

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



**FACOLTA' DI INGEGNERIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA E AMBIENTALE  
"GIROLAMO IPPOLITO"**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED  
IL TERRITORIO INDIRIZZO DIFESA DEL SUOLO**

**ANALISI DELLA IMMAGINI PER ELABORAZIONIDI RISULTATI  
SPERIMENTALI DI DAM-BREAK GRANULARE**

**Relatori**

**Ch.mo Prof. Ing.  
MASSIMO GRECO**

**Candidato**

**STEFANIA VICCIONE  
Matr. M67/26**

**ANNO ACCADEMICO 2013-2014**

Lo scopo della tesi è quello di determinare una procedura di analisi delle immagini relative a fenomeni di *dam-break* (crollo improvviso sbarramento) e alle dinamiche di trasporto solido conseguenti. Lo studio dei fenomeni di *dam-break* risulta di notevole interesse pratico in quanto permette di stabilire l'andamento dell'onda idrodinamica formatasi con crollo e quindi ottenere in termini qualitativi e quantitativi l'entità dei materiali movimentati, le distanze percorse dagli stessi, le velocità ed i tempi che caratterizzano il processo in esame.

Le immagini analizzate sono state ottenute attraverso prove sperimentali condotte presso il Laboratorio di Ingegneria delle Acque (LIA) dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale. Attraverso attrezzature digitali è stato possibile ricavare un elevato numero di immagini in formato digitale che forniscono l'andamento cronologico e spaziale del *dam-break*. Gli ultimi progressi ottenuti nel campo delle immagini digitali hanno permesso il loro utilizzo per la misura di spostamenti e velocità in campi sperimentali sempre più ampi.

La valutazione di queste grandezze riveste una notevole importanza sia sul piano scientifico sia per i riflessi negli ambiti della difesa del territorio, infatti riguarda fenomeni come:

- Innesco e propagazione di frane in materiale sciolto (valanghe neve, frane detritiche)
- Crolli di dighe ed arginature
- Erosione, deposizione e migrazione di elementi in materiale granulare
- Rischio legato al trasporto e allo stoccaggio di materiale sciolto in ambito industriale

Analizzando quindi le immagini sperimentali a disposizione si potrà effettuare un confronto dei dati ottenuti da queste con quelli ricavati dai modelli numerici di riferimento, potendo quindi ad esempio verificare la validità di nuovi modelli teorici sviluppati per descrivere il particolare processo studiato, piuttosto che analizzare un elevato numero di scatti ottenuti da una prova in tempi rapidi e secondo una procedura il più possibile standardizzata e ripetibile.

L'evoluzione geomorfologica dei transitori rapidi è stata recentemente rappresentata matematicamente secondo due differenti approcci, il primo sviluppato dall'Université Catholique de Louvain de Bruxelles ed il secondo elaborato in Italia dalle Università Federico II e Università di Cassino e Lazio Meridionale.

Nel primo approccio, il *two-layer model*, tali fenomeni vengono rappresentati attraverso una schematizzazione a due strati, uno superiore di sola acqua ed uno inferiore formato da una miscela di acqua e sedimento che evolvono secondo due differenti scale temporali.

Il secondo è invece il *two-phase model*, basato su una formulazione a due fasi della corrente, ovvero una fase liquida ed una solida che scambiano momento e sforzo di taglio con una conseguente differenza di velocità tra le due fasi.

*Greco et Al.(2012)* hanno introdotto un **modello bifase** che permette di analizzare le dinamiche dei fenomeni transitori rapidi tipici dell'evoluzione morfologica fluviale e che risulta ampiamente applicabile alle dinamiche di *dam-break* oggetto di studio di questo elaborato.

I flussi che si sviluppano nell'alveo fluviale sono schematizzati come interazione di due fasi, una fluida ed una di sedimenti che si muovono in una regione sottile prossima al fondo, con una concentrazione in volume  $C$  rappresentativa del movimento medio di particelle, ciò comporta un movimento sincrono di fluido e sedimento sciolto eroso dal fondo mobile. Al movimento simultaneo delle due fasi non necessariamente associata una simultaneità delle scale temporali, infatti si parlerà di processi *lenti* per i quali la morfologia del fondo evolve in tempi molto più lunghi di quelli della corrente e di processi veloci qualora le scale temporali fossero comparabili. Per le differenti sperimentazioni di *dam-break* analizzate varrà la condizione di transitori rapidi.

