
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Corso di laurea in
INGEGNERIA CIVILE

Tesi di laurea

**“ ANALISI DEI PROCESSI DI INTERSCAMBIO IDRICO SU
LETTI IN MACROSCABREZZA ”**

Relatori:

Prof. Ing. Stefano Pagliara

Prof. Ing. Maurizio Venutelli

Laureando:

Massimo Pachetti

ANNO ACCADEMICO 2006 / 2007

*Ai miei nipoti
Marta e Matteo*

PREMESSA

1 INTRODUZIONE

- 1.1 Concetti generali pag. 1
- 1.2 La rinaturalizzazione pag. 2
- 1.3 L'ingegneria naturalistica pag. 3
- 1.4 Sistemazioni fluviali pag. 5
- 1.5 Le rampe in pietraie pag. 8
 - 1.5.1 La rampa in massi come struttura permeabile pag. 15

2 LETTERATURA SCIENTIFICA pag. 18

3 VARIABILI DEL FENOMENO

- 3.1 Variabili del fenomeno pag. 32
 - 3.1.1 Caratteristiche del materiale pag. 33
 - 3.1.2 Caratteristiche del fluido pag. 38
- 3.2 Valutazione della turbolenza mediante il n° di Reynolds pag. 40
- 3.3 Caratterizzazione dei materiali pag. 46
 - 3.3.1 Materiali costituenti i fondi omogenei e gli strati superficiali pag. 48

4 APPARATO SPERIMENTALE

- 4.1 Descrizione apparato sperimentale pag. 64
- 4.2 Taratura dei modelli pag. 74
- 4.3 Descrizione dei modelli utilizzati pag. 80

5 ANALISI DIMENSIONALE

- 5.1 Analisi dimensionale del fenomeno della filtrazione pag. 87
-

5.2 Analisi dimensionale del fenomeno della dissipazione energetica	pag. 96
--	---------

6 ELABORAZIONE DATI

6.1 Modello teorico	pag. 102
6.2 Andamento della piezometrica lungo la rampa per le prove in pressione	pag. 113
6.3 Analisi delle prove non in pressione	pag. 125
6.4 Calcolo della percentuale di filtrazione	pag. 133
6.4.1 Relazione $\frac{Q_F}{Q}(\%) = f\left(\frac{d_{50}}{t}; \frac{k}{t}; i_0\right)$	pag. 144
6.4.2 Relazione $\frac{Q_F}{Q}(\%) = f\left(\frac{kd_{50}}{tH}; \frac{d_{50}}{t}; i_0\right)$	pag. 160
6.4.3 Relazione $\frac{Q_F}{Q}(\%) = f\left(\frac{k}{d_{50}}; t; i_0\right)$	pag. 171
6.5 Confronto tra le nostre relazioni e i dati di altri autori	pag. 179
6.6 Confronto con precedenti teorie	pag. 191
6.7 Analisi della dissipazione energetica	pag. 197
6.7.1 Calcolo del parametro Ψ	pag. 203
6.7.2 Ipotesi di portata superficiale costante sopra la rampa	pag. 213
6.7.3 Andamento della Q_F in funzione di x	pag. 223

CONCLUSIONI	pag. 232
--------------------	----------

LEGENDA SIMBOLI

BIBLIOGRAFIA

APPENDICE - Misurazioni sperimentali

Premessa

Oggetto della presente tesi è lo studio della filtrazione e dei suoi effetti sulle dinamiche idrauliche in presenza di rampe in pietrame. Sono state effettuate delle prove sperimentali su diversi tipi di rampa, nelle quali si andava a variare di volta in volta lo spessore dello strato di base (7 cm e 14 cm), la pendenza (1V:6H e 1V:4H) e la granulometria dei materiali costituenti la rampa stessa. Alcuni parametri sono stati mantenuti costanti, come la lunghezza della rampa (100 cm) e la larghezza della medesima (30 cm). Le prove sono state condotte sia con lo sbocco libero che in pressione mediante l'uso di valvole di regolazione. Ulteriori studi hanno riguardato la dissipazione energetica sulla rampa e come questa viene influenzata dalla filtrazione.

Si ricorda che il presente studio è stato condotto utilizzando anche i risultati ottenuti sul medesimo modello sperimentale dall'Ing. Fabrizio Ambrogi, il quale aveva realizzato prove su rampe con pendenza 1V:8H.

1 Introduzione

1.1 Concetti generali

La società moderna pone come prioritaria la complessa e difficile ricerca di uno sviluppo compatibile, che possa coniugare le esigenze socio-economiche con quelle di tutela ambientale, in un armonico rapporto improntato su una migliore qualità della vita.

A tale concetto generale debbono necessariamente ricondursi anche i criteri di programmazione, pianificazione e gestione del territorio.

L'uomo ha realizzato, nel corso dei secoli, profonde modificazioni ambientali e, negli ultimi decenni, il ritmo di tale processo è cresciuto notevolmente.

Ciò ha portato, tra l'altro ad una drastica riduzione degli spazi naturali (boschi di pianura, zone umide, anse fluviali, etc.) al fine di estendere le aree agricole ed urbane.

Il crescente degrado ambientale ha però determinato una seria riflessione sulle conseguenze negative di tale processo, in quanto la riduzione oltre un certo livello degli ambienti naturali, che assolvono a funzioni ecologiche ben precise, porta necessariamente ad una crisi dell'intero sistema ecologico nel quale l'uomo stesso vive. Di conseguenza, si è evoluta una nuova filosofia di azione che tende a recuperare ambienti naturali rari o degradati ed a ricrearne di nuovi; ecco che vengono conati i termini quali "rinaturalizzazione", "bioingegneria", "ingegneria naturalistica", per indicare l'impostazione di fondo e le tecniche da adottare in tali interventi.

Soprattutto nei paesi centro europei da anni si stanno conducendo interessanti studi e realizzazioni che dimostrano le enormi capacità di recupero che certi ambienti, se pur gravemente degradati, possono manifestare qualora vengano eliminati i fattori di disturbo e siano realizzati opportuni ripristini.

Il rapporto uomo-natura è sempre stato da un lato conflittuale e dall'altro di rispetto, ma, attualmente, in questo storico dualismo si registra un intenso sforzo

di sintesi con il preciso scopo di ricercare una coerente e compatibile forma di sviluppo. In tale contesto l'intervento antropico può essere orientato in modo tale che l'esigenze socio-economiche e quelle ecologiche possano trovare un punto di incontro a livello spazio-temporale, a condizione che vengano compiute scelte lungimiranti, nell'interesse della collettività, anche tramite l'applicazione di tecniche e metodi a basso impatto ambientale.

1.2 La rinaturalizzazione

Trattasi di interventi umani volti alla ricostituzione ex-novo o al restauro di ambienti naturali divenuti ormai rari.

In particolare, molti ecosistemi fluviali attualmente versano in condizioni di preoccupante degrado, sia a livello di qualità delle acque (inquinamento urbano, industriale e agricolo), sia di quantità del deflusso idrico: periodi di magra "artificiale" legate ai prelievi ed alle derivazioni (usi irrigui, potabili, idroelettrici, etc.), sia a livello di regimazione idraulica (rettificazioni dei corsi d'acqua, difese spondali, briglie, etc.).

Il concetto di rinaturalizzazione conduce ad un approccio più moderno nella gestione territoriale, in quanto indica chiaramente che, in particolare nella fase progettuale degli interventi, oltre agli aspetti sociali, economici e tecnici devono essere tenuti in considerazione anche quelli ambientali.

In conclusione, si può affermare che una più efficace politica di tutela degli ultimi ambiti naturali sia fondamentale e prioritaria e che le consistenti ed interessanti potenzialità offerte dalle tecniche di recupero ambientale consentiranno di riqualificare aree attualmente degradate, con positivo effetto sugli equilibri ecologici di vaste zone.

Finalità di intervento:

rinaturalizzare alcuni significativi ambiti territoriali consentirà da un lato di accelerare quei processi naturali di recupero di aree degradate altrimenti troppo lenti e, dall'altro, di ottenere un equilibrio naturale più stabile.

Ambiti di azione:

la rinaturalizzazione è un concetto applicabile a molteplici situazioni, quali

- Recupero di ex-cave, al fine di ottenere zone umide, aree lacustri, boschi, etc.;
- Recupero di vecchi tratti fluviali, meandri lanche, golene fluviali spesso coltivate a pioppeto “industriale”, allo scopo di ripristinare e conservare questi ambienti divenuti ormai rari e/o degradati;
- Creazione ex-novo di aree naturali in pianura come boschi, zone umide, casse di espansione, etc.

Tecniche di intervento:

le tecniche di intervento possono essere molto diverse tra loro, ma spesso sono riconducibili a quelle dell'ingegneria naturalistica.

1.3 L'ingegneria naturalistica

“L'ingegneria naturalistica (un tempo denominata bioingegneria forestale) è una disciplina tecnico-scientifica che studia le modalità di utilizzo, come materiali da costruzione, di piante viventi, di parti di piante o addirittura di intere biocenosi vegetali, spesso in unione con materiali non viventi come pietrame, terra, legname e acciaio” (Schiechtl).

Infatti particolari specie vegetali “pioniere” hanno apparati radicali tali da poter consolidare efficacemente sponde, versanti e scarpate, il tutto unito ad un effetto drenante dovuto alla loro elevata capacità di traspirazione.

Si tratta quindi di un migliore inserimento nel paesaggio di certe opere ritenute necessarie in una logica di sviluppo compatibile mitigando così il loro impatto sia a livello estetico-paesaggistico che naturalistico.

L'ingegneria naturalistica è per tanto un insieme di tecniche, le quali, accelerando i processi naturali in atto, consentono il raggiungimento di precisi obiettivi in tempi più brevi ed a costi sostenibili; ciò richiede un' elevata professionalità in quanto la ricerca di un preciso equilibrio naturale risulta essere complessa anche a

causa degli innumerevoli fattori ambientali che caratterizzano una determinata zona.

Finalità di intervento:

L'ingegneria naturalistica può svolgere importanti funzioni, quali

- Funzione idrogeologica: consolidamento del terreno, copertura del terreno, trattenuta delle precipitazioni atmosferiche, protezione del terreno dall'erosione eolica, drenaggio;
- Funzione naturalistica: creazione di macro e micro-ambienti naturali divenuti ormai rari, recupero di aree degradate, sviluppo di associazioni vegetali autoctone, miglioramento delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno;
- Funzione estetico paesaggistica: rimarginazione delle "ferite" del paesaggio, inserimento di opere e costruzioni del paesaggio, protezione dal rumore;
- Funzione economica: risparmio sui costi di costruzione e di manutenzione di alcune opere.

Ambiti di azione :

Le tecniche di ingegneria naturalistica possono essere applicate in diversi ambienti quali:

- Corsi d'acqua: consolidamento e rinverdimento delle sponde, costruzione di briglie e pennelli, creazione di rampe di risalita per l'ittiofauna;
- Zone umide: realizzazione di ambienti idonei alla sosta ed alla riproduzione degli animali;
- Coste marine: consolidamento delle duna sabbiose;
- Cave: recupero ambientale di ex-cave;
- Versanti: consolidamento ed inerbimento di pendici franose o di piste da sci;
- Discariche: inerbimento e rinverdimento dei rilevati;
- Infrastrutture viarie e ferroviarie: inerbimento e rivendimento delle scarpate e degli svincoli, realizzazione di barriere antirumore.

Tecniche di intervento:

le tecniche di intervento prevedono l'utilizzo di piante intere o di loro parti (semi, radici, talee); qualora tale impiego non sia sufficiente per ottenere gli obiettivi prefissati, si può fare riferimento anche ad altri materiali quali: pietrame, legname, reti metalliche, griglie o reti in materiali sintetico o in fibra naturale.

1.4 Sistemazioni fluviali

Nelle sistemazioni fluviali è frequente la necessità di tenere sotto controllo la naturale tendenza evolutiva dell'alveo naturale. Un aspetto fondamentale da considerare riguarda il modellamento dell'alveo in seguito a fenomeni erosivi o di deposito di sedimenti.

Per stabilizzare i corsi d'acqua nei confronti del fenomeno erosivo, per anni si è ricorso ad opere idrauliche tradizionali quali le briglie e le soglie di fondo.

Le *briglie* sono sbarramenti perpendicolari all'asse del torrente, poste ad una certa distanza l'una dall'altra; tali opere arrestano il materiale solido in movimento sul fondo, con una conseguente diminuzione della pendenza dell'alveo, che raggiungerà presto il suo equilibrio (figura 1.1).

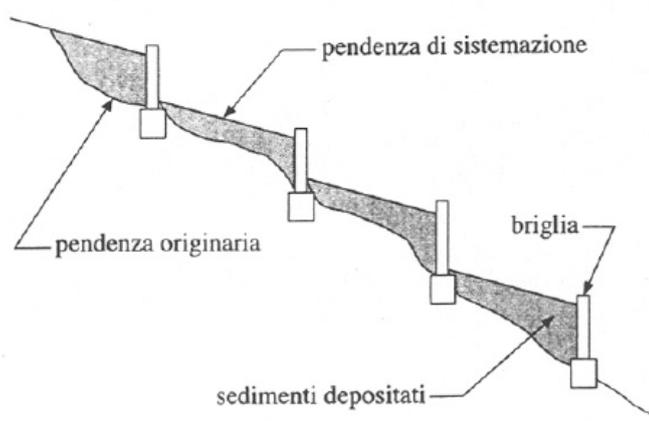


Figura 1.1 configurazione a gradoni a seguito della realizzazione di briglie

Una seconda metodologia di intervento per la sistemazione dei corsi d'acqua consiste nell'inserimento di *soglie* di fondo.

A differenza delle briglie, che emergono molto dall' alveo, le soglie sono strutture di modesta altezza ; mediante un processo di erosione controllata, che aumenta dalla testa della soglia al piede della soglia di monte, esse permettono di raggiungere la pendenza di sistemazione .

Il profilo assunto dall' alveo, schematizzato in figura 1.2, è simile all'andamento a gradoni ma presenta salti di minor entità.

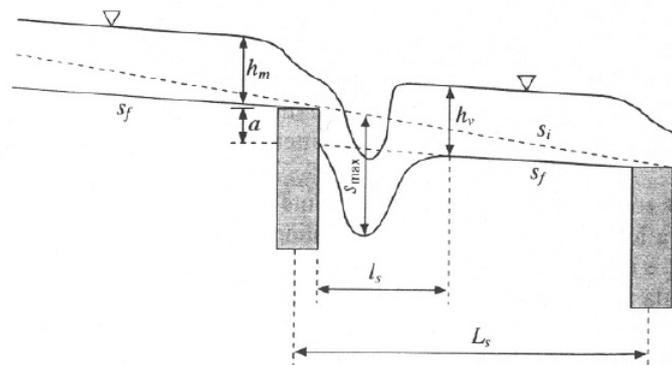


Figura 1.2 erosione a valle di una soglia

Sia le briglie che le soglie, pur rappresentando un valido e rapido strumento di correzione degli alvei, presentano alcuni aspetti negativi, soprattutto per quanto riguarda l' impatto ambientale.

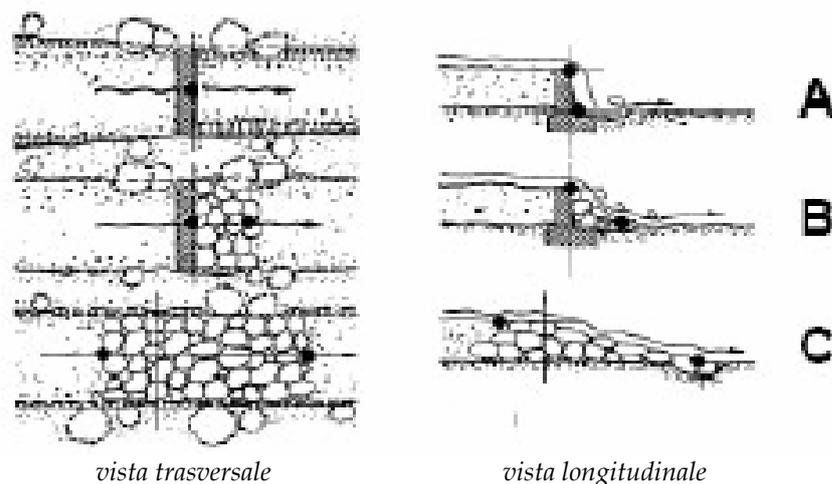
Le principali componenti dell' impatto ambientale delle briglie sono le seguenti:

- ostacolo alla risalita dell' ittiofauna, che viene frammentata in tanti popolamenti riproduttivamente isolati (la maggior parte della fauna ittica non riesce a superare ostacoli più alti di 30 - 40 cm);
- a monte delle briglie, per l'accumulo di sedimenti e la ridotta pendenza, l'alveo diventa un materasso ciottoloso piatto e uniforme; vengono così ridotte le diversità ambientali, la diversità biologica, e la capacità autodepurante.
- l' accumulo di sedimenti a monte delle briglie si riflette su un' erosione accentuata a valle di esse.

Per questi motivi la costruzione di nuove briglie deve essere preceduta da una rigorosa valutazione della loro effettiva necessità. Nei casi puntuali in cui le briglie risultino necessarie (per es. proteggere dallo scalzamento al piede i piloni di un ponte), occorre adottare gli accorgimenti opportuni a contenere almeno il loro impatto biologico.

Nel caso della loro realizzazione, al fine di garantire la loro funzione idraulica unita a quella ecologica, è opportuno che il dislivello tra il fondo a monte e a valle della briglia, sia realizzato in maniera graduale, su una distanza maggiore, anziché in un unico salto. Tale intervento può essere effettuato collocando del pietrame a valle della briglia, e nell' eventuale riduzione dell' altezza in modo da raccordare meglio il manufatto con i massi collocati.

Nello schema seguente è indicata la transizione concettuale dalle briglie tradizionali (A) a massi sparsi (C): il primo passaggio è la realizzazione di uno scivolo che protegga la briglia dallo scalzamento e favorendo la risalita dei pesci (B); nell' esempio (C) si nota come la briglia possa essere realizzata anche in pietrame, in modo da coprire il dislivello di progetto in un tratto più lungo, anziché con un singolo salto come nel caso (A) .



Il dislivello tra il fondo dell' alveo a monte e a valle delle briglie, rappresentato in figura dai punti neri, viene realizzato in maniera graduale, permettendo all' energia dell'acqua di dissiparsi nella turbolenza dovuta alla scabrezza dei massi.

Un' alternativa, concettualmente più vicina alla briglia , è la rampa in pietrame con la quale si ottiene l'eliminazione di barriere insormontabili, consentendo così la risalita dei pesci, riducendo la forza erosiva della corrente, la cui energia viene dissipata nel deflusso turbolento lungo la rampa con elevata scabrosità .

1.5 Le Rampe in pietrame

Le rampe in pietrame sono opere idrauliche non convenzionali a basso impatto ambientale impiegate per produrre significative dissipazioni di energia e assicurare la stabilità del letto dell'alveo nei confronti dell'erosione. La rampa in pietrame è una scogliera, realizzata con massi di grossa pezzatura e caratterizzata da una pendenza che è generalmente più elevata di quella longitudinale dell'alveo in cui è inserita; non interrompe la continuità morfologica dell'alveo naturale permettendo sia un interscambio biologico tra la zona a monte e a valle del manufatto sia il ripopolamento ittico. Si tratta, nel caso di opere inserite in un corso d'acqua di tipo fluviale, di strutture di modesta altezza, in genere non superiore ai 2 - 3 metri, caratterizzate da pendenze rilevanti ma in genere non superiori al 15%. Nel caso di manufatti inseriti in corsi d'acqua torrentizi, invece, le altezze possono essere superiori al limite indicato e la pendenza può raggiungere anche valori del 30 - 40%.

La costruzione di una rampa può avere come obiettivo, oltre la stabilizzazione del fondo d'alveo, il ripristino della continuità morfologica del corso d'acqua, la creazione di un passaggio per pesci e la trasformazione di una briglia preesistente.

Nella figura è riportata la foto di una rampa in pietrame.



Figura 1.3 Rampa in pietrame (realizzata eliminando la briglia in calcestruzzo)

La configurazione geometrica della rampa può essere classificata nelle tre seguenti categorie:

- a geometria uniforme, con pendenza costante pari al rapporto tra l'altezza H e la lunghezza orizzontale della rampa L_r
- a geometria bidimensionale o "step and pool", che presenta avvallamenti e dossi disposti in modo regolare in senso longitudinale. Questa configurazione ha il pregio di rendere maggiormente discontinuo il flusso idrico con la presenza di zone di calma e ristagno che si alternano a zone in cui hanno sede strutture vorticosi;
- a geometria tridimensionale, con variazioni del profilo in senso sia trasversale sia longitudinale.
-

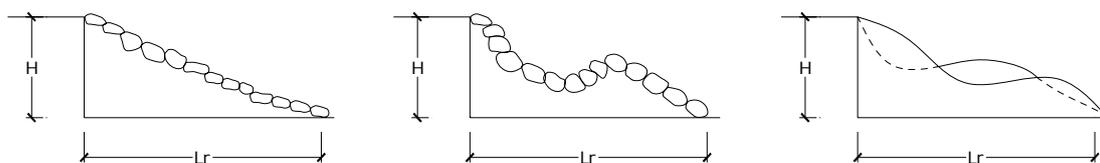


Figura 1.4 tipi di configurazioni geometrica della rampa

La realizzazione della rampa può essere effettuata disponendo su un materiale di base, a granulometria di minore dimensione, elementi più grossolani con una nota percentuale di ricoprimento. La posa in opera dei massi di maggiore dimensione può avvenire secondo una disposizione di tipo sia regolare sia irregolare.

Nelle rampe realizzate con posa in opera di massi in modo irregolare (rip rap) il pietrame viene collocato nell'alveo per mezzo di un escavatore, procedendo da valle verso monte; qualora non sia presente sul fondo del materiale inerte grossolano (pietrame o ghiaia) è opportuno realizzare una base di pietrisco ad azione filtrante. Al fine di rinforzare il piede della rampa, si possono adottare alcuni accorgimenti quali quello di posizionare alla base della struttura del pietrame di dimensioni maggiori oppure fissare sul fondo una fila di pali di legno o di acciaio. Grazie alla flessibilità della struttura l'eventuale presenza di buche è temporanea in quanto esse vengono colmate dal trasporto solido.

Nelle rampe realizzate con posa in opera di massi in modo regolare il pietrame viene da prima collocato in modo che lo spazio tra i massi sia minimo e successivamente ancorato tramite funi di acciaio. Anche in questo caso è necessario realizzare una base costituita da alcuni strati di ghiaia e di pietrisco a granulometria variabile. A differenza dalla tecnica precedentemente descritta, in questo caso si deve operare senza la presenza dell'acqua e quindi durante la fase costruttiva, la corrente va temporaneamente deviata. La scabrosità e l'elasticità di questa tipologia sono inferiori a quelle riscontrabili nei rip rap.

Dal punto di vista idraulico, la rampa può essere schematizzata come un tratto a forte pendenza preceduto e seguito da un tratto a debole pendenza (figura 1.5).

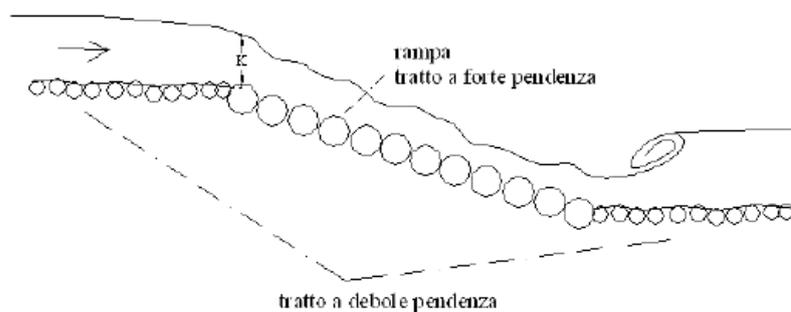


Figura 1.5 schema tipo di rampa in pietrame

Nella sezione di ingresso della rampa generalmente si stabilisce l'altezza critica k , sulla rampa la corrente è veloce ed accelerata, mentre nel tratto verso valle la corrente ritorna ad essere lenta ed uniforme. Il passaggio tra la corrente veloce sulla rampa e quella lenta a valle, porta alla formazione del risalto, che essendo un fenomeno dissipativo, porta ad una diminuzione dell'energia della corrente.

