

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI
DI NAPOLI "FEDERICO II"**

FACOLTA' DI INGEGNERIA



**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E
IL TERRITORIO**

**TESI DI LAUREA IN
PROGETTAZIONE DELLE OPERE IDRAULICHE**

**"Modellazione numerica e verifica sperimentale del
funzionamento di casse di espansione in derivazione"**

Relatori:

Ch.mo Prof. Ing. M. Giugni

Ch.mo Prof. Ing. F. De Paola

Candidato:

Valentina Ranucci
matr. 324/130

Anno Accademico 2009/2010

Il presente elaborato tratta delle casse di espansione in derivazione che utilizzano, come volume di invaso, zone adiacenti al corso d'acqua sottraendo volumi di piena all'idrogramma in arrivo tramite dispositivi di derivazione come, ad esempio, soglie sfioranti.

In particolare, è stata condotta un'indagine sperimentale utilizzando un modello fisico ubicato nell'area esterna del Laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale della Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Si illustra, nel seguito, lo schema di funzionamento idraulico dell'installazione sperimentale (Fig. 1).

Tramite tre elettropompe in parallelo, viene sollevata la portata occorrente dalle vasche di accumulo fino ad una vasca di carico del Laboratorio, dotata di una soglia di sfioro, posta a 5 metri di altezza dal piano campagna, che determina un carico fisso garantendo, in tal modo, una portata costante nel tempo. La portata viene, successivamente, indirizzata in pressione al modello, mediante una condotta DN 200.

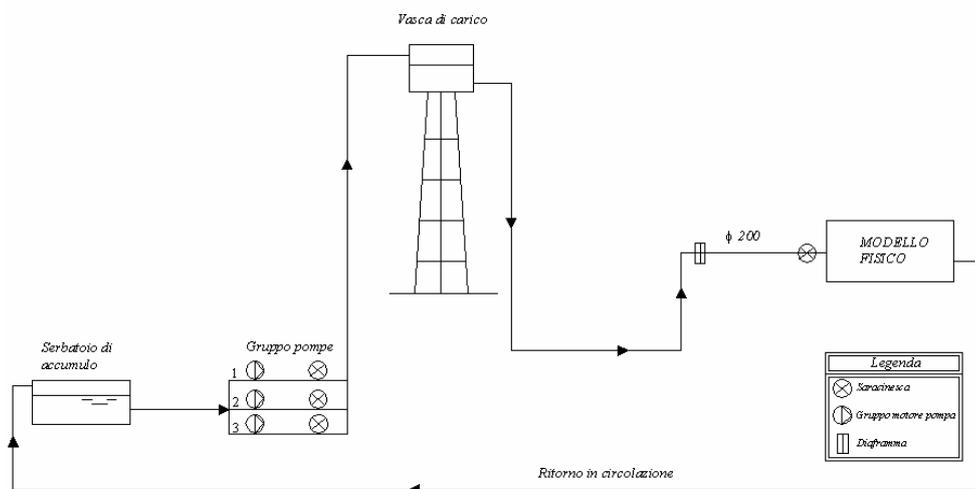


Fig.1: Schema di funzionamento idraulico dell'installazione sperimentale in Laboratorio

Il modello fisico (Fig. 2) si compone di una vasca di carico munita di setti di calma utili a garantire condizioni indisturbate nella vasca e pelo libero orizzontale. In fregio a tale vasca è realizzata una luce a stramazzo che consente l'immissione della portata nel canale strumentato, a lato del quale si sviluppa la cassa di espansione. Il canale, lungo 35,6 m e caratterizzato da una pendenza dello 0,5 % circa, presenta una sezione rettangolare 0,45 m x 0,55 m. All'estremità di valle è stata realizzata, mediante una paratoia fissa, una luce a battente alta 0,03 m e larga 0,45 m, oltre la quale la corrente percorre il tratto finale del

canale prima di giungere ad una vasca di scarico e, da lì, ad un pozzetto di scarico attraverso il quale l'acqua viene restituita alle vasche di accumulo, consentendo, in tal modo, il ricircolo della portata.

E' stata inserita, inoltre, a 0,6 m a monte della paratoia di valle, una soglia sfiorante in legno di altezza 0,38 m e di lunghezza variabile nel corso delle prove, che alimenta la cassa di espansione, munita di scarico di fondo, utile per lo svuotamento della vasca al termine della prova, collegato con il tratto finale del canale a valle della paratoia.

