta$  piccola) potrà essere definita come briglia a "fessura stretta".

Un confronto diretto tra le due equazioni porta ad alcune interessanti osservazioni:

- 1) la briglia a "fessura stretta" provoca un'altezza di deposito maggiore rispetto a quanto stabilito dall'equazione della briglia a "fessura larga";
- 2) per le briglie aperte più comuni, e quindi con un rapporto  $b_f/B$  con valori intermedi, si può adottare, per il calcolo dell'altezza di deposito, l'equazione della briglia aperta che risulta essere la meno complessa.

## Indicazioni progettuali

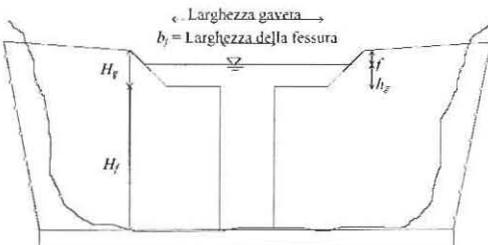
A termine di questa analisi sul comportamento idraulico delle briglie aperte in presenza di trasporto solido, si possono fornire altre indicazioni per la loro progettazione.

L'altezza del deposito  $\Delta Z_v$  dipende principalmente dalla portata liquida e dalla larghezza della fessura e del canale di monte. Il deposito è però limitato, nella realtà, dalle condizioni topografiche del sito in cui si localizza la briglia aperta.

Si deve così valutare, in primo luogo, quale sia l'altezza massima desiderata del deposito; successivamente si determina la larghezza della fessura imponendo che il deposito provocato non sia maggiore della massima altezza desiderata.

Poiché, generalmente, in sede di progetto non si conosce esattamente la quantità di trasporto solido nel torrente, si potrebbe essere portati a ritenere che la determinazione della larghezza della fessura non sia possibile. Non conoscendo, infatti, la portata solida non è possibile il calcolo della pendenza presente sul deposito durante la piena, e di conseguenza non sono valutabili né il tirante  $h_\theta$ , né la velocità  $v_\theta$ , né l'altezza di deposito  $\Delta Z_v$ .

In realtà si può risolvere ugualmente il problema imponendo la presenza sul deposito della pendenza di compensazione calcolata con l'equazione di Shields. L'altezza del deposito così calcolata è maggiore di quella ottenibile imponendo la pendenza di equilibrio  $i_\theta$  (che risulta maggiore di quella di compensazione), raggiungendo quindi una situazione di progetto che può essere ritenuta a favore della sicurezza.



60 Fig. 5 : prospetto di una briglia aperta con l'indicazione delle principali grandezze di progetto.

L'altezza della fessura nella briglia aperta può, in conclusione, essere posta uguale al valore dell'altezza del deposito calcolato.

Immediatamente sopra la fessura deve essere posta una gaveta che permetta il passaggio della portata in arrivo, senza tener conto dell'effetto drenante fornito dalla presenza della fessura.

Indicando con il simbolo  $f$  il franco di sicurezza desiderato, con  $h_g$  l'altezza del tirante sulla gaveta (ottenuta considerando la sola presenza della gaveta superiore) e con  $H_f$  l'altezza della fessura si può scrivere:

$$H_f + h_g + f = H_{max}$$

risolvendo rispetto ad  $H_f$ , imponendo l'eguaglianza  $\Delta Z_v = H_f$  e risolvendo rispetto a  $b_f$  (larghezza della fessura) le equazioni viste in precedenza, si ottengono le seguenti due formule che rappresentano, rispettivamente, la larghezza della fessura nel caso di "fessura larga" e nel caso di "fessura stretta".

$$b_f = B \cdot \left[ 1 + \frac{H_f}{h_\theta} \right]^{-1}$$

$$b_f = \frac{Q}{\sqrt{g}} \cdot \left[ \frac{1,5}{H_f + h_\theta + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot B^2 \cdot h_\theta^2}} \right]^{3/2}$$

## Campagna sperimentale

Per verificare la teoria fin qui esposta si è effettuata una campagna sperimentale (BENEDETTI, 1995) presso il laboratorio di Idraulica e Difesa Del Suolo dell'Università degli Studi di Trento (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale) utilizzando una canaletta idrodinamica ad inclinazione automatica (pendenza massima 5,5%) lunga 12 metri con sezione rettangolare (larghezza di 50 cm e altezza utile di 45 cm), con pareti in vetro temprato e fondo in perspex, dotata di carrello porta strumenti ad avanzamento numerico.