Per decretare il tipo di comportamento di una rampa in pietrame occorre confrontarne la pendenza di disposizione con quella dell'alveo da sistemare.

Se la pendenza della rampa è confrontabile con quella dell'alveo in cui è inserita, la velocità al piede del manufatto è paragonabile a quella della corrente veloce in moto dell'alveo, quindi il passaggio dalla rampa all'alveo può avvenire con un semplice tratto rivestito mediante una gettata di massi.

Se invece la pendenza della rampa è maggiore di quella dell'alveo, la velocità al piede della stessa è superiore a quella dell'alveo a valle, si ha la formazione di un risalto più accentuato e quindi la necessità di inserire un manufatto di dissipazione.

Nella maggior parte dei casi applicativi la pendenza della rampa in pietrame è più elevata di quella dell'alveo in cui viene inserita, che spesso è un corso d'acqua fluviale (tipicamente a debole pendenza).

Si possono presentare, perciò, le seguenti condizioni del pelo libero (figura 1.6):

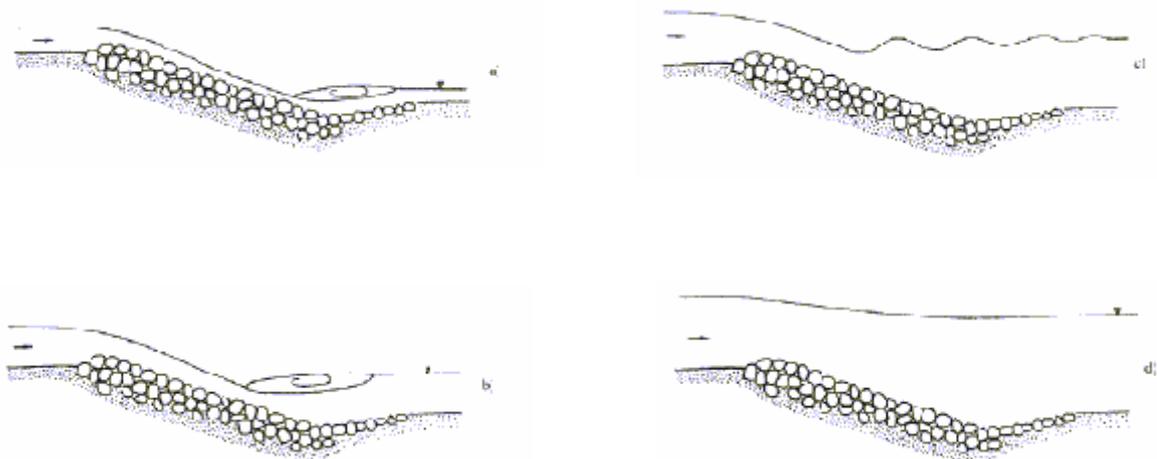


Figura 1.6 schema di funzionamento idraulico di una rampa inserita in un alveo a debole pendenza

- a) risalto posto al piede della rampa;
- b) lama stramazante che si immette nella corrente di valle caratterizzata dalla presenza di un roller superficiale;
- c) risalto di tipo ondulato;
- d) corrente lenta su tutta la rampa.

La condizione in cui si verifica il migliore rendimento del manufatto è visualizzata in a, con la formazione del risalto immediatamente a valle della rampa. Man mano che il livello si innalza si ricade nei casi b, c ed infine d in cui la corrente rimane lenta anche in corrispondenza della rampa.

Soprattutto negli alvei montani, in relazione alle limitate portate convogliate e alle elevate pendenze del fondo, i tiranti idrici sulla rampa risultano confrontabili con la dimensione del materiale d'alveo e quindi determinano una condizione idraulica di *macroscabrezza*.

La valutazione delle resistenze al moto negli alvei naturali, in assenza di movimento del materiale solido sul fondo e trascurando gli effetti che il carico solido in sospensione esercita sulla turbolenza della corrente stessa, deve tenere di conto di due diversi processi dissipativi dell'energia della corrente: uno legato alla forma, alla dimensione e alla disposizione degli elementi che determinano la scabrezza (*grain resistance*), l'altro agli ulteriori effetti dissipativi imputabili ai macrovortici generati dalle separazioni del flusso idrico nei bruschi cambiamenti di direzione, di forma della sezione trasversale, di livelletta etc. (*form resistance*). La dissipazione energetica avviene essenzialmente mediante un processo *jet and wake*: le masse di fluido accelerano nell'attraversare gli spazi tra gli elementi costituenti il fondo dell'alveo granulare e una volta superati tali spazi smorzano la loro energia generando vortici.

Se gli elementi costituenti il fondo alveo non emergono dalla superficie libera, il processo dissipativo ha una peculiare specificazione nel fatto che esiste uno strato inferiore in cui la dissipazione è legata al passaggio della corrente tra gli elementi di fondo, mentre nell'interfaccia con lo strato superiore, posta al di sopra degli

elementi di fondo grossolani, intervengono particolari sforzi viscosi, come se il moto della corrente avvenisse su una superficie uniformemente scabra. Se, invece, gli elementi sono più alti del tirante idrico, si determinano anche fenomeni di macroturbolenza distribuiti sulla superficie libera.

Da un punto di vista idraulico la rampa, oltre a determinare, come nel caso delle classiche briglie, una dissipazione energetica, localizzata a valle dell'opera, e imputabile allo sviluppo di un risalto idraulico, provoca dissipazioni aggiuntive distribuite su tutta la sua superficie, che avviene tramite la formazione di macroturbolenze e moti secondari, che provocano un apprezzabile riduzione dell'energia propria della corrente idrica.

Il tipo di deflusso e i processi dissipativi che si verificano su una rampa in pietra sono simili a quelli che si realizzano in una scala di stramazzi in regime di *skimming flow*.

Il regime *skimming flow* (denominato quasi liscio) si verifica quando gli elementi di scabrezza sono tanto vicini che il fluido contenuto tra essi non prende parte al moto di avanzamento; anzi tra due elementi si genera un vortice stabile. Ne risulta un flusso che è caratterizzato da una corrente $h - D$, essendo D l'altezza rappresentativa degli elementi grossolani, che scorre su una superficie meno scabra posta allo stesso livello della faccia superiore degli elementi.

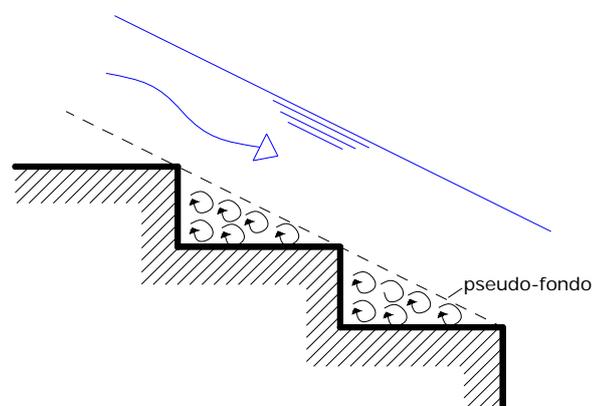


Figura 6.7 regime *skimming flow* in una scala di stramazzi

In condizioni di skimming flow su una scala di stramazzi la corrente si dispone parallelamente alla pendenza media del manufatto e lo spazio compreso tra i gradini e la corrente skimming stessa è occupato da vortici mantenuti in rotazione proprio mediante la trasmissione dello sforzo tangenziale della corrente skimming che scorre superiormente. Gli spigoli esterni dei gradini unitamente ai cuscinetti d'acqua creati dai vortici costituiscono lo pseudo-fondo sul quale muove la corrente skimming.

Possiamo quindi dire che i meccanismi dissipativi sono controllati dalla pendenza della rampa e dalla scabrezza della sua superficie.

L'equazione a cui si fa riferimento nella seguente trattazione è quella di Pagliara - Chiavaccini tratta dal loro " *Energy Dissipation on Block Ramps* " (2004).

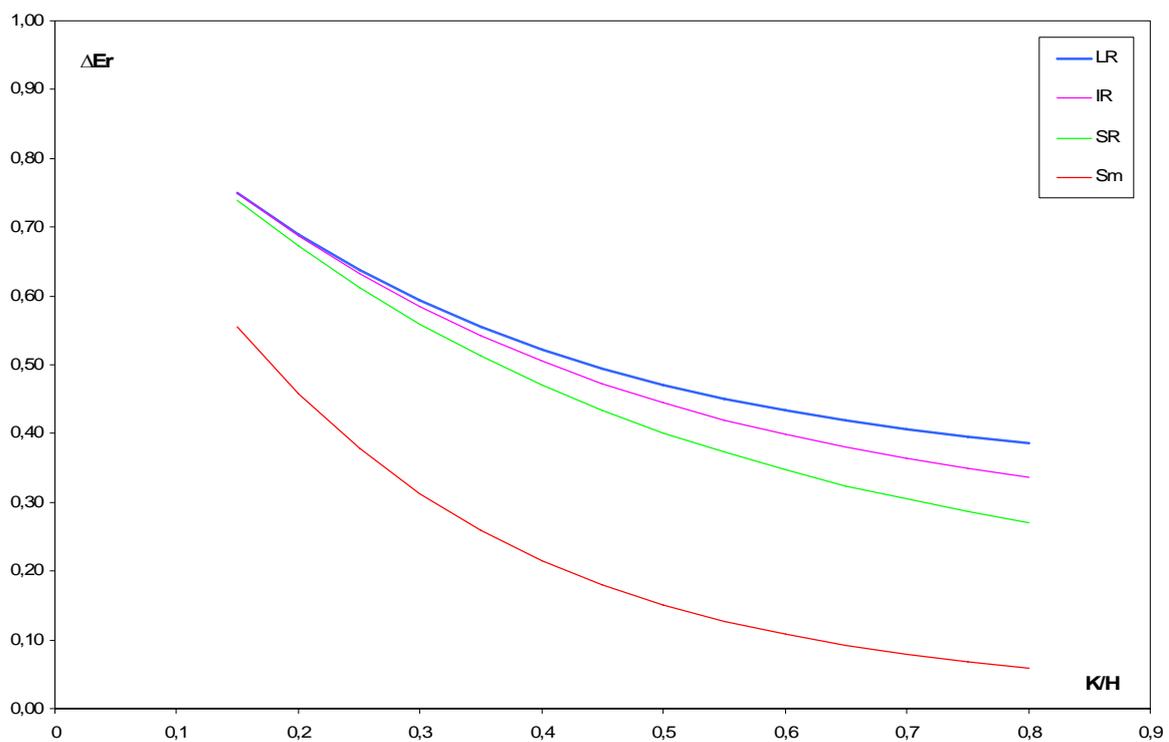


figura 1.6 dissipazione di energia in funzione di k/H per differenti scale di rugosità

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_o} = A + (1 - A) * e^{(B+C*S)k/H}$$

dove A, B, C sono funzione del regime di flusso che viene definito tramite la sommergenza relativa, definita come rapporto tra k/d_{50} . La sommergenza viene suddivisa in tre classi a seconda del valore di h_u/d_{84} .

Roughness condition	h_u/d_{84}	Experimental runs
Large scale roughness (LR)	$h_u/d_{84} < 1,2$	$k/d_{50} < 2,5$
Intermediate scale roughness (IR)	$1,2 < h_u/d_{84} < 4,0$	$2,5 < k/d_{50} < 6,6$
Small scale roughness (SR)	$h_u/d_{84} > 4,0$	$6,6 < k/d_{50} < 42$

tabella 1.1 sommergenza relativa

Roughness condition	A	B	C
Large scale roughness (LR)	0,33	-1,3	-14,5
Intermediate scale roughness (IR)	0,25	-1,2	-12
Small scale roughness (SR)	0,15	-1	-11,5
Smooth ramp (Sm)	0,02	-0,9	-25

tabella 1.2 coefficienti equazione Pagliara – Chiavaccini

Come si può notare dal grafico precedente, vi è un notevole aumento dissipativo di una rampa in pietrame, a parità di pendenza, rispetto ad una rampa liscia.

1.5.1 La rampa in massi come struttura permeabile

Nella nostra ricerca assume un ruolo fondamentale il processo di filtrazione che si sviluppa lungo la rampa, dato che essa è stata pensata (e realizzata) come una struttura permeabile. Occorre quindi inserirla in un contesto più ampio, dove poter considerare sia i deflussi superficiali, i quali sono stati descritti nel paragrafo precedente, che quelli sotterranei.

L'interazione tra il flusso di filtrazione e la superficie liquida è molto complesso: la falda freatica e le acque superficiali non sono componenti isolate del sistema idrologico, ma interagiscono in funzione delle varie condizioni fisiografiche e climatiche.

Il deflusso delle acque sotterranee di filtrazione non è solamente controllato dalla configurazione del pelo libero delle acque superficiali, ma anche dalla distribuzione della conduttività idraulica del materiale poroso. In aggiunta agli effetti topografici e geologici, il flusso sotterraneo è legato anche agli effetti climatici (le precipitazioni fungono da ricarica per la falda).

Larkin e Sharp (1992) classificano il flusso all'interno degli acquiferi in base alla componente dominante il moto, ottenendo tre tipi di categorie: la prima, definita *underflow-component*, è relativa ai flussi che si muovono parallelamente al corso d'acqua e nella stessa direzione, la seconda, definita *baseflow-component*, riguarda i flussi che si muovono perpendicolarmente alla corrente superficiale mentre la terza è definita *mixed*. Gli autori conclusero che il fattore dominante il deflusso delle acque di filtrazione dipendeva dalle caratteristiche geomorfologiche come la pendenza del canale, la sinuosità del letto dell'alveo e dalle caratteristiche di permeabilità dei depositi alluvionali.

Naturalmente la *underflow-component* si verificherà prevalentemente in quei sistemi in cui la sinuosità del corso d'acqua è limitata e dove le velocità di percolazione sono deboli.

Relativamente al nostro modello sperimentale (come verrà ampiamente spiegato nel cap. 4), il flusso sub-superficiale sarà sia perpendicolare alla corrente che scorre sopra la rampa (in particolar modo nelle sezioni iniziali), sia parallelo alla corrente superficiale.

In generale i moti di filtrazione forniscono velocità molto basse: durante le nostre prove abbiamo registrato velocità di filtrazione dell'ordine di qualche centimetro al secondo, data che la granulometria del materiale che componeva lo strato permeabile non supera i 3 cm.

Occorre ricordare l'importante effetto depurante che l'acqua subisce durante il suo passaggio attraverso i primi strati del sottosuolo, a causa del rilascio delle particelle solide in sospensione.

Riuscire a capire il vero andamento dei flussi sotterranei e come questi sono legati alle correnti superficiali e ai fattori climatici (ad esempio la pioggia) è di estrema importanza per evitare possibili inquinamenti delle falde.

2 Letteratura Scientifica

Il comportamento di un fluido omogeneo, quale l'acqua, nel passaggio attraverso un mezzo poroso è stato oggetto, nei passati decenni, di numerosi studi e ricerche sperimentali e teoriche.

Fin dal secolo scorso, Darcy (1856) enunciò, supportandola con numerose esperienze, la prima legge sulla filtrazione. Il sistema filtrante era stato allora realizzato con materiale di piccola granulometria con bassa porosità percentuale e sottoposto a carichi idraulici relativamente modesti cosicché il comportamento del fluido è risultato di tipo lineare; sono cioè prevalse le forze viscosse su quelle di inerzia e si è potuto così scrivere la relazione:

$$V = K \cdot i \quad [2.1]$$

dove:

- V = "bulk velocity", ovvero velocità del fluido attraverso il mezzo poroso considerando come sezione di deflusso l'intera superficie investita dal liquido ("pieno per vuoto"). In realtà il movimento dell'acqua avviene materialmente entro gli alveoli che vengono lasciati nella massa filtrante dalla varia disposizione dei grani ed è molto difficile, per quanto non assolutamente impossibile misurare direttamente la velocità in singoli punti interni della massa filtrante, per questo si fa spesso riferimento alla velocità "lorda".
- i = pendenza della linea piezometrica, ovvero perdita di carico per unità di lunghezza nella direzione del deflusso.
- K = coefficiente di permeabilità del mezzo.

Il coefficiente K (che ha le dimensioni $[LT^{-1}]$) si suppone sia dipendente dalle proprietà fisiche e geometriche del materiale che costituisce l'ammasso permeabile e dalla natura del fluido. La dipendenza del coefficiente K dal materiale entro il

quale avviene la filtrazione è stabilita oltre che dalle dimensioni e dalla forma dei grani di cui consiste l'ammasso, anche dalla maniera con la quale essi sono reciprocamente collocati; detto coefficiente dipende pure dalle caratteristiche del liquido filtrante, ossia essenzialmente dalla sua viscosità che è, fra l'altro, funzione della temperatura.

Ad oggi, però, è ancora aperto il dibattito sulla validità di tale legge, perché molti studi ne hanno dimostrato l'inadeguatezza, riconoscendo il fatto che il flusso attraverso un mezzo poroso costituito da materiale granulare di pezzatura grossolana non poteva essere descritto dalla legge di Darcy. In questi casi, l'alta velocità di flusso presente nel mezzo poroso porta a doversi riferire ad un moto non Darciano.

Le proprietà del flusso di filtrazione attraverso le strutture rocciose dipendono dal numero di Reynolds, come hanno confermato nei loro studi Dinoy (1973), Basak (1977), Venkataraman e Rama Mohan Rao (1998), e questo comporta che laddove il moto sia completamente turbolento la legge di Darcy non è più in grado di descrivere tale flusso. La conoscenza della reale relazione tra la velocità che si ha attraverso l'ammasso filtrante e il gradiente idraulico è essenziale per poter conoscere il flusso all'interno e al di sopra di un mezzo poroso.

Sono sostanzialmente 2 le leggi in grado di descrivere la relazione che intercorre tra il gradiente idraulico e la velocità macroscopica quando ci troviamo in una condizione di moto non-Darciano:

1. Legge quadratica, suggerita da Forchheimer (ripresa da Scheidegger, 1963), del tipo:

$$i = a \cdot V + b \cdot V^2 \quad [2.2]$$

in cui

a, b costanti che dipendono dalle proprietà sia del materiale roccioso che del fluido

i = gradiente idraulico ($= \frac{dh}{dx}$)

V = velocità macroscopica o anche detta "bulk velocity"

2. Legge di potenza, proposta da Prony (1804) e riportata da Jaeger nel 1956, del tipo

$$i = C_0 \cdot V^{C_1} \quad [2.3]$$

in cui

C_0 e C_1 dipendono dalle condizioni di flusso, dalle caratteristiche dello strato filtrante e dal fluido.

Entrambe le leggi sono basate su studi sperimentali, sebbene alcuni ricercatori hanno provato a dare una base teorica a tali relazioni (Gent, 1991); molti degli studi che verranno di seguito illustrati sono stati indirizzati verso la determinazione dei coefficienti a, b, C_0 e C_1 .

In alcune formule disponibili in letteratura [Ergun (1952), Wilkins (1956), McCorquodale (1978), Stephenson (1979), Li e Hu (1998), Martins (1990)] i coefficienti delle leggi di filtrazione dipendono esclusivamente dai parametri fisici del materiale roccioso (come la dimensione dei granuli, la porosità e la forma delle particelle). In altre formule invece [Slepicka (1961), Ward (1964)] i coefficienti sopra enunciati non possono essere determinati solo attraverso dei parametri fisici, ma anche attraverso delle specifiche esperienze sulla conduttività idraulica del mezzo filtrante.

Forchheimer nel 1901 fu forse il primo a proporre una relazione non lineare tra i e V . Per condizioni di flusso tendenti alla turbolenza egli ipotizzò una legge del tipo [2.2] modificata, basandosi sulla similitudine con quanto avviene per il flusso attraverso tubi scabri, dove la perdita di carico è proporzionale al quadrato della velocità:

$$\frac{i}{V} = a + b \cdot V \quad [2.4]$$

in cui a e b sono delle costanti. La permeabilità intrinseca k , viene determinata graficamente come intercetta a con l'asse delle ordinate della curva ottenuta dalla legge [2.4], risultando

$$k = \frac{\mu}{g \cdot \rho \cdot a} \quad [2.5]$$

dove :

V ed i già definiti

μ è la viscosità dinamica del fluido

ρ è la densità del fluido

g è l'accelerazione di gravità

Occorre ricordare che la conduttività idraulica K (o coefficiente di permeabilità) definita da Darcy è legata alla permeabilità intrinseca k dalla relazione

$$K = \frac{k \cdot g}{\nu} \quad [2.6]$$

la quale mette in evidenza sia la dipendenza dal tipo di fluido che dal tipo di materiale filtrante (Nutting,1930).

Le critiche a tale approccio si fondano sulle seguenti osservazioni (Bear, 1969):

- nel flusso attraverso le condotte non esiste il termine lineare della [2.2]
- nei tubi scabri il passaggio da laminare a turbolento avviene in maniera non graduale
- il numero di Reynolds ($= \frac{V \cdot L}{\nu}$, in cui L è una grandezza caratteristica del mezzo filtrante) è decine di volte più alto di quello osservato nei mezzi porosi, per cui si perde il comportamento lineare del flusso nelle condotte

Dudgeon nel 1966, con una serie di sperimentazioni su diversi materiali naturali e artificiali, confermò il comportamento laminare del fluido con bassi numeri di Reynolds (legge di Darcy [2.1]) e rilevò, al crescere di tale parametro adimensionale, l'instaurarsi di un regime di transizione nel quale l'esponente di V era maggiore di 1 e da lui definito post-laminare ; considerò quindi come valida la legge di potenza [2.3] ammettendo una discontinuità dell'esponente nel passaggio del fluido dal comportamento laminare a quello completamente turbolento passando attraverso una fase di transizione.

Ward (1964) , ipotizzando la forma quadratica [2.2] per la relazione tra i - V , è giunto alla stesura della seguente formula :

$$i = \frac{dh}{dx} = \frac{\nu}{g \cdot k} \cdot V + \frac{C_w}{g \cdot k^{\frac{1}{2}}} \cdot V^2 \quad [2.7]$$

in cui si nota il parametro lineare dipendente dalle proprietà del fluido e dalla permeabilità intrinseca

$$a = \frac{\nu}{g \cdot k} \quad [2.8]$$

e quello non-lineare funzione del tipo di materiale (grandezza e forma delle particelle, porosità)

$$b = \frac{C_w}{g \cdot \sqrt{k}} \quad [2.9]$$

dove:

ν è la viscosità cinematica [Stokes = cm²/sec] = μ / ρ

h è la quota piezometrica [m]

C_w è una costante adimensionale che l'autore ha considerato di identico valore per tutti i mezzi porosi e cioè pari 0.55.

Come si può notare dalla formula, il primo e il secondo termine rappresentano rispettivamente la componente laminare e turbolenta della resistenza di flusso, infatti se V è molto piccola la [2.7] riconduce alla legge di Darcy.