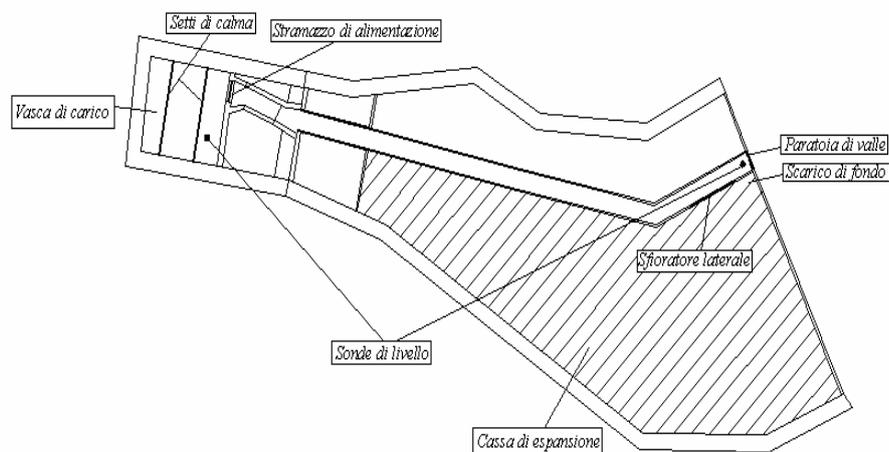


Fig.2 : Planimetria dell'installazione sperimentale

La prova ha inizio dopo aver immesso un assegnato valore della portata nel canale e dopo aver raggiunto condizioni di deflusso stazionarie, per cui il battente sulla paratoia di valle può essere considerato costante. A questo punto viene simulato l'arrivo di un'onda di piena, imponendo un aumento della portata tramite manovra della valvola di regolazione.

La presenza della paratoia fissa a valle dà luogo ad un rigurgito della portata verso monte. Quando il livello idrico nel canale supera l'altezza della soglia sfiorante, ha inizio il fenomeno d'invaso della cassa.

In base alla diversa durata scelta per le prove, si possono distinguere due diversi funzionamenti della soglia sfiorante: rigurgitato e non.

Nelle prove con funzionamento rigurgitato si succedono due fasi: una in cui il canale alimenta la cassa e una successiva in cui è la cassa ad alimentare il canale.

Nelle prove con funzionamento non rigurgitato, invece, è solo il canale ad alimentare la cassa.

L'obiettivo delle prove è di rilevare l'idrogramma in ingresso al canale e quello in uscita a

valle della cassa.

Sono state, pertanto, collocate due sonde capacitive di livello (Fig. 2), posizionate una nella vasca di carico di monte e l'altra subito a monte della paratoia di valle, che consentono di registrare l'andamento dei tiranti idrici nel tempo.

Per procedere alla stima delle portate si ricorre alle formule della foronomia. In maggior dettaglio, può calcolarsi la portata in ingresso al modello $Q_{in}(t)$ tramite la relazione:

$$Q_{in}(t) = \mu_0 \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot \delta_o(t)^{3/2}$$

dove μ_0 è il coefficiente di efflusso sullo stramazzo (=0,456), tarato sperimentalmente;

L è la lunghezza della soglia di sfioro, pari a 49 cm;

$\delta_o(t)$ è il carico idraulico sulla soglia di sfioro all'istante t.

Per la valutazione dell'idrogramma in uscita, si valuta l'andamento della portata $Q_{out}(t)$ mediante la seguente formula:

$$Q_{out}(t) = \mu_p \cdot B \cdot d \cdot \sqrt{2g \cdot \left(h(t) - \frac{d}{2} \right)}$$

dove μ_p è il coefficiente d'efflusso della paratoia (=0,635);

B e d sono, rispettivamente, la larghezza e l'altezza della luce d'efflusso (pari a 45 cm e 3 cm);

h(t) è il tirante a monte della paratoia all'istante t.

Ciascuna prova sperimentale è stata rappresentata in due grafici in modo da sintetizzare i risultati ottenuti: nel primo si sono riportati l'idrogramma in ingresso e quello in uscita; nel secondo l'andamento dei tiranti idrici nel tempo, a monte della paratoia.