Il modello matematico rappresentativo della morfologia dei transitori è ottenuto dalle equazioni di *De Sant Venant- Exner* nelle quali l'interazione delle due scale di tempo è stata espressa attraverso l'introduzione di una relazione di chiusura differenziale.

Le ipotesi del metodo sono:

- Canale rettangolare largo (quindi effetti laterali trascurabili) e con piccole pendenze
- Densità delle fasi solida e liquida costante
- Corrente gradualmente variata e quindi distribuzione idrostatica della pressione
- Concentrazione costante nel tempo e nello spazio
- Letto in condizioni sature

Un particolare caso di *dam-break* granulare è rappresentato dal crollo di una diga causato dall'improvviso collasso di un'opera di sbarramento verticale, fenomeno dai chiari esiti disastrosi sul territorio. Il modello sviluppato da *Di Cristo et Al.(2010)*

descrive il comportamento di un **flusso bidimensionale di materiale solido**, ed è stato sviluppato confrontando il modello teorico di previsione con le evidenze dedotte da test sperimentali. I risultati ottenuti dimostrano che il modello è in grado di riprodurre il reale comportamento dei flussi anche di materiale asciutto pur essendo stato sviluppato per fenomeni di trasporto solido in una corrente fluida.

Il problema della modellazione dei fenomeni di *dam-break* con materiale granulare secco è legato all'espressione delle resistenze. In questo modello il comportamento del materiale granulare asciutto è rappresentabile in un regime liquido in cui cioè, i singoli granelli che costituiscono la diga scorrono come un liquido interagendo tramite collisioni ed attrito. L'interazione tra le singole particelle è un fattore che caratterizza la dissipazione di energia del fenomeno e quindi uno dei principali aspetti su cui focalizzare l'attenzione.

In sintesi, la procedura di analisi delle immagini determinata in questo lavoro di tesi, effettuata con l'ausilio del software *Image Pro-Plus* per ogni immagine, può essere così schematizzata:

- 1) Determinazione della corrispondenza specifica tra centimetri e pixel;
- 2) Identificazione degli assi di riferimento della geometria della canaletta e loro graficizzazione;
- 3) Impostazione di un sistema di riferimento congruo per la visualizzazione dei profili che si andranno a costruire;
- 4) Disegno delle features rappresentanti le cinque grandezze rilevate a termine prova;
- 5) Eventuale modifica dell'aspetto dell'immagine per una più facile identificazione del profilo;
- 6) Inserimento di una griglia a maglia regolare per ottenere un passo costante nella realizzazione del profilo;
- 7) Disegno delle features che delineano il profilo;
- 8) Export data in Excel delle coordinate delle features e realizzazione del profilo;

Ad esempio dei risultati ottenibili dalle procedura sperimentale, si riporta l'elaborazione totale realizzata con l'ausilio del software "*Image Pro Plus*" effettuata analizzando le immagini risultanti dalle prove di sabbia asciutta con altezze iniziali  $H_0 = 30\text{cm}$  agli istanti finali e in riferimento al tempo adimensionalizzato  $T=1$  cui

corrisponde un  $t = 0,175$  s . A questa elaborazione è stato associato il relativo profilo ottenuto diagrammando i valori di “Export Data” in un foglio di calcolo “Excel” :