Ahmed e Sunada (1969), integrando volumetricamente le equazioni di Navier-Stokes, le quali, per un fluido incomprimibile, si possono scrivere in notazione tensoriale nel seguente modo

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \cdot \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p^*}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho} \cdot \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \cdot \partial x_j} \right),$$

hanno dedotto in modo teorico i parametri

$$a = \frac{\nu}{g \cdot k}$$

e

$$b = \frac{1}{g \cdot \sqrt{c \cdot k}}$$

dove c è una costante pari a

$$c = \frac{k}{d^2}.$$

Si può notare come la costante C_w e la costante c siano legate dalla relazione

$$C_w \cdot \sqrt{c} = 1.$$

Da queste considerazioni gli autori hanno ricavato la relazione

$$C_w = \frac{d}{\sqrt{k}} \quad [2.10]$$

per determinare il valore della costante presente nelle formula di Ward invece di utilizzare il valore 0,55 (in cui d è una lunghezza caratteristica del mezzo poroso determinabile solo dopo la valutazione dei parametri a e b dell'equazione [2.2] attraverso i dati sperimentali dei valori di caduta piezometrica). Inoltre, Ahmed e Sunada si resero conto, dagli studi effettuati precedentemente da altri autori, che ogni tipo di materiale filtrante richiedeva parametri diversi (a e b dell'eq. [2.2]), per cui arrivarono alla formulazione di una relazione capace di raggruppare in un'unica curva tutti i tipi di materiali (mezzi porosi non-consolidati), del tipo

$$H = \frac{1}{R} + 1$$

in cui

$$H = \frac{g \cdot c \cdot d \cdot i}{V^2}$$

e

$$R = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu}$$

Arbhabhrama e Dinoy (1973), attraverso vari esperimenti di laboratorio, dedussero che la legge [2.7] era applicabile per ogni mezzo poroso, ma dimostrando che la costante C_w dipendeva in particolar modo dal diametro delle particelle e dalla porosità del mezzo filtrante. Usando i dati sperimentali sviluppati dall'esperienza di Arbhabhrama e Dinoy (1973), Shimizu (1990) ha

sviluppato una correlazione funzionale tra la permeabilità intrinseca k e il diametro medio delle particelle (d_m) del tipo:

$$\sqrt{k} = 0.028 \cdot d_m \quad [2.11]$$

I coefficienti e i legami funzionali espressi dalle relazioni [2.7] e [2.11] propongono una buona correlazione con i dati sperimentali ottenuti attraverso vari esperimenti di laboratorio nei quali, però, il mezzo filtrante era costituito principalmente da materiale granulare campionato e il flusso era uniforme e confinato. Nonostante queste condizioni al contorno, le formule precedentemente ricordate vengono applicate frequentemente nei casi di moti attraverso terrapieni, strati rocciosi, acquiferi non confinati etc.

Venkataraman e Rama Mohan Rao (1998), invece, hanno cercato di dare un nuovo significato ai dati sperimentali fino ad allora ottenuti dai vari autori precedentemente menzionati, mettendo in relazione il “fattore di attrito”

$$f_k = \frac{i \cdot g \cdot \sqrt{k}}{V^2} \quad [2.12]$$

con il “numero di Reynolds”

$$R_k = \frac{\rho \cdot \sqrt{k} \cdot V}{\mu} \quad [2.13]$$

per i flussi Darciani, di transizione e turbolenti, in modo da poter delineare i relativi campi di applicazione. Gli autori hanno ottenuto una relazione (simile a quella di Moody utilizzata per il flusso nelle condotte per stimare il coefficiente d’attrito, dove d/\sqrt{k} rappresenta la scabrezza relativa) del tipo:

$$f_k = \frac{1}{R_k} + \frac{d}{\sqrt{k}} \quad [2.14]$$

in cui il primo termine rappresenta la legge di Darcy mentre il secondo rappresenta l’effetto delle forze inerziali e della turbolenza ad alti n° di Reynolds.

Venkataraman e Rama Mohan Rao hanno esaminato molti dati consultabili in letteratura soprattutto a proposito di esperimenti condotti con sfere di vetro di diametro molto grande e con rocce ottenute da frantumazione, notando la buona attendibilità della relazione [2.14].

Particolare importanza assume nella loro teoria il termine (d/\sqrt{k}) che è assunto come parametro descrittivo delle proprietà del materiale. In questo modo si ottengono curve, una per ogni tipo di materiale, e sulla curva stessa sarà possibile individuare le 3 zone di flusso: Darciano, di transizione e turbolento.

La rispondenza con i dati è buona, ma la formula nella pratica è inutilizzabile per i seguenti motivi :

- il parametro C_w può essere ottenuto esclusivamente per via sperimentale, dipendendo dalla misura e dalla forma delle particelle, e dalle proprietà del mezzo poroso;
- il campo sperimentale in termini di variazione di R_k da cui ricavare il parametro deve essere il più limitato possibile, poiché da esso dipende strettamente il valore di C_w che si ottiene (la relazione tra R_k e C_w varia a seconda che ci si trovi in regime di flusso completamente turbolento o laminare)

Legrand (2002), nel suo articolo, ha rivisitato il modello proposto da Venkataraman e Rama Mohan Rao (1998) con l'aiuto del "modello capillare" stabilito da Comiti e Renaud (1989). Il modello capillare è basato sulla rappresentazione del mezzo poroso attraverso un fascio di pori identici di diametro d_p e lunghezza L ; quindi se H è l'altezza dello strato poroso, Legrand definisce la tortuosità come

$$\tau = \frac{L}{H} \quad [2.15]$$

mentre il diametro dei pori si ottiene come

$$d_p = \frac{4 \cdot n}{A_{vs} \cdot (1-n)} \quad [2.16]$$

in cui

n è la porosità

A_{vs} è data dal rapporto tra l'area bagnata superficiale e il volume della particella.

La comparazione tra i due modelli ha portato alle seguenti relazioni

$$d = 0.0121 \cdot \frac{\tau \cdot d_p}{n} \quad [2.17]$$

e

$$k = \frac{n \cdot d_p^2}{32 \cdot \tau^2} \quad [2.18]$$

per cui il parametro $C_w = d / \sqrt{k}$ può essere espresso solo in funzione della porosità e della tortuosità nel modo seguente

$$\frac{d}{\sqrt{k}} = 0.0685 \cdot \frac{\tau^2}{n^{\frac{3}{2}}} \quad [2.19]$$

Il modello di Venkataraman e Rama Mohan Rao (1998) portava al settaggio di differenti curve al variare di d / \sqrt{k} , ovvero funzione della forma, dell'orientamento delle particelle, della tortuosità e della porosità del materiale. Mentre con l'ausilio del modello capillare tutti questi parametri sono contenuti in un'unica relazione funzionale valida per ogni condizione di flusso ma soprattutto per ogni tipo di ammasso filtrante:

$$f_p = \frac{16}{R_p} + 0.194 \quad [2.20]$$

in cui

$$f_p = \frac{\sqrt{8} \cdot n^{3/2}}{\tau^2} \cdot f_k \quad [2.21]$$

è il "pore friction factor", mentre

$$R_p = \sqrt{32} \cdot \frac{\tau^2}{n^{3/2}} \cdot R_k \quad [2.22]$$

viene chiamato "pore Reynolds number".

L'equazione [2.20] è del tutto simile alla relazione [2.14] nella quale si è sostituito f_p al posto di f_k e R_p al posto di R_k ; inoltre l'interesse dell'equazione [2.20] è dato dal fatto che in un'unica relazione si può rappresentare il "friction factor" per ogni tipo di mezzo poroso.

In questo modo Legrand (2002) ha dimostrato l'interesse del modello capillare, il quale è definito da parametri che hanno un significato fisico; infatti:

- i valori di d (lunghezza caratteristica introdotta da Ahmed e Sunada e ripresa anche da Venkataraman e Rama Mohan Rao) sono molto bassi e non sono in relazione con le dimensioni delle particelle;
- i valori del diametro dei pori d_p (parametro introdotto dal modello capillare) incrementano con l'aumentare delle dimensioni delle particelle, laddove il valore della tortuosità è maggiore di 1.

A questo punto fu possibile, grazie alla relazione [2.20], poter definire i limiti delle condizioni di flusso possibili all'interno di un mezzo poroso; assumendo che il contributo delle forze inerziali (secondo termine della [2.20]) è trascurabile quando corrisponde al 5% del valore totale del "pore friction factor", allora il limite superiore, per poter considerare che il flusso segua la legge di Darcy, può essere espresso come segue:

$$R_{p1} = 4 \quad [2.23]$$

Allo stesso modo, può definirsi il limite inferiore relativo alle condizioni di flusso turbolento, considerando, in questo caso, trascurabili le forze viscosse (primo termine della [2.20]) quando queste corrispondono al 5% del valore globale del "pore friction factor", ottenendo

$$R_{p2} = 1570 \quad [2.24]$$

Questi due valori critici di R_p definiscono 3 condizioni di flusso: Darciano, di transizione e turbolento.

Per completezza di esposizione occorre ricordare anche la rivisitazione proposta da Trussell e Chang (1999), i quali, grazie a sofisticate tecniche microfotografiche, hanno individuato in realtà 4 regimi di flusso: il primo regime, solitamente chiamato regime di Darcy, il quale si verifica per numeri di Reynolds al di sotto di 1. Il flusso viene definito "strisciante", intendendo un moto laminare dove non si hanno significativi contributi inerziali. Il secondo regime viene chiamato "Forchheimer regime" (in onore di colui che è stato il primo ad intraprendere le ricerche in tale direzione) o anche "regime progressivo" intendendo che le forze d'inerzia incominciano ad essere importanti: il gradiente idraulico non è più proporzionale solamente a V ma vi è una leggera dipendenza anche da V^2 . il

terzo regime corrisponde a quello di transizione in cui all'inizio la turbolenza si presenta solo in alcune celle (o pori) del mezzo filtrante, mentre quando tale regime è completamente sviluppato la turbolenza si nota in tutte le cavità del sistema poroso; si ha una predominanza netta delle forze inerziali su quelle viscosi e si formano dei vortici regolari. Il quarto ed ultimo regime è indice di una completa turbolenza, le velocità hanno delle fluttuazioni di tipo randomico in ogni parte del materiale filtrante.

I valori limite R_{p1} e R_{p2} ottenuti da Legrand sono dello stesso ordine di grandezza di quelli ottenuti da Trussell e Chang, nel rispetto delle differenze nella definizione del numero di Reynolds, soltanto che per Legrand il regime di transizione corrisponde ai regimi 1 e 2 di Trussell e Chang.

Altri autori come Ergun (1952), Wilkins (1956), Martins (1990), Gent (1991), e Li, Garga e Davies (1998), hanno sviluppato relazioni i - V un po' più flessibili dal punto di vista della loro applicazione anche se sempre limitate ad un regime di flusso ben determinato oppure legate a coefficienti ricavabili solo sperimentalmente.

Un piccolo sunto schematico delle varie formule proposte negli anni passati tra quelle praticamente utilizzabili è rappresentato di seguito.

$$\text{Ergun (1952)} \quad i = 150 \cdot \frac{(1-n)^2 \cdot \nu}{g \cdot n^3 \cdot d^2} \cdot V + 1,75 \cdot \frac{(1-n)}{d \cdot g \cdot n^3} \cdot V^2 \quad [2.25]$$

relazione ottenuta con un mezzo poroso costituito da sfere (cioè con un fattore di forma r_e costante), dove:

i, V e g come già definiti

n è la porosità definita come rapporto tra volume totale e volume dei vuoti

ν è la viscosità cinematica pari a $\frac{\mu}{\rho}$ (ρ =densità)

d è il diametro della generica particella costituente il mezzo poroso

in realtà, laddove il materiale filtrante sia costituito da particelle irregolari, occorre calcolare la superficie specifica del granulo $A_{vs} (= \frac{r_e \cdot 6}{d_{rock}})$ e rideterminare i coefficienti della relazione [3.25].

$$\text{Wilkins(1956)} \quad i = \frac{0.00465 \cdot V^{1.85}}{r^{0.925} \cdot n^{1.85}} \quad [2.26]$$

tipica legge di potenza, in cui la viscosità cinematica ν e l'accelerazione di gravità g sono incluse nel coefficiente 0,0465 con unità di misura $[\text{sec}]^{1.85}/[\text{m}]^{0.925}$; è importante notare come nella formula [2.26] il coefficiente cambi valore a secondo del tipo di unità di misura che si sta usando.

dove:

$$i, V \text{ e } n \text{ come già definiti ma } V \text{ in m/s}$$

$$r=d/10 \text{ con } d \text{ come già definito ma in metri}$$

$$\text{Blake (1923)} \quad i = C \cdot \mu^{0.2} \cdot (\rho \cdot g)^{0.8} \left[\frac{(1-n)^{1.2}}{n^3} \right] \cdot A_{vs}^{1.2} \cdot V^{1.8} \quad [2.27]$$

Anch'essa tipica legge di potenza, e utilizzata con successo per descrivere il moto dei fluidi all'interno delle condotte (C è una costante determinabile soltanto sperimentalmente).

$$\text{Martins(1990)} \quad i = \frac{V^2 \cdot (1-n)}{0.56^2 \cdot n^3 \cdot 2 \cdot g \cdot d} \quad [2.28]$$

Ricavata per $Re > 250$ e risistemata per materiali uniformi (con coefficiente di uniformità pari a 1); tutti i simboli sono già stati definiti.

$$\text{Gent(1991)} \quad i = 1207.06 \cdot \frac{(1-n)^2 \cdot \nu}{g \cdot n^3 \cdot d^2} \cdot V + 1.209 \cdot \frac{(1-n)}{d \cdot g \cdot n^3} \cdot V^2 \quad [2.29]$$

dove tutti i simboli sono già stati definiti.

Li, Garga e Davies(1998)

$$i = \frac{4.5 \cdot a \cdot \nu \cdot r_e^2 \cdot (1-n)^2}{d^2 \cdot g \cdot n^3} \cdot V + \frac{0.75 \cdot b \cdot r_e \cdot (1-n)}{d \cdot g \cdot n^3} \cdot V^2 \quad [2.30]$$

come forma quadratica, mentre come relazione di tipo esponenziale hanno ottenuto

$$i = \frac{3 \cdot C_1 \cdot (1-n)^{1-N} \cdot r_e^{1-N}}{4 \cdot (6 \cdot \nu)^N \cdot d^{1-N} \cdot g \cdot n^3} \cdot V^{2+N} \quad [2.31]$$

dove oltre ai simboli già trovati abbiamo:

r_e = fattore di forma, ovvero il rapporto tra il grado di efficienza superficiale delle particelle e quello delle; r_e vale 1 per le sfere ed è maggiore di 1 per qualsiasi altra forma;

a, b, C_1 e $N = -0,17$ costanti ricavate sperimentalmente;

$N=0$ e $C_1=3,15$ per $Re>200$ (moto completamente turbolento)

Stephenson “modificata” (1979)

$$i = \frac{800\nu}{d^2 \cdot n \cdot g} \cdot V + \frac{K_t \cdot V^2}{g \cdot d \cdot n^2} \quad [2.32]$$

in cui

K_t è un coefficiente che caratterizza il tipo di materiale utilizzato (uguale a 4 per la roccia, 2 per pietre arrotondate e 1 per marmo liscio).

McCorquodale et al. (1978)

$$i = \frac{70\nu}{g \cdot n \cdot r^2} \cdot V + \frac{0,81}{g \cdot n^{0,5} \cdot r} \cdot V^2 \quad [2.33]$$

in cui

r = raggio medio idraulico

legge valida per materiali ottenuti da un processo di frantumazione della roccia.

Abt (1991)

$$i = \frac{1}{0.79^2 \cdot g \cdot d_{10}} \cdot V_e^2 \quad [2.34]$$

in cui

V_e è la velocità effettiva (interstiziale) pari a $= V \cdot n$

d_{10} è il diametro corrispondente al 10% della curva granulometrica.

$$\text{Parkin (1963)} \quad i = 1.86V_e^{1.86} \quad [2.35]$$

dove V_e è già stata definita

$$\text{Faggioni (1999)} \quad i = 0.0019 \frac{V^{(1.53 - \frac{1}{1+R_e})}}{d_m^{1.28} S_f^{2.49} n^{3.66}} \quad [2.36]$$

dove Re è il numero di Reynolds (come verrà specificato nel cap. 3).

Occorre riportare alcune considerazioni (Li, Garga ,1998):

- per $n = 0.35-0.5$ e diametri nell'ordine del 0.01m, le formule [2.30]e [2.32] sono algebricamente affini (ovvero hanno i coefficienti elevati allo stesso grado di potenza)
- per $n = 0.35-0.5$ e diametri variabili tra 0.04m e 2m, le formule [2.30], [2.31], [2.32] e [2.26] sono affini
- per $n = 0,45-0,5$ e diametri variabili tra 0.04m e 2m, l'affinità si instaura tra le relazioni [2.33], [2.30], [2.31], [2.32] e [2.26]
- per $n = 0,35-0,5$ e diametri superiori a 0.04m, la [2.28] e la [2.25] sottostimano il valore del gradiente idraulico rispetto alle altre formule. Questo diventa evidente all'aumentare del valore di n.

3 Variabili del fenomeno

3.1 Variabili del fenomeno

Nel fenomeno oggetto del presente studio, ha un ruolo fondamentale il materiale di fondo della rampa, che costituisce il mezzo filtrante, e le caratteristiche del fluido passante attraverso il materiale. Prima di passare alla presentazione dei dati sperimentali raccolti viene fornita una discussione dettagliata dei parametri che influenzano il fenomeno. Le variabili interessano sia le caratteristiche del materiale sia le caratteristiche del fluido che lo attraversa.

Caratteristiche del materiale

- peso specifico
- porosità totale ed indice dei vuoti
- diametri caratteristici
- uniformità del materiale
- sfericità

Caratteristiche del fluido

- distribuzione dell' acqua nel mezzo incoerente
- porosità efficace
- densità del fluido
- viscosità cinematica

Nei paragrafi successivi vedremo nel dettaglio ogni grandezza caratteristica

3.1.1 Caratteristiche del materiale

Peso specifico

Si definisce la grandezza peso specifico di una certa sostanza o materiale il peso della medesima diviso per il suo volume. Viene definito come :

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

e si misura, essendo il peso la forza con cui la Terra attira a sé le masse, in N/m^3 .

Poiché la forza peso è data dalla nota formula : $p = mg$ dove g è l'accelerazione di gravità (circa $9,8 \text{ m/s}^2$), avremo :

$$\gamma = \frac{Pg}{V}$$

Porosità

La porosità n è la proprietà delle rocce incoerenti di contenere spazi vuoti tra gli elementi solidi che la compongono.

La porosità inoltre dipende in maniera molto complessa dalla forma, disposizione, diametro, uniformità degli elementi componenti il "filtro".

Riferiamoci ad una volume totale di mezzo poroso V e sono definibili i parametri:

volume della parte solida V_s

volume degli spazi interstiziali $V_v = V - V_s$

volume della fase acquosa $V_a (< V_v)$

fatta questa premessa possiamo definire la porosità come il rapporto tra il volume degli spazi interstiziali (volume dei vuoti) ed il volume totale, in formula otteniamo:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (n < 1)$$

Spesso si fa riferimento anche all' indice dei vuoti e definito come:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Tra la porosità e l'indice dei vuoti si hanno le seguenti relazioni:

$$n = \frac{e}{1 + e} \qquad e = \frac{n}{1 - n}$$

Diametri caratteristici

Per diametri caratteristici intendiamo la misura geometrica del materiale, cioè la grandezza effettiva del granulo.

I diametri caratteristici più importanti sono: d_{10} , d_{16} , d_{50} , d_{84} , d_m e il d_{eq} essi derivano dalla curva granulometrica del materiale. Il d_m è definito come la media delle tre dimensioni del granulo:

$$d_m = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} \text{ dove } d_1, d_2, d_3 \text{ sono le tre dimensioni del granulo.}$$

Il diametro equivalente viene definito come il *diametro della sfera (con lo stesso peso specifico del granello) che decanta con la stessa velocità del granello, oppure quel diametro del materiale omogeneo che costituisce un filtro delle stesse caratteristiche di quello formato da materiali di diverse dimensioni.*

Il diametro definito è stato ottenuto misurando le tre dimensioni dell'elemento rapportandolo ad una sfera, come da definizione, e calcolando il volume di un ellissoide di equivalente volume, dal quale è stato poi possibile ricavare il diametro. Il diametro equivalente infine, è stato correlato con la percentuale in peso di ogni singolo elemento sul peso totale.

Uniformità del materiale

L' uniformità del materiale è caratterizzata da due espressioni:

- $U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ formula di Hazen

Il d_{60} e il d_{10} sono i diametri pari al 60% e 10 % della curva granulometrica.

$$\bullet \quad \sigma = \sqrt{d_{84} / d_{16}}$$

Tanto più il coefficiente si avvicina a 1, tanto più il materiale risulta omogeneo.

Il d_{84} e il d_{16} sono i diametri pari al 84% e 16 % della curva granulometrica.

Sfericità

La sfericità S_f indica la forma dei materiali. Il concetto originale di sfericità secondo Wadell (1932) è :

$$\text{Sfericità vera} = \frac{A_{\text{granulo}}}{A_{\text{sfera}}}$$

dove:

- A_{granulo} è l'area della superficiale del granulo
- A_{sfera} è l'area superficiale della sfera di uguale volume

In pratica la misura della sfericità di un granulo irregolare non è attuabile e Wadell (1933) ha proposto un'operazione pratica che si può così esprimere.

$$\text{Sfericità operativa} = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{granulo}}}{V_{\text{sfera}}}}$$

dove :

- V_{granulo} è il volume del granulo
- V_{sfera} è il volume della sfera circoscritta

Questa equazione è divenuta basilare per moltissime misure di sfericità. Wadell ha sviluppato un metodo per calcolare il rapporto tra i volumi (immergendo il granulo in acqua misurando la variazione di volume e rapportandolo ad una sfera di eguale diametro d), ed è arrivato alla seguente relazione :

$$\text{Sfericità operativa} = \frac{d}{a}$$

cioè la sfericità del granulo è uguale al rapporto tra il diametro equivalente (d_{eq}) e intercetta maggiore (a) del granulo.

Nel 1935 Zingg ha dimostrato che il rapporto tra intercetta intermedia e maggiore (b/a) di granulo, si riporta in funzione del rapporto tra intercetta minore e media (c/b); il granulo può essere classificato a questo punto in base alla sua forma. In merito a questo Zingg ha costruito un grafico che illustra la sua classificazione. Ciascun asse del diagramma cartesiano è diviso in due parti in corrispondenza di un valore ($0,68$) che separa il grafico in quadranti, caratterizzato ognuno da una particolare classe di forma (figura 3.2). L' equazione derivante da questi due rapporti si può rappresentare con una serie di curve sul reticolo grafico di Zingg, in modo da ottenere linee di eguale sfericità operativa (detta **sfericità delle intercette**), come mostrato dal grafico di figura 3.3.