Analizziamo, nel particolare, i grafici di una prova di tipo rigurgitato, con riferimento alla lunghezza della soglia sfiorante di 1 m (Fig. 3 e 4).

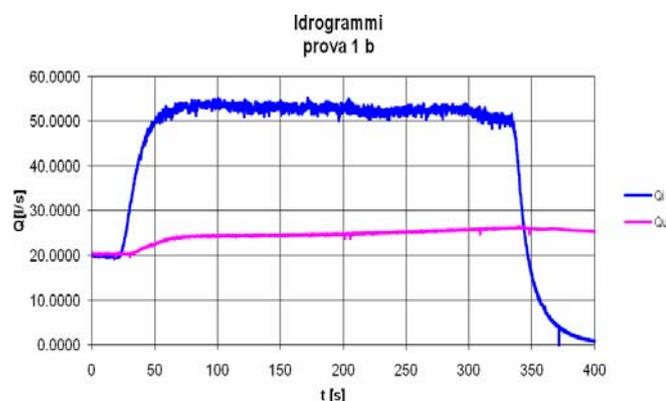


Fig.3 : Idrogrammi in ingresso ed in uscita (caso funzionamento rigurgitato), con riferimento alla soglia sfiorante di 1m

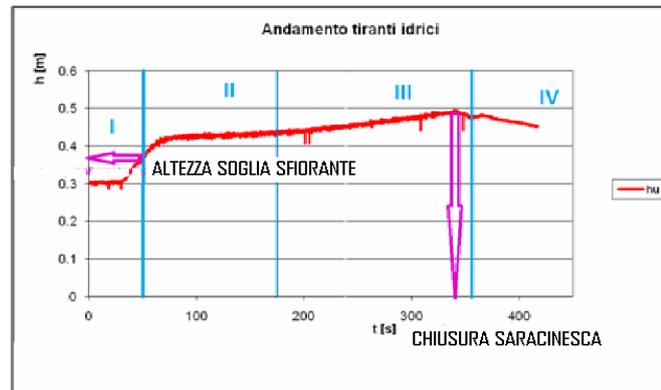


Fig.4 : Andamento del tirante idrico (funzionamento rigurgitato), con riferimento alla soglia sfiorante di 1m

Per ciascuna prova sono stati rilevati e tabellati i seguenti valori caratteristici:

- durata della piena (**d**);
- portata iniziale in ingresso (**Q_o**);
- portata massima in ingresso (**Q_{in max}**);
- portata massima in uscita (**Q_{out max}**);
- tirante iniziale in uscita (**h_o**);
- tirante massimo in uscita (**h_{max}**);
- volume idrico invasato nella cassa (**w_{cassa}** - porzione di area tra l'idrogramma in ingresso e quello in uscita, compresa tra i due punti d'intersezione delle curve);
- volume di piena (**w_{piena}** - porzione di grafico sottesa alla curva della portata in ingresso, valutata, anch'essa, tra i due punti d'intersezione delle curve).

E' stato possibile, poi, sulla scorta dei dati rilevati, calcolare le due seguenti grandezze:

- grado di laminazione (**η**), cioè il rapporto tra la massima portata in uscita e quella in ingresso: $\eta = Q_{out\ max} / Q_{in\ max}$;

- volume invasato adimensionale (**w**), inteso come il rapporto tra il volume idrico invasato nella cassa e quello di piena: $w = w_{cassa} / w_{piena}$.

I risultati sperimentali ottenuti nell'ambito della tesi per casse in derivazione sono stati confrontati con i risultati di precedenti campagne sperimentali effettuate su casse di espansione in linea, mettendo a confronto i valori del grado di laminazione η e del volume invasato w per quattro diverse configurazioni:

1. Cassa in linea di area 29.12 m^2 e lunghezza del canale di 11.2 m ;
2. Cassa in linea di area 69.30 m^2 e lunghezza del canale di 15.96 m ;
3. Cassa in derivazione area di 54 m^2 , lunghezza del canale di 15.96 m e caratterizzata da deflusso non rigurgitato della soglia di sfioro;
4. Cassa in derivazione area di 54 m^2 , lunghezza del canale di 15.96 m e caratterizzata da deflusso non rigurgitato della soglia di sfioro;

In Fig. 5 è evidente che la cassa di espansione in derivazione presenta una migliore efficienza (invasa un volume idrico maggiore e restituisce a valle una portata minore).