- Per  $H_o=30$ cm

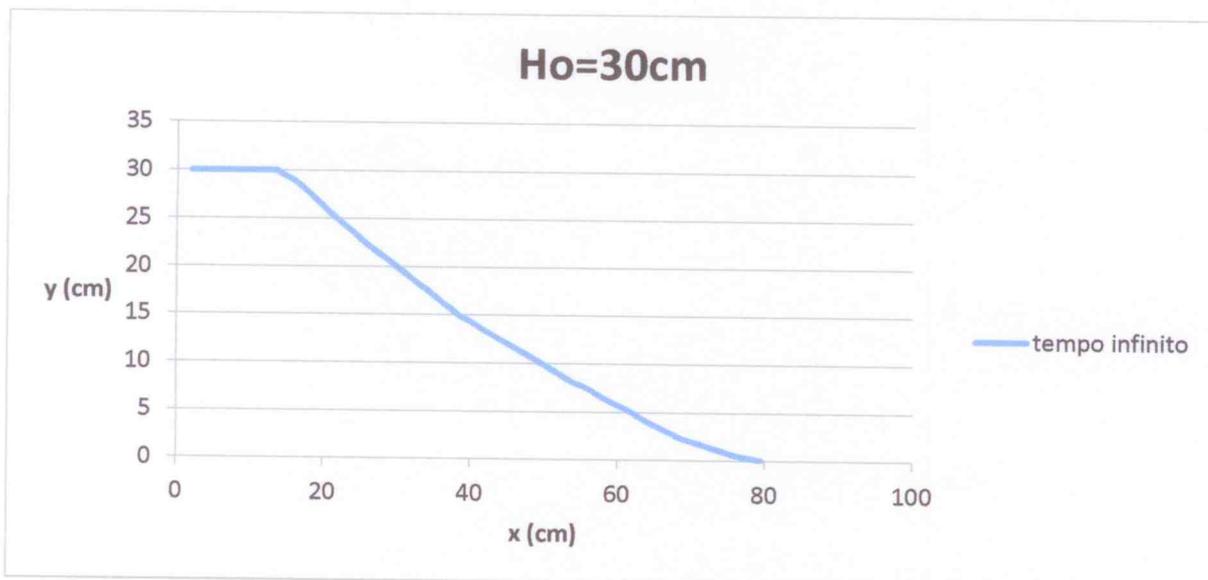


Figura 3.3.1 Profili per l'istante finale

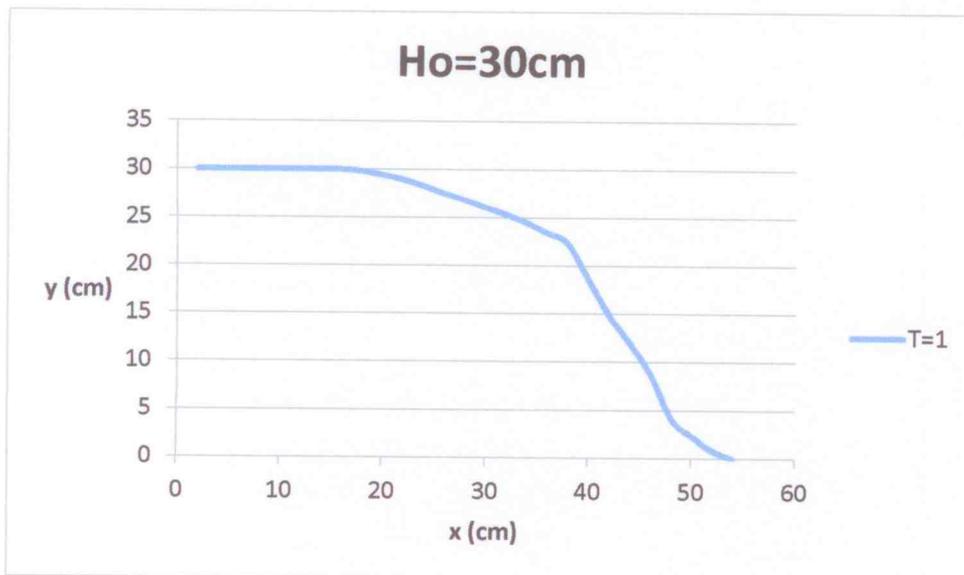
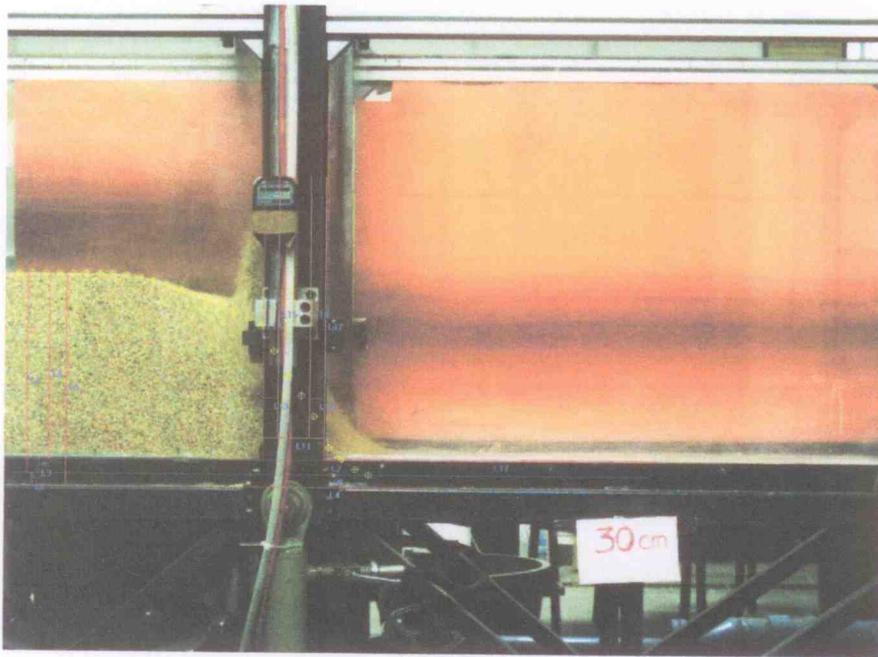


