

Capitolo 10 - Sifoni e scaricatori di piena per fognature

relazione al funzionamento idraulico dello scaricatore in occasione dei massimi eventi di piena. La canalizzazione di scarico dovrà, invece, avere dimensioni e pendenza adatti al convogliamento della differenza tra la portata critica di piena in arrivo Q_p e la portata Q_{max} .

Nel seguito verrà analizzato il dimensionamento di un particolare tipo, molto diffuso, di scaricatori di piena: gli sfioratori laterali. Essi sono costituiti essenzialmente da una soglia sfiorante realizzata su uno od entrambi i lati del canale in arrivo (vedi Figura 10.2), con un canale derivatore a valle (sfioratore semplice). In alcuni casi, che verranno discussi nel seguito, può essere necessario inserire nel canale derivatore a valle una paratoia e/o un restringimento per rendere possibile lo sfioro della portata richiesta o per migliorare l'efficienza dello sfioratore. Questo tipo di sfioratori sono solitamente adottati, in alternativa ad altri tipi, in zone pianeggianti o comunque dove non siano disponibili apprezzabili dislivelli topografici e sia quindi necessario limitare al massimo la diminuzione lungo il percorso delle quote del sistema di drenaggio.

3.1 - Sfioratore laterale semplice.

Il dimensionamento degli sfioratori laterali viene condotto usualmente facendo l'ipotesi che il processo di sfioro avvenga ad energia specifica della corrente costante. Numerose esperienze hanno dimostrato che questa ipotesi è ben rispettata nella maggior parte dei casi pratici, anche se essa è valida, a rigore, solo nei casi in cui si abbia perfetta compensazione tra le resistenze al moto e la componente del peso della corrente in direzione del moto.

Pur essendo possibile realizzare degli sfioratori laterali in corrente veloce, è facile dimostrare che in questo caso la loro efficienza è molto inferiore che nel caso di corrente lenta. Questi manufatti vengono, dunque, realizzati usualmente in canali o condotti a debole pendenza.

Nel caso di corrente lenta nel condotto derivatore a valle dello scaricatore, supposto indefinito verso valle, l'altezza idrica nella sezione terminale dello sfioratore sarà quella di moto uniforme h_{ov} della corrente di portata Q_{max} . La lunghezza dello sfioratore si determina, quindi, partendo da valle. Gli elementi utili a questo calcolo sono :

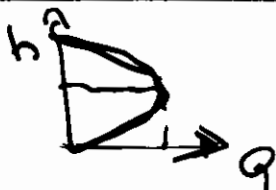
- l'altezza di moto uniforme h_{ov} nel condotto derivatore relativa alla portata Q_{max} calcolata con l'equazione di Chezy;
- l'energia specifica della corrente a valle

$$E_{max} = h_{ov} + \frac{Q_{max}^2}{2g \cdot A_{ov}^2} \quad (5)$$

dove A_{ov} è l'area bagnata corrispondente alla portata Q_{max} a valle;

- la curva $h - Q$ ad energia costante E_{max}

$$\rightarrow Q = A(h) \cdot \sqrt{2g \cdot (E_{\max} - h)}$$



(6)

dove h è la profondità della corrente in corrispondenza del punto lungo la soglia considerato e $A(h)$ è l'area bagnata in funzione di h ;

- l'equazione di efflusso applicata ad una lunghezza ds generica lungo la soglia sfiorante,

$$\rightarrow dq = \mu \cdot ds \cdot (h - C) \cdot \sqrt{2g \cdot (h - C)}$$



(7)

dove μ è il coefficiente di efflusso che può ammettersi approssimativamente costante e circa pari a 0.4.

La soglia dello sfioratore è posta ad un'altezza C dal fondo del canale maggiore o uguale all'altezza di moto uniforme h_{0i} della portata Q_i , per garantire che non avvengano sfiori per portate $Q \leq Q_i$. Il processo di sfioro può avvenire, quindi, solo quando il livello dell'acqua a valle è superiore a C e ciò comporta che, come osservato precedentemente, la portata che prosegue nel canale derivatore sia maggiore della portata di soglia Q_i .

Il calcolo della lunghezza L della soglia sfiorante può essere fatto integrando per differenze finite il sistema di equazioni (6) e (7). Fissato, quindi, un tratto di soglia di lunghezza Δs si calcola la corrispondente portata sfiorante come:

