UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI

"FEDERICO II"

Facoltà di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale G. Ippolito

Tesi di laurea in Idraulica:

"Crollo istantaneo di una diga di ritenuta"

Relatore:
Ch. mo Prof. Ing. Massimo Greco

Candidato:
Forcelli Nicola
518/449

Anno accademico 2009/2010

1. Cenni storici

Gli antichi sbarramenti dei corsi idrici facevano parte di complessi sistemi di irrigazione che trasformavano regioni altrimenti improduttive in fertili pianure. Con lo sviluppo dell'elettricità, lo scopo di sbarrare i corsi d'acqua non fu solo quello di controllare le piene o creare bacini per l'irrigazione, ma la produzione di elettricità grazie alla forza idraulica, resa possibile dallo sviluppo del generatore elettrico, attraverso il quale si rese possibile trasformare l'energia potenziale e cinetica dell'acqua in energia meccanica per mezzo di turbine azionanti motori elettrici.

Questo non implica che non esistono rischi o conseguenze pericolose e disastrose in seguito alla realizzazione delle dighe. Lo sviluppo di nuove tecniche e di nuovi materiali non azzera i rischi di possibili crolli di dighe in seguito a fenomeni straordinari come possono essere i sismi o le frane, che possono provocare onde di piena che minano la resistenza e la stabilità delle strutture.

Prima di affrontare a pieno l'oggetto dell'elaborato, si ritiene opportuno accennare a qualche aspetto fondamentale dell'idraulica a pelo libero:

- Moto Uniforme
- Moto Permanente
- Moto Vario

2. Cenni teorici di idraulica

I parametri idrodinamici quali: ***Portata idrica*** **(*Q*)**, ***Altezza idrica*** **(*h*)**, ***Velocità media di portata*** **(*v*)**, sono valutati all'interno della stessa sezione idrica di cui sono rappresentative, variando solo di sezione in sezione.

Partendo dal Moto Uniforme e dalle formule che lo caratterizzano:

- Gauckler & Strickler $\rightarrow J = \frac{Q^2}{k_{ST}^2 \sigma^2 R^{\frac{4}{3}}}$;
- Chezy $\rightarrow J = \frac{Q^2}{k_{Ch}^2 \sigma^2}$.

siamo in grado di valutare i nostri parametri. Passando al Moto Permanente, vediamo come queste equazioni sono ritenute valide allo stesso modo, anche se le grandezze idrodinamiche variano solo nello spazio. Ricaviamo poi da qui i valori delle altezze idriche e ne identifichiamo la condizione di *stato critico* h_c, che ci permette di descrivere se una corrente è lenta o veloce.

Arriviamo quindi a descrivere l'equazione fondamentale delle correnti a pelo libero gradualmente variate defluenti in Moto Permanente in alvei di piccola pendenza, che ci permette di tracciare un profilo di corrente:

$$\frac{dH}{ds} = i - J$$

L'equazione differenziale nell'incognita *h* [variabile dipendente] rispetto alla variabile indipendente *s*, non è risolvibile analiticamente, ma è possibile discuterne il comportamento attraverso differenze finite, che ci danno valori approssimati bene quanto vogliamo. Essendo comunque un'equazione differenziale, per risolverla occorre imporre una condizione al contorno, più precisamente si deve assegnare un valore di *h* in una data sezione.

Con le dovute sostituzioni giungiamo all'equazione differenziale del profilo di corrente, che descrive l'andamento del pelo libero e come varia il tirante idrico *h* in funzione di *s*, misurato a partire dal fondo alveo e non rispetto all'orizzontale.

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - J}{1 - \frac{Q^2 B}{g\sigma^3}}$$

Passiamo poi ad introdurre il valore del numero di *FROUDE* che rappresenta il rapporto tra la velocità media della corrente e la velocità di stato critico corrispondente all'altezza di stato critico:

$$\frac{Q^2 B}{g\sigma^3} = \frac{v^2}{g h_m} = Fr^2$$

Quando $\boldsymbol{Fr^2 = 1}$ implica che siamo in corrispondenza dello stato critico h_c.