Figura 3.3.2 Profili per T=1

Per quanto riguarda l'andamento dei profili ottenuti dall'analisi delle immagini, è possibile osservare qualitativamente, che come osservabile in laboratorio, il fenomeno del crollo della sabbia si sviluppa secondo due fasi .

La prima in cui la intera massa di sabbia muove procedendo da monte verso valle della canaletta in tempi estremamente rapidi raggiungendo così la posizione finale di

avanzamento del fronte, la rapidità di tale fase richiama l'elevata pericolosità che un tale fenomeno avrebbe sul territorio.

La seconda in cui si hanno fenomeni di movimenti secondari di assestamento dell'onda idrodinamica. Tali assestamenti conferiscono al profilo differenti pendenze procedendo da monte verso valle, ed in particolare si nota una riduzione della stessa nell'ultimo tratto.

Poichè il punto più avanzato del fronte risulta ai fini della sicurezza quello di maggiore interesse permettendo di stimare la distanza percorsa dal materiale movimentato, si riportano in tabella le distanze del punto del profilo più avanzato rispetto all'asse della paratoia:

Ho (cm)	Posizione fronte avanzamento (cm)
30	39,5238
40	49,619
50	64,2263

Tabella 3.4.1 Posizione fronte avanzamento rispetto all'asse della paratoia

Al tempo adimensionalizzato  $T=1$ , (secondo quanto esposto nel paragrafo 3.2) corrispondono per le tre altezze di sabbia considerate i seguenti istanti temporali:

Ho (cm)	Istanti temporali t (sec) per $T=1$
30	0,175,
40	0,202
50	0,226

Tabella 3.4.2 Istanti relativi a  $T=1$

Risulta interessante riportare i profili per le altezze di sabbia considerate relativi al tempo adimensionalizzato  $T=1$ :

