

6

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI**

**“FEDERICO II”**



**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

**Corso di Laurea Specialistica in**

**Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio**

Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale

**SINTESI DELLA TESI DI LAUREA**

**CROLLO DI PARETI VERTICALI DI MATERIALI GRANULARI  
INCOERENTI. ANALISI SPERIMENTALE**

Anno Accademico 2008/2009

**Relatore :**

Prof. Ing. MASSIMO GRECO

**Correlatore :**

Ing. ANGELO LEOPARDI

**Candidata :**

ANTONELLA MARIA PAOLA PERONE 324/123

## **SINTESI DELLA TESI DI LAUREA:**

### **“Crollo di pareti verticali di materiali granulari incoerenti. Analisi sperimentale”**

La tesi “Crollo di pareti verticali di materiali granulari incoerenti. Analisi sperimentale” ha come oggetto di studio “il dam break granulare”. Gli esperimenti, pertanto, diversamente dal comune e cioè con sola acqua, sono stati condotti con la sola sabbia asciutta nel laboratorio di Ingegneria delle Acque dell’Università di Cassino. Si vuole studiare la modalità con cui una massa di materiale granulare secco si muove su una superficie orizzontale per effetto di una brusca apertura della paratoia che la sostiene e la si interpreta con modelli matematici. Questo studio riveste un ruolo importante nella ricerca in quanto permette di capire la quantità di materiale che si muove, la sua distribuzione, la velocità del fenomeno e la massima distanza raggiunta dalla massa granulare.

Tale approccio apre una strada di studio per numerose applicazioni ingegneristiche come situazioni che implicano il trasporto di materiali come minerali e cereali, valanghe rocciose, frane che sono eventi naturali che riguardano movimenti di solidi su larga scala, processi industriali, crolli di dighe.

L’installazione sperimentale è una canaletta prismatica, riportata nella figura sottostante, in Perspex di lunghezza 9 m, con sezione trasversale rettangolare di base 40 cm ed altezza 70 cm.

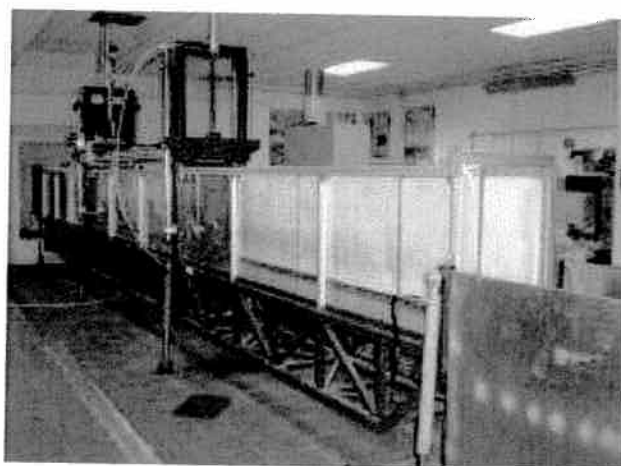


Figura 1 – Apparato sperimentale del Laboratorio di Ingegneria delle Acque di Cassino

Trasversalmente alla canaletta, come si può notare dalla foto sopra inserita, sono poste due paratoie; esse sono azionate da una leva di controllo di un sistema pneumatico. Questo sistema è dotato di un manometro che consente di variare la pressione dell'aria e di conseguenza la velocità di apertura delle due paratoie. Il massimo valore consentito della pressione è 10 bar e assicura grandi velocità di apertura delle due paratoie che ben si prestano a simulare in piccola scala il carattere improvviso e istantaneo dei fenomeni naturali come le colate rapide e di fenomeni rapidi come il “*dam break*”.

Per l'acquisizione in continuo delle prove effettuate è stata utilizzata la videocamera “*Prosilica GigaEcamera*”. Questa videocamera ha una risoluzione di 1360x1024 pixel ed è in grado di acquisire 30 fps (frames al secondo). Inoltre è collegabile tramite un cavo rete ad una scheda Giga Ethernet ad un pc. Con il programma “*Nord Pix*” si avvia la registrazione e subito dopo si apre con il joystick la paratoia dando vita al crollo della sabbia. Si arresta la ripresa quando il fenomeno di crollo è finito. Il programma “*Nord Pix*” restituisce un file sequenza (.seq) da cui vengono estrapolati i diversi frames tramite il programma “*Batch Processor*”. Per tutti gli esperimenti sono state disegnate due griglie: la prima per la ripresa laterale e la seconda per la ripresa dall'alto. Entrambe hanno come unità di base una cella quadrata di lato 1 cm.