Passiamo ora ad introdurre il Moto Vario per le correnti a pelo libero, discutendo delle leggi del *"De Saint-Venant"* e del metodo di *"Ritter"* per lo studio della propagazione dell'onda di piena in seguito al fenomeno del ***"DAM-BREAK"***. L'altezza e la velocità dell'onda di piena che si sviluppa in seguito al crollo istantaneo di una diga di ritenuta, non possono più essere valutate attraverso le formule che regolano il Moto Permanente viste in precedenza, dato che queste grandezze variano sia nel tempo che nello spazio. Per ovviare a questa difficoltà, si ricorre alla teoria del Moto Vario in cui si confermano le ipotesi di moto di

corrente gradualmente variato, distribuzione idrostatica delle pressioni, alveo cilindrico di piccola pendenza e quota piezometrica costante nella sezione trasversale. Il problema fondamentale è ricavare le equazioni valide per il Moto Vario tenendo presente che adesso avremo bisogno di due equazioni differenziali data la dipendenza sia dal tempo *(t)* che dallo spazio *(x)*.
Si fa riferimento ad un'equazione che regola il moto ed ad un'altra di continuità.
Si esplicitano quindi le due equazioni del De Saint-Venant:

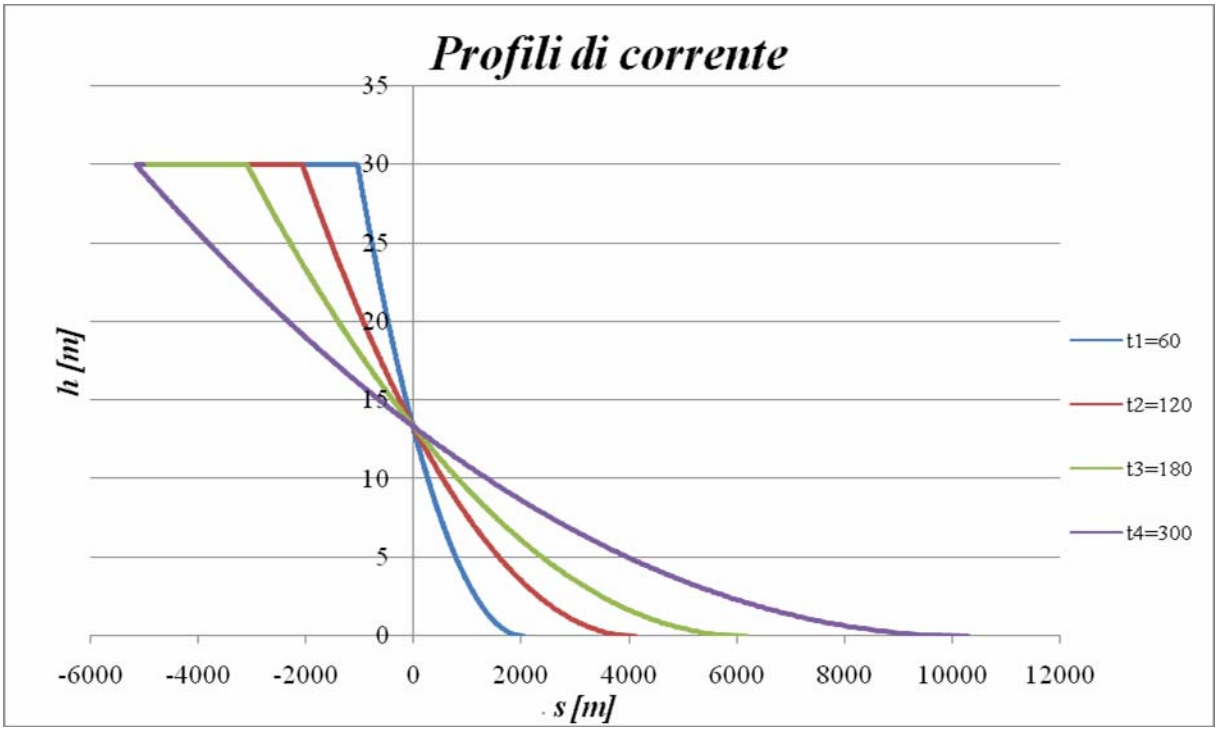
$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0$$

$$\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}\left(h + \frac{v^2}{2g}\right) = i - J$$

Non esiste una soluzione analitica completa delle equazioni del *De Saint-Venant*, eccezion fatta per casi particolari, come appunto il ***Dam-Break***, che ne permettono la risoluzione in forma numerica. Per far ciò è utile far riferimento al concetto di *celerità di propagazione C*; di un assegnato valore di una grandezza della corrente [che può essere per esempio di un'altezza idrica *h*, di un'area idrica ó, di una velocità *v* o di una portata *Q*]. Si vuole rendere ordinarie le equazioni differenziali parziali.