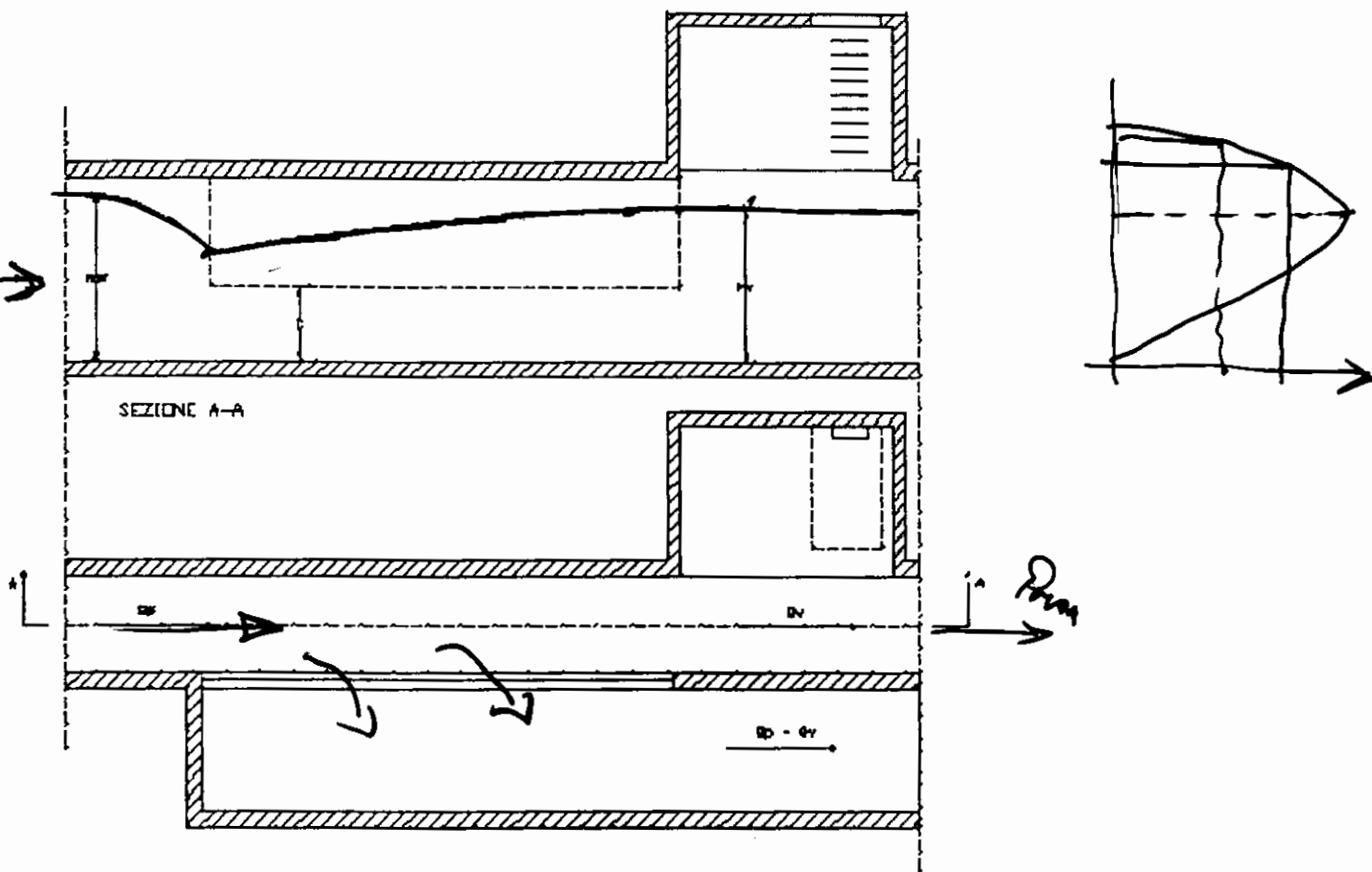
$$\Delta q = \mu \cdot \Delta s \cdot (h_v - C) \cdot \sqrt{2g \cdot (h_v - C)}$$

(8)

dove h_v è l'altezza della corrente a valle del tratto che si sta considerando. Procedendo da valle verso monte, a partire dalla sezione terminale della soglia sfiorante, il primo h_v coincide con l'altezza di moto uniforme della portata Q_{\max} e quindi è subito calcolabile la variazione di portata Δq relativa al primo tratto di lunghezza Δs .

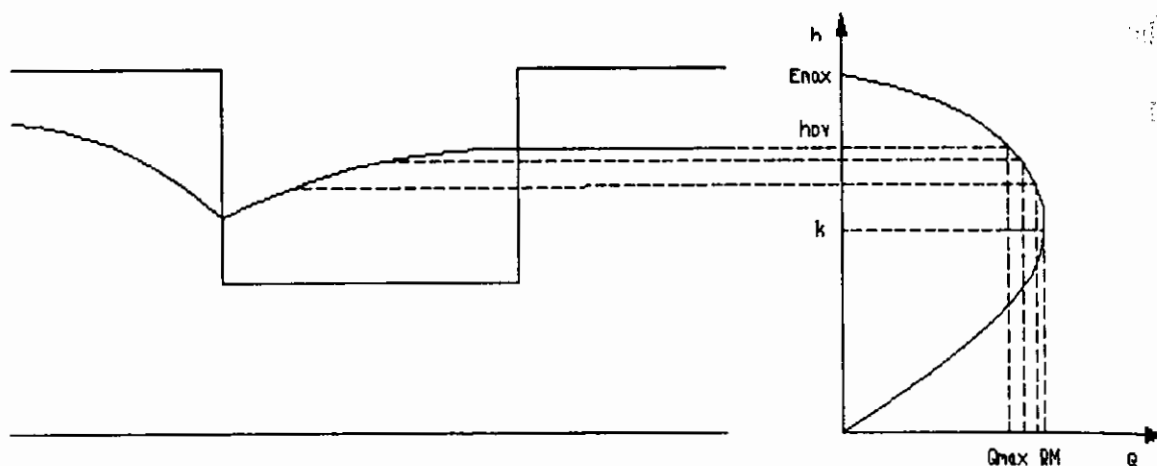
Al passo successivo si ricava il nuovo valore di h_v dall'equazione (6) ponendo $Q = Q_{\max} + \Delta q$ e quindi, dalla (8), il nuovo valore di Δq . Il procedimento continua finché la portata $Q = Q_{\max} + \Sigma(\Delta q)$ non risulta uguale alla portata di piena in arrivo Q_p . La sommatoria dei Δs necessari per raggiungere questa condizione definisce la lunghezza L dello sfioratore.