L'alimentazione liquida della canaletta era garantita da un circuito chiuso con una pompa avente portata massima pari a 11.5 l/s.

L'alimentazione della portata solida è stata ottenuta, al contrario, con un circuito aperto appositamente costruito.

Il vantaggio più importante di questo tipo di circuito aperto consiste nella sicurezza della quantità di materiale solido immesso nell'unità di tempo e nella possibilità di poterne variare l'intensità a piacimento, mentre lo svantaggio più evidente è quello inerente all'operazione di ripristino, a fine prova, della riserva di materiale solido nella tramoggia.

La verifica dell'esattezza delle ipotesi relative al calcolo dell'altezza di deposito in corrispondenza della briglia aperta rappresenta la parte più interessante delle prove eseguite in laboratorio e quindi in questa occasione si illustreranno solamente questi risultati.

Durante la prima serie di prove si è verificata l'attendibilità del modello proposto in dipendenza dal valore dell'apertura nella briglia. Si è posto così costante anche l'apporto di materiale solido.

Il valore della portata solida immessa è stato tale da garantire una pendenza del deposito inferiore a quella della canaletta per poter osservare completamente, o quasi, la dinamica del fenomeno.

I risultati di queste prime sperimentazioni hanno fornito l'attendibilità del modello e della distinzione tra briglia a "fessura stretta" e briglia a "fessura larga".

Nella figura 6, che riporta il confronto dei dati sperimentali con quelli teorici, si è riportata l'indicazione (con una retta tratteggiata) della larghezza che delimita i due tipi di trattazione teorica.

Nel caso in cui la briglia possa definirsi a "fessura stretta" ( $v_{fessura} > v_{\theta}$ ) i risultati sperimentali presentano valori molto vicini a quelli teorici del modello proposto.

Nel caso di briglia a "fessura larga" (in cui vale la condizione  $v_{fessura} = v_{\theta}$ ) i risultati sperimentali forniscono valori leggermente maggiori di quelli previsti.

La maggior altezza di deposito sperimentale rispetto ai valori attesi è probabilmente da imputare alla presenza, all'interno della fessura, di una piccola parte del fronte del deposito.