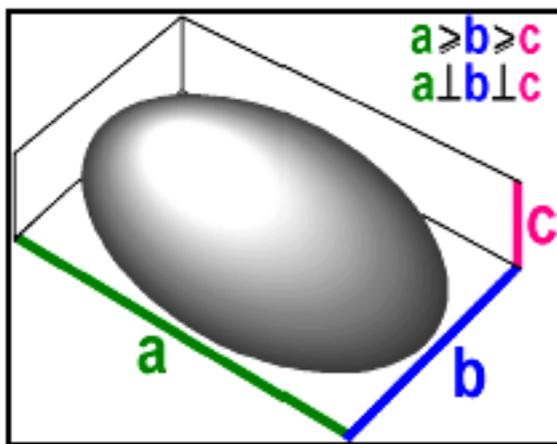


figura 3.1 dimensioni dei granuli

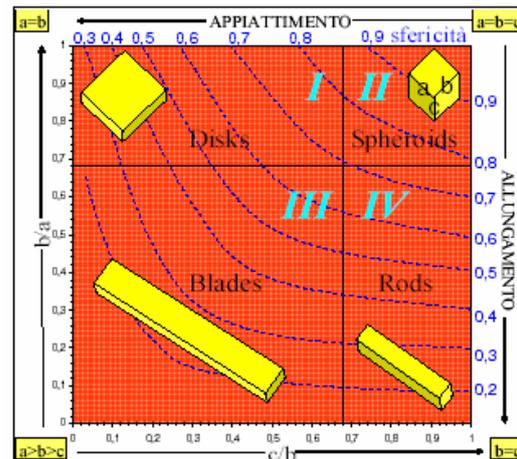


figura 3.2 diagramma di Zingg (1935)

	Forma		Forma
D	Discoidale o Biassiale	B	Lamellare o Triassiale
S	Sferica o Equiassiale	R	Allungata o Uniassiale

tabella 3.1 classificazione in base al diagramma di Zingg

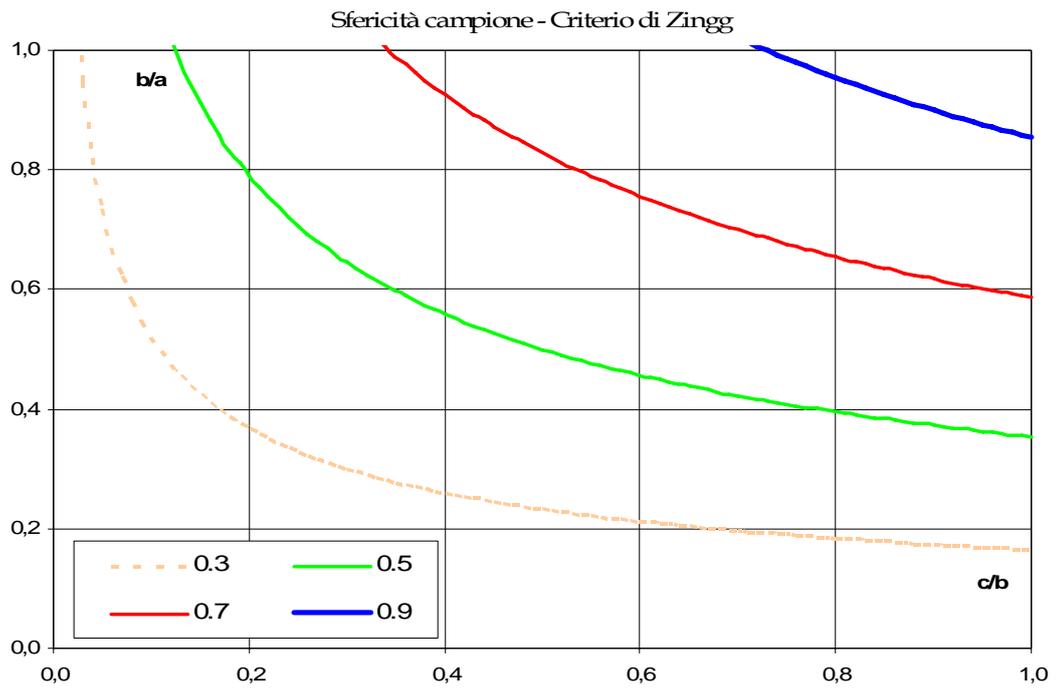


figura 3.3 curve di Zingg (1935)

3.1.2 Caratteristiche del fluido

Distribuzione dell'acqua nel mezzo incoerente

Un mezzo intragranulare incoerente è trifasico, (fase, gassosa, liquida e solida) il suo studio è importante per comprendere le modalità di movimento e la distribuzione dell'acqua al suo interno.

L' acqua nel sottosuolo si distingue in tre classi:

- acqua di ritenzione (igroscopica e pellicolare)
- acqua capillare
- acqua gravitazionale o “libera”

L' *acqua di ritenzione o acqua di imbibizione* circonda i granuli di terreno con velo molto sottile che aderisce alla superficie solida del granulo per effetto di forze molto intense di natura elettrostatica che agiscono a livello molecolare. Il volume di tale acqua è tanto maggiore, quanto più piccole sono le dimensioni dei granuli e quanto è più irregolare la loro superficie.

L' *acqua capillare risale verticalmente* nei pori dell'ammasso per effetto combinato della tensione superficiale, dell'adesione e della coesione. Tale acqua, al cui interno vi è una pressione più bassa della pressione atmosferica, può risalire anche di diversi metri in funzione delle dimensioni dei pori e della natura chimico-fisica del terreno.

L' *acqua gravitazionale o acqua libera* rappresenta la sola frazione di acqua che circola nel sottosuolo e che può essere tecnicamente ed economicamente utilizzata. L' acqua gravitazionale infatti può essere rimossa tramite drenaggi o con emungimenti mediante pompaggio.

Porosità efficace

Riprendendo dalla definizione possiamo distinguere la *porosità totale*, pari al rapporto tra il volume dei vuoti e il volume apparente dell'intero acquifero, e *porosità efficace* che invece tiene conto della *capacità di ritenzione*, cioè la capacità di un ammasso filtrante di trattenere acqua allo stato liquido per fenomeni non gravitazionali di adesione e di capillarità, legata quindi alla sola acqua che può abbandonare l'ammasso filtrante per gravità.

Introduciamo i seguenti parametri:

V_v volume dei vuoti

V_a volume dell' acqua (capillarità , gravità)

V_{app} Volume apparente

Possiamo scrivere che la porosità efficace è uguale a :

$$n_e = \frac{V_v - V_a}{V_{app}} \quad (n < 1)$$

Densità del fluido

La proprietà meccanica fondamentale di un fluido è rappresentata dalla sua densità ρ , la quale misurando la concentrazione di materia, risulta pari alla massa dell'unità di volume. Esprimendo in formula otteniamo:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Viscosità cinematica

La viscosità cinematica (m^2/s) è una parametro che dipende dalla temperatura dell' acqua secondo la seguente tabella. Nelle prove effettuate è stata misurata costantemente la temperatura per risalire all' esatto valore.

Temperatura (°C)	Viscosità (m ² /s)
10	1,31·10 ⁻⁶
15	1,17·10 ⁻⁶
20	1,04·10 ⁻⁶
25	0,9·10 ⁻⁶

tabella 3.2 dipendenza della viscosità della temperatura

3.2 Valutazione della turbolenza mediante il n° di Reynolds

Partendo dalla definizione usata in letteratura possiamo scrivere:

$$R_e = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

dove:

- V è la velocità di flusso
- L è la dimensione caratteristica
- ν è la viscosità cinematica

Nel flusso dell'acqua attraverso i meati di dimensione medio-grande di un sistema filtrante quale un ammasso di materiale incoerente di pezzatura tale da far trascurare nello studio del fenomeno le forze di tensione superficiale, si può ipotizzare un comportamento simile a quello all'interno delle condotte.

Il legame tra il coefficiente d'attrito e il n° di Reynolds si può esprimere come:

$$f = \frac{a}{R_e} + b \quad [3.1]$$

dove:

- f è il coefficiente d'attrito di flusso
- a e b sono coefficienti ricavabili sperimentalmente

Teoria del raggio idraulico $R_e = f(R_m)$

Nel fenomeno oggetto dello studio ha un ruolo essenziale il mezzo filtrante e il tipo di deflusso al suo interno. Viene definita, la velocità di deflusso V , detta bulk velocity, la velocità considerando che la portata passante interessi l'intera sezione del mezzo, pieno per vuoto.

La velocità effettiva di un fluido passante in un mezzo incoerente, viene definita V_e ed è legata alla porosità del mezzo filtrante tramite la seguente relazione:

$$V_e = \frac{V}{n}$$

Nel caso di mezzo poroso possiamo definire quanto segue:

$$R_e = \frac{V_e \cdot R_m}{v} = \frac{V}{n} \cdot \frac{R_m}{v} \quad [3.2]$$

dove:

- V_e è la velocità efficace
- R_m è il raggio idraulico (o medio)

Andiamo a definire adesso il raggio idraulico medio R_m :

$$R_m = \frac{V_v}{S_a}$$

dove:

- V_v è il volume dei vuoti
- S_a è la superficie laterale dei vuoti

La S_a può essere considerata equivalente alla superficie laterale degli elementi (A_s) costituenti il mezzo se si ipotizza che il contatto fra di essi sia puntuale. In tal modo si escludono dalla nostra trattazione i mezzi costituiti da elementi con superfici piane relativamente estese che, combaciando fra loro, farebbero venir meno l'ipotesi di un contatto puntuale e quindi l'uguaglianza:

$$S_a \cong A_s$$

R_m può essere espresso come:

$$R_m = \frac{V_{totale} \cdot n}{A_s} \quad \text{oppure} \quad R_m = \frac{e}{A_{vs}}$$

dove:

- e è l'indice dei vuoti già definito in precedenza
- A_{vs} superficie specifica per unità di volume per la forma degli elementi considerata.

Le sfere sono le forme geometriche che hanno la minore superficie laterale per unità di volume quindi qualunque altra forma avrà una superficie specifica (per unità di volume) maggiore. Per le sfere avremo:

$$A_{vs} = \frac{\text{surface}_{particle}}{\text{volume}_{particle}} = \frac{\pi \cdot d_{sphere}^2}{\frac{\pi}{6} \cdot d_{sphere}^3} = \frac{6}{d_{sphere}}$$

Per rapportare alla sfera equivalente una particella di forma generica purché non eccessivamente irregolare, cioè priva di concavità troppo pronunciate, faremo riferimento alla sua sfericità S_f definita in precedenza.

Possiamo allora scrivere per tutti gli altri materiali (Li, Garga 1998):

$$(A_{vs})_{rock} = \frac{J_{rock}}{d_{eq}}$$

$$r_e = \frac{J_{rock}}{J_{sphere}}$$

dove:

- r_e è il fattore di forma ($= 1/S_f$)
- J_{rock} è il grado di efficienza superficiale della particella dipendente dalla sua forma che vale :

$$J = 6 \quad \text{per le sfere} \quad J_{rock} = \frac{6}{S_f} \quad \text{per gli altri materiali}$$

- d_{eq} è il diametro equivalente

In definitiva possiamo scrivere l'espressione completa per il raggio medio:

$$R_m = \frac{\left(\frac{n}{1-n} \right)}{\frac{J}{d_{eq}}} = \frac{n}{(1-n)} \cdot \frac{d_{eq}}{J}$$

$$R_m = \frac{n \cdot d_{eq} \cdot S_f}{(1-n) \cdot 6} \quad [3.3]$$

Non essendo possibile, nella pratica usuale, misurare ogni volta il volume delle particelle costituenti il mezzo poroso (lo strato di base della rampa), si è cercata una relazione sperimentale tra il diametro medio del mezzo e il diametro equivalente; con r_d indicheremo il rapporto tra il diametro equivalente di una particella e quello medio (d_m), quest'ultimo valutato come media dei tre assi principali o mediante setacciatura. In definitiva avremo:

$$d_{eq} = r_d \cdot d_m$$

Il d_{eq} così calcolato è stato usato per la determinazione di R_m secondo la [3.3] e quindi di Re con la [3.2], ovvero:

$$R_e = \frac{V \cdot d_{eq} \cdot S_f}{(1-n) \cdot 6 \cdot \nu} \quad [3.4]$$

dove ricordiamo:

- V è la "bulk" velocity
- d_{eq} è il diametro equivalente
- S_f è la sfericità del materiale
- n è la porosità
- ν viscosità cinematica

Sapendo che la perdita di carico nelle condotte è del tipo (formula di Darcy-Weisbach)

$$\frac{h_f}{L} = i = f \cdot \frac{V_e^2}{8 \cdot g \cdot R_m}$$

da cui

$$f = \frac{8 \cdot i \cdot g \cdot R_m}{V_p^2} \quad [3.5]$$

Sostituendo la [3.4] e la [3.5] nella [3.1] si ottiene

$$i = \frac{a \cdot \nu}{8 \cdot g \cdot R_m^2 \cdot n} \cdot V + \frac{b}{8 \cdot g \cdot R_m \cdot n^2} \cdot V^2$$

Numero di Reynolds in funzione di \sqrt{k}

Venkataraman e Rama Mohan Rao (1998) impiegarono la radice quadrata della permeabilità intrinseca (\sqrt{k}) come lunghezza caratteristica nella definizione del n° di Reynolds ed introducendo come terzo parametro il rapporto d/\sqrt{k} il quale varia al variare del tipo di materiale, ottenendo (vedi cap. 2)

$$R_k = \frac{\sqrt{k} \cdot V}{\nu} \quad [3.6]$$

e

$$f_k = \frac{i \cdot g \cdot \sqrt{k}}{V^2} \quad [3.7]$$

dove:

- R_k è il n° di Reynolds basato sulla \sqrt{k}
- f_k è il friction factor
- k è la permeabilità intrinseca
- ν viscosità cinematica
- V bulk velocità

Sostituendo la [3.6] e la [3.7] nella [3.1] si ottiene

$$f_k = \frac{1}{R_k} + \frac{d}{\sqrt{k}}$$

dove si nota che il parametro $a=1$ e $b=d/\sqrt{k}$.

Gli autori considerano un flusso di tipo Darciano quando il rapporto d/\sqrt{k} tende a zero per cui; allo stesso modo il moto di filtrazione sarà turbolento nel caso in cui il rapporto d/\sqrt{k} è predominante rispetto al rapporto $1/R_k$, in analogia con

quanto avviene analizzando l'abaco del Moody per il flusso nelle condotte. In questo caso però il coefficiente d/\sqrt{k} dipende dal tipo di materiale e dalle sue proprietà fisiche (porosità, granulometria, etc.), quindi i valori del numero di R_k che classificano il tipo di flusso saranno:

$$R_k = \frac{0,17}{\left(\frac{d}{\sqrt{k}}\right)^{1,1}} \quad [3.8]$$

come limite superiore per il flusso Darciano, e

$$R_k = \frac{10}{\left(\frac{d}{\sqrt{k}}\right)} \quad [3.9]$$

come limite inferiore per il flusso turbolento.

Numero di Reynolds funzione di d_p

Legrand (2002) ha utilizzato il diametro dei pori (d_p) come lunghezza caratteristica all'interno del numero di Reynolds, ottenendo:

$$R_p = \frac{V \cdot \tau \cdot d_p}{n \cdot \nu} \quad [3.10]$$

ed anche

$$f_p = \frac{i \cdot g \cdot n^2 \cdot d_p}{2 \cdot V^2 \cdot \tau^3} \quad [3.11]$$

dove:

- R_p è il "pore Reynolds number"
- f_p è il "pore friction factor"
- V è la bulk velocity
- τ è la tortuosità $= \sqrt{\frac{n \cdot d_p^2}{32 \cdot k}}$
- d_p è il diametro dei pori $= \frac{4 \cdot n}{A_{vs} \cdot (1-n)}$
- n è la porosità

Inserendo la [3.10] e la [3.11] nella [3.1] si ottiene

$$f_p = \frac{16}{R_p} + 0,194$$

Dove si può notare che il parametro $a = 16$ e $b = 0,194$. In altro modo si può scrivere l'equazione in termini di i in funzione di V come

$$i = \left(\frac{32 \cdot \nu \cdot \tau^2}{g \cdot n \cdot d_p^2} \right) \cdot V + \left(\frac{0,3872 \cdot \tau^3}{g \cdot n^2 \cdot d_p} \right) \cdot V^2$$

In questo avremo $R_{p1} = 4$ come limite superiore del deflusso laminare e $R_{p2} = 1570$ come limite inferiore del deflusso turbolento.

3.3 Caratterizzazione dei materiali

Ogni materiale, della seguente trattazione, viene caratterizzato mediante opportune grandezze che descrivono in modo completo le sue caratteristiche:

- d_i diametri caratteristici (parametro per la dimensione)
- n porosità
- γ peso specifico
- σ coefficiente di uniformità $\sigma = \sqrt{d_{84} / d_{16}}$
- S_f sfericità di Zingg (parametro per la forma)

Per ogni parametro citato verranno illustrati i metodi con i quali abbiamo ottenuto le informazioni necessarie alla loro determinazione.

I d_i sono stati ottenuti costruendo la curva granulometrica, curva che è stata ottenuta in due modi: attraverso l'uso del calibro misurando i diametri mutuamente ortogonali degli elementi, e calcolando il diametro equivalente. Il diametro equivalente viene definito come il *diametro della sfera (con lo stesso peso specifico del granello) che decanta con la stessa velocità del granello.*

Il diametro equivalente è stato ottenuto misurando le tre dimensioni dell'elemento rapportandolo ad una sfera, come da definizione, e calcolando il volume di un ellissoide equivalente, dal quale è stato poi possibile ricavare il diametro. Il diametro equivalente infine, è stato correlato con la percentuale in peso di ogni singolo elemento sul peso totale.

Per gli altri materiali a causa della presenza di una frazione finissima non è stato possibile il calibro, la loro composizione quindi è stata studiata mediante vagliatura attraverso appositi setacci a maglia quadrata.

La porosità n è la proprietà delle rocce incoerenti di contenere spazi vuoti tra gli elementi solidi che la compongono.

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (n < 1)$$

Tale coefficiente è stato ottenuto prendendo una fustella di volume noto riempiendola di materiale e aggiungendo acqua con un misuratore di precisione 0,1 mm, ottenuto il volume del liquido inserito, corrispondente al volume dei vuoti è stata applicata la formula.

Il peso specifico γ rappresenta il rapporto tra la quantità in peso ed il volume. Tale parametro è stato ottenuto pesando una determinata quantità di materiale P , prendendo poi un becker graduato abbiamo immesso una quantità di acqua tale da costituire il volume iniziale V_i . Aggiungendo poi il materiale il livello liquido si sale fino a raggiungere un volume finale V_f . Risulta così semplice ottenere il peso specifico γ come dimostrato dalla formula successiva.

$$\gamma = \frac{P}{V_f - V_i}$$

Il coefficiente σ rappresenta l'uniformità del materiale e la dispersione dei valori intorno al valore medio:

d_{84} = diametro corrispondente all' 84% della percentuale in peso sul totale,

d_{16} = diametro corrispondente al 16% della percentuale in peso sul totale.

Tanto più il coefficiente si avvicina a 1, tanto più il materiale risulta omogeneo.

Nei materiali oggetto del presente studio tale coefficiente si è attestato attorno ad 1,2 per i materiali costituenti il fondo della rampa, e 1,05 per i materiali costituenti gli strati superficiali della rampa.

La sfericità S_f indica la forma dei materiali, attraverso l'uso del calibro si misurano le tre dimensioni e attraverso il grafico binario di Zingg (1935) la sfericità. Solo per i materiali M1 e Bi, per i quali è stato possibile usare il calibro, verrà proposto il grafico di Zingg per il calcolo della sfericità.

3.3.1 Materiali costituenti i fondi omogenei e gli strati superficiali

Per il fondo omogeneo sono state utilizzati 6 tipi di materiali, denominati M1, M2, M3, M6, M7 e M8 mentre per gli strati superficiali della rampa sono stati utilizzati 5 tipi di blocchi denominati B1, B2, B4, B5 e B6. Per i materiali M1 e Bi si è utilizzato il calibro per il rilievo della loro composizione mentre per i restanti materiali a causa della loro frazione molto fine abbiamo utilizzato dei setacci a maglia quadrata.

In seguito i materiali verranno suddivisi in due categorie : quelli costituenti il fondo della rampa e quelli costituenti gli strati superficiali.

CAMPIONE M1



Figura 3.4 fondo campione M1

$\sigma=(d_{84}/d_{16})^{0.5}$	1,19	d_{50}	14,80
d_{90}	17,86	d_{25}	13,66
d_{84}	17,25	d_{16}	12,30
d_{65}	16,06	d_{10}	11,89
γ (Kg/m ³)	2631	Porosità (%)	39,4

tabella 3.3 caratteristiche granulometriche campione M1

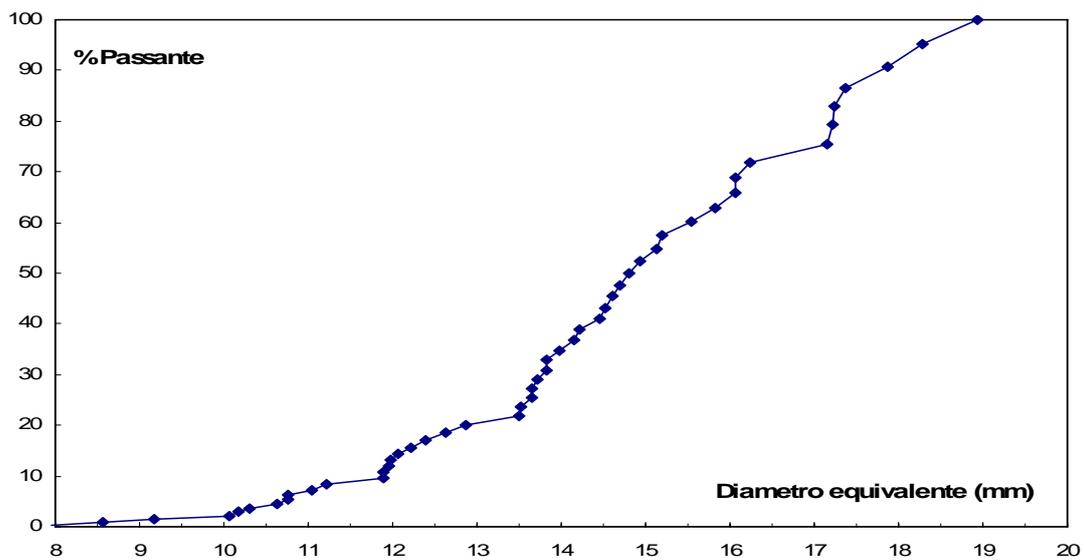


figura 3.5 curva granulometrica campione M1

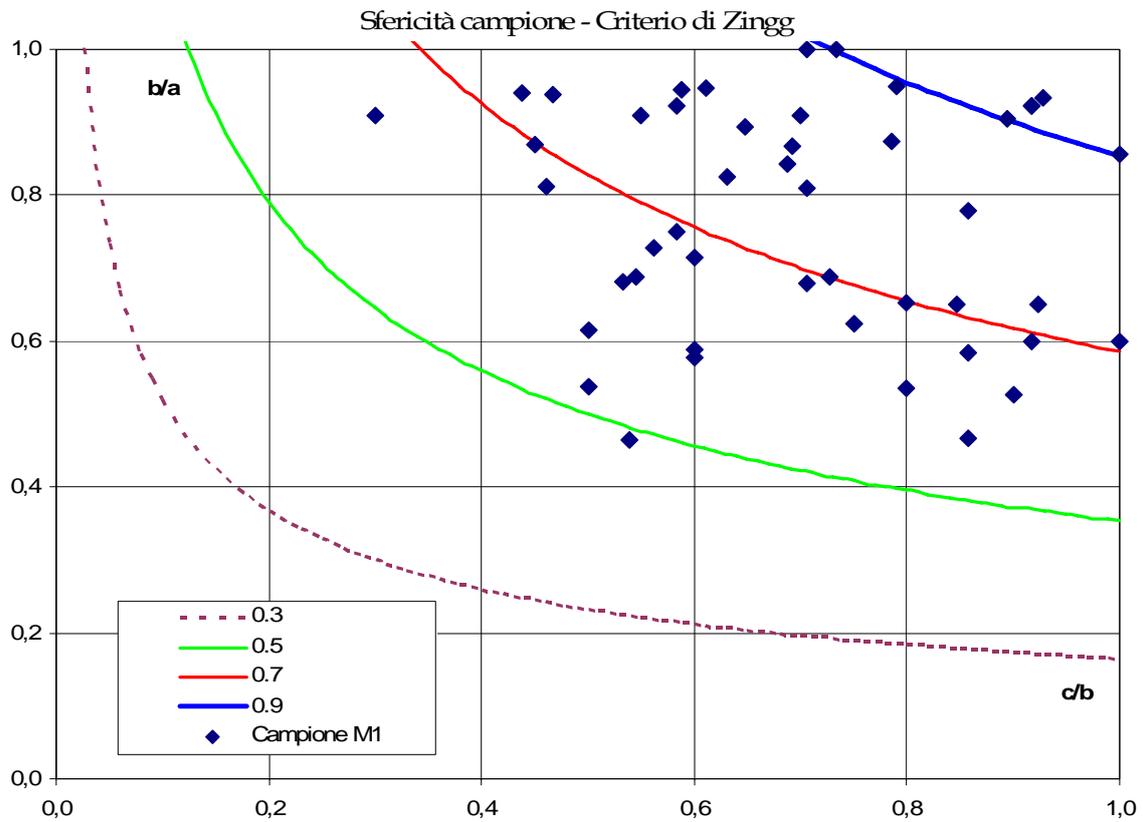


figura 3.6 sfericità campione M1

La sfericità del campione risulta essere pari a 0,76 un dato che risulta coerente con la distribuzione dei dati sperimentali sulle curve.