Figura 10.2 - Schema di uno sfioratore laterale semplice.



E' bene mettere in evidenza che, come si deduce dall'analisi dell'equazione (6), l'aumento della portata provoca un abbassamento, sempre più marcato procedendo verso monte, del profilo della corrente lungo la soglia sfiorante. Poiché l'equazione (8) è valida a rigore solo se il pelo libero all'interno della lunghezza considerata è orizzontale, la scelta del valore di Δs deve essere tale da realizzare con buona approssimazione questa condizione ed è quindi opportuno che tale valore sia sufficientemente piccolo oppure decrescente man mano che si procede verso monte (vedi Figura 10.3).

Figura 10.3 - Profilo di moto permanente lungo la soglia sfiorante di uno sfioratore laterale.



Un modo per risolvere questo problema è quello di procedere per differenze finite non fissando il Δs , ma il Δh . In questo modo si fissano a priori i valori dell'altezza idrica h , a valle di ogni intervallo di integrazione, per ognuno dei quali è possibile ricavare la corrispondente Q utilizzando l'equazione (6)³. Noti quindi i Δq per tutti gli intervalli di integrazione, come differenza tra i valori di Q relativi alle sezioni alle loro estremità, si ricavano dall'equazione (8) i corrispondenti valori della lunghezza Δs di tali intervalli. La somma dei Δs fornisce quindi la lunghezza L dello sfioratore. Questo modo di procedere presenta il duplice vantaggio di consentire l'uso in forma esplicita dell'equazione (8) e di rispettare automaticamente la condizione, ricordata prima, perché essa sia valida con una buona approssimazione.

Entrambi i procedimenti descritti, quello che fissa il Δs e quello che fissa il Δh , consentono il dimensionamento di uno sfioratore laterale semplice, cioè costituito semplicemente da una soglia sfiorante, se l'energia E_{max} della corrente, calcolata in relazione alla portata Q_{max} transitante a valle e supposta costante lungo la soglia, è sufficiente per il transito della portata Q_p in arrivo a monte.

In altre parole la differenza di portate $Q_p - Q_{max}$ potrà essere sfiorata con uno sfioratore laterale semplice solo se la portata massima Q_M convogliabile con l'energia E_{max} risulta maggiore di Q_p ⁴.

³ Poiché in questo modo sono note a priori sia l'altezza di monte che di valle di ogni intervallo, è anche possibile introdurre nella (6) la media tra queste due altezze per avere una stima più precisa della portata sfiorata.

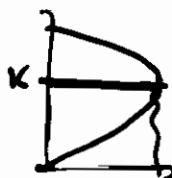
⁴ Poiché la portata Q_M transita in condizione di corrente critica, se si verificasse la condizione limite $Q_p = Q_M$ l'altezza della corrente in corrispondenza della sezione iniziale di monte della soglia coinciderebbe con l'altezza

Il calcolo della portata Q_M può essere fatto mediante l'applicazione congiunta della (6) e della condizione di criticità:

$$\boxed{\frac{A(h)^3}{B(h)} = \frac{Q^2}{g}} \quad (9)$$

con $A(h)$ = area bagnata e $B(h)$ = larghezza del pelo libero. Nel caso di alveo rettangolare di larghezza B la portata massima è esprimibile direttamente in funzione dell'energia specifica E_{max} della corrente attraverso la relazione:

$$Q_M = \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot B \cdot E_{max} \cdot \sqrt{2g \cdot E_{max}} \quad (10)$$



Nel caso che risulti $Q_M \leq Q_p$ è necessario mettere in atto degli opportuni accorgimenti per aumentare l'energia della corrente, quali, per esempio, l'inserimento di una paratoia o la realizzazione di un restringimento a valle della soglia sfiorante.

3.2 - Sfiatore laterale con paratoia a valle.

Il posizionamento di una paratoia a valle della soglia sfiorante provoca un innalzamento del pelo libero subito a monte della paratoia stessa, con un conseguente aumento dell'energia, della corrente lenta a valle. Questo aumento consente di ridurre la lunghezza della soglia o di raggiungere un livello energetico sufficiente per il funzionamento dello sfioratore qualora sia risultato $Q_M \leq Q_p$.

In prima approssimazione si può considerare una paratoia con una luce libera d pari o leggermente maggiore all'altezza di moto uniforme h_{or} della portata di soglia Q_p , in modo che questa possa transitare indisturbata, calcolando, quindi, il rigurgito provocato da questa paratoia quando invece transita la portata Q_{max} . E' comunque opportuno che la luce libera d sia di almeno 0.20 m, in modo da limitare i rischi di ostruzione per effetto dei materiali solidi eventualmente trasportati dalla corrente.