3. Caso applicativo del crollo istantaneo di una diga di ritenuta

Facciamo riferimento ad un'altezza dell'invaso a monte della diga posta pari a 30 m, avente una larghezza di valore unitario ed ipotizziamo una lunghezza del tratto da analizzare di 15000 m, con la diga posta a 5000 m dall'inizio del canale. Studiamo quindi il fenomeno del crollo istantaneo della diga, nell'ipotesi di assenza d'acqua a valle, facendo riferimento alla soluzione semplificata di *Ritter*, prendendo perciò in considerazione i casi in cui le variazioni di altezze idriche *h* siano accentuate, ammettendo l'ipotesi di alveo orizzontale [$i = 0$], *J* sia trascurabile e che il canale sia di sezione rettangolare. Tracceremo il profilo idrico, l'andamento delle portate *Q*, delle velocità *v*, del numero di Froude *Fr* e dell'Energia specifica *H* lungo il canale dopo determinati intervalli di tempo *t* pari a 60, 120, 180 e 300 secondi dall'inizio del fenomeno. Attribuendo dei valori di tentativo compresi tra 0 m e 30 m al tirante idrico *h*, dove 30 m rappresenta il valore dell'altezza iniziale dell'acqua alle spalle della diga, si determina un profilo di corrente, per gli intervalli di tempo assegnati.



Risulta evidente come tutti i profili idrici di corrente passano per uno stesso punto notevole $\frac{4}{9}h_0$ dal fondo del canale in corrispondenza della sezione ove si trovava la diga, che nel nostro caso specifico assume un valore pari a 13.333 m, per il quale risulta che la celerità C_h è nulla.

Questo punto notevole corrisponde allora all'altezza idrica di stato critico h_c, che equivale alla condizione $Fr = 1$.

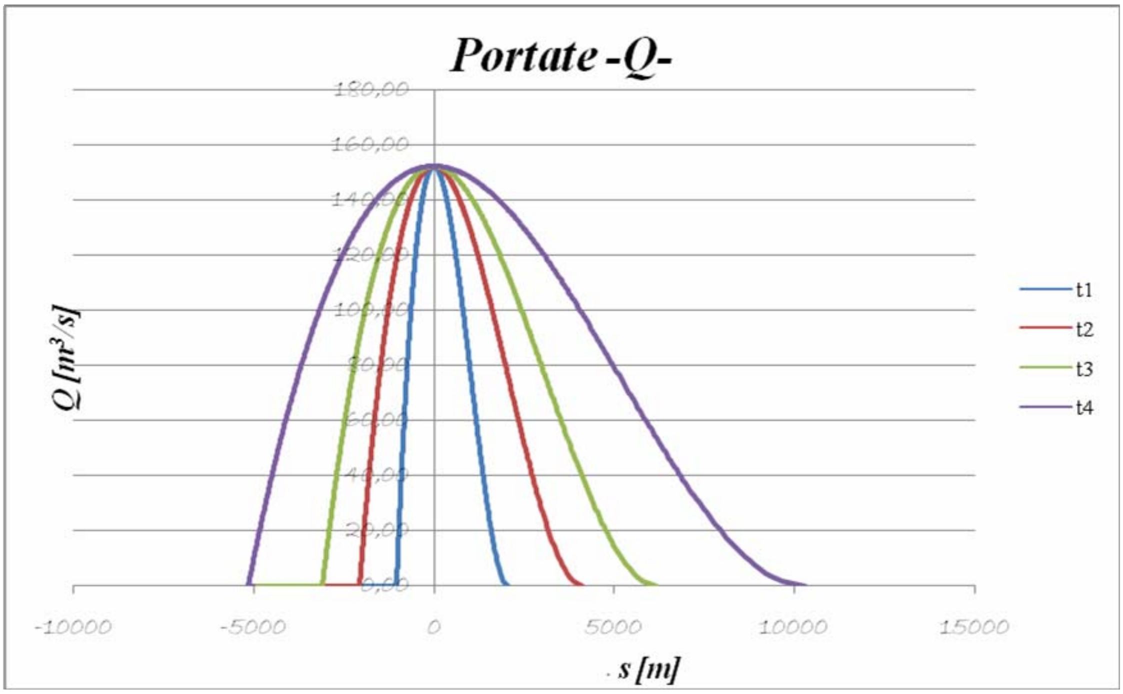
- A monte della diga si hanno correnti lente, con $Fr < 1$
- A valle della diga si hanno correnti veloci con $Fr > 1$