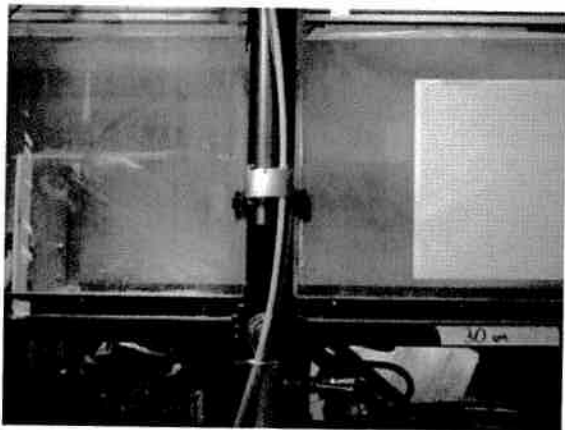


Figura 2 – Griglia per la ripresa laterale



Figura 3 – Griglia per la ripresa dall'alto

La griglia per la ripresa laterale (*Figura 2*) viene disposta, prima della prova, sulla parete del canale di fronte alla videocamera e viene ripresa; subito dopo, viene tolta altrimenti impedirebbe la visione dell'intero esperimento. L'altra griglia (*Figura 3*) ha delle dimensioni in centimetri ben precise 40 cm x 100 cm, dove 40 cm è la larghezza della griglia compatibile con quella del canale e 100 cm è la lunghezza compatibile con gli spostamenti longitudinali della sabbia asciutta durante le prove. Sui lati di questa griglia, sono state riportate le indicazioni progressive sulla lunghezza della stessa con passo 10 cm: questo accorgimento consente una più immediata elaborazione delle immagini relativa alla ripresa dall'alto

dell'esperimento. Tale griglia viene sistemata sul fondo del canale immediatamente a valle della paratoia avendo l'accortezza che aderisca bene al fondo del canale.

Entrambe le griglie sono state realizzate con un unico e preciso obiettivo: consentono di stabilire una corrispondenza tra i pixel delle foto acquisite con la videocamera e le lunghezze in cm per i profili longitudinali della sabbia, ricavati dall'elaborazione successiva alle prove con il programma "*Adobe Photoshop*", e, più precisamente, permettono di rilevare quanti pixel corrispondono ad 1cm, lato delle singole unità base delle due griglie.

Per dare una visione generale della sperimentazione condotta con la sabbia asciutta, si elencano gli esperimenti nell'ordine in cui sono stati effettuati:

- Prove di ripetibilità con altezza di sabbia pari a 40 cm;
- Sabbia asciutta con altezza 40 cm con fondo orizzontale della canaletta;
- Sabbia asciutta con altezza 50 cm con fondo orizzontale della canaletta;
- Sabbia asciutta con altezza 60 cm con fondo orizzontale della canaletta;
- Sabbia asciutta con altezza 30 cm con fondo orizzontale della canaletta.

Le caratteristiche della sabbia sono state desunte dalle analisi effettuate nel laboratorio di geotecnica dell'università di Cassino. Questa sabbia è un materiale incoerente che si può ritenere con una buona approssimazione monogranulare. Questa affermazione è lecita in quanto la sabbia è caratterizzata da una curva granulometrica pressoché ristretta e verticale e ciò presuppone una ridotta e trascurabile variazione dei diametri del materiale considerato ed una conseguente e apprezzabile omogeneità di quest'ultimo. Infatti il  $d_{10}$  e il  $d_{90}$  risultano poco differenti e pari a rispettivamente 0.1 mm e 0.28 mm. E' possibile, dunque, assumere il  $d_{50}$  come diametro caratteristico della sabbia utilizzata; esso ha un valore pari 0.2 mm. L'angolo d'attrito medio della sabbia è di  $30^\circ$ , la sua densità  $\rho$  è  $2633 \text{ kg/m}^3$ , la porosità media del 47%.