Se l'efflusso sotto la paratoia è libero, la nuova energia acquistata dalla corrente per effetto della paratoia E_{par} può essere calcolata riferendosi alla sezione contratta della corrente a valle della paratoia:

$$E_{par} = C_c \cdot d + \frac{Q_{max}^2}{2g \cdot (C_c \cdot A_{par})^2} \quad (11)$$

critica k e proseguirebbe con un profilo di corrente veloce lungo la soglia fino al verificarsi del risalto. Per ragioni di efficienza dello sfioratore, già ricordate, è bene evitare che questa situazione si verifichi.

dove A_{par} è la luce libera sotto la paratoia e C_c il coefficiente di contrazione della vena effluente, che può assumersi pari a 0.6 (vedi Figura 10.4).

Ipotizzando che le perdite di carico nell'efflusso sotto la paratoia siano trascurabili⁵, cioè che il processo avvenga con energia E_{par} costante, l'altezza idrica h_v a monte della paratoia può essere calcolata dalla soluzione dell'equazione (implicita in h_v):

$$h_v = E_{par} - \frac{Q_{max}^2}{2g \cdot A_v^2} \quad (12)$$

dove A_v è l'area bagnata della corrente a monte della paratoia.

Anche in questo caso va verificato, nel modo esposto prima, che l'energia E_{par} consenta la riduzione di portata da Q_p a Q_{max} . In caso di verifica positiva, nota l'altezza h_v a valle della soglia sfiorante, la lunghezza L di quest'ultima può essere calcolata in modo analogo a quanto visto nel caso dello sfioratore semplice. Il funzionamento idraulico dello sfioratore e della paratoia vale se l'efflusso sotto quest'ultima è libero e non rigurgitato da valle. Bisogna, inoltre, accertarsi che il risalto che si forma a valle della paratoia non venga spinto contro di essa, cambiando così le condizioni di efflusso della luce.

In caso di verifica negativa i provvedimenti da prendersi possono essere due:

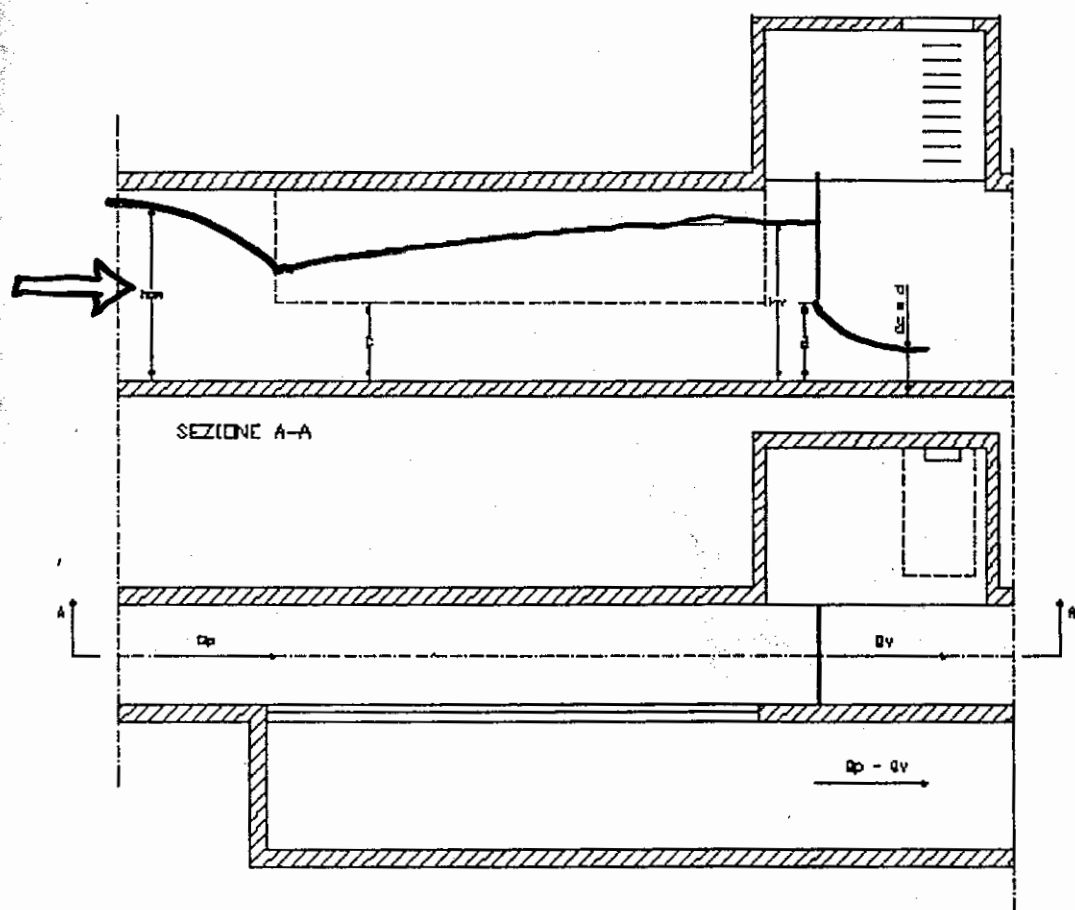
- 1) abbassare la luce di efflusso sotto la paratoia; nel qual caso si avrebbe un maggiore aumento dell'altezza idrica a valle della soglia sfiorante e quindi dell'energia della corrente, ma occorrerebbe anche alzare la soglia dello sfioratore in seguito all'impedimento che si verificherebbe al libero transito della portata Q . Occorre perciò valutare la reale efficienza di una tale provvedimento;
- 2) aumentare ulteriormente l'energia della corrente di valle prevedendo, oltre alla paratoia, anche un restringimento del canale derivatore.