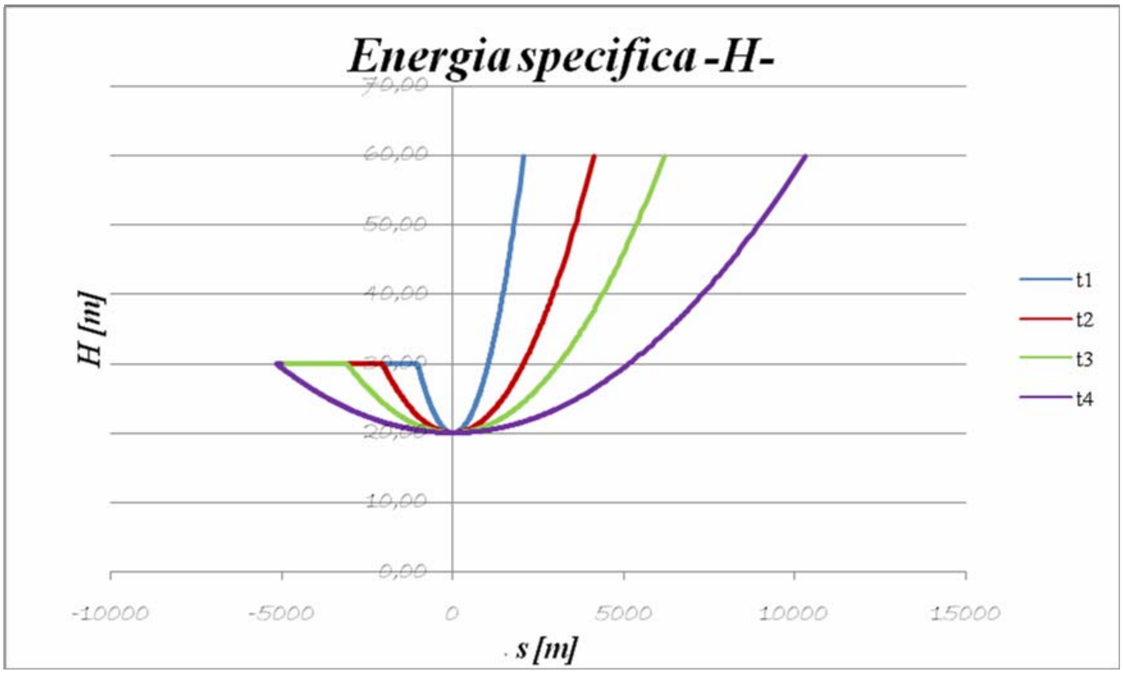
In corrispondenza della sezione dove c'era la diga, avremo un valore di portata massimo Q_{max}, che nel nostro caso specifico sarà $Q_{max} = 152{,}46\ m^3/s$.

Analogamente a quanto fatto per le portate, applichiamo lo stesso ragionamento sull'energia specifica H, che in corrispondenza della sezione della diga, in cui $h = \frac{4}{9}h_0$, assume un valore minimo $\rightarrow H_{min}$.

$$H_{min} = \frac{2}{3}h_0$$

che nel nostro caso specifico risulta essere $H_{min} = 20\ m$.