Per quanto riguarda l'analisi sperimentale, è stata valutata preliminarmente, con esiti positivi e rassicuranti, la ripetibilità delle prove, realizzate nelle stesse condizioni e con le stesse caratteristiche, con un'altezza iniziale di sabbia di 40 cm. Si riportano a titolo, a dimostrazione di quanto detto, due grafici perfettamente sovrapposti, costruiti con Excel:

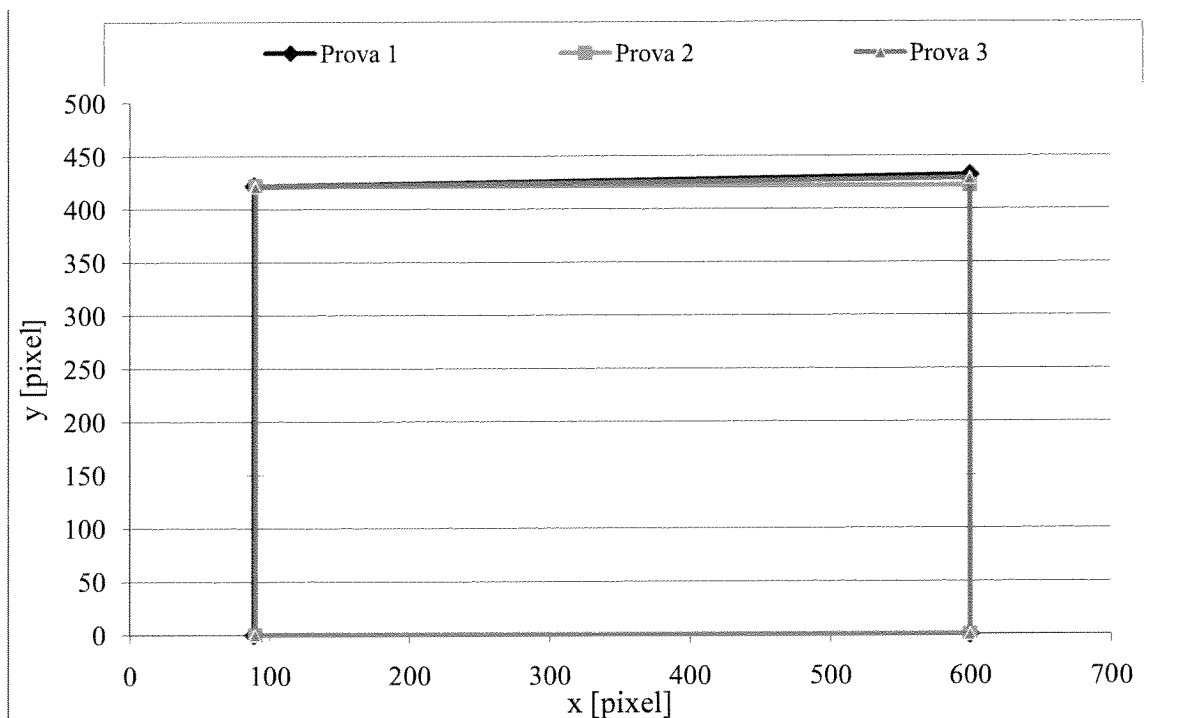


Figura 4 – Profili al tempo t = 0 s

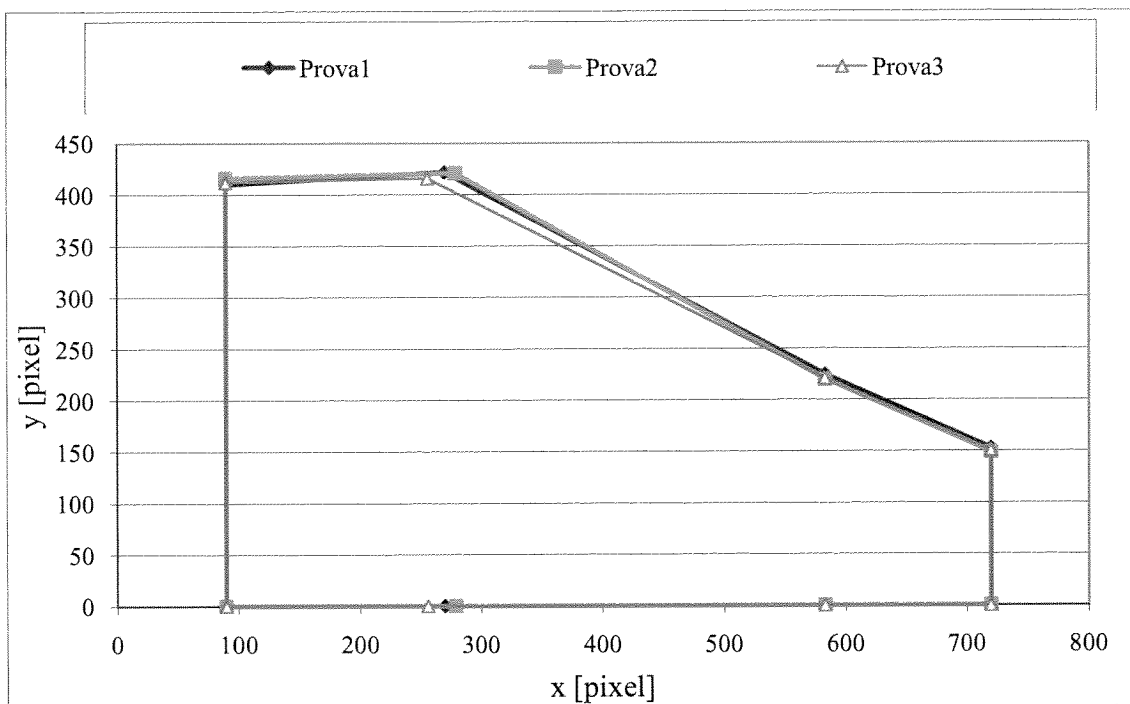


Figura 4 – Profili al tempo t = 1.5 s

Forti della validità di questa ipotesi, sono state effettuate due tipologie di esperimenti con altezze di sabbia di 30 cm, 40 cm, 50 cm e 60 cm: una con la ripresa laterale e una con la ripresa dall'alto. I due tipi di ripresa consentono di visualizzare il fenomeno analizzato in tutta la sua globalità dal suo sviluppo per l'intera larghezza

del canale per la ripresa dall'alto alla sezione longitudinale in corrispondenza della parete del canale (che, per l'ipotesi di forte bidimensionalità del fenomeno, è rappresentativa di tutte le sezioni longitudinali della canaletta) per la ripresa laterale. I risultati di questi esperimenti sono stati elaborati nel piano adimensionalizzato alla Froude dove sull'asse delle ascisse viene posta l'altezza di sabbia all'istante considerato rapportata all'altezza di sabbia iniziale  $h_0$  e sulle ordinate il tempo  $T$  adimensionalizzato alla Froude, così definito:

$$T = t * \sqrt{\frac{g}{h_0}}$$

dove  $t$  è l'istante considerato,  $g$  l'accelerazione di gravità,  $h_0$  è l'altezza iniziale di sabbia a monte della paratoia. Sono stati calcolati i tempi adimensionalizzati relativi agli istanti temporali della prova condotta con sabbia asciutta di altezza iniziale 40 cm e sono di seguito riportati:

$t_{40}$ [s]	$T$
0	0
0.125	0.62
0.25	1.24
0.5	2.47
1	4.95
1.5	7.42
2	9.90
2.07	10.25

E' importante introdurlo in quanto il confronto tra i profili longitudinali della sabbia delle diverse prove viene realizzato nei tempi adimensionalizzati sopra riportati. Pertanto, per le restanti prove, sono stati cercati gli istanti corrispondenti ai tempi adimensionalizzati:

$T$	$t_{50}$ [s]	$t_{60}$ [s]	$t_{30}$ [s]
0	0.00	0.00	0.00
0.62	0.14	0.15	0.11
1.24	0.28	0.31	0.22
2.47	0.56	0.61	0.43
4.95	1.12	1.22	0.87
7.42	1.68	1.84	1.30
9.90	2.24	2.45	1.73
10.25	2.31	2.54	1.79

Per confrontare i profili di sabbia longitudinali relativi alle diverse prove, essi sono stati sovrapposti nei vari tempi adimensionalizzati e viene, qui di seguito, mostrata solo una sovrapposizione:

