



Università degli Studi di Ferrara
Corsi di “Costruzioni Idrauliche” e “Gestione ottimale dei sistemi idrici”

Il dimensionamento delle vasche volano: approfondimenti

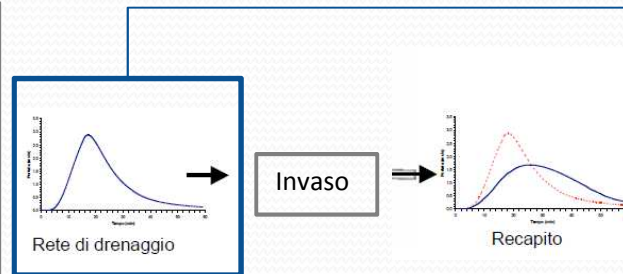
Prof. Ing. Marco Franchini
Dott. Ing. Enrico Creaco

Anno Accademico 2012/2013

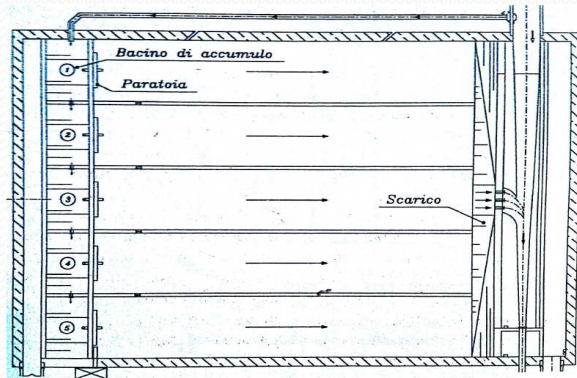
Introduzione

Vasche di laminazione

Sono opere idrauliche aventi lo scopo di invasare temporaneamente parte dei volumi idrici derivanti da eventi meteorici, al fine di laminare l'onda di piena e ridurre le portate in uscita entro limiti prefissati

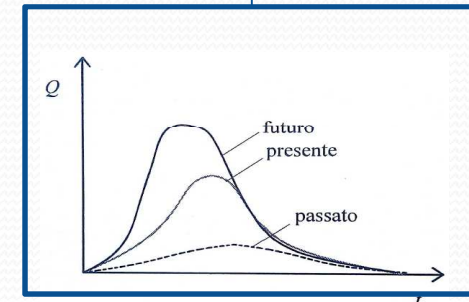


Sono generalmente costituite da **invasi chiusi**, realizzate in CLS, suddivise in un'unica camera d'invaso o in più camere (**vasche multicamera**), collegate tra loro mediante sfioratori e valvole di fondo, in modo che gli eventi più frequenti interessino solo una parte della vasca, razionalizzando le operazioni di pulizia e manutenzione.




L'importanza in ambito urbano

Negli ultimi decenni i processi di urbanizzazione l'aumento dell'intensità degli eventi meteorici hanno determinato l'aumento del deflusso superficiale nel corso degli eventi di pioggia, con un notevole incremento delle portate in entrata.



La corretta progettazione di una vasca di laminazione consente di porre le condizioni ottimali di espansione urbana, senza mettere a rischio la capacità di ricezione della rete di drenaggio esistente provocando impatti negativi di carattere idraulico (esondazioni) ed ambientale (inquinamento).

Procedura

- Mettere a punto un modello matematico in ambiente **Excel** che metta in mostra il funzionamento di una **vasca di laminazione**, contestualizzata in un caso specifico di studio, sotto **diverse ipotesi progettuali**. 
- In particolare è stata posta attenzione nella corretta progettazione dell'**organo di efflusso**, e quindi della corretta gestione della **portata in uscita Qu**.
- Si è individuato, mediante il **metodo cinematico**, il dimensionamento e funzionamento della vasca di laminazione sotto ipotesi di lavoro che caratterizzano un comportamento **ideale**, quali portata in uscita costante, al fine di ottenere il massimo effetto di laminazione della piena.
- Nella **realtà** di progetto la condizione di portata in uscita costante è di difficile realizzazione, dipendendo essa dal **carico idrico** sulla bocca d'efflusso.
- Si mettono a punto **soluzioni progettuali** mirate ad aumentare l'effetto di laminazione della piena in uscita, in modo da ottimizzare il dimensionamento dell'intera infrastruttura e al contempo tenere sotto controllo il funzionamento della vasca di laminazione