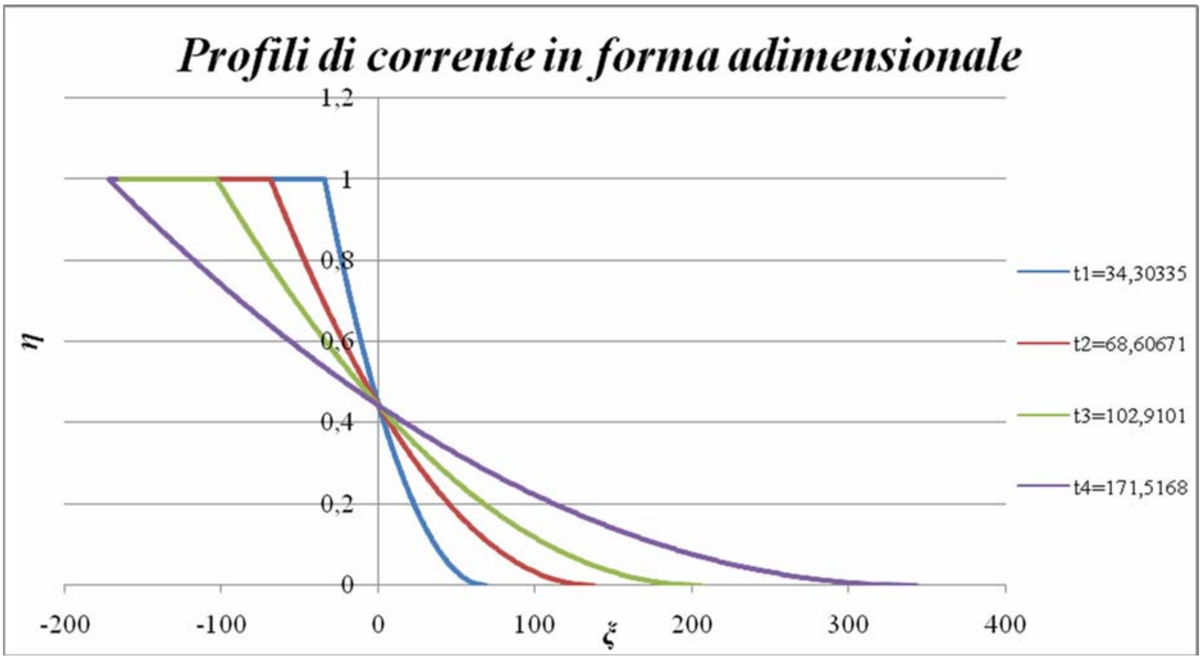


Abbiamo visto, in definitiva, un’applicazione del metodo di Ritter per risolvere le equazioni del Moto Vario, più precisamente le equazioni differenziali del De Saint-Venant, per un caso particolare come il crollo improvviso di una diga di ritenuta. Questa risoluzione in termini analitici del problema del Moto Vario, può anche essere sviluppata attraverso valori adimensionali delle altezze idriche, dello spazio e del tempo, rapportando tutto al valore di h_0.

Esprimiamo allora h, s e t in forma adimensionale:

- $h \rightarrow \frac{h}{h_0}$ che chiameremo ç
- $x \rightarrow \frac{x}{h_0}$ che chiameremo î
- $t \rightarrow t\sqrt{\frac{g}{h_0}}$ che chiameremo ô

Fatte le dovute sostituzioni, così come svolto in precedenza, andiamo a rappresentare graficamente i risultati ottenuti in forma adimensionale delle altezze idriche *ç* rispetto allo spazio *î* in funzione dei vari istanti ti tempo *ô*.



Si vede come in questo grafico, al pari di quello fatto in forma non adimensionale, gli andamenti dei profili idrici siano uguali, e che tutti passano, in corrispondenza della sezione della diga, per uno stesso punto notevole. Questo punto notevole risulta essere pari ad un valore di $\frac{4}{9}$, proprio come il valore notevole di stato critico visto in precedenza.

Con ciò possiamo chiudere il nostro discorso sottolineando come le equazioni differenziali del De Saint-Venant che descrivono il Moto Vario, studiate in un caso particolare come quello da noi affrontato, e cioè del crollo istantaneo di una diga di ritenuta, sono risolvibili attraverso il metodo di Ritter sia analiticamente che in forma adimensionale, ed in entrambi i casi si ottengono gli stessi risultati come visto nel caso dei profili idrici di corrente.