Per i successivi materiali, per i quali non è stato possibile usare il calibro la sfericità è stata valutata sulla base dei dati realmente misurati ed abbiamo ottenuto:

M2; $S_f = 0.8$

M3; $S_f = 0,85$

M8; $S_f = 0.85$

CAMPIONE M2



figura 3.7 fondo campione M2

$\sigma=(d_{84}/d_{16})^{0.5}$	1,20	d_{50}	6,56
d_{90}	8,49	d_{25}	5,89
d_{84}	8,11	d_{16}	5,63
d_{65}	6,96	d_{10}	5,22
γ (Kg/m ³)	2782	Porosità (%)	38,4

tabella 3.4 caratteristiche granulometriche campione M2

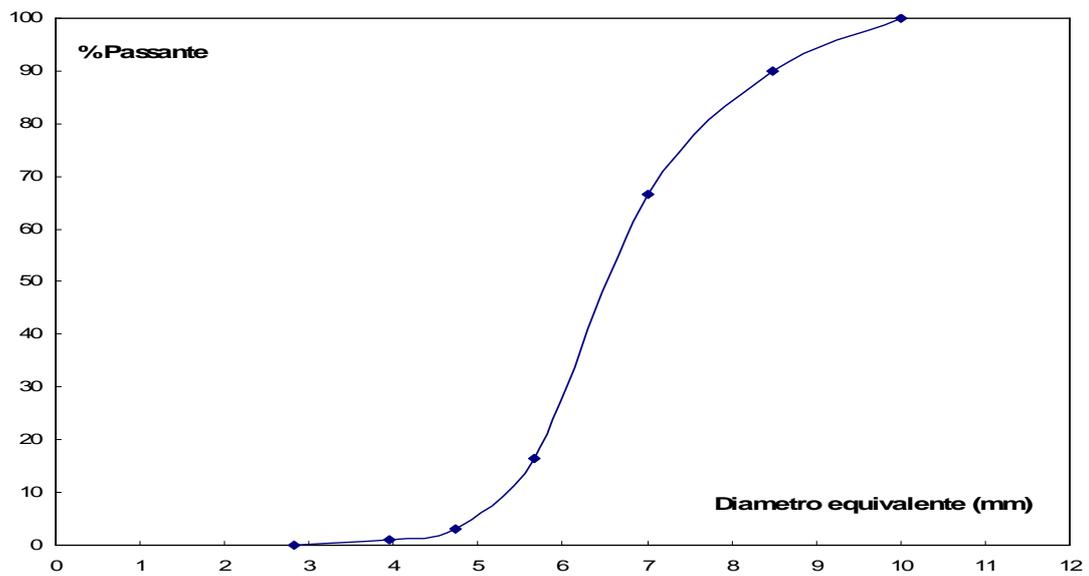


figura 3.8 curva granulometrica campione M2

CAMPIONE M3



figura 3.9 fondo campione M3

$\sigma=(d_{84}/d_{16})^{0.5}$	1,22	d_{50}	5,52
d_{90}	6,83	d_{25}	4,84
d_{84}	6,63	d_{16}	4,45
d_{65}	6,00	d_{10}	4,14
γ (Kg/m ³)	2667	Porosità (%)	38,06

tabella 3.5 caratteristiche granulometriche campione M3

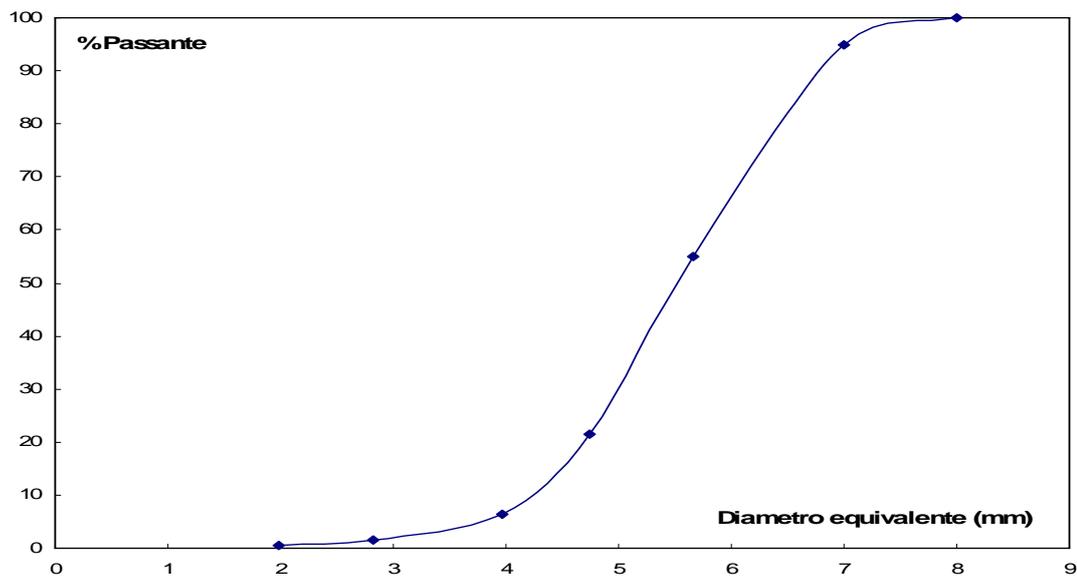


figura 3.10 curva granulometrica campione M3

CAMPIONE M8



figura 3.11 fondo campione M8

$\sigma=(d_{84}/d_{16})^{0.5}$	1,27	d_{50}	12,06
d_{90}	15,69	d_{25}	9,97
d_{84}	14,89	d_{16}	9,24
d_{65}	13,31	d_{10}	8,18
γ (Kg/m ³)	2679	Porosità (%)	0.39

tabella 3.6 caratteristiche granulometriche campione M8

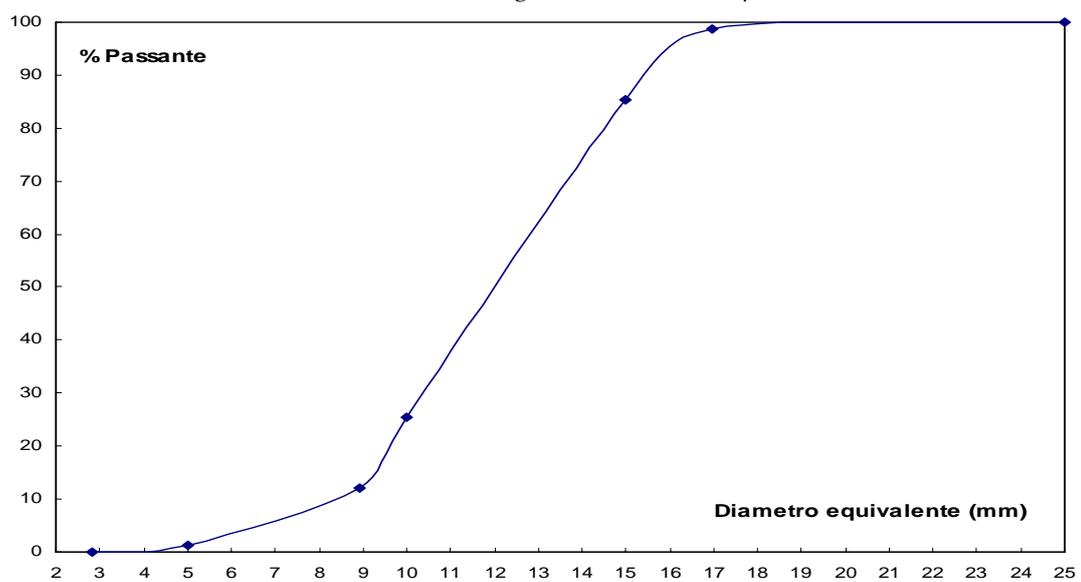


figura 3.12 curva granulometrica campione M8

CAMPIONE B1



figura 3.13 strato superficiale B1

$\sigma=(d_{84}/d_{16})^{0.5}$	1,09	d_{50}	43,00
d_{90}	45,26	d_{25}	39,69
d_{84}	45,15	d_{16}	37,70
d_{65}	43,16	d_{10}	36,94
γ (Kg/m ³)	2537	Sfericità	0,76

tabella 3.7 caratteristiche granulometriche campione B1

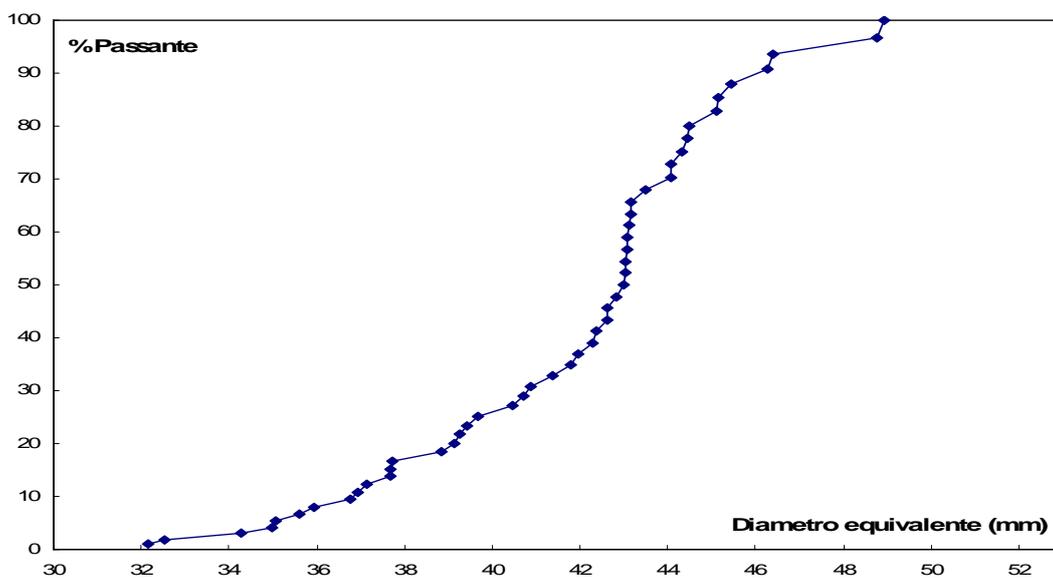
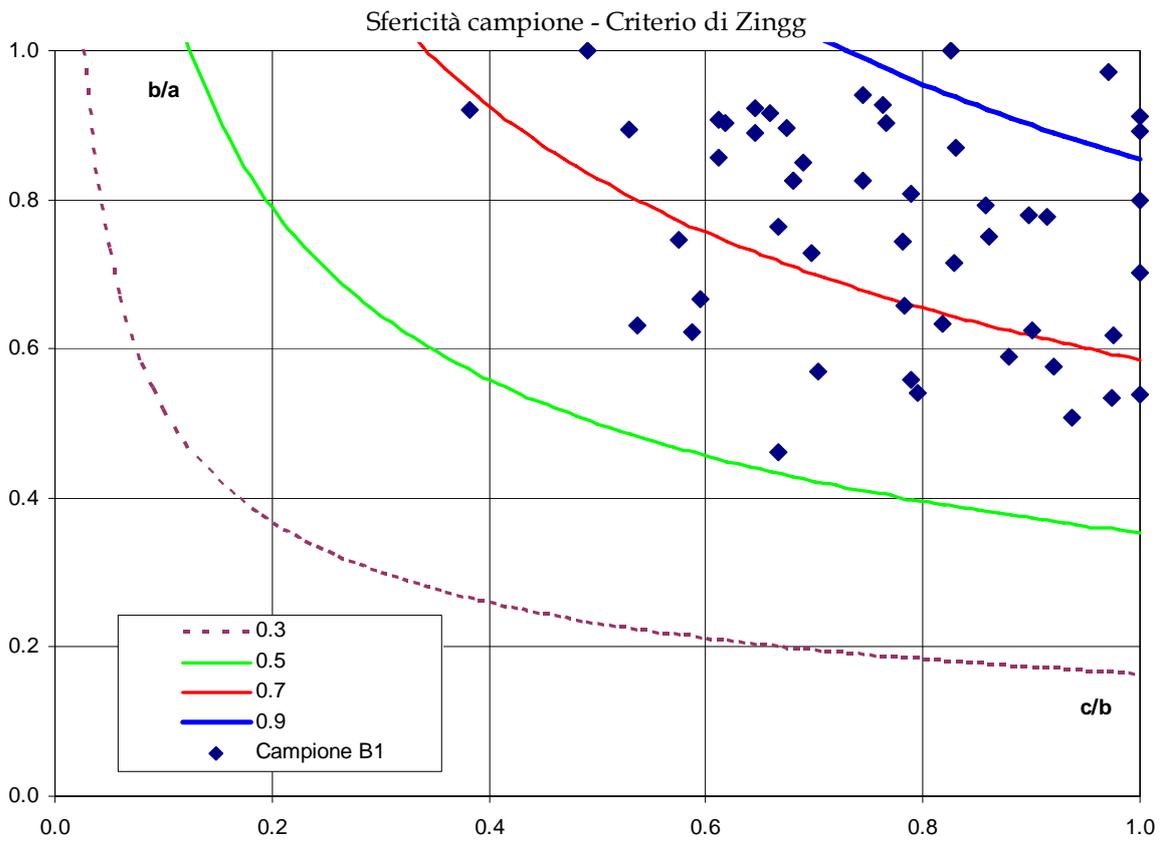


figura 3.14 curva granulometrica campione B1



CAMPIONE B2



figura 3.16 strato superficiale B2

$\sigma=(d_{84}/d_{16})^{0.5}$	1,09	d_{50}	31,84
d_{90}	35,41	d_{25}	30,50
d_{84}	34,27	d_{16}	29,75
d_{65}	32,42	d_{10}	29,54
γ (Kg/m ³)	2585	Sfericità	0,74

tabella 3.8 caratteristiche granulometriche campione B2

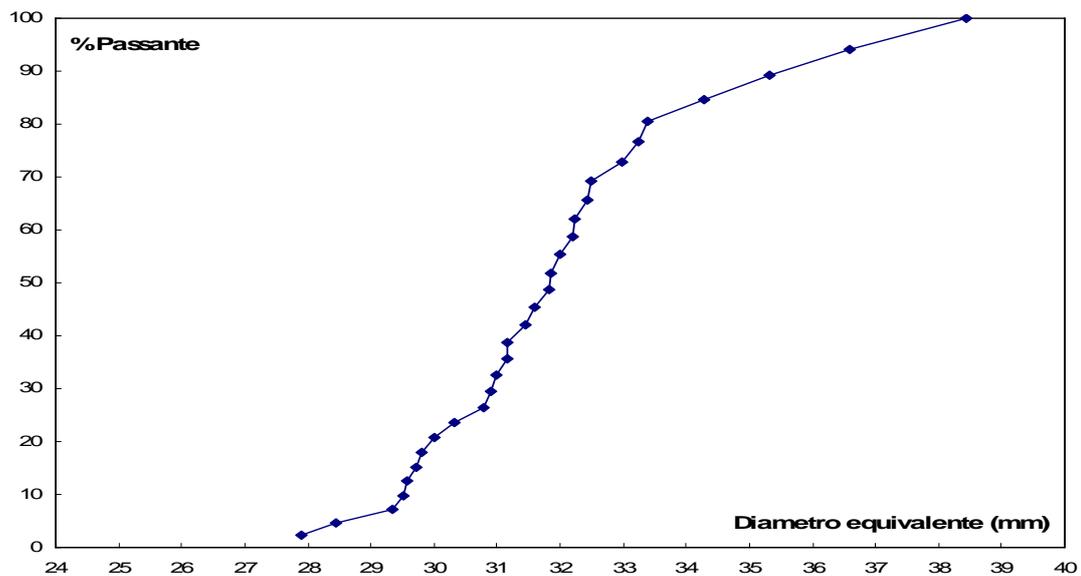


figura 3.17 curva granulometrica campione B2

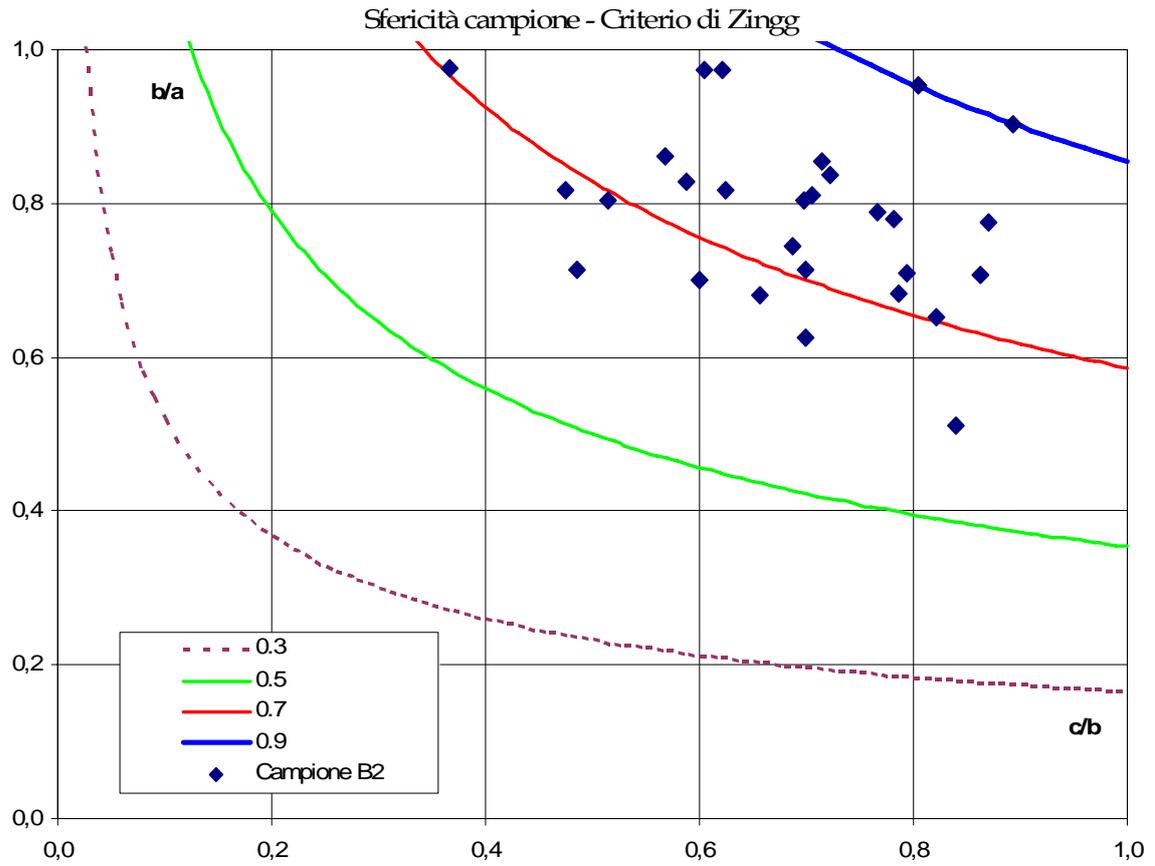


figura 3.18 sfericità campione B2

CAMPIONE B4



figura 3.19 strato superficiale B4

$\sigma=(d_{84}/d_{16})^{0.5}$	1,09	d_{50}	47,15
d_{90}	51,73	d_{25}	44,36
d_{84}	50,98	d_{16}	42,85
d_{65}	49,01	d_{10}	42,2
γ (Kg/m ³)	2714	Sfericità	0,75

Tabella 3.9 caratteristiche granulometriche campione B4

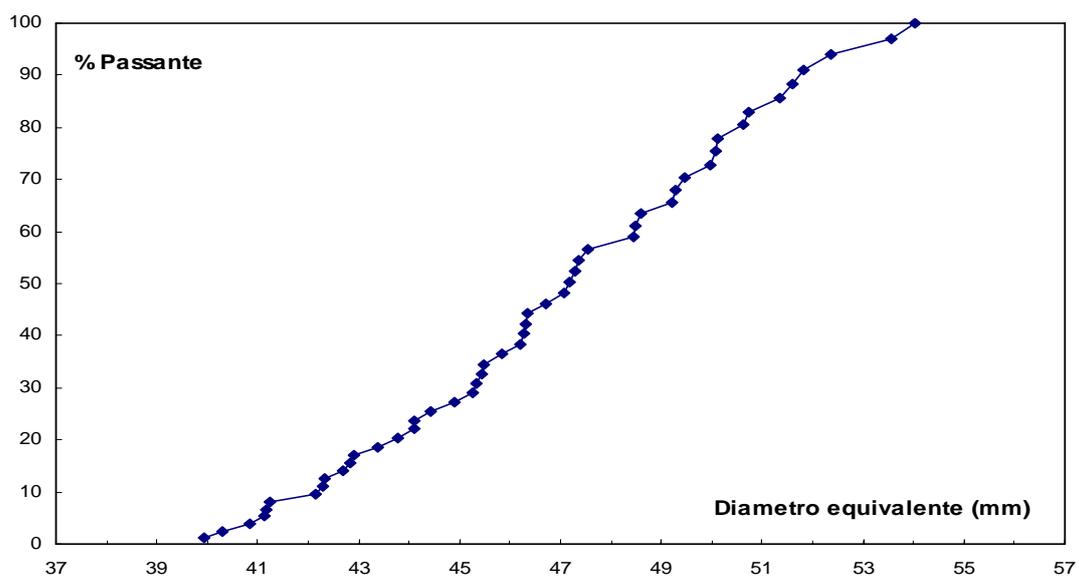


Figura 3.20 curva granulometrica campione B4

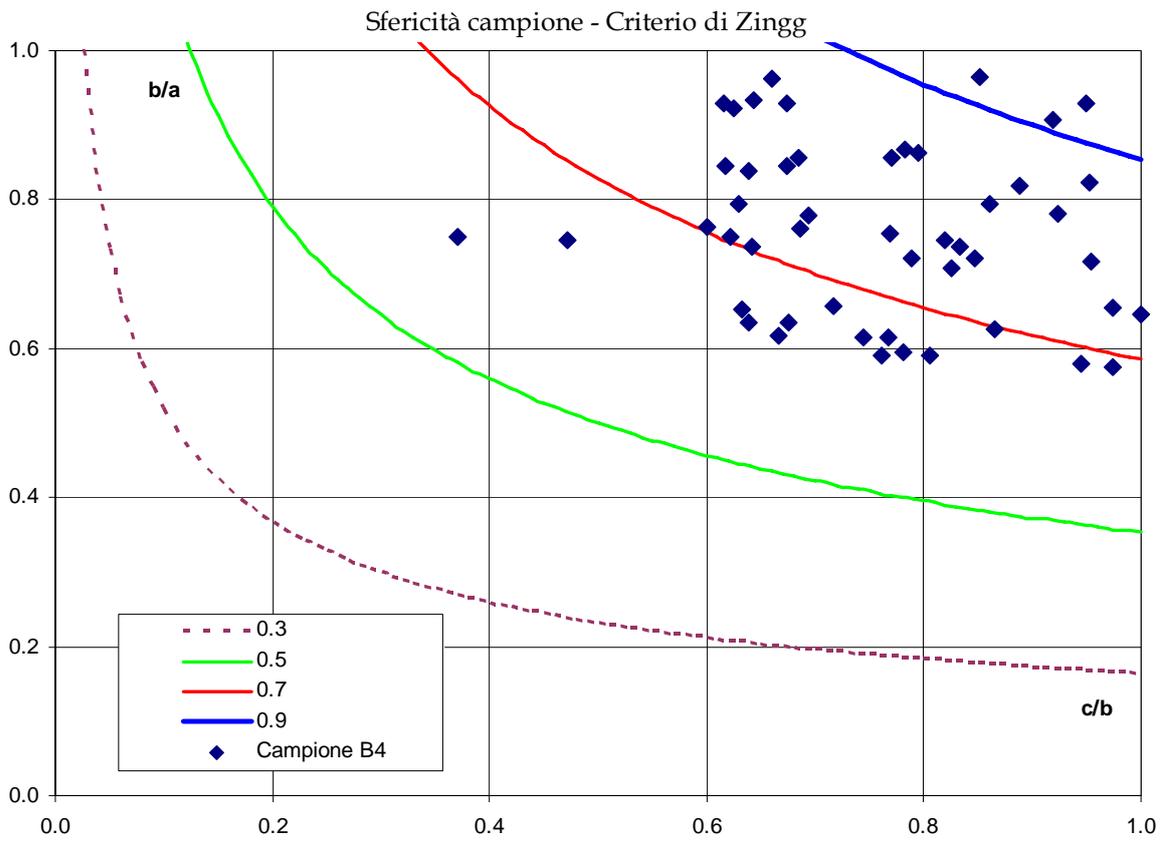


Figura 3.21 sfericità campione B4

CAMPIONE B5



figura 3.22 strato superficiale B5

$\sigma=(d_{84}/d_{16})^{0.5}$	1,07	d_{50}	40,92
d_{90}	43,69	d_{25}	38,73
d_{84}	43,12	d_{16}	37,69
d_{65}	41,75	d_{10}	36,92
γ (Kg/m ³)	2700	Sfericità	0,84