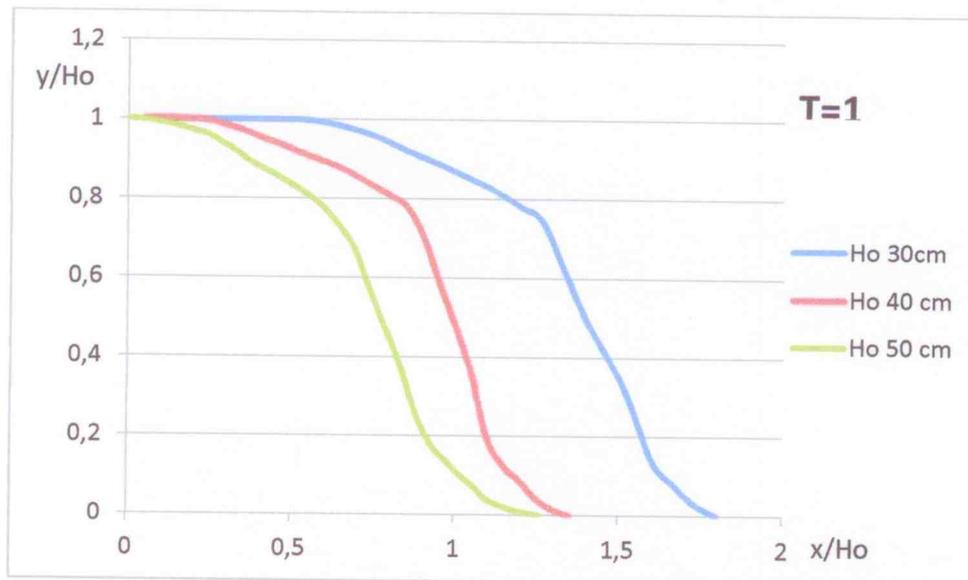


Figura 3.4.1 Confronto profili per  $T=1$

Si nota che per lo stesso valore di tempo adimensionalizzato considerato, alle tre differenti altezze di sabbia corrispondono dei profili fortemente non sovrapponibili. Per un fluido in assenza di resistenze una sola curva dovrebbe rappresentare i risultati delle tre prove, per cui dalla differenza delle curve in Fig. 4.4.1 si deduce che le resistenze sviluppatesi durante il fenomeno di *dam-break* si possano ritenere non trascurabili e anzi predominanti nella evoluzione dinamica del fenomeno sin dai primi istanti, laddove per un fluido newtoniano almeno per i primi istanti le resistenze risultano sempre praticamente ininfluenti.

Per quanto riguarda l'analisi numerica è stato utilizzato il programma di calcolo *FiVFlood* per simulare analiticamente le prove sperimentali in analisi.

Il fine dell'analisi numerica, è quello di ottenere un profilo analitico che sia rappresentativo del fenomeno di *dam-break*, affinché il profilo numerico si possa ritenere significativo, questo verrà confrontato con quello sperimentale tramite una sovrapposizione, ottenendo così una efficace ed espressiva lettura dei risultati.

Nell'analisi numerica occorre calibrare due parametri di input, rispettivamente il coefficiente di Bagnold  $c_5$  e angolo di attrito  $\phi$ . La scelta del valore da assegnare a questi due parametri influenza l'andamento del profilo ottenuto con la simulazione numerica. Infatti il primo influenza la posizione del fronte in avanzamento, mentre dal secondo dipende la pendenza dal profilo.

La calibrazione di questi due dati di input, è stata effettuata con riferimento alla prova di sabbia con altezza iniziale di 30cm e la combinazione migliore di tali valori, è stata poi adottata per tutte le simulazioni effettuate. Ciò risulta giustificato dal fatto che le differenti prove sono avvenute con l'utilizzo del medesimo materiale granulare e quindi risulta corretto utilizzare un valore medio delle caratteristiche per i diversi casi in esame. Si riportano i risultati ottenuti dalla procedura sperimentale di analisi delle immagini e quelli relativi alla simulazione numerica per la prova con altezza di sabbia iniziale  $H_0 = 30$ , per l'istante temporale  $t_{\infty}$  relativo al fronte che ha raggiunto la configurazione definitiva, e quello  $t = 0,175s$  corrispondente al tempo adimensionalizzato  $T=1$ .

Le considerazioni riguardanti i profili sono lette dai grafici seguenti che vedono una sovrapposizione dei profili sperimentali e da simulazione per una più efficace ed espressiva lettura:

- **Profili per altezza di sabbia iniziale  $H_0 = 30$  cm all'istante finale  $t = 2$  sec:**