⁵ Queste perdite sono circa pari a

$$\Delta H = 0.04 \cdot \frac{Q_{max}^2}{2g \cdot (C_c \cdot A_{par})^2}$$

e quindi effettivamente piccole. Nel caso che se ne volesse tenere conto bisognerebbe aggiungere ΔH al secondo membro dell'equazione (12).

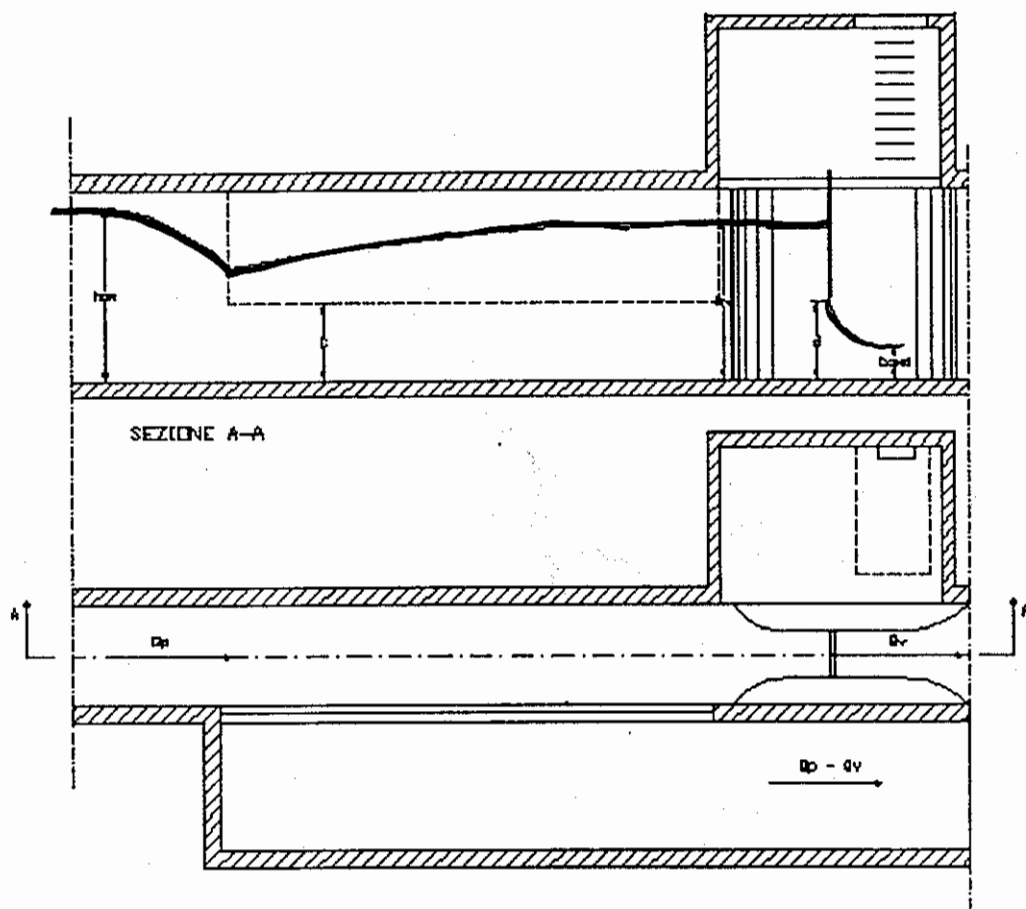
Figura 10.4 - Schema di uno sfioratore laterale con paratoia.



3.3 - Sfiatore laterale con paratoia e restringimento a valle.

La realizzazione di un restringimento del canale derivatore immediatamente a valle della soglia sfiorante ha un effetto analogo a quello della paratoia, cioè di far aumentare il livello dell'acqua a monte e quindi di far aumentare l'energia della corrente. I due provvedimenti sono in genere previsti in combinazione, con il vantaggio di poter realizzare incrementi sensibili dell'energia della corrente senza per questo ridurre troppo la luce sotto la paratoia (vedi Figura 10.5). Questo tipo di scaricatore può essere adottato anche quando non sia strettamente necessario per motivi energetici, allo scopo di aumentare l'efficienza del processo di sfioro e ridurre la lunghezza dello sfioratore stesso.

Figura 10.5 - Schema di uno sfioratore laterale con restringimento.