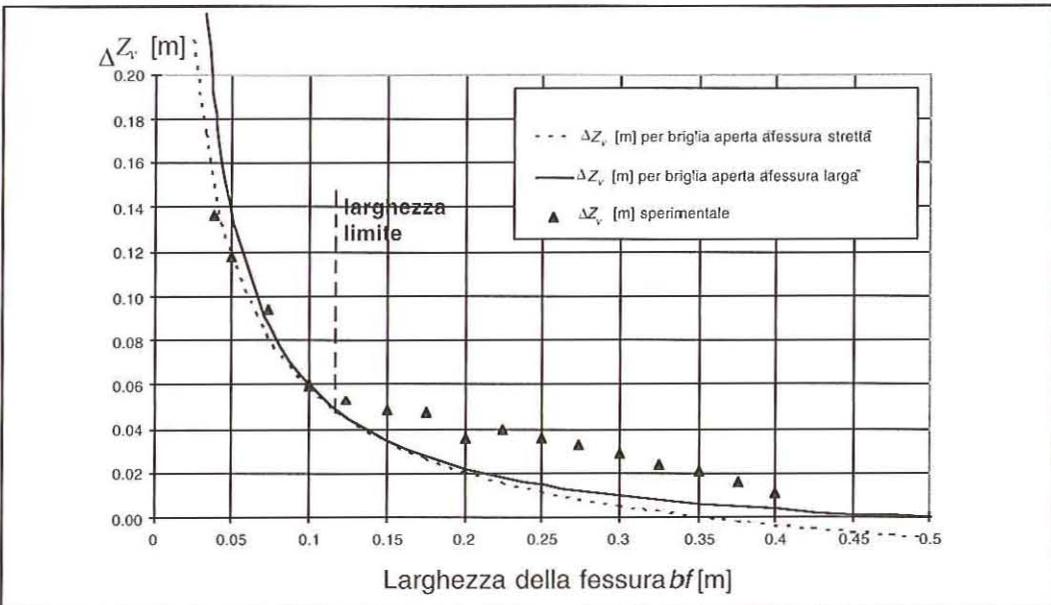


Fig. 6 - Risultati delle prove eseguite con la sabbia n°2 e portata solida pari a 102.5 g/s.

Di seguito si riportano i grafici di raffronto tra valori teorici e valori sperimentali ottenuti in altre due serie di prove.

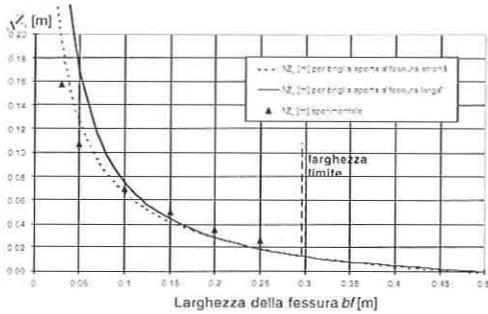


Fig. 7 - Risultati delle prove eseguite con la sabbia n°1 e portata solida pari a 12.4 g/l.

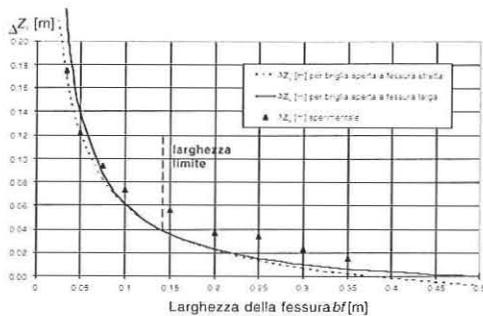


Fig. 8 - Risultati delle prove eseguite con la sabbia n°3 e portata solida pari a 60 g/l.

Anche in questi casi la corrispondenza dei valori teorici con quelli sperimentali è buona per le prove effettuate con una piccola larghezza della fessura ("briglia a fessura stretta"), mentre appare una leggera differenza nel caso delle prove con una larghezza della fessura maggiore (briglie a "fessura larga").

### Analisi del processo di autopulizia

Lo scopo principale di una briglia aperta, come già detto in precedenza, è quello di laminare il materiale solido trasportato per permettere un calo della portata solida massima.

Accanto alla fase di riempimento, quindi, importanza fondamentale riveste la fase di autopulizia e di svuotamento del volume depositato a monte di una briglia aperta.

62 Questa seconda fase è già presente du-

rante la coda della piena che ha riempito la briglia aperta, ma assume un'importanza ancora maggiore durante le piene successive caratterizzate da trasporto solido nullo.

Molto spesso, tuttavia, le aperture delle briglie sono otturate, in parte o completamente, da materiale vegetale o da massi di grosse dimensioni. In questo caso è necessario l'intervento meccanico per ripulire le fessure e permettere, in una fase successiva, l'autopulizia del volume di monte.

Ad una determinata portata liquida e solida corrisponde, un'altezza di deposito a monte della briglia aperta. Se, come avviene durante la coda della piena, la portata liquida cala, anche l'altezza  $\Delta Z_v$  del deposito deve diminuire e con essa il materiale invasato.

La difficoltà nel calcolo del materiale asportato nell'unità di tempo sta, principalmente, nella presenza, all'interno del canale a monte della briglia aperta, di fenomeni con carattere bidimensionale.

È comunque possibile, con la trattazione unidimensionale del fenomeno, determinare la percentuale massima di volume asportabile da un certa portata liquida.

La trattazione che verrà esposta non tiene conto del fenomeno di corazzamento. Tale fenomeno, che consiste nella "copertura" delle parti più fini presenti in alveo con materiale di pezzatura più grossolana e quindi con più resistenza all'asportazione nei confronti della corrente, assume particolare importanza nella fase di autopulizia, in cui prevalgono i processi di erosione su quelli di deposito.