Qu costante (caso ideale)



Confronto

Qu variabile (caso reale) con battente a luce fissa

Qu variabile (caso reale) con battente a luce fissa/precamera

Qu variabile (caso reale) con battente a luce fissa

Individuare la soluzione progettuale migliore in termini di costi-benefici

Modellazione matematica delle vasche di laminazione e tipologie di applicazione

Equazione di continuità

$Q_e(t)$ = portata in entrata;
 $Q_u(t)$ = portata in uscita;
 $W(t)$ = volume invasato.

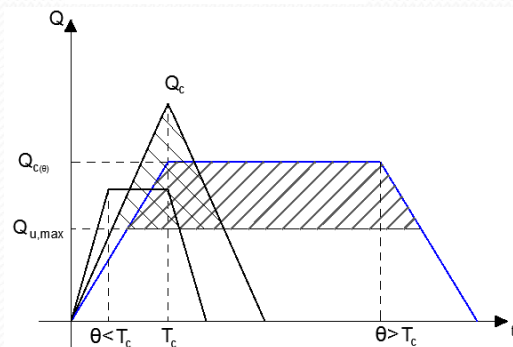
$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{\Delta W(t)}{\Delta t}$$

$$\begin{cases} Q_e = Q_e(t) \\ Q_u = Q_u(t) \\ h_{t+1} = h_t + \frac{Q_e - Q_u}{\Delta t \cdot A} \end{cases}$$

Portata in entrata $Q_e(t)$

Metodo della Corrivazione

- Ietogramma di pioggia a intensità costante (ietogramma rettangolare)
- Curva aree-tempi lineare
- Si considera la durata di pioggia critica per il bacino, maggiore del tempo di corrivazione, che rende massimo il volume invasabile



Portata in uscita $Q_u(h(t))$ [Legge d'efflusso]

Dipende dal dispositivo idraulico che regola la bocca d'uscita; se di tipo a luce fissa, la portata dipende dal tempo solo tramite il livello idrico $h(t)$.

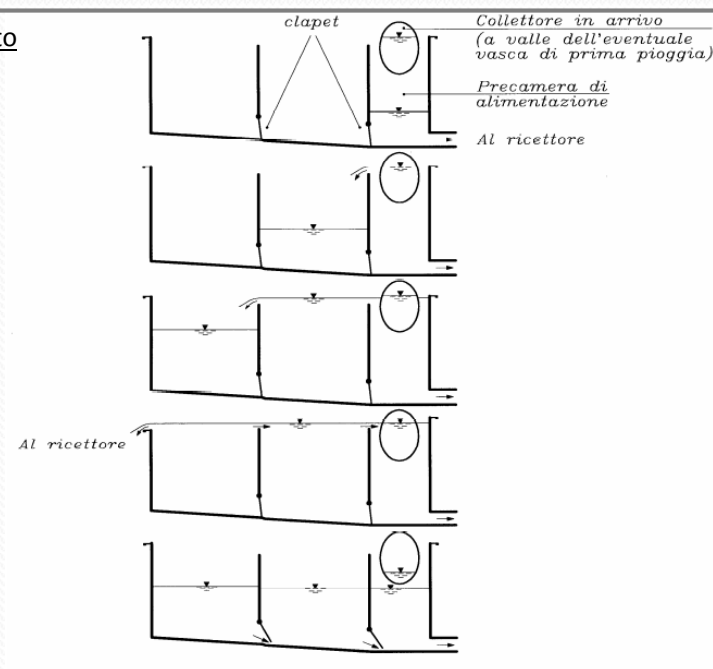
Volume invasato $W(h(t))$ [Legge d'invaso]

Dipende dalla geometria della vasca; per superficie libera $S(h) = \text{costante}$ al variare di $h(t)$, si può ragionevolmente scrivere nella forma $W(t) = A \cdot h(t)$.

Tipologie di vasca di applicazione del modello matematico

- Monocamera (costituito da un grande volume d'invaso)
- Multicamera (precamera d'ingresso e successivi comparti collegati in serie o in parallelo mediante sfioratori e bocche di fondo).