Tabella 3.10 caratteristiche granulometriche campione B5

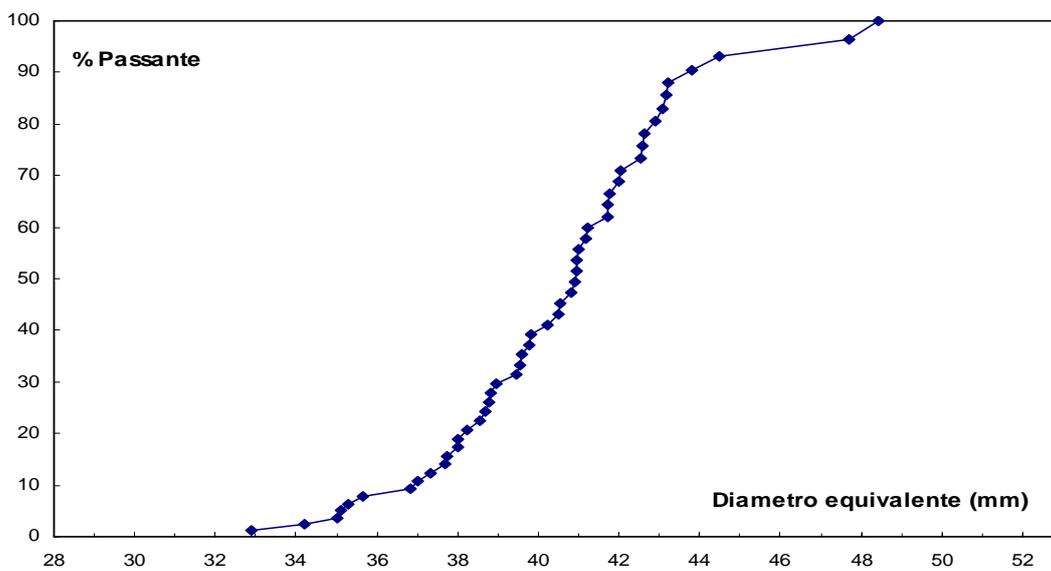


Figura 3.23 curva granulometrica campione B5

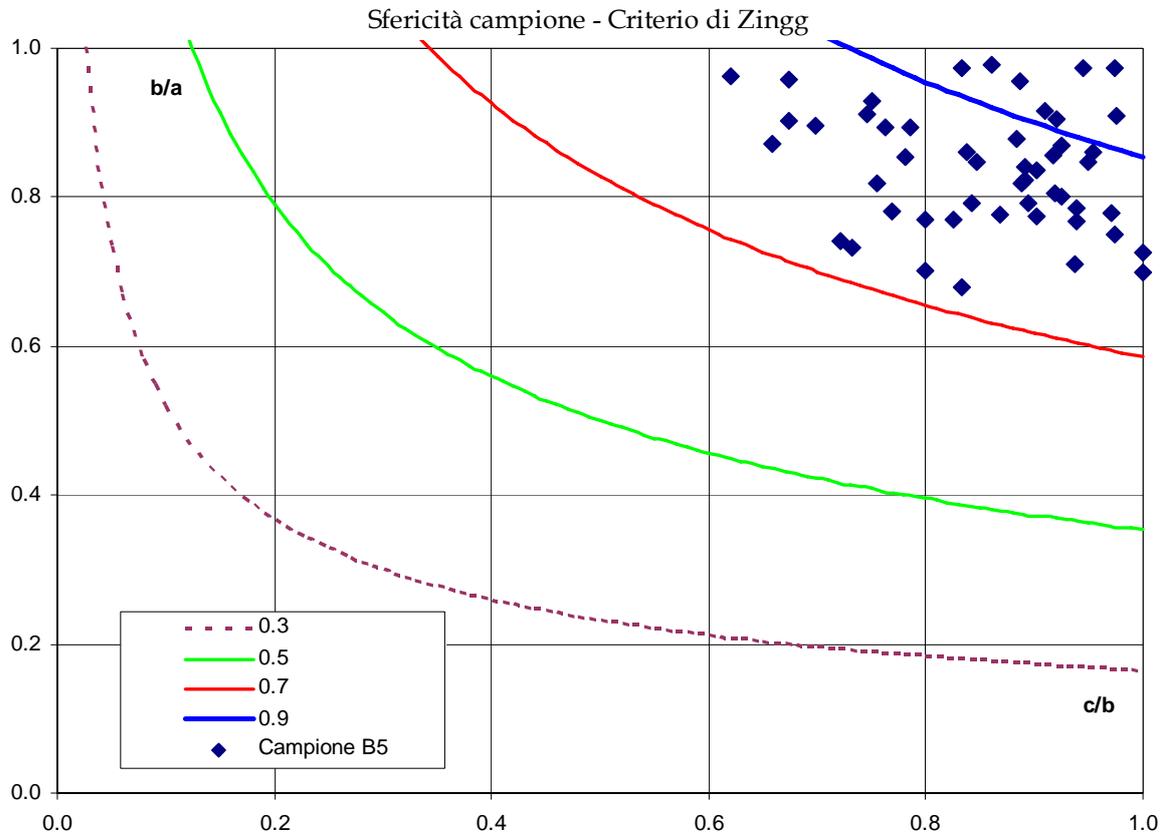


Figura 3.24 sfericità campione B5

CAMPIONE B6



figura 3.25 strato superficiale B6

$\sigma=(d_{84}/d_{16})^{0.5}$	1,19	d_{50}	49,60
d_{90}	53,47	d_{25}	48,09
d_{84}	53,33	d_{16}	47,18
d_{65}	51,05	d_{10}	46,39
γ (Kg/m ³)	2700	Sfericità	0,85

Tabella 3.11 caratteristiche granulometriche campione B6

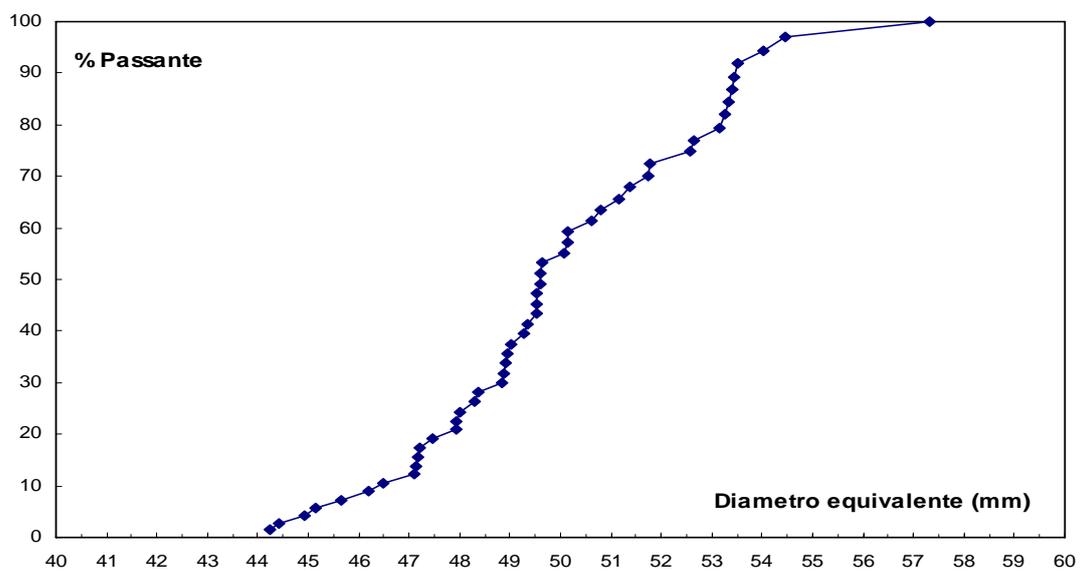


Figura 3.26 curva granulometrica campione B6

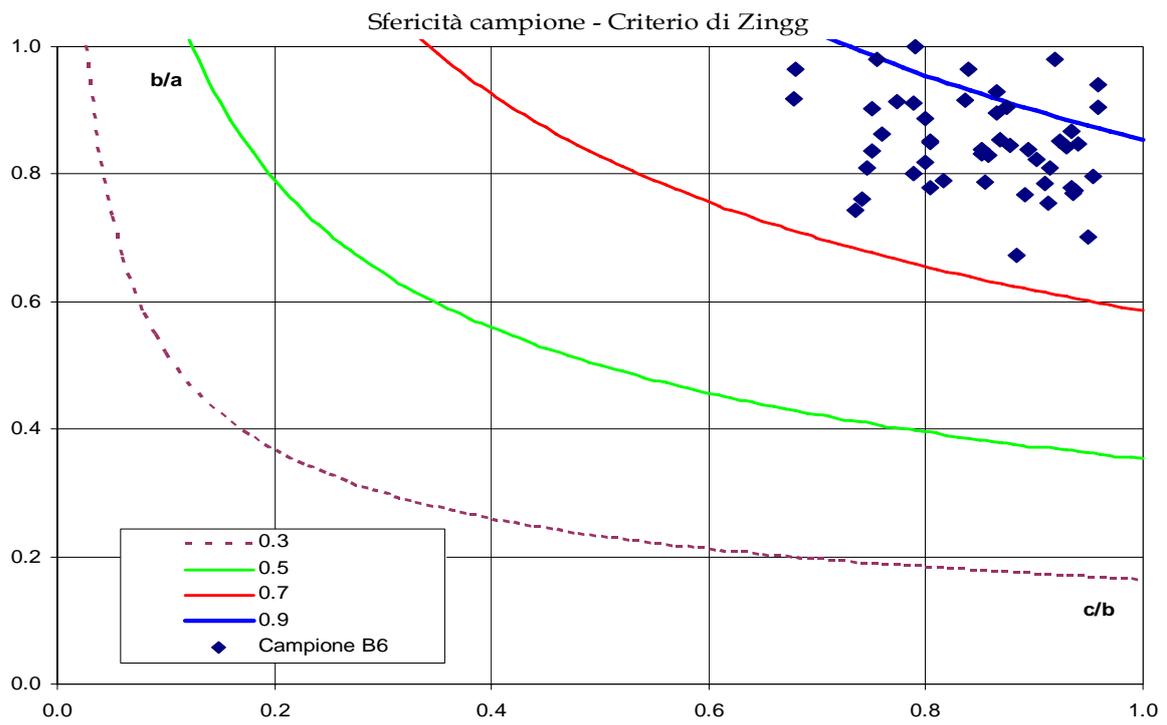


figura 3.27 sfericità campione B5

4 Apparato Sperimentale

4.1 Descrizione apparato sperimentale

Le prove sperimentali sono state eseguite nel canale denominato 1-E presso il Dipartimento di Idraulica dell'Università di Pisa. Tale modello è costituito da un circuito chiuso composto da una vasca di aspirazione, da una pompa di sollevamento ed una tubazione adduttrice.

La vasca di raccolta (larga 1,5 m , lunga 1,5 m e alta 1 m) è posta a valle dell'impianto. In essa è installata una pompa di potenza pari a 7,5 KW che riesce ad erogare una portata massima pari a 28 l/s con una prevalenza di 24 m, la regolazione della portata viene effettuata mediante due valvole a saracinesca posizionate subito a valle della vasca di aspirazione. La tubazione adduttrice è in PVC, ha un diametro di 75 mm ed è dotata di un misuratore elettromagnetico di portata della Krohne.

Il canale ha lunghezza di 4 m, una sezione trasversale rettangolare di larghezza 30 cm e altezza 45 cm, le pareti sono di vetro mentre la struttura è in acciaio.



Figura 4.1 vista generale dell'apparato sperimentale

All' interno del canale sono state realizzate rampe in pietrame con differenti materiali di base e strati superficiali, i cui assortimenti granulometrici sono già stati dettagliati nel capitolo 3. Oltre alla variazione dei materiali costituenti la rampa, sono state utilizzate due tipi di pendenze (1V:6H e 1V:4H), portate entranti variabili e spessori differenti dello strato filtrante. La lunghezza della rampa è pari a 1 m, ed è preceduta da un tratto a pendenza nulla di lunghezza 40 cm e ancor prima da una vasca di calma per far sì che la corrente che scorre sulla rampa non sia interessata da eccessive turbolenze che potrebbero influenzare negativamente i risultati dell'esperimento. A valle della rampa è presente un altro tratto orizzontale di 1 m di lunghezza lungo il quale sono stati rilevati i valori di altezza liquida utili per il calcolo della dissipazione energetica.

Scopo di tali prove è quello di indagare il comportamento della filtrazione (e quindi l'entità della portata filtrata) e dei suoi effetti sulle dinamiche idrauliche nelle rampe in pietrame. I dati, sia del fondo che del livello liquido, sono stati rilevati impiegando un coordinatometro, di precisione 0,1 mm scorrevole lungo l'intera lunghezza del canale. Per quanto riguarda il fondo, longitudinalmente le sezioni sono state misurate ogni 5 cm, trasversalmente per ogni sezione sono stati rilevati 8 punti, e precisamente nelle ordinate $y = 2,6,10,14,16,20,24,28$ cm. In oltre, per ogni prova, è stata eseguita una mesh (cioè una rete) di rilievo del fondo più dettagliata nella zona centrale della rampa: in senso longitudinale sono state considerate 4 sezioni (distanti l'una dall'altra 2 cm) mentre in senso trasversale, su tali sezioni, sono stati presi 14 punti, uno ogni 2 cm. Per quanto riguarda il rilievo del profilo liquido l'intervallo tra una sezione e l'altra in direzione longitudinale è stato di 5 cm e trasversalmente per ogni sezione sono stati presi 5 valori (uno ogni 5 cm). Facendo poi la media dei punti si è ricavato, sezione per sezione, il valore dell'altezza idrica come differenza tra il pelo libero e il fondo (tale valore si è poi moltiplicato per il coseno dell'angolo della rampa).

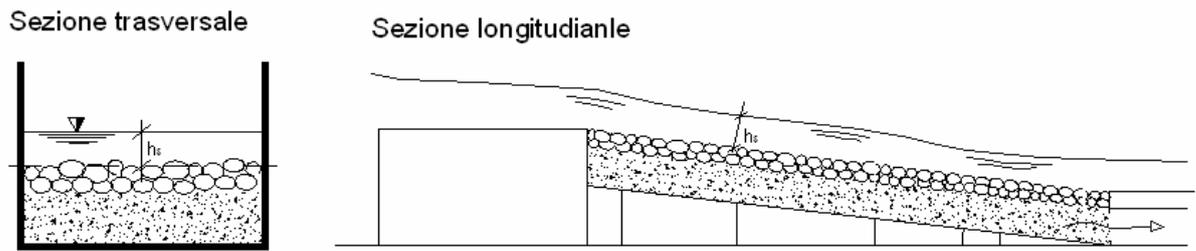


Figura 4.2 apparato sperimentale per prove in pressione

Vengono di seguito riportati due grafici: il primo ci mostra i punti di rilievo del fondo nelle sezioni di infittimento delle misure, mentre il secondo ci da conto di uno schema tridimensionale sempre del fondo della rampa.

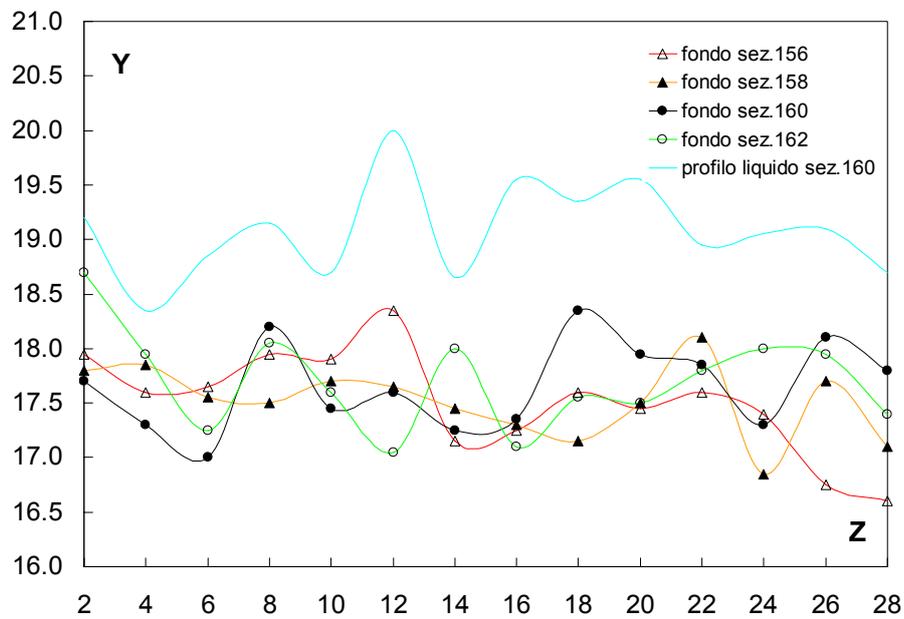


Figura 4.3 andamento profilo del profilo liquido e del fondo (prova 44)

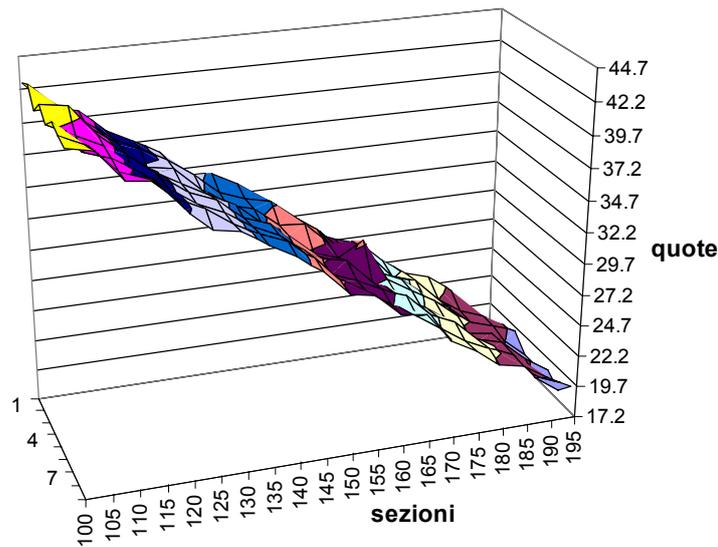


Figura 4.4 schema tridimensionale del fondo

Sempre attraverso l'uso del coordinatometro sono state prese le misure piezometriche lungo la rampa.

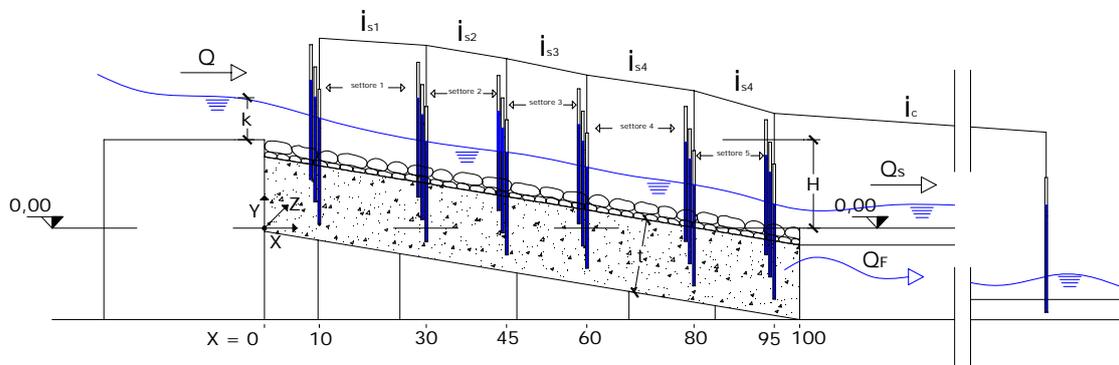


Figura 4.5 visualizzazione schematica di un modello generico

Dislocati lungo la rampa si possono notare 6 batterie di piezometri posizionate nelle sezioni $x = 10$ cm, $x = 30$ cm, $x = 45$ cm, $x = 60$ cm, $x = 80$ cm e $x = 95$ cm; ogni batteria piezometrica comprende 3 piezometri dislocati lungo la verticale, i quali sono stati inseriti a profondità differenti all'interno dello strato filtrante (vedremo meglio nel seguito le quote dei vari piezometri), a seconda dello spessore dello strato permeabile stesso.

Come si può notare dalla figura 4.5 le 6 batterie piezometriche individuano sulla rampa 5 settori: ogni settore viene considerato compreso tra una batteria di piezometri e l'altra ed il valore del carico idraulico misurato verrà pensato applicato nel baricentro di ogni settore stesso.

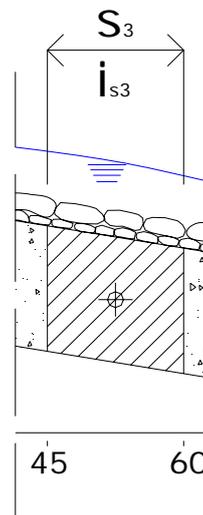


Figura 4.6 particolare del 3° settore

Occorre sottolineare che il materiale di base della rampa termina nella sezione $x = 100$ cm, laddove è stata inserita una griglia per far sì che il materiale stesso non venisse a perdersi lungo la canaletta dopo ogni prova. La foto successiva mostra un particolare di queste griglie.

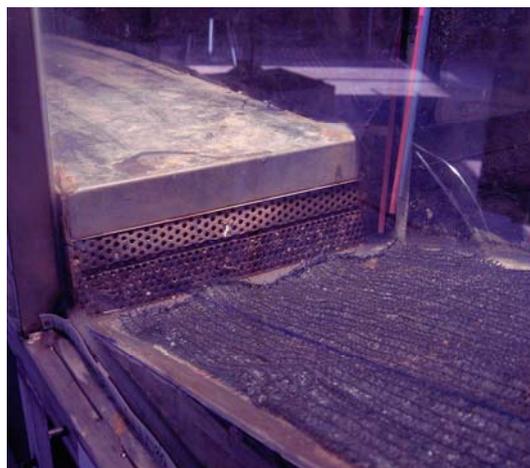


Figura 4.7 particolare della griglia

Come ulteriore precisazione sottolineiamo che la portata filtrata attraverso lo strato di base della rampa, una volta attraversata la griglia, viene a dividersi dalla portata superficiale Q_s che continua a scorrere a valle della rampa.

Per la messa in pressione sono state utilizzate apposite valvole di regolazione situate alla fine del canale.

Le prove sono state eseguite in un range di portata tale da essere sempre in condizioni di stabilità per la rampa.



Figura 4.8 misuratore di portata



Figura 4.9 valvole di regolazione della pressione

Oltre alle valvole di regolazione per consentire una perfetta interazione tra la pressione di monte e di valle della canaletta di filtrazione sono stati utilizzati due piezometri posti alla fine del canale principale, la cui altezza piezometrica è stata

misurata sempre attraverso il coordinatometro. Per la quota piezometrica di riferimento si è scelta quella del livello liquido superiore in uscita dalla rampa.