Noto il profilo al termine del processo di riempimento, funzione delle portate liquide e solide, si può determinare, conoscendo la portata di autopulizia, il profilo finale del deposito.

Il volume di materiale solido asportato nel processo di autopulizia è ben rappresentato nella figura 9, che rappresenta il profilo dell'alveo e del deposito prima e dopo l'autopulizia, dall'area di colore grigio delimitata dai due profili.

Il nuovo profilo assume la pendenza di equilibrio relativa alla portata presente in quel momento e parte dalla nuova altezza del deposito  $\Delta Z_v^{II}$ .

Le situazioni che si possono presentare sono di due tipi suddivisibili a seconda che il



Fig. 9 - Profili longitudinali del deposito prima (apice I) e dopo (apice II) l'autopulizia con portata liquida inferiore a quella massima.

profilo del nuovo deposito incroci o meno il profilo del deposito iniziale.

Il disegno precedente (fig. 9) rappresenta la situazione in cui il profilo del deposito finale dopo l'autopulizia è completamente inferiore a quello iniziale mentre nel prossimo (fig. 10) si presenta la situazione in cui il nuovo profilo incrocia quello iniziale; in questo secondo caso il profilo finale presenta una convessità verso l'alto dovuta alla presenza di due pendenze sul deposito.



Fig. 10 - Profilo del deposito nel caso in cui il profilo dopo l'autopulizia incroci quello del deposito pieno.

Il calcolo dei volumi di materiale presenti a monte dalla briglia aperta, e quindi del volume massimo asportabile, è semplice e se si considera, come fatto finora, un alveo a sezione rettangolare, è immediato.

Osservando i due disegni si nota immediatamente che deve esistere una portata liquida tale da rendere massimo il volume asportabile.

Si hanno infatti due situazioni limite in cui la portata asportabile è minima:

1. con portata liquida vicina a quella massima;
2. con portata molto bassa, e quindi con pendenza di equilibrio alta.

Trovata, secondo questo tipo di trattazione, la portata liquida che rende massimo il materiale asportabile dalla corrente, è necessario, per una pulizia ottimale dell'alveo, che essa corrisponda alla portata di una piena con un breve tempo di ritorno. Si garantisce in questo modo la presenza della portata necessaria per un periodo sufficiente all'autopulizia.

Per verificare l'applicabilità della teoria unidimensionale anche nella trattazione del fenomeno di autopulizia di una briglia aperta è stata condotta una seconda sperimentazione con la stessa attrezzatura già esposta per l'attività sperimentale riguardante il processo di riempimento delle briglie aperte.

I risultati ottenuti per una serie di prove, a larghezza di fessura costante, si possono rappresentare nella figura 11.

Come si può osservare le curve sperimentali, relative alle portate liquide di 3 l/s, 2 l/s e 0.9 l/s, tendono, dopo un certo periodo, alla percentuale di svuotamento massima prevista dalla teoria unidimensionale.

Nel caso, invece, della prova con portata liquida bassa (0.4 l/s) si è assistito ad uno svuotamento sensibilmente maggiore di quello previsto. Il motivo di tale differenza è da imputare a fenomeni di tipo bidimensionale innescati dalla piccola entità del tirante presente sul deposito (pari alle dimensioni dei massi presenti in alveo). La corrente, infatti, a ridosso della fessura ha la capacità di asportare tutto il materiale (perché la velocità e il tirante sono sufficienti); a monte (dove la velocità diminuisce, a causa dell'allargamento della sezione), essa inizia ad erodere nel punto in cui la resistenza del fondo è minore (presenza ad esempio di un accumulo di materiale con diametro medio minore, o di un affossamento della sezione) creando in questo modo un canale in cui la corrente mantiene una certa capacità di trasporto.

Le ultime prove sperimentali hanno riguardato la possibilità, di aumentare la velocità di autopulizia nel breve periodo.