Collegamento in serie

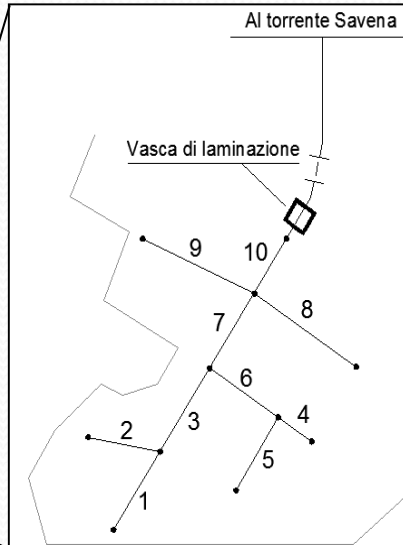


Rete di drenaggio del quartiere Fossolo-Savena (BO)

Realizzazione di un modello di calcolo che **simuli di funzionamento**, a seconda delle scelte progettuali previste, di una **vasca di laminazione** da inserire nella rete di drenaggio di un'ipotetica area di nuova urbanizzazione del quartiere Fossolo-Savena, sito nell'area periferica a sud-est di Bologna.



Curva di poss. pluviometrica
 $i = 60.4 \cdot \theta^{0.61} \text{ mm/h}$
 (valida per $\theta \leq 1$ ora e $T_{\text{ritorno}} = 5$ anni)



Tratto	Lungh. [m]	Area gravante sul tratto [ha]	Σ Aree gravanti sul tratto [ha]	I_{imp} [%]	Area imperme. sul tratto [$ha_{i,imp}$]	Σ Aree imperme. sul tratto [$ha_{i,imp}$]	Pendenza del tratto [%]	\varnothing [mm]	φ
1	120	1.937	1.937	80	1.550	1.550	0.3	800	0.69
2	122	1.731	1.731	78	1.350	1.350	0.3	800	0.68
3	119	0.481	4.149	75	0.360	3.260	0.3	1100	0.68
4	43	0.547	0.547	98	0.536	0.536	0.3	600	0.79
5	92	2.141	2.141	73	1.563	1.563	0.3	800	0.65
6	111	0.383	3.071	79	0.303	2.402	0.3	1000	0.68
7	81	0.353	7.573	77	0.272	5.934	0.3	1300	0.68
8	150	0.999	0.999	90	0.899	0.899	0.3	700	0.75
9	134	1.583	1.583	72	1.140	1.140	0.3	700	0.65
10	116	0.633	10.788	81	0.513	8.486	0.3	1500	0.68

0 50 100
 Planimetria della rete
 Bacino: FOSSOLO
 Area di interesse: 10.788 ha



- Area totale del bacino
- Coefficiente d'afflusso del tratto di progetto
- Tempo di corrivazione [Becciu et altri, 1997]

$$T_c = T_{a_{10}} + T_{r_{10}} = T_{a_{10}} + \frac{L_{10}}{1.5 \cdot V_{10}} = 8.22 \text{ minuti}$$
 che conduce ad una portata di colmo di 2.684 m³/s
- Portata massima per la rete idrica esistente

$$Q_u(t)_{max} = 0.845 \text{ m}^3/\text{s}$$

Realizzazione dimensionale della vasca di laminazione

Determinazione del volume d'invaso

Metodo cinematico [Alfonsi e Orsi, 1987] - Ipotesi di lavoro:

- Ietogramma di pioggia a intensità costante (ietogramma rettangolare)
- Curva aree-tempi lineare
- Portata uscente costante (situazione di laminazione ottimale)

Metodo analitico

- θ critica pari a: 0.8205 ore (pari a 49,23 minuti)
- Il volume minimo da assegnare alla vasca di laminazione risulta pari a:

$$W_{\min} = 1296 \text{ m}^3$$

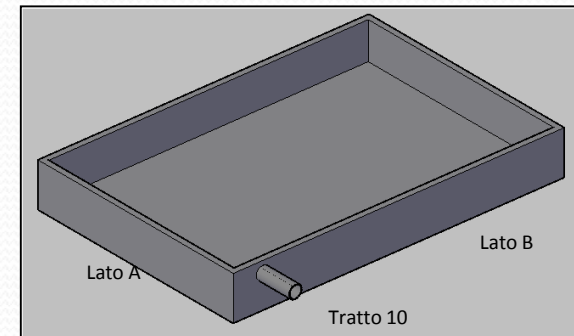
Realizzazione dimensionale della vasca di laminazione