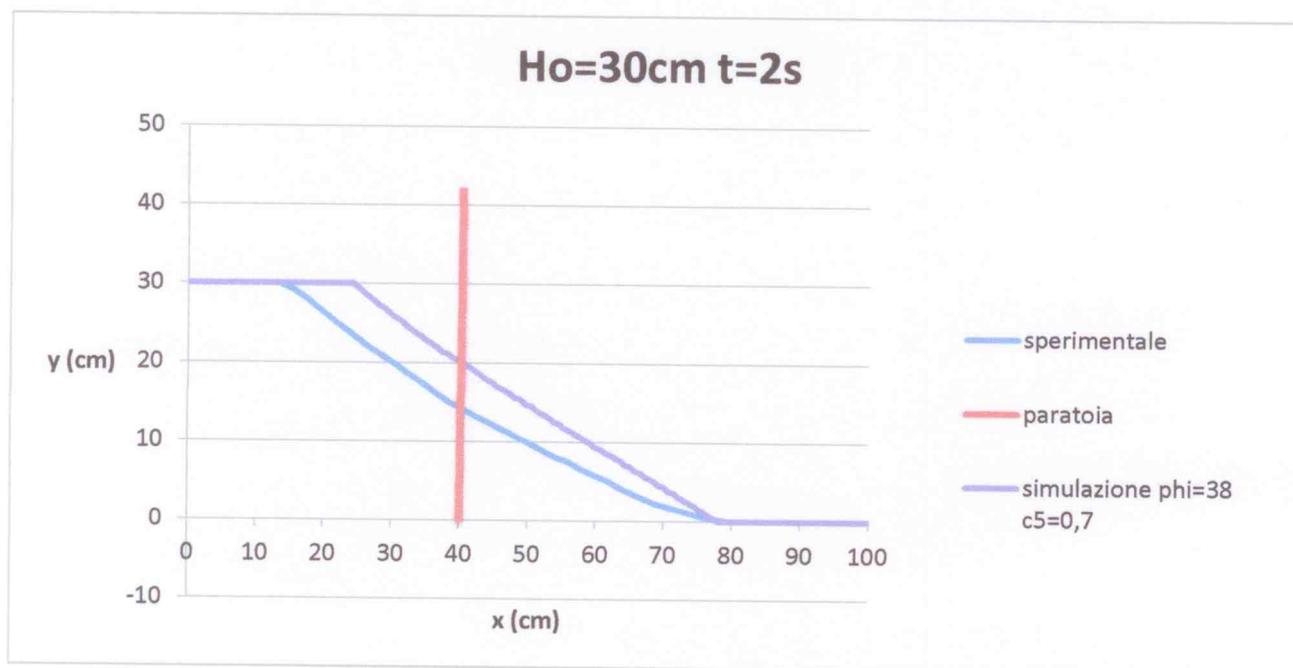


Figura 4.3.3

- **Profili per altezza di sabbia iniziale  $H_0 = 30$  cm all'istante  $t = 0,175$  sec per il tempo adimensionale  $T=1$ :**