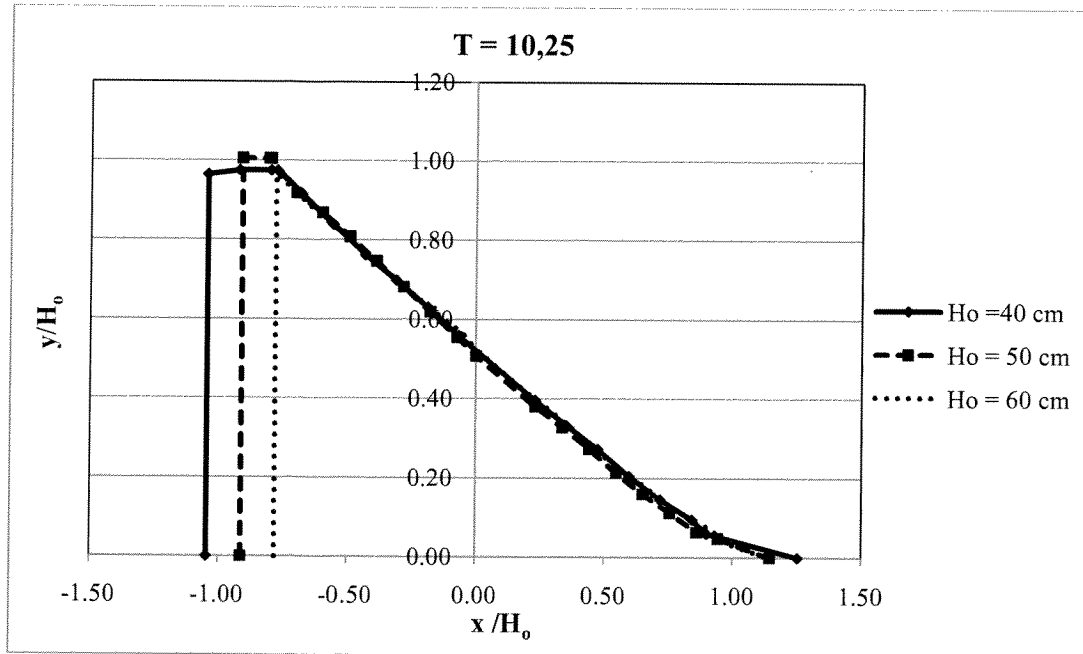


Figura 6 – Sovrapposizione dei profili longitudinali di sabbia a T = 10.25

Si realizzano in merito:

- Osservazioni quantitative: i profili sperimentali sono confrontabili nel piano adimensionalizzato alla Froude, poc'anzi definito. La confrontabilità di tali profili sperimentali si realizza attraverso la somiglianza, in termini adimensionalizzati, del tempo di arresto del fronte d'avanzamento, dell'abbassamento medio, della posizione della discontinuità e del fronte d'avanzamento e del punto pivot dei profili longitudinali di sabbia in corrispondenza della paratoia, non molto dissimile all'istante finale dalla soluzione di Ritter per il "dam break", cioè per flussi idrici. Per quest'ultimo aspetto dettato dalla vicinanza al modello di Ritter, si può, quindi, pensare che, durante il fenomeno di crollo della sabbia, sono trascurabili le resistenze e quest'ultime diventano influenti solo alla fine per arrestare il movimento del materiale granulare. Pertanto è ragionevole ritenere che la similitudine di Froude si presta a interpretare bene i risultati sperimentali.
- Osservazioni qualitative: tutti gli esperimenti si articolano in due momenti fondamentali: un macroscopico movimento dell'intera massa di sabbia da monte a valle della paratoia fino all'arresto del fronte d'avanzamento e semplici fenomeni di assestamento che, per la ripresa laterale, modificano il

profilo longitudinale di sabbia risalendo monte, mentre si concretizzano come discese superficiali di sabbia a quote progressivamente crescenti per la ripresa dall'alto. Questi fenomeni di assestamento non costituiscono una novità; essi sono stati già rilevati da *Gert Lube, Herbert, Huppert 2004*, anche se in una configurazione sperimentale leggermente diversa, poiché gli autori operano su cilindri di materiale granulare, e da *Kerwell 2005* che riproduce un esperimento simile a quello oggetto di questa tesi. La foto sottostante è un particolare di questi fenomeni secondari per la prova ripresa dall'alto con altezza iniziale di sabbia 30 cm:

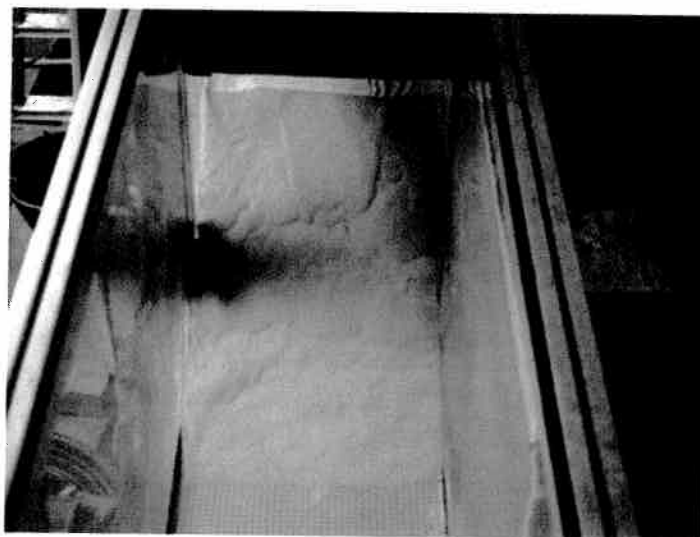


Figura 7 – Ripresa dall'alto 30 cm: Particolare dei fenomeni secondari di assestamento

La prima fase si esaurisce in media in mezzo secondo e l'estrema velocità, con cui si svolge questo movimento, rivela l'elevata pericolosità del fenomeno studiato.