Caratteristiche costruttive

Tipologia di vasca: in linea
Suddivisione della vasca: monocamera
Materiale: Calcestruzzo

Caratteristiche geometriche

Volume = 1296 m^3
Lato A = 20 m
Lato B = 30 m
Area di base = 600 m^2
Altezza = $1296/600 = 2.16 \text{ m}$



Progetto dell'organo regolatore d'efflusso

Bocca d'efflusso con funzionamento a battente

Equazione d'efflusso

$$Q = \mu A \cdot \sqrt{2gh}$$



Coefficiente d'efflusso μ

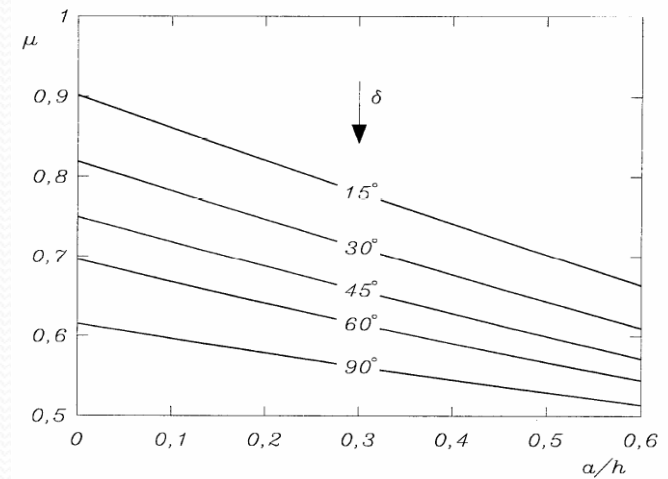
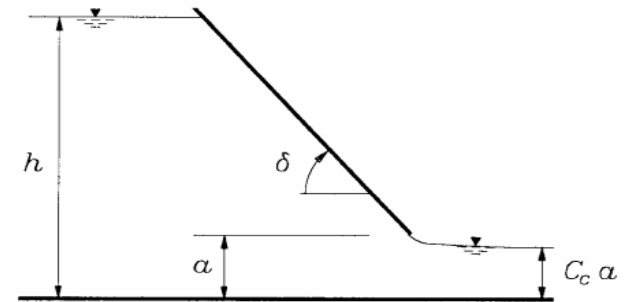
Q = è la portata uscente [m^3/s];
 μ = è il coefficiente d'efflusso;
 A = è l'area della bocca d'efflusso [m^2];
 g = è l'accelerazione di gravità [m/s^2];
 H = è il carico idrico sulla bocca d'efflusso [m].

Il coefficiente d'efflusso dipende dalla contrazione che la vena effluente subisce nell'attraversamento della bocca; esso è legato alla geometria della bocca stessa e alla quota del pelo libero, e quindi al carico h :

$$\mu = \frac{C_c}{\left[1 + \frac{C_c a}{h}\right]^{1/2}} \cdot C_v$$

a = è l'altezza della bocca d'efflusso [m];
 C_c = è il coefficiente di contrazione;
 C_v = è il coefficiente di perdita del carico.

Si può ottenere un valore approssimato tramite via grafica: i valori di μ variano in generale nell'intervallo 0.5-1.0, in funzione dell'inclinazione della parete e del rapporto a/h secondo i grafici riportati in figura sottostante [Sinninger e Hager, 1989].