In particolare, con la prova n°1, si è verificata la possibilità di inserimento, all'interno del deposito, di due profili a mezza lancia mentre con la prova n°2 si è verificata l'influenza della presenza di due canali paralleli che, dal fronte del deposito si protraevano sino ad una distanza della briglia pari a cinque volte la larghezza del canale.

Il risultato fornito dalle prove sperimentali mostra, nel breve periodo per la prova effettuata con la presenza delle appendici a monte della briglia e nel brevissimo periodo per la prova effettuata con la presenza di due canali artificiali sul deposito, un aumento della

Percentuale di materiale asportato sul totale del volume presente a monte della briglia

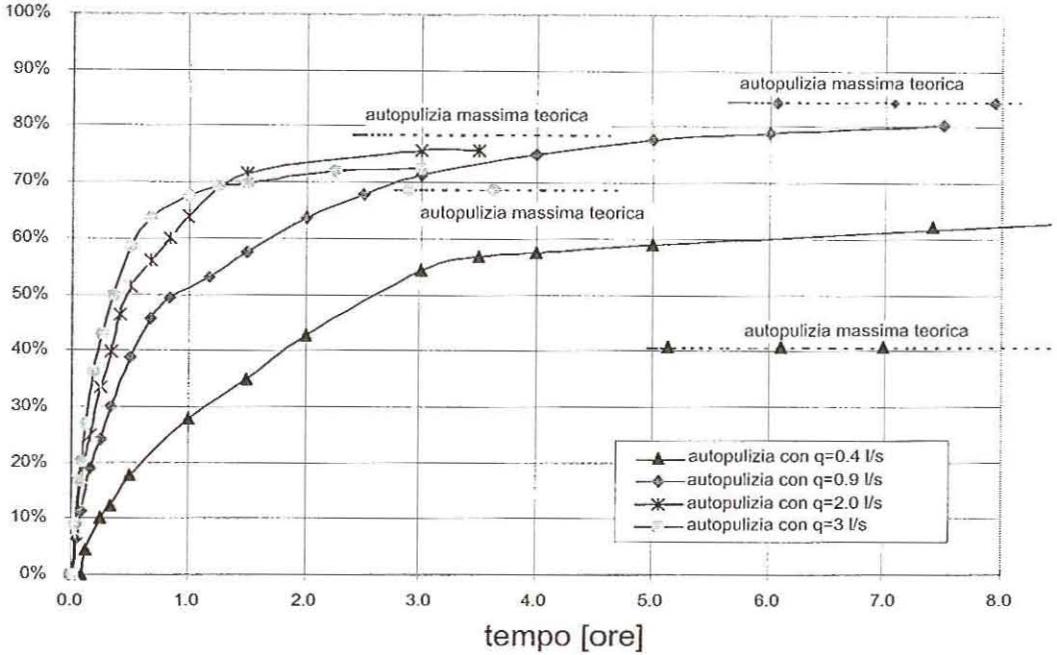


Fig. 11 - Curve di autopulizia ottenute con quattro diverse portate liquide e confronto con la percentuale massima di materiale asportato prevista dall'ipotesi unidimensionale del fenomeno.

quantità di materiale uscito dalla briglia aperta a parità di tempo e quindi un miglioramento del processo di autopulizia.

Dato l'esiguo numero di prove effettuate in questa verifica e considerato che in questo caso la natura del materiale usato è fondamentale (sono, infatti, molto importanti i fe-

nomeni di corazzamento all'interno del deposito) è necessario un maggior approfondimento e un completamento di questa analisi.

**Guido Benedetti**

Ingegnere forestale - TRENTO

*Simboli usati e loro significato*

- $Q$  = portata liquida
- $Q_s$  = portata solida
- $q$  = portata liquida specifica
- $q_s$  = portata solida specifica
- $\gamma_w$  = peso specifico dell'acqua
- $\gamma_s$  = peso specifico del materiale secco
- $\Delta = \gamma_s / (\gamma_s - \gamma_w)$
- $g$  = accelerazione di gravità
- $\theta$  = parametro di Shields
- $\chi$  = coefficiente di Chezy
- $b_f$  = larghezza della fessura
- $B$  = larghezza dell'alveo