I profili sperimentali all'arresto, inoltre, si presentano rettilinei e caratterizzati da un angolo minore di quello d'attrito della sabbia, pari a circa  $25^\circ$ ; ci sono, quindi, effetti dinamici non trascurabili e, pertanto, esistono accelerazioni residue per le quali il fronte continua ad avanzare e che scostano la pendenza del profilo dall'angolo di attrito statico. Infine il fronte d'avanzamento è pressoché rettilineo e ciò conferma della bidimensionalità del fenomeno osservato.

Per quanto riguarda la velocità d'avanzamento di tale fronte, essa è confrontabile per ciascuna prova nel piano in cui sono riportati i valori della velocità dimensionale e del tempo adimensionalizzato alla Froude. Questo suggerisce l'idea che c'è un'indipendenza della velocità d'avanzamento del



fronte dall'altezza iniziale di sabbia perché probabilmente le azioni acceleranti e deceleranti sono proporzionali allo spessore di sabbia iniziale.

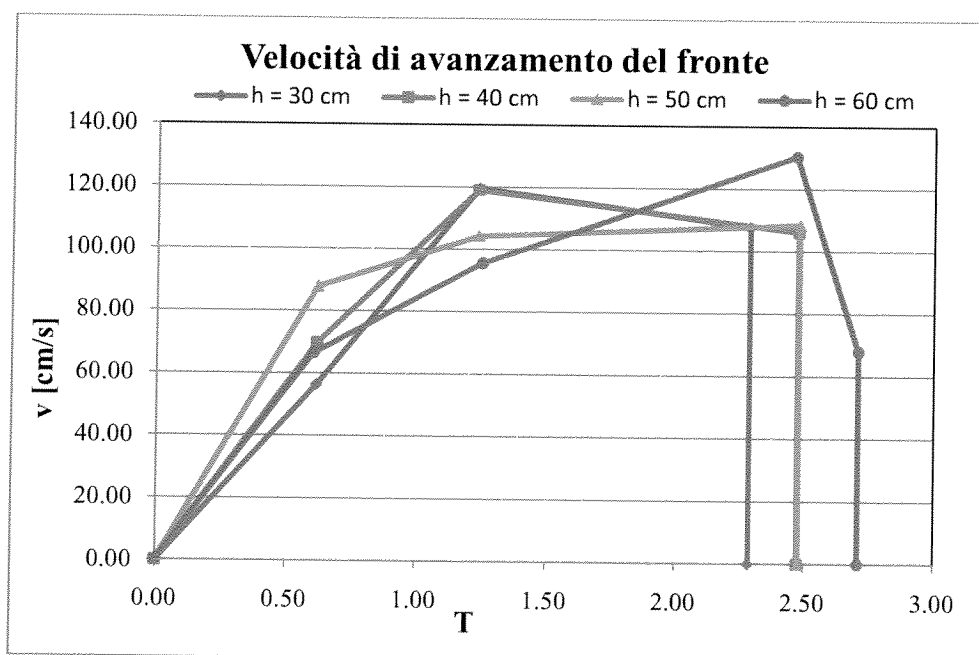


Figura 8 – Velocità d'avanzamento del fronte dimensionale e tempi entrambi adimensionalizzati alla Froude

Per quanto riguarda l'analisi numerica, è stata esposta in maniera più approfondita nella tesi di Rosa Paternostro: "Crollo di pareti verticali di materiali granulari incoerenti. Simulazione numerica". Si precisa che tutto il lavoro, sia relativo alla parte sperimentale che numerica, è stato affrontato in stretta collaborazione con Rosa Paternostro.

Dal lavoro svolto in questa tesi, si apre la strada ad un'ulteriore sperimentazione sul "dam break granulare" con una pendenza della canaletta diversa da quella orizzontale per mettere in evidenza le differenze sperimentali con quelle già esposte, nonché con un modello bifase acqua e sabbia.