1. Bocca a battente a luce fissa (Qu variabile)

Caso Reale - Portata in uscita variabile

Dipende dal carico idrico $h(t)$ sulla bocca d'efflusso:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$$

$$\mu = 0.611 \quad (\delta \text{ parete} = 90^\circ)$$

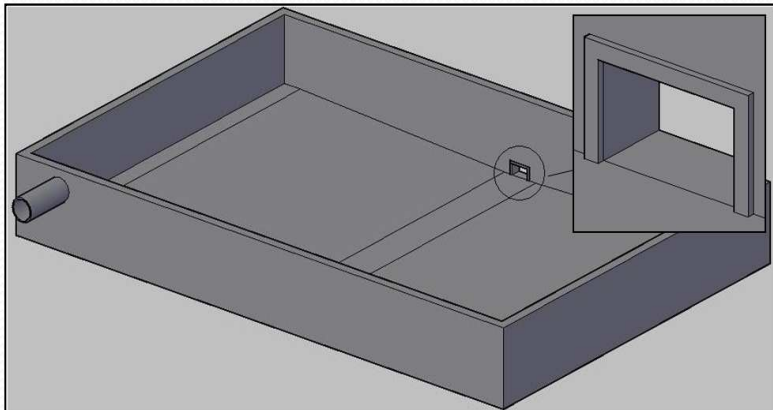
Dimensioni luce d'efflusso pari a:

$$A = a \cdot b = 0.165 \text{ m}^2 \rightarrow$$

$$a = 0.30 \text{ m}$$

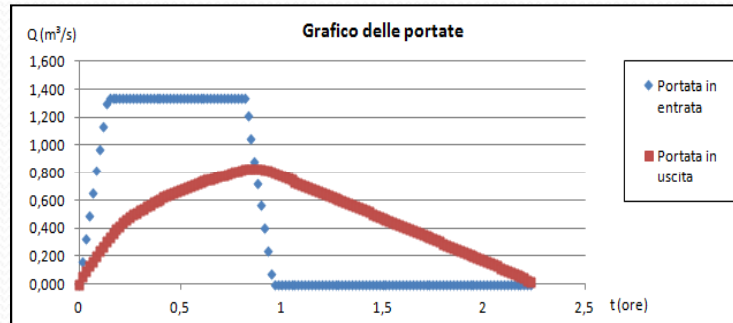
$$b = 0.55 \text{ m}$$

Valori che ottimizzano l'altezza di progetto della vasca di laminazione (ottenuti tramite simulazioni successive).



Risultati

Viene simulato il riempimento e lo svuotamento dell'intera vasca di laminazione per la durata critica di pioggia pari a **49.23 minuti**; il volume invasato istante per istante ($\Delta t = 1$ minuto) è dato dall'**equazione di continuità**. Si ottengono i valori:

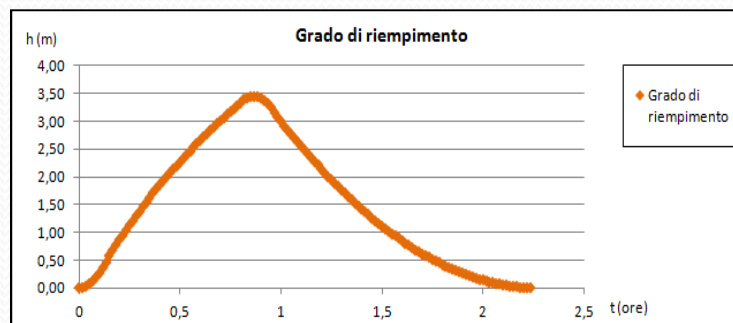


Portata in entrata

Metodo Cinematico.

Portata in uscita

Portata variabile in funzione del carico idrico al tempo t . Si raggiunge il valore massimo di $0.830 \text{ m}^3/\text{s}$.



La vasca di laminazione risulta raggiungere un carico idrico massimo e il tempo totale di funzionamento pari a :