Figura 4.10 piezometri di valle per la regolazione della pressione

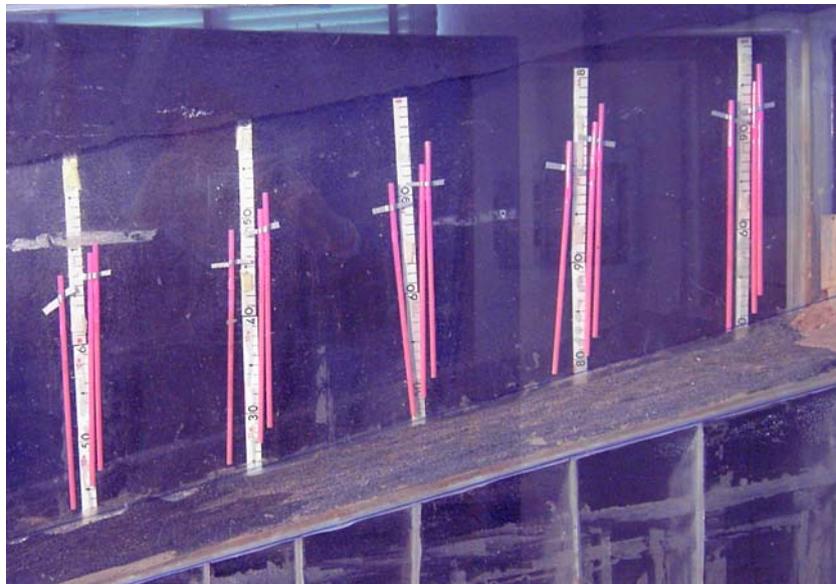


Figura 4.11 distesa dei piezometri lungo la rampa

Riportiamo adesso le varie condizioni al contorno di valle con le quali sono state condotte le prove:

- Boundary condition 1 (BC1, condizione al contorno di valle): questa situazione si riferisce alle prove nelle quali la canaletta è stata mantenuta in

pressione regolando le valvole poste in fondo al canale, e facendo sì che il livello liquido misurato nei 2 piezometri a valle corrispondesse con il livello liquido presente al piede della rampa (sez. x = 100 cm, vedi figura 4.5).

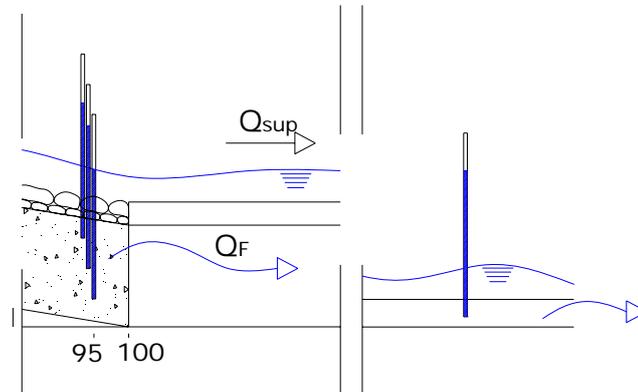


Figura 4. 12 particolare della condizione al contorno 1

- Boundary condition 2 (BC2, condizione al contorno di valle): questa situazione si riferisce alle prove nelle quali la canaletta è stata lasciata con lo sbocco libero, ovvero si parlerà di test in condizioni di pressione atmosferica.
- Boundary condition 3 (BC3, condizione al contorno di valle): in questo caso le prove sono state eseguite facendo sì che la cadente piezometrica misurata dai vari piezometri, ma soprattutto il gradiente idraulico riferito all'ultimo settore, fosse pari alla pendenza della rampa stessa.

La BC1 è la condizione sotto la quale sono state effettuate il maggior numero di prove; tale condizione faceva in modo che la portata che si immetteva nella canaletta e che si "separava" dalla restante portata Q_s , risentisse del carico idraulico presente nel tratto orizzontale a valle della rampa. questa situazione ci portava a rappresentare nel migliore modo possibile ciò che avviene realmente in natura.

Si riporta un grafico dove sono state inserite alcune misure di cadente piezometrica lungo la rampa, riferite alle prove in pressione:

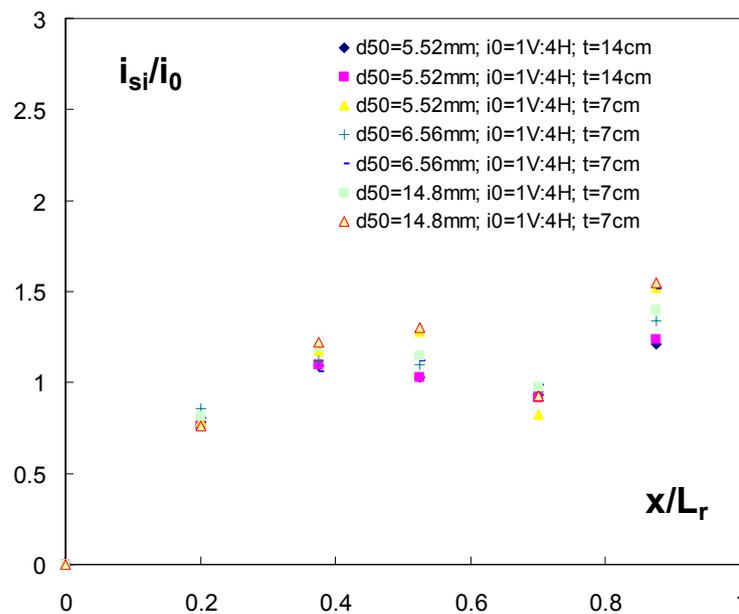


Figura 4.13 andamento dei gradienti idraulici in funzione dell'ascissa x lungo la rampa

Dove si intende con:

i_{si} il valore di pressione presente nel settore i -mo

x ascissa relativa all'applicazione del gradiente i_{si} (si fa riferimento all'ascissa del punto medio di ogni settore)

i_0 pendenza della rampa

L_r lunghezza della rampa.

Per lo studio del fenomeno, oltre al canale principale, è stato necessario l'utilizzo di un canale Venturi dell'azienda Neyrtec, per misurare la portata di filtrazione uscente dal canale principale. Per il canale Venturi come spiegheremo successivamente è stata costruita la scala di deflusso, che mette in relazione la lettura dell'altezza liquida all'interno del canale (vedi figura seguente) in relazione alla portata defluente.



Figura 4.14 canale Venturi



Figura 4.15 dettaglio dell'asta graduata per le letture di misura del livello

La taratura è stata effettuata in due modi in base alle portate defluenti; per portate superiori a 0,5 l/s è stato utilizzato il misuratore elettromagnetico della Khrono, per portate inferiori è stato usato il metodo volumetrico. La scala di deflusso del canale è descritta dalle seguenti equazioni:

per $Q_F < 0,5$ l/s (metodo volumetrico) $Q_F = A \cdot X^B$

$$Q_F = 0.31475 \cdot h_v^{1,867} \quad \text{per } h_v < 1,25 \text{ cm}$$

per $Q_F > 0,5$ l/s (misuratore elettromagnetico) $Q_F = A \cdot X + B$

$$Q_F = 1.0813 \cdot h_v - 0.8612 \quad \text{per } h_v \geq 1,25 \text{ cm}$$

dove:

- Q_F è la portata defluente espressa in l/s.

- h_v è l'altezza letta sulla gradazione del canale espressa in cm.

Le equazioni precedenti hanno portato alla realizzazione della seguente curva che rappresenta la scala di deflusso del canale Venturi.

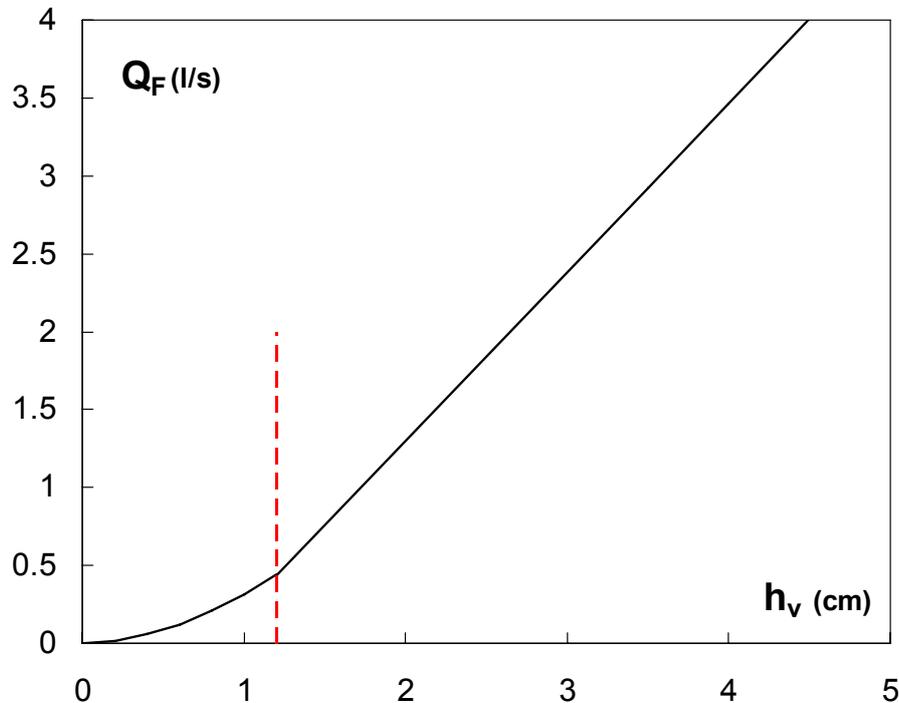


Figura 4.16 curva di taratura del canale Venturi

4.2 Taratura dei modelli

Da un punto di vista idraulico la rampa, oltre a determinare, come nel caso delle classiche briglie, una dissipazione energetica, localizzata a valle dell'opera, e imputabile allo sviluppo di un risalto idraulico, provoca dissipazioni aggiuntive distribuite su tutta la sua superficie, che avviene tramite la formazione di macroturbolenze e moti secondari, che provocano un apprezzabile riduzione dell'energia propria della corrente idrica. Le equazioni a cui si fa riferimento nella seguente trattazione sono quelle di Pagliara - Chiavaccini tratte dal loro " *Energy Dissipation on Block Ramps* " (2004).

Infatti grazie alle esperienze condotte su rampe con differenti materiali, con differenti condizioni geometriche, di flusso e configurazione uniforme è stato

possibile fornire la dissipazione energetica relativa della rampa $\Delta E/E_0$, dove $\Delta E = E_0 - E_1$.

- E_0 è l'energia della corrente in arrivo alla rampa, misurata rispetto al fondo dell'alveo nella sezione al piede della rampa stessa ed è pari a : $E_0 = H + 3/2k$
- E_1 è l'energia della corrente veloce al piede della rampa $E_1 = h_1 + Q^2 / (2gb^2h_1^2)$, avendo indicato con Q la portata della corrente idrica, b la larghezza del canale e h_1 l'altezza della corrente al piede della rampa (Fig. 4.17).

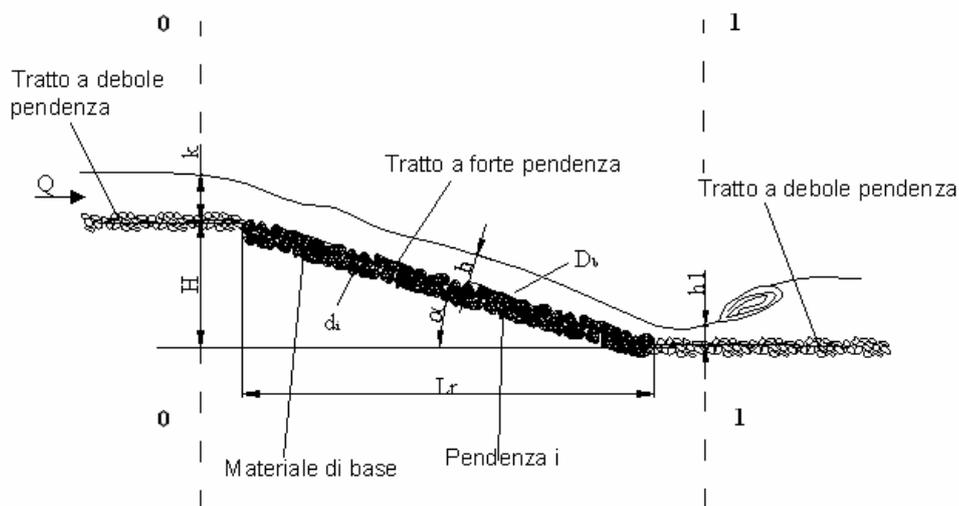


Figura 4.17 schema dissipazione energetica

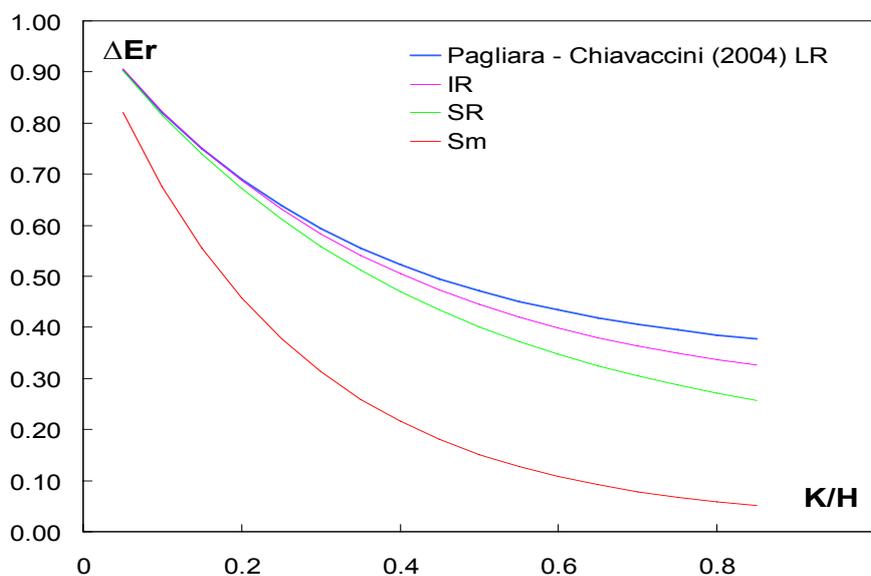


Figura 4.18 dissipazione di energia in funzione di k/H per differenti scale di rugosità

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_o} = A + (1 - A) * e^{(B+C*S)k/H} \quad [4.1]$$

dove A, B, C sono funzione del regime di flusso che viene definito tramite la sommergenza relativa, definita come rapporto tra k/d_{50} . La sommergenza attiva viene suddivisa in tre classi a seconda del h_u/d_{84} .

Roughness condition	h_u/d_{84}	Experimental runs
Large scale roughness (LR)	$h_u/d_{84} < 1,2$	$k/D_{50} < 2,5$
Intermediate scale roughness (IR)	$1,2 < h_u/d_{84} < 4,0$	$2,5 < k/D_{50} < 6,6$
Small scale roughness (SR)	$h_u/d_{84} > 4,0$	$6,6 < k/D_{50} < 42$

tabella 4.1 sommergenza relativa

Roughness condition	A	B	C
Large scale roughness (LR)	0,33	-1,3	-14,5
Intermediate scale roughness (IR)	0,25	-1,2	-12
Small scale roughness (SR)	0,15	-1	-11,5
Smooth ramp (Sm)	0,02	-0,9	-25

tabella 4.2 coefficienti equazione Pagliara - Chiavaccini

Come si può notare dal grafico precedente, vi è un notevole aumento dissipativo di una rampa in pietrame, a parità di pendenza, rispetto ad una rampa liscia.

Proprio con riferimento all'esperienza di Pagliara -Chiavaccini si è effettuata la taratura dei modelli: è stata posta una lamina d'acciaio nella sezione terminale della rampa in modo da annullare la portata di filtrazione e inoltre, per avvicinarsi il più possibile alla metodologia utilizzata dai due autori sopra menzionati, è stata inserita un'ulteriore lamina sopra la quale sono stati fissati i massi costituenti lo strato superficiale. In questo modo siamo riusciti ad ottenere un'ottima correlazione tra i dati calcolati e quelli misurati, una volta potuto affermare di essere in regime di flusso a larga sommergenza; di seguito è riportato sia il grafico

relativo alla taratura del modello con pendenza 1V:6H che quello con pendenza 1V:4H.

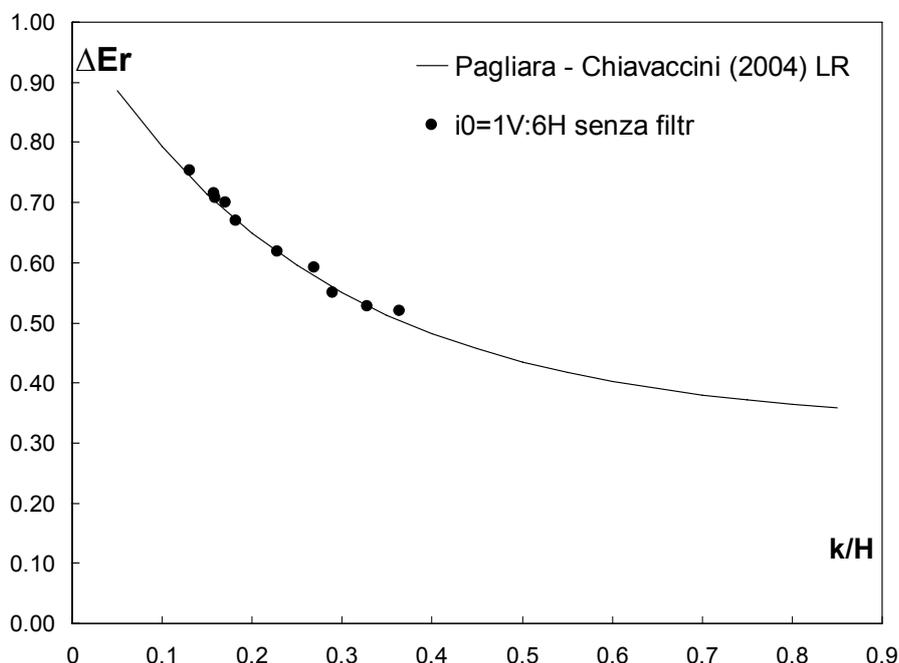


Figura 4.19 punti sperimentali con relazione [1] (1V:6H)

VALORE	k/D₅₀
MINIMO	0,643
MASSIMO	1,336

tabella 4.3 range del valore k/D₅₀

Viene riportato anche un grafico in cui si mostra più chiaramente la perfetta correlazione tra i dati sperimentali e quelli calcolati, ed inoltre una tabella con i dati delle prove senza filtrazione.

Pendenza	Qi (l/s)	Qf (l/s)	QM (l/s)	q (m3/sm)	Mat. Base	1° Sup.	2° Sup.	k	k/H	largh. can	α	0.166	d50	k	k/d50
											ΔE/Eo	H/k			
1V 60	4.02	3.995	4.0075	0.0133583	M2	B1	B5	0.026	0.157	0.3	0.72	6.350	4.09	2.630	0.643
1V 60	7.013	6.945	6.979	0.0232633	M2	B1	B5	0.038	0.228	0.3	0.62	4.387	4.09	3.807	0.930
1V 60	10.037	9.925	9.981	0.03327	M2	B1	B5	0.048	0.289	0.3	0.55	3.456	4.09	4.832	1.181
1V 60	12.036	11.98	12.008	0.0400267	M2	B1	B5	0.055	0.327	0.3	0.53	3.055	4.09	5.466	1.336
1V 60	4.533	4.45	4.4915	0.0149717	M2	B1	B4	0.028	0.170	0.3	0.70	5.885	4.72	2.838	0.602
1V 60	9.043	8.898	8.9705	0.0299017	M2	B1	B4	0.045	0.269	0.3	0.59	3.711	4.72	4.500	0.954
1V 60	14.038	14.013	14.0255	0.0467517	M2	B1	B4	0.061	0.363	0.3	0.52	2.755	4.72	6.062	1.286
1V 60	3.077	3.015	3.046	0.0101533	M3	B1	B2	0.022	0.131	0.3	0.75	7.624	3.18	2.190	0.688
1V 60	4.054	4.009	4.0315	0.0134383	M4	B1	B2	0.026	0.158	0.3	0.71	6.325	3.18	2.640	0.829
1V 60	5.002	4.94	4.971	0.01657	M5	B1	B2	0.030	0.182	0.3	0.67	5.500	3.18	3.036	0.954

Figura 4.20 tabella dei dati delle prove di taratura (1V:6H)

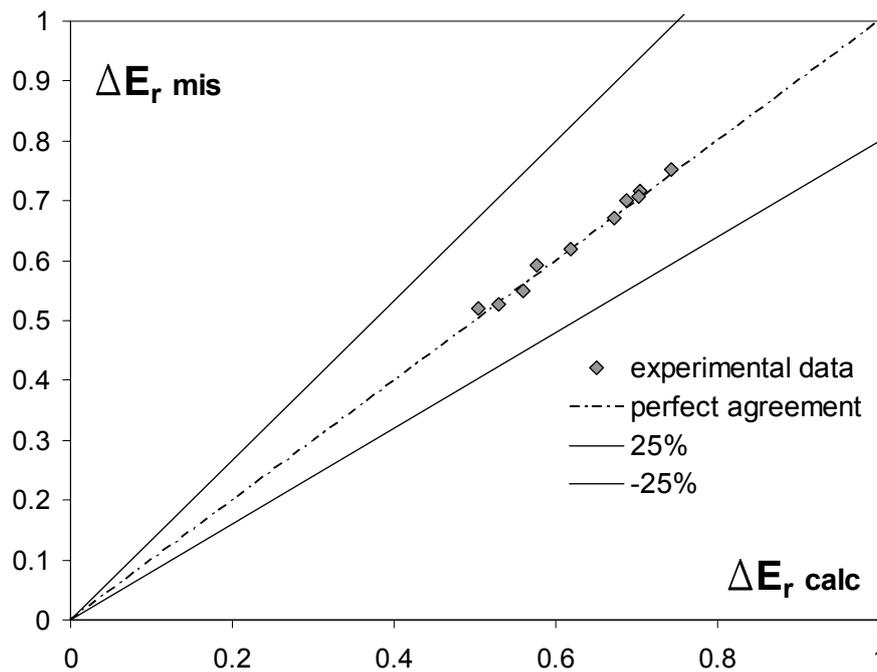


Figura 4.21 correlazione dati sperimentali con dati calcolati

I prossimi grafici riguardano la taratura del modello con pendenza della rampa pari a 1V:4H.

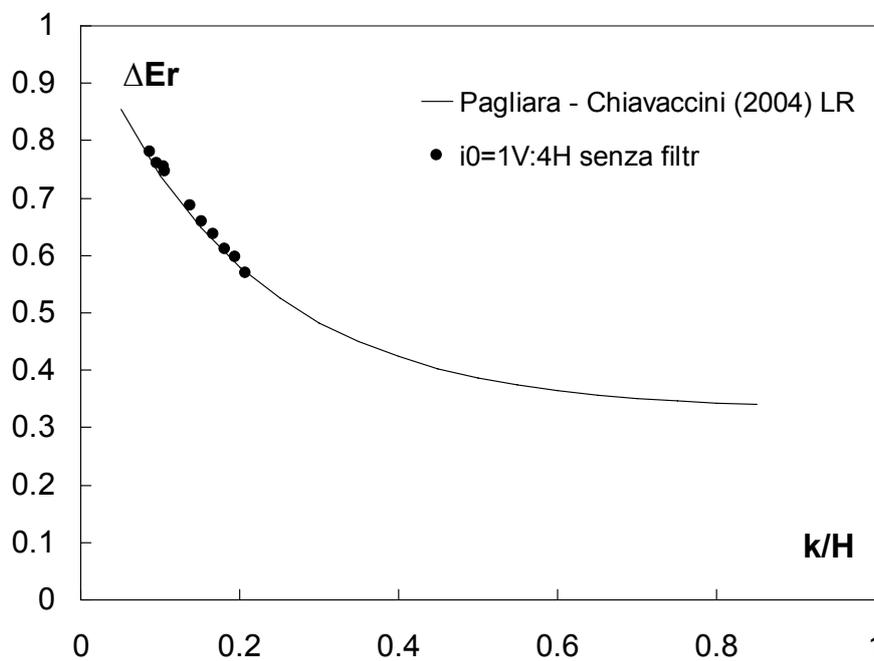


Figura 4.22 dissipazione energetica in funzione di k/H per una certa rugosità (1V:4H)

VALORE	k/D₅₀
MINIMO	0,641
MASSIMO	1,183

tabella 4.4 range del rapporto k/D₅₀

anche in questo caso si riportano i dati della taratura e la correlazione con l'equazione [4.1].