Per evitare di dover innalzare l'altezza del petto dello stramazzo, in prima approssimazione si determina l'entità del restringimento in modo che la portata di soglia Q_c vi passi senza che la corrente sia rigurgitata a monte. Il valore minimo della larghezza b del restringimento è quindi quello per il quale la portata Q_c passa in condizioni critiche, cioè con altezza critica k , con la sua energia di moto uniforme E_{0c} . Tale valore minimo può essere ricavato dalla relazione (9) che esprime lo stato critico di una corrente. Nel caso usuale che la sezione ristretta sia di forma rettangolare, l'equazione (9) conduce alla relazione:

$$b = \sqrt{\frac{Q_i^2}{g \cdot k^3}} \quad (13)$$

dove

$$k = \frac{2}{3} \cdot E_{ot} \quad (14)$$

$$E_{ot} = h_{ot} + \frac{Q_i^2}{2g \cdot (B \cdot h_{ot})^2} \quad (15)$$

essendo h_{ot} l'altezza di moto uniforme della portata Q_i nel canale a monte del restringimento. La paratoia si posiziona entro la strettoia lasciando una luce libera di altezza leggermente superiore a k , compatibilmente con il limite minimo di 0.20 m già ricordato nel paragrafo precedente. Stimato il valore della larghezza del restringimento si calcola, in modo analogo a quanto visto nel precedente sottoparagrafo, la corrispondente nuova energia E_{res} della corrente per la portata Q_{max} , verificando che risulti sufficiente perché risulti $Q_M > Q_p$.

In caso di verifica positiva si può procedere a dimensionare lo sfioratore con la metodologia già esposta. In caso di verifica negativa si potrà tentare di migliorare l'efficienza riducendo ulteriormente la larghezza del restringimento, tenendo conto del rigurgito a cui è soggetta la portata di soglia Q_i in questo caso e quindi del necessario innalzamento della soglia dello sfioratore.

Per calcolare l'entità del rigurgito si calcola la nuova altezza critica k' con la quale la portata di soglia Q_i passa nel restringimento di larghezza $b' < b$ invertendo la (13):

$$k' = \sqrt[3]{\frac{Q_i^2}{g \cdot b'^2}} \quad (16)$$

alla quale corrisponde l'energia:

$$E_i = k' + \frac{Q_i^2}{2g \cdot (b' \cdot k')^2} \quad (17)$$

L'altezza h_r del rigurgito a monte del restringimento sarà ricavabile dall'equazione:

$$E_t + \Delta h = h_t + \frac{Q_t^2}{2g \cdot (B \cdot h_t)^2} \quad (18)$$

dove Δh è la perdita di carico della corrente dovuta al restringimento⁶. La nuova altezza C del petto dello stramazzo dovrà dunque essere maggiore o uguale a h_t .

Esercizio 10.2

In una fognatura unitaria occorre dimensionare uno sfioratore laterale che limiti, quando dalla fognatura arriva la portata di piena Q_p , le portate da addurre all'impianto di depurazione ad un prefissato valore Q_{max} e permetta il convogliamento totale delle portate nere diluite comprese tra il valore 0 e $Q_t = r \cdot Q_{nm}$ essendo r il prefissato valore del rapporto di diluizione. L'alveo su cui va inserito è un condotto rettangolare in calcestruzzo (coefficiente di Strickler $k_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$), di larghezza $B=0.75 \text{ m}$ e pendenza 0.3% (debole pendenza per le portate in oggetto) che convoglia, in condizioni di piena, la portata $Q_p = 1200 \text{ l/s}$. Si dimensiona lo sfioratore laterale per le tre seguenti combinazioni di portate:

- | | | | |
|---------------------|-------|-------------|-------|
| a) $Q_{max} = 1000$ | [l/s] | $Q_t = 700$ | [l/s] |
| b) $Q_{max} = 700$ | [l/s] | $Q_t = 350$ | [l/s] |
| c) $Q_{max} = 300$ | [l/s] | $Q_t = 150$ | [l/s] |

Soluzione

Caso a)

Con la formula di Chezy-Strickler si calcola, in primo luogo, l'altezza di moto uniforme della portata di soglia $Q_t=700 \text{ l/s}$, che risulta pari a $h_{ot} = 0.637 \text{ m}$. Il petto dello sfioratore è quindi posto ad un'altezza pari a $C = 0.64 \text{ m}$. Analogamente si calcola l'altezza di moto uniforme della portata massima a valle $Q_{max} = 1000 \text{ l/s}$, che risulta pari a $h_{ov} = 0.853 \text{ m}$. Ad essa corrisponde l'energia specifica:

$$E_{max} = 0.853 + \frac{1.0^2}{2g \cdot (0.75 \cdot 0.853)^2} = 0.977 \quad [\text{m}]$$

a cui corrisponde una portata critica:



⁶ Questa perdita di carico è dell'ordine di $0.05 + 0.15$ volte l'altezza cinetica nel restringimento, in relazione al tipo di imbocco. Se questo è ben raccordato essa è solitamente trascurabile.

$$\underline{Q_M} = \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot 0.75 \cdot 0.977 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.977} = \underline{1.236} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Poiché tale valore è superiore alla portata di piena in arrivo a monte $Q_p = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ l'energia della corrente a valle è sufficiente per realizzare il voluto processo di sfioro con uno sfioratore laterale semplice. Si procede quindi al calcolo per differenze finite del profilo sulla soglia sfiorante, che sarà decrescente dal valore $h_{ov} = 0.853 \text{ m}$ di valle al valore $h_m = 0.738 \text{ m}$ di monte che si ricava dall'equazione:

$$E_{max} = h_m + \frac{1.2^2}{2g \cdot (0.75 \cdot h_m)^2} = 0.977 \quad [\text{m}]$$