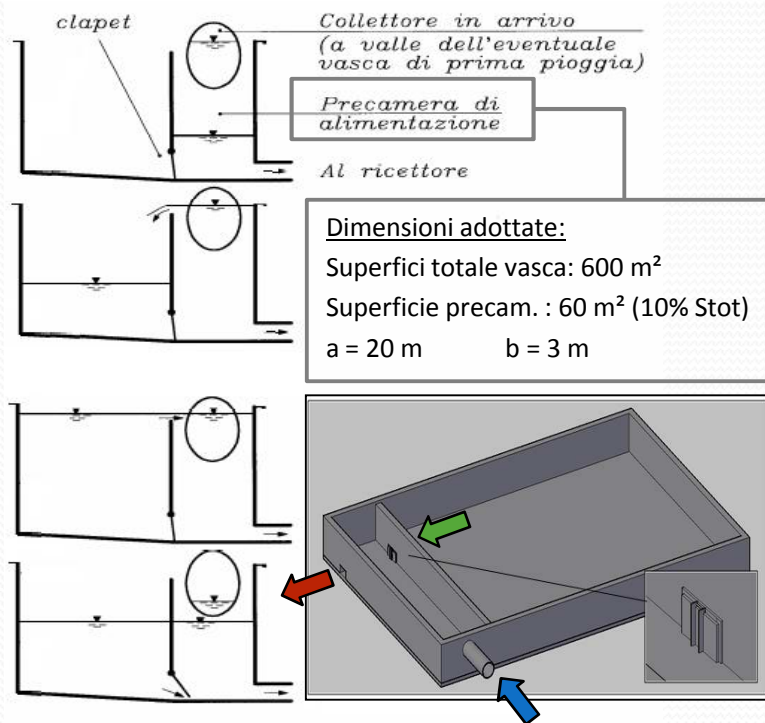
3.45 metri

134 minuti

2. Bocca a battente a luce fissa con precamera in serie (Qu variabile)

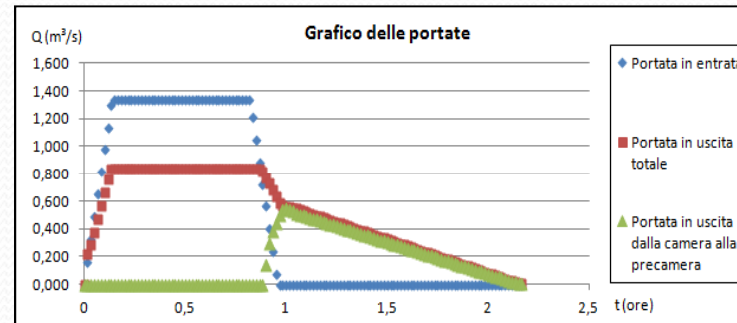
1^ Soluzione progettuale

Mantenere costante il carico idrico $h(t)$ sulla bocca d'efflusso tramite l'introduzione di una precamera d'ingresso in serie:



Risultati

Viene simulato il riempimento e lo svuotamento dell'intera vasca di laminazione per la durata critica di pioggia pari a **49.23 minuti**; il volume invasato in ogni camera, istante per istante ($\Delta t = 1$ minuto) è dato dall'**equazione di continuità**.

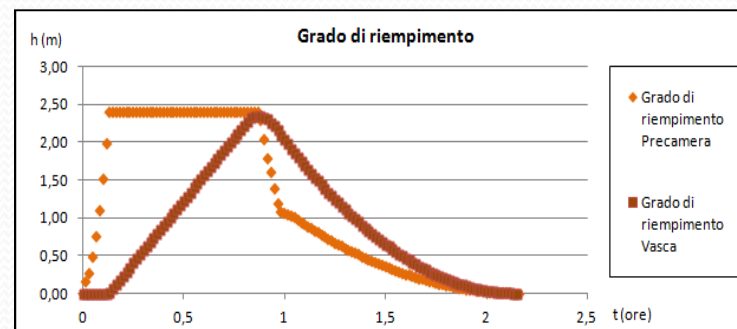


Portata in entrata

Metodo Cinematico.

Portata in uscita

Si avvicina al caso ideale (per $h = \text{cost}$) nell'evento meteorico; si raggiunge la portata massima di 0.838 m³/s.



La vasca di laminazione risulta raggiungere un carico idrico massimo e il tempo totale di funzionamento pari a:

Precamera
2.40 metri

Camera
2.35 metri

130 minuti

3. Bocca a battente a luce variabile con galleggiante (Qu variabile)

2^a Soluzione progettuale

Mantenere costante il prodotto tra carico idrico $h(t)$ sulla bocca d'efflusso e l'area effluente, data da una luce di lunghezza variabile, tramite la chiusura di una paratia tramite meccanismo a galleggiante

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$$

(Per $Q_u \approx Q_u(\max)_{rete} = 0.845 \text{ m}^3/\text{s}$)