- $h_o$  = tirante di moto uniforme nel canale
- $i = i_o$  = pendenza del canale
- $v_o$  = velocità dell'acqua nel canale
- $h_\theta$  = tirante di moto uniforme sul deposito
- $i_\theta$  = pendenza sul deposito
- $v_\theta$  = velocità dell'acqua sul deposito
- $h_f$  = tirante nella fessura
- $v_f$  = velocità dell'acqua nella fessura
- $R_h$  = raggio idraulico
- $H$  = energia specifica
- $\Delta Z_v$  = altezza di deposito in prossimità della briglia aperta
- $\Delta Z_m$  = altezza di deposito a monte del deposito

## BIBLIOGRAFIA

ARMANINI A., 1994 - *Appunti dalle lezioni di Sistemazione dei bacini idrografici*. Università degli Studi di Trento, Trento.

BENEDETTI G., 1995 - *Analisi teorica e sperimentale del funzionamento delle briglie aperte*, Tesi di Laurea in Ingegneria Forestale, Trento, 205 pp.

COLA R., 1970 - *Sul funzionamento delle briglie selettive*. Rassegna tecnica del Friuli Venezia Giulia, 5: 30-37.

KETTL W., 1984 - *Evoluzione delle sistemazioni idraulico-forestali: dallo scopo della sistemazione allo sviluppo delle tipologie costruttive*. Quaderni di idronomia montana, 8: 35-65. ed. originale *Vom Verbaunungsziel*

*zur Bautypenentwicklung*. Wildbach und Lawinverbauung, 6, giugno 1984, 61-98.

ZOLLINGER F., 1986 - *Wildbachsperrn: Klassifikationen und Definitionen*. Wildbach und Lawinverbau, 103: 70-93.

**NOTA** : lo studio presentato è una sintesi della tesi di laurea in Ingegneria Forestale dal titolo "Analisi teorica e sperimentale del funzionamento delle briglie aperte" presentata nel Luglio 1995 dall'autore presso l'Università di Trento con relatore il prof. ing. Aronne Armanini e correlatore il dott. Roberto Boso dirigente del Servizio Azienda Speciale di Sistemazione Montana della Provincia Autonoma di Trento

## SOMMARIO

Nell'articolo, dopo una prima parte dedicata alla definizione e alla classificazione delle briglie aperte esistenti, viene analizzato il comportamento idraulico di una briglia aperta in presenza di trasporto solido.

Sulla base di considerazioni di tipo energetico e con l'ipotesi di moto unidimensionale è possibile trovare una relazione che lega la larghezza della fessura all'altezza del deposito a monte della briglia in condizioni di regime e quindi fornire delle utili indicazioni progettuali. Analogamente è possibile fornire delle indicazioni sul processo di erosione, da parte delle piene minori, del materiale depositato nel bacino.

Le formulazioni teoriche così ottenute sono state sottoposte a verifica sperimentale in canaletta di laboratorio.

Il processo di deposito è stato simulato in condizioni di portata liquida e solida costante per diversi valori della larghezza della fessura.

Il processo di erosione è invece stato simulato con diversi valori di portata liquida ponendo nulla la portata solida e costante la larghezza della fessura.

I risultati dell'indagine sperimentale hanno mostrato che le espressioni teoriche considerate sono attendibili.

## ABSTRACT

The paper, after a first part dealing with the definition and the classification of the existing models of open check dams, presents a theoretical approach to the problem of the design of the width of an open check dam.

The approach is based on some energetic considerations that allow to a relationship among opening width, height of the dam, geometrical and sediments characteristics of the torrent and solid and liquid discharge. The final relationship can be simplified in order to provide important planning directions.

Moreover it is possible to provide some directions about the erosion process, due to the minor floods, which concerns the previously deposited sediment.

The results of the theory have been tested in a laboratory investigation on a scale reduced model. The deposition process has been simulated in condition of constant solid and liquid discharge.

The erosion process, instead, has been simulated with variable liquid discharge, while the opening width and the solid discharge have been considered as constant. The mean grain-size of the material as well as the discharge and the opening width have been changed.

The final results of the experimental investigation confirm quite well the predictions of the theory.