Scegliendo di dividere il dislivello di quote del profilo $0.853 - 0.738 = 0.115 \text{ m}$ con un passo di integrazione pari a $\Delta h = 0.005 \text{ m}$ e indicando con x la distanza della sezione considerata dall'estremità di valle della soglia sfiorante si ottengono i seguenti risultati (x , Δs e h in m, Q e Δq in m^3/s):

$$\begin{array}{lll} x = 0 & h = 0.853 & Q = 1.000 \\ x = 0 + \Delta s & h = 0.853 - \Delta h = 0.848 & Q = 0.75 \cdot 0.848 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (0.977 - 0.848)} = 1.014 \\ & & \Delta q = 1.014 - 1.000 = 0.014 \end{array}$$

$$\Delta s = \frac{0.014}{0.4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81} \cdot \left(\frac{0.853 + 0.848}{2} - 0.64 \right)^{3/2}} = 0.082$$

Proseguendo analogamente per $x = 0 + 0.082 = 0.082 \text{ m}$ e per le sezioni successive, fino ad avere $h = h_m = 0.738 \text{ m}$, si ottengono i risultati della Tabella 10.1, da quali risulta che lo sfioratore deve essere lungo 1.807 m .

Tabella 10.1 - Profilo del pelo libero lungo la soglia sfiorante (caso a).

h [m]	Q [m ³ /s]	ΔQ [m ³ /s]	Δs [m]	x [m]
0.853	1.000			0
0.848	1.014	0.014	0.082	0.082
0.843	1.027	0.013	0.081	0.163
0.838	1.040	0.013	0.080	0.243
0.833	1.052	0.012	0.079	0.322

0.828	1.064	0.012	0.079	0.401
0.823	1.075	0.011	0.078	0.479
0.818	1.085	0.011	0.078	0.557
0.813	1.096	0.010	0.078	0.635
0.808	1.105	0.010	0.078	0.713
0.803	1.114	0.009	0.077	0.790
0.798	1.123	0.009	0.077	0.867
0.793	1.132	0.008	0.077	0.944
0.788	1.140	0.008	0.077	1.021
0.783	1.147	0.008	0.077	1.098
0.778	1.155	0.007	0.077	1.175
0.773	1.161	0.007	0.078	1.253
0.768	1.168	0.007	0.078	1.331
0.763	1.174	0.006	0.078	1.409
0.758	1.180	0.006	0.079	1.488
0.753	1.185	0.005	0.079	1.567
0.748	1.191	0.005	0.079	1.646
0.743	1.195	0.005	0.080	1.726
0.738	1.200	0.005	0.081	1.807

Caso b)

In questo caso le altezze di moto uniforme delle portate $Q_i = 350$ l/s e $Q_{max} = 700$ l/s risultano essere rispettivamente pari a $h_{or} = 0.372$ m e $h_{ov} = 0.637$ m. Il petto dello sfioratore è quindi posto ad un'altezza pari a $C = 0.38$ m, mentre l'energia specifica della corrente a valle è pari a:

$$E_{max} = 0.637 + \frac{0.7^2}{2g \cdot (0.75 \cdot 0.637)^2} = 0.746 \quad [\text{m}]$$

a cui corrisponde una portata critica

$$Q_M = \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot 0.75 \cdot 0.746 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.746} = 0.825 \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Poiché tale valore è inferiore a quello della portata Q_p in arrivo allo sfioratore non è possibile realizzare la voluta riduzione delle portate con uno sfioratore laterale semplice,

ma è necessario intervenire in modo da innalzare il livello energetico della corrente di valle. A questo scopo si considera l'introduzione di una paratoia nel canale derivatore immediatamente a valle della soglia sfiorante.

In prima ipotesi, si prevede che la paratoia abbia una luce libera sul fondo pari all'altezza h_{or} di moto uniforme della portata di soglia e dunque pari a $d = 0.38$ m. Al passaggio della portata Q_{max} la paratoia provocherà il rigurgito della corrente con il suo conseguente incremento energetico. L'energia di tale corrente è calcolata nella sezione contratta che si realizza a valle della paratoia. Ipotizzando una contrazione della vena effluente tale da ridurne l'altezza al 60 % della luce d , tale energia risulta pari a:

$$E_{pur} = (0.6 \cdot 0.38) + \frac{0.7^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.75 \cdot 0.6 \cdot 0.38)^2} = 1.082 \text{ [m]}$$

a cui corrisponde una portata critica $Q_M = 1.439 \text{ m}^3/\text{s}$. Poiché tale valore è questa volta superiore a Q_p è possibile procedere al dimensionamento dello sfioratore laterale. L'altezza idrica h_v a valle dello sfioratore, ricavata dall'equazione dell'energia:

$$h_v = 1.082 - \frac{0.7^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.75 \cdot h_v)^2}$$

risulta pari a $h_v = 1.041$ m. Procedendo in modo analogo a quanto fatto nel caso a) si ottiene quindi una lunghezza della soglia sfiorante pari a $L = 0.586$ m.