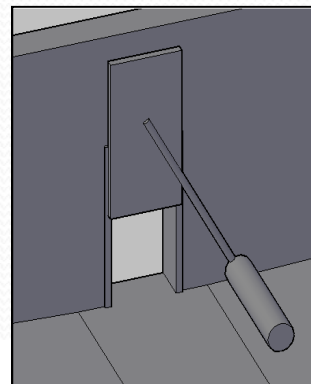
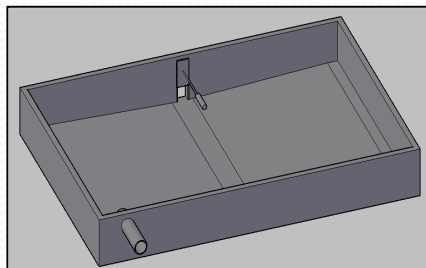
Diminuisce Aumenta

$$A = \mu \cdot \frac{Q_u}{\sqrt{2gh}}$$

$$A = a \text{ (variabile)} \cdot b \text{ (fissa)}$$

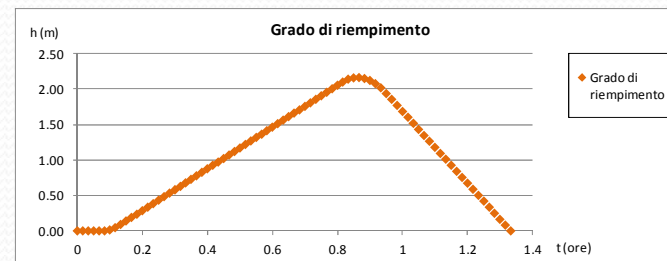
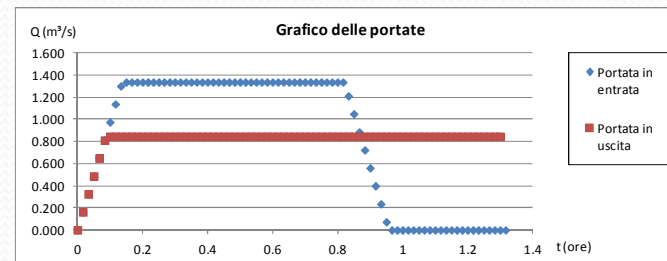
$$= 1.70 \cdot 0.55 = 0.935 \text{ m}^2$$

$$\mu = 0.611 \text{ (}\delta \text{ parete} = 90^\circ\text{)}$$



Ipotesi di lavoro

Il comportamento dalla vasca, in termini di portata in uscita e di grado di riempimento, è rapportato al caso di portata in uscita costante (si riprende quindi quanto detto in precedenza).



Portata in entrata

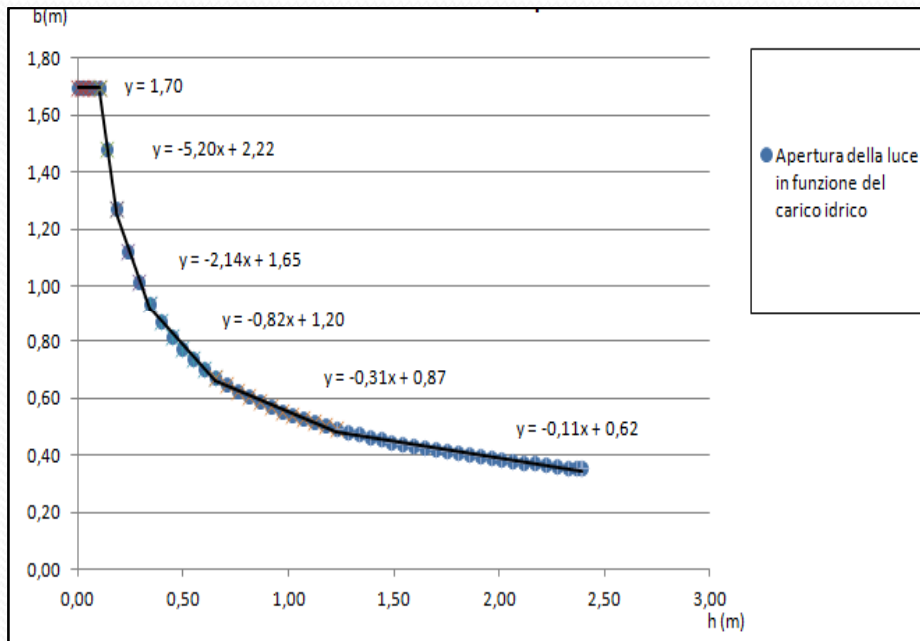
Metodo Cinematico

Portata in uscita

Il grafico presenta valori di portata costanti durante l'evento meteorico, rendendo massimo l'effetto di laminazione della piena.