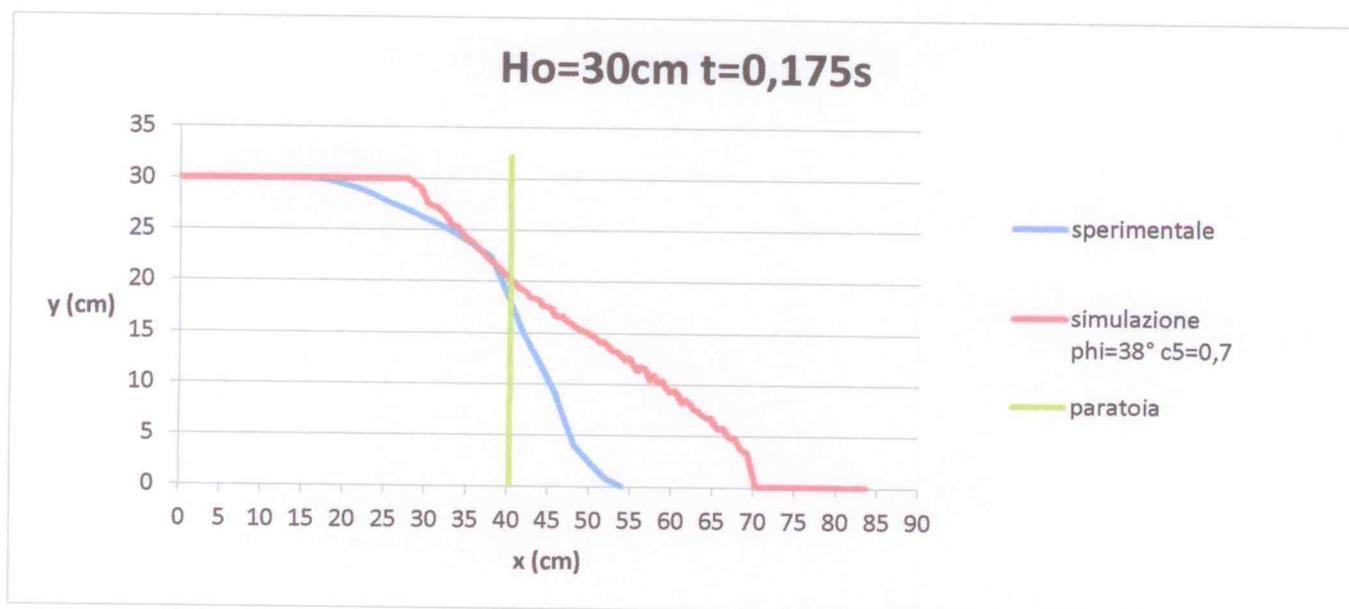


Figura 4.3.4

Il programma per la simulazione numerica, essendo basato su una assunzione di moto di corrente, in cui cioè le differenze verticali delle velocità si possano ritenere trascurabili, fornisce un andamento macroscopico del movimento della massa granulare, ovvero non considera i movimenti secondari a cui assistiamo nella conduzione delle prove sperimentali. Infatti il modello assume un moto di insieme per il comportamento della sabbia lungo lo sviluppo longitudinale, trascurando maggiori resistenze che la sabbia prossima al fondo incontra rispetto a quella negli strati superficiali. Quest'ultima, risulta scorrere su quella sottostante il cui avanzamento del fronte risulta arrestato. Questo corrisponde alla inadeguatezza, quindi, della ipotesi che lungo le verticali il comportamento del mezzo granulare sia esprimibile con una unica velocità mediata sulla verticale, ovvero che i gradienti verticali di velocità siano quasi ovunque molto piccoli. Una trattazione, però, che ne tenga conto risulterebbe analiticamente e computazionalmente molto più complessa, precludendo l'impiego pratico del modello.

Per quanto riguarda le pendenze dei profili agli istanti finali quello prodotto dalla simulazione risulta quasi rettilineo, con una pendenza inferiore al valore dell'angolo d'attrito utilizzato come lo è anche quella del profilo sperimentale che però tende ad essere leggermente concavo nell'ultimo tratto.

In generale la forma dei profili risulta ragionevolmente in accordo, questo è tanto più vero, quanto più si considerano istanti temporali che tendono a quello finale. Per quanto riguarda gli arretramenti del fronte rispetto alla sua posizione iniziale, per tutti

gli istanti considerati, sperimentale e numerico risultano comparabili, mentre è nell'avanzamento del fronte che si trovano differenze più significative.

L'avanzamento del fronte numerico muove inizialmente con velocità maggiori di quello sperimentale sovrastimando il reale spostamento del materiale solido a valle dello sbarramento, tale differenza tende ad annullarsi man mano che il fenomeno di propagazione dell'onda idrodinamica si arresta. Infatti all'istante finale, il punto più avanzato del fronte risulta praticamente coincidente per tutte e tre le altezze di sabbia. Il punto più avanzato del fronte, risulta ai fini della sicurezza, quello di maggiore interesse, permettendo di stimare la distanza percorsa dal materiale movimentato.

In conclusione si può affermare che una analisi delle immagini si fatta, fornisce una buona base di dati utili per effettuare delle considerazioni dei fotogrammi estrapolati dai files sequenza che registrano l'esecuzione delle prove di laboratorio. Infatti è possibile ricavare numerose osservazioni qualitative e quantitative dei risultati in tempi relativamente brevi e secondo una procedura di semplice articolazione, risulta inoltre un buon punto di partenza per tesi future che vogliano determinare procedure di analisi delle immagini automatizzate e cioè capaci di ricavare in maniera automatizzata e veloce risultati oggettivi dei fenomeni studiati.