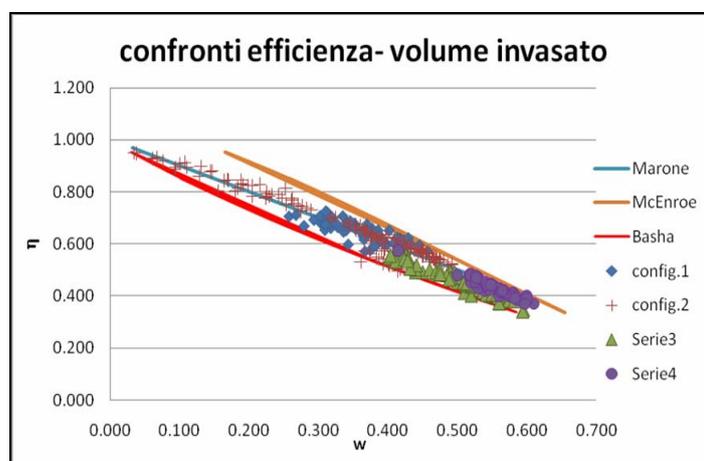


Fig.5: Confronto tra i valori di efficienza e volume invasato nelle casse in linea ed in derivazione

Inoltre i dati sperimentali sono stati confrontati con i risultati forniti da un modello numerico semplificato, basato sull'equazione di continuità del canale, rilevando scostamenti massimi dell'ordine del 10% per le prove non rigurgitate e del 20-25% per quelle rigurgitate (Fig. 6).

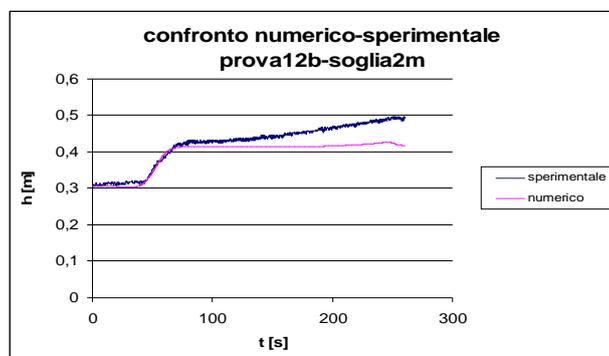


Fig.6: Confronto risultati sperimentali-modello numerico semplificato per una prova rigurgitata con lunghezza della soglia sfiorante di 2 m

Il modello di calcolo è stato successivamente affinato: in particolare nella fase III (Fig. 4), in presenza di flusso sommerso, si è tenuto conto della riduzione della portata sfiorata (Q_{sf}), rispetto alla portata ad efflusso libero (free flow, $Q_{11(f)}$), mediante l'introduzione di un fattore di riduzione (Ψ), compreso tra 0 e 1:

$$Q_{sf} = \Psi Q_{11(f)}$$

desunto in base al lavoro sperimentale di Fritz e Hager (1998) ed all'analisi dei dati forniti dall'installazione. Il modello modificato consente una riduzione degli scostamenti al 5% per le prove non rigurgitate ed al 10% per quelle rigurgitate (Fig. 7). In particolare, il modello semplificato tende a sovrastimare l'effetto di laminazione della cassa: ciò comporta da un lato un dimensionamento più conservativo della cassa, atteso il maggiore volume sfiorato, ma dall'altro uno svantaggio in termini di sicurezza nella salvaguardia di eventuali fenomeni di esondazione dei territori circostanti, dal momento che vengono valutati portate e tiranti inferiori a quelli effettivi.

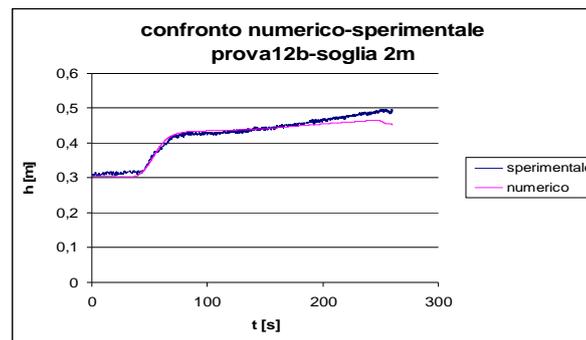


Fig.7: Confronto risultati sperimentali- modello numerico perfezionato per una prova rigurgitata con lunghezza soglia sfiorante di 2m.