4.3.3 Bocca a battente a luce variabile con galleggiante (Qu variabile)

Modello matematico di controllo della luce variabile b(t) (per luce libera di 1.70 m) Fase di riempimento



La vasca di laminazione risulta raggiungere un carico idrico massimo e il tempo di funzionamento totale pari a:

2.28 metri

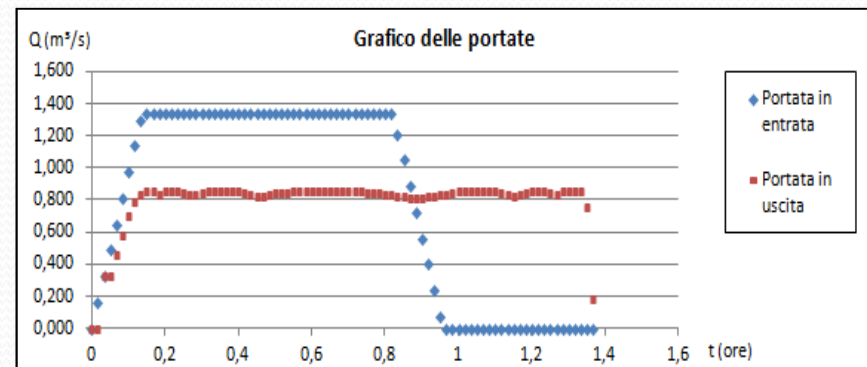
82 minuti

– Da un grafico funzione puntuale si è cercato di linearizzare la linea di tendenza mantenendo i minimi scostamenti tra valori individuati per comportamento ideale e valori ricavati.

– La linea di tendenza che presenta gli scostamenti minimi è una spezzata, suddivisa in 6 tratti, rappresentabili ognuno dall'equazione di una retta nel piano hb . Si ricalcolano i nuovi valori di b e delle rispettive portate:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$$

– Realizzazione di un secondo modello matematico in ambiente Excel : la portata in uscita viene ricalcolata utilizzando i valori della luce di apertura ricavati tramite la precedente linearizzazione.



Conclusioni

- E' stato realizzato un modello matematico in ambiente Excel per la modellazione di una vasca di laminazione in un problema di progetto.
- Sono stati valutate diverse soluzioni di progetto dell'opera in base a differenti ipotesi di lavoro, basate su vari dispositivi di efflusso, al fine di ottenere il massimo effetto di laminazione della piena, e quindi la migliore soluzione progettuali in termini di costi-benefici.
- Le soluzioni progettuali proposte sono state 3:
 - Vasca di laminazione avente bocca a battente con luce fissa;
 - Vasca di laminazione avente bocca a battente con luce fissa e precamera d'ingresso in serie;
 - Vasca di laminazione avente bocca a battente con luce variabile.
- La soluzione migliore risulta viene individuata per l'introduzione di una paratia mobile a chiusura della luce d'efflusso, verificando il funzionamento di chiusura a galleggiante tramite un nuovo modello matematico di calcolo.

Confronto dei risultati ottenuti :

Qu costante (caso ideale)

Tempo di funzionamento	80 minuti
Altezza raggiunta dalla piena	2.16 metri

Qu variabile (caso reale) con battente a luce fissa

Tempo di funzionamento	133 minuti
Altezza raggiunta dalla piena	3.45 metri

Qu variabile (caso reale) con battente a luce fissa/precamera

Tempo di funzionamento	130 minuti
Altezza raggiunta dalla piena	2.40 metri (precam) 2.35 metri (camera)

Qu variabile (caso reale) con battente a luce variabile

Tempo di funzionamento	82 minuti
Altezza raggiunta dalla piena	2.25 metri