Caso c)

Le altezze di moto uniforme delle portate $Q_t = 150 \text{ l/s}$ e $Q_{max} = 300 \text{ l/s}$ risultano essere rispettivamente pari a $h_{or} = 0.202$ m e $h_{ov} = 0.332$ m. Il petto dello sfioratore è quindi posto ad un'altezza $C = 0.21$ m, mentre l'energia specifica della corrente a valle è pari a:

$$E_{max} = 0.332 + \frac{0.3^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.75 \cdot 0.332)^2} = 0.406 \text{ [m]}$$

a cui corrisponde una portata critica $Q_M = 0.331 \text{ m}^3/\text{s}$. Anche in questo caso il valore di Q_M risulta inferiore a quello della portata Q_p e non è quindi possibile realizzare la voluta riduzione delle portate con uno sfioratore laterale semplice. Anche in questo caso si considera l'introduzione di una paratoia nel canale derivatore immediatamente a valle della soglia sfiorante, con una luce libera sul fondo pari all'altezza h_{or} di moto uniforme della portata di soglia e dunque pari a $d = 0.21$ m.

L'energia della corrente, calcolata nella sezione contratta che si realizza a valle della paratoia, risulta pari a:

$$E_{par} = (0.6 \cdot 0.21) + \frac{0.3^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.75 \cdot 0.6 \cdot 0.21)^2} = 0.640 \quad [\text{m}]$$

a cui corrisponde una portata critica $Q_M = 0.654 \text{ m}^3/\text{s}$. Poiché tale valore è ancora notevolmente inferiore a Q_p ed essendo sconsigliabile diminuire ulteriormente il valore di d , è necessario ricorrere anche al restringimento del canale derivatore.

La larghezza di tale restringimento si calcola imponendo che la portata di soglia $Q_t = 0.150 \text{ m}^3/\text{s}$ vi passi in condizioni critiche. Essendo l'energia specifica corrispondente a tale portata pari a:

$$E_t = 0.202 + \frac{0.15^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.75 \cdot 0.202)^2} = 0.252 \quad [\text{m}]$$

risulta che l'altezza critica corrispondente è:

$$k = \frac{2}{3} \cdot E_t = 0.168 \quad [\text{m}]$$

e quindi la larghezza del restringimento necessaria perché tale altezza si verifichi è, per la (13), pari a:

$$b = \sqrt{\frac{0.15^2}{9.81 \cdot 0.168^3}} = 0.696 \quad [\text{m}]$$

Poiché tale valore è poco differente dalla larghezza originaria del canale $B = 0.75 \text{ m}$ e per cercare di migliorare l'efficienza dello sfioratore, si decide di adottare un valore più piccolo, pari a $b = 0.6 \text{ m}$. Con questo nuovo valore la portata Q_t passa ancora in condizioni critiche nel restringimento, ma con il nuovo valore:

$$k = \sqrt[3]{\frac{0.15^2}{9.81 \cdot 0.6^2}} = 0.185 \quad [\text{m}]$$

Infatti, avendo scelto di restringere il canale più del valore indicato dalla (13), anche la portata Q_t viene rigurgitata a monte incrementando, rispetto al valore di moto uniforme, la sua energia. Nell'ipotesi che l'imbocco del restringimento sia ben raccordato e quindi che le

perdite di carico relative, vista anche la piccola entità del restringimento ipotizzato, siano in prima approssimazione trascurabili, il valore di questa energia è uguale a quella della corrente nella sezioni di altezza critica nel restringimento ed è quindi pari a:

$$E_t = 0.185 + \frac{0.15^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.6 \cdot 0.185)^2} = 0.278 \quad [\text{m}]$$

Per il calcolo dello sfioratore bisognerà quindi valutare l'entità di questo rigurgito e modificare di conseguenza l'altezza C del petto dello stramazzo. Prima di procedere a questo calcolo è comunque opportuno verificare che la nuova energia specifica della portata Q_{max} sia sufficiente ad ottenere il voluto processo di sfioro. Per limitare il rischio di ostruzioni si impone che la luce sotto alla paratoia sia superiore a k e pari a 0.20 m. L'energia specifica della portata Q_{max} che transita nel restringimento e sotto la paratoia vale allora

$$E_{res} = (0.6 \cdot 0.20) + \frac{0.3^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.6 \cdot 0.6 \cdot 0.20)^2} = 1.005 \quad [\text{m}]$$

a cui corrisponde una portata critica $Q_M = 1.288 \text{ m}^3/\text{s}$. Questo valore è superiore a Q_p e quindi è possibile procedere al dimensionamento dello sfioratore laterale. L'altezza idrica h_v a valle dello sfioratore risulta, dalla soluzione dell'equazione dell'energia:

$$h_v = 1.005 - \frac{0.3^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.75 \cdot h_v)^2}$$

pari a $h_v = 0.997 \text{ m}$. L'altezza h_t della corrente Q_t a monte del restringimento si ricava dalla (18), che può essere scritta nella forma:

$$h_t = 0.278 - \frac{0.15^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (0.75 \cdot h_t)^2}$$

che fornisce il valore $h_t = 0.244 \text{ m}$. La nuova altezza dello stramazzo sarà quindi pari a $C = 0.25 \text{ m}$. Con i valori trovati di C e h_v , procedendo in modo analogo a quanto fatto nel caso a), si ottiene infine la lunghezza della soglia sfiorante, che risulta pari a $L = 0.915 \text{ m}$.