Pendenza	Qi (l/s)	Qf (l/s)	QM (l/s)	q (m ³ /sm)	Mat. Base	1° Sup.	2° Sup.	k	k/H	largh. can	α		d50	k	k/d50	
											H=0.25	0.25				
												ΔE/Eo	H/k	cm	cm	
												Sper 1				
1V 4O	4.005	3.975	4	0.0133	M2	B1	B5	0.026	0.104	0.3	0.76	9.572	4.09	2.622	0.641	
1V 4O	6.004	5.974	6	0.0199633	M2	B1	B5	0.034	0.138	0.3	0.69	7.272	4.09	3.438	0.840	
1V 4O	8.014	7.988	8	0.02667	M2	B1	B5	0.042	0.167	0.3	0.64	5.995	4.09	4.170	1.019	
1V 4O	10.021	9.984	10	0.0333417	M2	B1	B5	0.048	0.194	0.3	0.60	5.166	4.09	4.839	1.183	
1V 4O	4.007	4.015	4	0.01337	M2	B1	B6	0.026	0.105	0.3	0.75	9.500	4.09	2.631	0.643	
1V 4O	7.014	6.98	7	0.0233233	M2	B1	B6	0.038	0.153	0.3	0.66	6.556	4.96	3.813	0.769	
1V 4O	9.015	9.026	9	0.0300683	M2	B1	B6	0.045	0.181	0.3	0.61	5.535	4.96	4.517	0.911	
1V 4O	11.066	11.01	11	0.0367933	M2	B1	B6	0.052	0.207	0.3	0.57	4.838	4.96	5.168	1.042	
1V 4O	3.039	3.027	3	0.01011	M2	B1	B2	0.022	0.087	0.3	0.78	11.492	3.18	2.184	0.686	
1V 4O	3.561	3.447	3.5	0.01168	M2	B1	B2	0.024	0.096	0.3	0.76	10.438	3.18	2.405	0.755	

Figura 4.23 tabella dei valori sperimentali

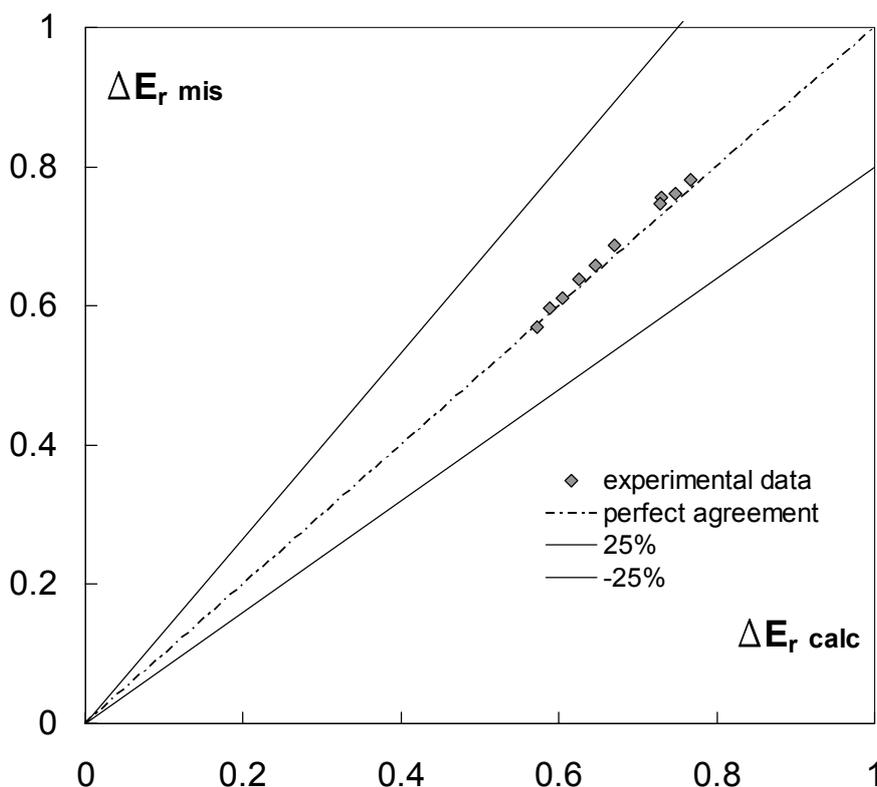


Figura 4.24 correlazione dati sperimentali con dati misurati

4.3 Descrizione dei modelli utilizzati

Per la valutazione del fenomeno sono stati utilizzati 4 modelli di rampe ognuna con caratteristiche geometriche diverse. Di seguito per ogni modello sarà mostrato uno schema grafico, alcune immagini e una tabella che riassume i range di portata, il tipo di materiale e le pendenze utilizzate. Le caratteristiche granulometriche saranno specificate nel capitolo successivo.

MODELLO 1

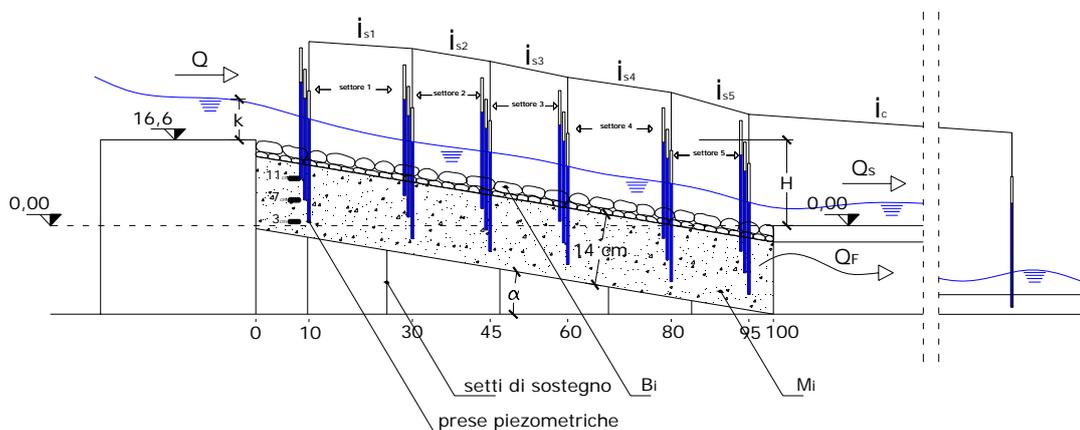


Figura 4.25 schema geometrico modello 1

Il modello 1 rappresentato in figura presenta una sezione costante di spessore 14 cm, in cui il fondo è costituito da una lamiera sorretta da setti rigidi, sopra la quale è stato disposto il materiale di base. Dislocati lungo la rampa si possono notare 6 batterie di piezometri posizionate nelle sezioni $x = 10$ cm, $x = 30$ cm, $x = 45$ cm, $x = 60$ cm, $x = 80$ cm, $x = 95$ cm; ogni batteria comprende 3 piezometri dislocati lungo la verticale a quota, rispettivamente, 3, 7, 11 cm rispetto al piano inclinato del fondo dello strato filtrante. La lunghezza della rampa è pari a 100 cm. La canaletta di filtrazione è di forma rettangolare di dimensioni: larghezza 30 cm altezza 14 cm. Proponiamo infine alcune foto che descrivono nel dettaglio il modello proposto.



Figura 4. 26 materiale di base M3, strato superficiale B1 - B6, $Q=4\text{l/s}$ (prova n°78)



Figura 4.27 materiale di base M1, strato superficiale B1-B6, $Q=4\text{l/s}$ (prova n°75)

Portata	$4 \text{ l/s} < Q < 15 \text{ l/s}$
Materiale di base	M1 M2 M3
Strato superficiale	B2 B4 B5 B6
Spessore subalveo	Costante e pari 14 cm
Pendenza	1V:6H

tabella 4.5 range modello 1

MODELLO 2

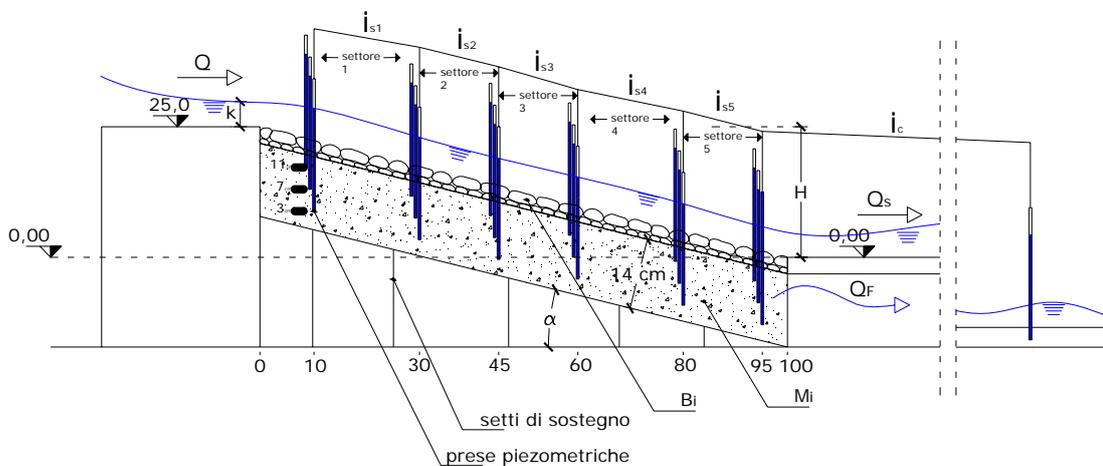


Figura 4.28 schema geometrico modello 2

Il modello 2 rappresentato in figura presenta anch'esso una sezione costante di spessore 14 cm, ma con la differenza che la pendenza della rampa è passata da 1V:6H per il modello 1 a 1V:4H per il modello in esame. La lunghezza della rampa è rimasta invariata rispetto al precedente modello ed è pari ad 100 cm. Anche in questo caso, dislocati lungo la rampa si possono notare 6 batterie di piezometri posizionati nelle sezioni $x = 10$ cm, $x = 30$ cm, $x = 45$ cm, $x = 60$ cm, $x = 80$ cm, $x = 95$ cm; ogni batteria comprende 3 piezometri dislocati lungo la verticale a quota, rispettivamente, 3, 7, 11 cm rispetto al piano inclinato del fondo dello strato filtrante. Anche in questo caso proponiamo infine alcune foto che descrivono nel dettaglio il modello proposto.



Figura 4.29 materiale di base M2, strato superficiale B1-B5, $Q=4\text{l/s}$ (prova n°55)



Figura 4.30 materiale di base M8, strato superficiale B2-B2, $Q=4\text{l/s}$ (prova n°34)

Portata	$3.5 \text{ l/s} < Q < 15 \text{ l/s}$
Materiale di base	M1 M2 M3 M8
Strato superficiale	B2 B5 B6
Spessore subalveo	14 cm
Pendenza	1V:4H

tabella 4.6 range modello 2

MODELLO 3

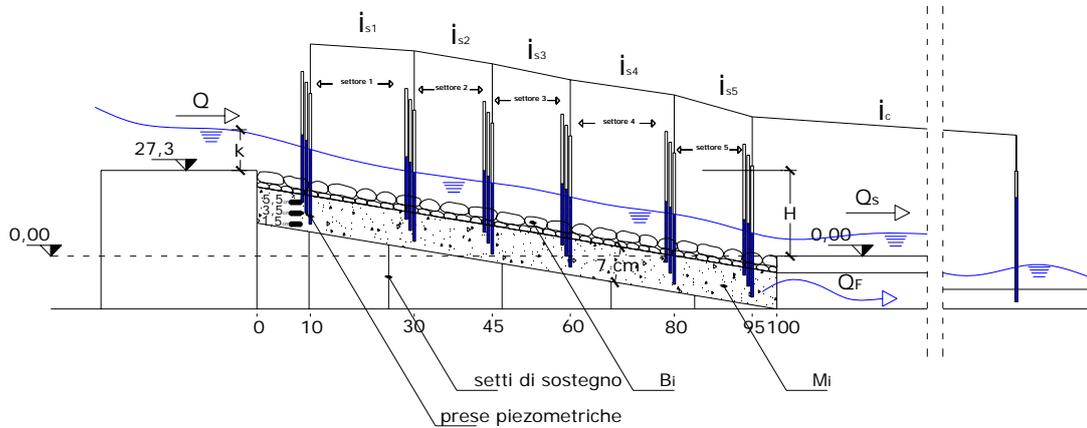


Figura 31 schema geometrico modello 3

Il modello 3 presenta le stesse caratteristiche del modello 1 con la variante dello spessore t , dello strato di base, che passa da 14 cm a 7 cm e inoltre, a causa proprio dello spessore ridotto, i piezometri di ogni batteria sono stati posizionati, lungo la verticale, alle quote 1.5 cm, 3.5 cm e 5.5 cm rispetto al fondo dello strato filtrante. Gli altri aspetti costruttivi rimangono immutati.



Figura 4.32 materiale di base B2, strato superficiale B6, $Q=13l/s$ (prova n°95)



Figura 4.33 materiale di base M2, strato superficiale B1-B6, (prova n°91)

Portata	$4 \text{ l/s} < Q < 13 \text{ l/s}$
Materiale di base	M1 M2 M3 B2
Strato superficiale	B1 B6
Spessore subalveo	7 cm
Pendenza	1V:6H

tabella 4.7 range modello 3

MODELLO 4

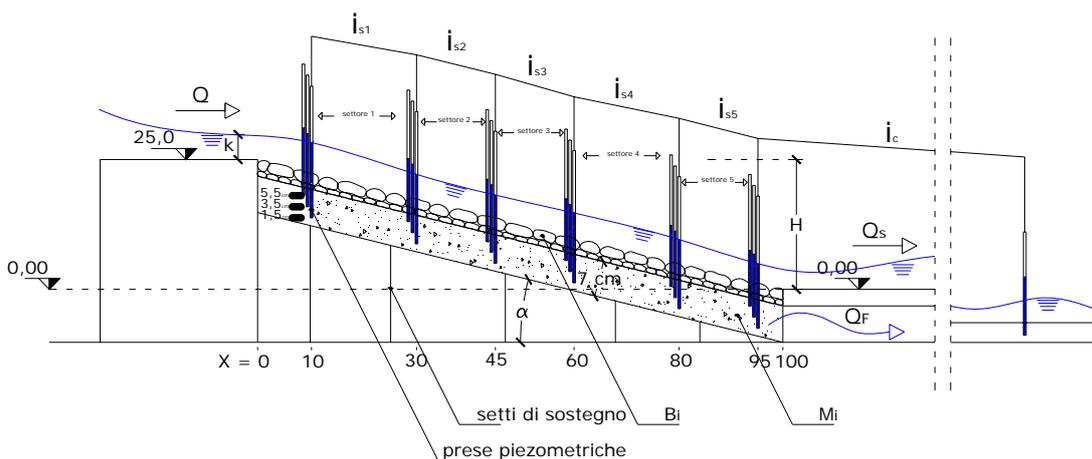


Figura 4.34 schema geometrico modello 4

Il modello 4 presenta le stesse caratteristiche del modello 3, l'unica variante è la pendenza che passa da 1V:6H, del modello 3, a 1V:4H. I piezometri sono disposti nello stesso modo del modello precedente (data l'uguaglianza dello spessore dello strato di base).



Figura 4.35 materiale di base M3 strato superficiale B1-B6, $Q=12\text{l/s}$ (prova n°104)



Figura 36 materiale di base B2, strato superficiale, B6, $Q=4\text{l/s}$ (prova n°105)

Portata	$4\text{ l/s} < Q < 12\text{ l/s}$
Materiale di base	M1 M2 M3 B2
Strato superficiale	B1 B6
Spessore subalveo	7 cm
Pendenza	1V:4H

Tabella 4.8 range modello 4

5 Analisi dimensionale

5.1 Analisi dimensionale del fenomeno della filtrazione

Il teorema di **Buckingham - Riabucinski** o **teorema π** costituisce la base di tutta l'analisi dimensionale. Tale teorema può essere applicato a qualsiasi relazione fisica e in pratica stabilisce come raggruppare le variabili dimensionali in gruppi adimensionali.

L'analisi dimensionale consente di distinguere le grandezze fondamentali o primarie, dimensionalmente indipendenti, dalle grandezze derivate, inoltre riduce il numero delle variabili da indagare.

Ad esempio consideriamo la relazione seguente:

$$g_0 = f(g_1, g_2, g_3 \dots g_n)$$

Tra le variabili $g_1, g_2, g_3 \dots g_n$, supponiamo di scegliere, come fondamentali, le variabili indipendenti g_1, g_2 e g_3 , ognuna delle quali sta a rappresentare una unità fondamentale.

Si definisce Π il termine ottenuto come prodotto tra una variabile non fondamentale e le variabili fondamentali elevate ad opportuni esponenti tali da rendere il termine Π adimensionale.

$$\Pi_i = g_i \cdot [g_1]^{\alpha_i} \cdot [g_2]^{\beta_i} \cdot [g_3]^{\gamma_i}$$

con $i = 1, 2, 3, \dots n$.

Nel presente studio si analizza il fenomeno della filtrazione delle rampe in massi e la variazione della dissipazione di energia sulla rampe.

Per quanto riguarda il fenomeno della filtrazione all'interno della rampa, $Q_F/Q(\%)$, essa può essere espressa con un legame funzionale del tipo:

$$\frac{Q_F}{Q}(\%) = f(Q, Q_s, k, g, \rho, \rho_s, \rho_s', \nu, \tau, \mu, n_e, S_f, d_{50}, D_{50}', D_{50}'', H, L_r, i_0, h, U, U_s, b, i_{si}, t, BC1, BC4)$$

dove:

- Q portata liquida entrante sulla rampa
- Q_F portata di filtrazione misurata in uscita dal canale Venturi
- Q_s portata superiore in uscita dalla rampa
- k altezza critica
- g accelerazione di gravità
- d_{50} riferito al diametro del materiale di base, corrispondente al 50% della curva granulometrica
- D_{50}' diametro del materiale della rampa, relativo al primo strato ovvero quello a contatto con il materiale di base, corrispondente al 50% della curva granulometrica
- D_{50}'' diametro del materiale della rampa, relativo al secondo strato, corrispondente al 50% della curva granulometrica
- μ viscosità dinamica dell'acqua
- ν viscosità cinematica del fluido
- ρ densità dell'acqua
- ρ_s densità del materiale di base
- ρ_s' densità del materiale della rampa
- τ tortuosità
- t spessore dello strato filtrante
- S_f sfericità del materiale di base
- i_0 pendenza della rampa
- i_{si} gradiente piezometrico relativo al settore s_i
- H altezza della rampa
- L_r lunghezza della rampa
- U velocità della corrente sulla rampa in una sezione generica

- U_s velocità al piede della rampa, relativa alla portata superiore Q_s
- h tirante idrico sulla rampa in una sezione generica
- b larghezza del canale
- n_e porosità efficace del materiale

Discorso a parte meritano i parametri BC1 (boundary condition 1) e BC4 (boundary condition 4) i quali stanno a significare rispettivamente la condizione al contorno di monte e la condizione al contorno di valle. Per quanto riguarda la condizione di monte occorre specificare ancora una volta che nel nostro modello sperimentale il fondo permeabile della rampa inizia nella sezione zero (vedi disegno sotto) e inoltre che la portata in arrivo sulla rampa comincia a filtrare attraverso lo strato poroso soltanto dalla sezione zero prima menzionata. Viene di seguito riportato un disegno che raffigura in particolare la parte di monte del modello.

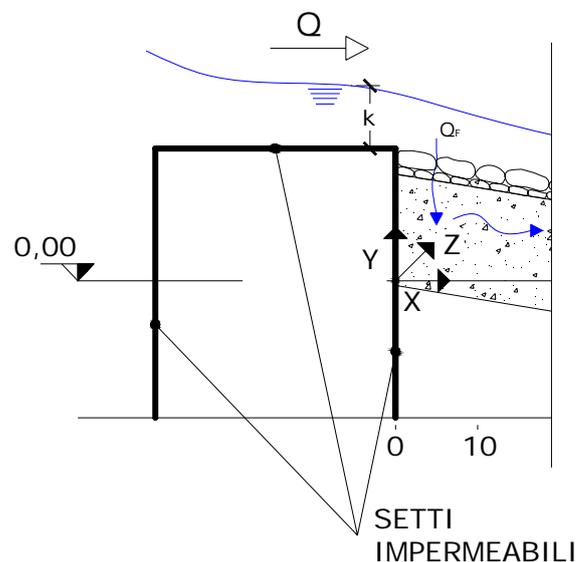


Figura 5.1 particolare della sezione di monte

È necessario ricordare, come già specificato nei capitoli precedenti, che le elaborazioni che verranno di seguito riportate sono inerenti, prevalentemente, alle prove in “pressione”, e quindi la condizione di valle è proprio riferita a questa

particolare vincolo piezometrico (vedi cap. 4). Verranno comunque presentati dei grafici nei quali si riportano anche le prove in condizione di pressione atmosferica, ma verranno utilizzate a scopo di confronto con le prove in "pressione".

Ciò premesso, i parametri BC1 e BC4 possono essere trascurati perché ogni prova sperimentale è stata condotta osservando tali condizioni.

Vanno adesso svolte alcune considerazioni sulle altre grandezze sopra elencate.

La portata " $Q(x)$ " è funzione dell'altezza " h " ed è ricavabile come è noto dalla relazione di Manning una volta determinato il coefficiente di scabrezza " n ", il quale può essere a sua volta espresso dalla relazione di Pagliara - Chiavaccini (2006)

$$n = 0.064(d_{50}i_0)^{0.11},$$

con d_{50} espresso in metri, legge valida per rampe con pendenza variabile tra 0,1 e 0,4 e materiale di riprap di tipo angolare; quindi la portata che scorre al di sopra della rampa, in una sezione generica e in ipotesi di moto uniforme, è data da

$$Q(x) = \frac{1}{n} \sqrt{i_0} b h^{5/3}$$

valida per sezioni rettangolari molto larghe, e stesso ragionamento vale per la portata " Q_s " e la rispettiva altezza di valle " h_1 ". Si sottolinea come le velocità U e U_s siano legate alle rispettive portate dalla relazione $Q = UA$.

Mentre la portata entrante " Q " è legata all'altezza critica nel modo seguente

$$k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

La viscosità dinamica " μ " è legata alla viscosità cinematica ν e alla densità ρ del fluido dalla relazione

$$\mu = \nu \cdot \rho$$

La viscosità cinematica sappiamo essere funzione della temperatura

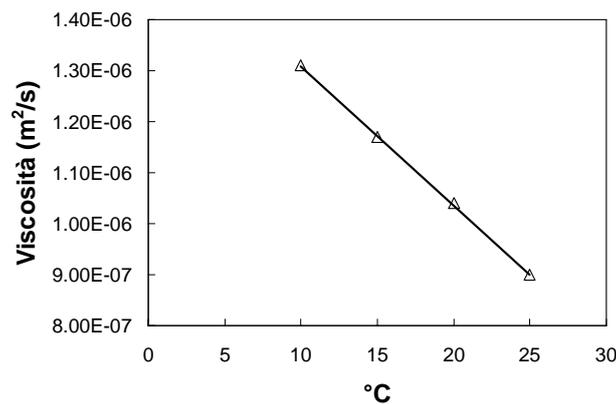


Figura 5.2 andamento della viscosità cinematica in funzione della temperatura

ma dato che le prove sperimentali sono state condotte pressoché in un ambiente a temperatura costante, si può confermare l'invarianza di tale parametro durante le prove.

La tortuosità " τ " è legata sia alla lunghezza della rampa L_r che all'altezza del mezzo poroso H .

Altri parametri come la porosità efficace, la sfericità, la densità del materiale di base e di quello costituente la rampa possono essere considerati costanti e quindi tolti dalla relazione funzionale precedentemente scritta.

Si possono trascurare la lunghezza della rampa " L_r " mantenuta costante, e analogo discorso vale per la larghezza " b " del canale.

Irrilevante è anche la variazione della percentuale di filtrazione al variare del D_{50}' e D_{50}'' , come poi verrà successivamente spiegato in maniera più esaustiva (nel seguito il D_{50}' e il D_{50}'' verranno chiamati indistintamente D_{50}).

Possiamo adesso procedere all'analisi dimensionale riferendoci alla seguente formula e alla tabella successiva in cui viene riportato uno schema delle grandezze indagate.

Il legame funzionale di tali grandezze è rappresentato dalla seguente espressione

$$Q_F/Q (\%) = f(k, g, \rho, d_{50}, H, i_0, t, i_{si}) \quad [5.1]$$

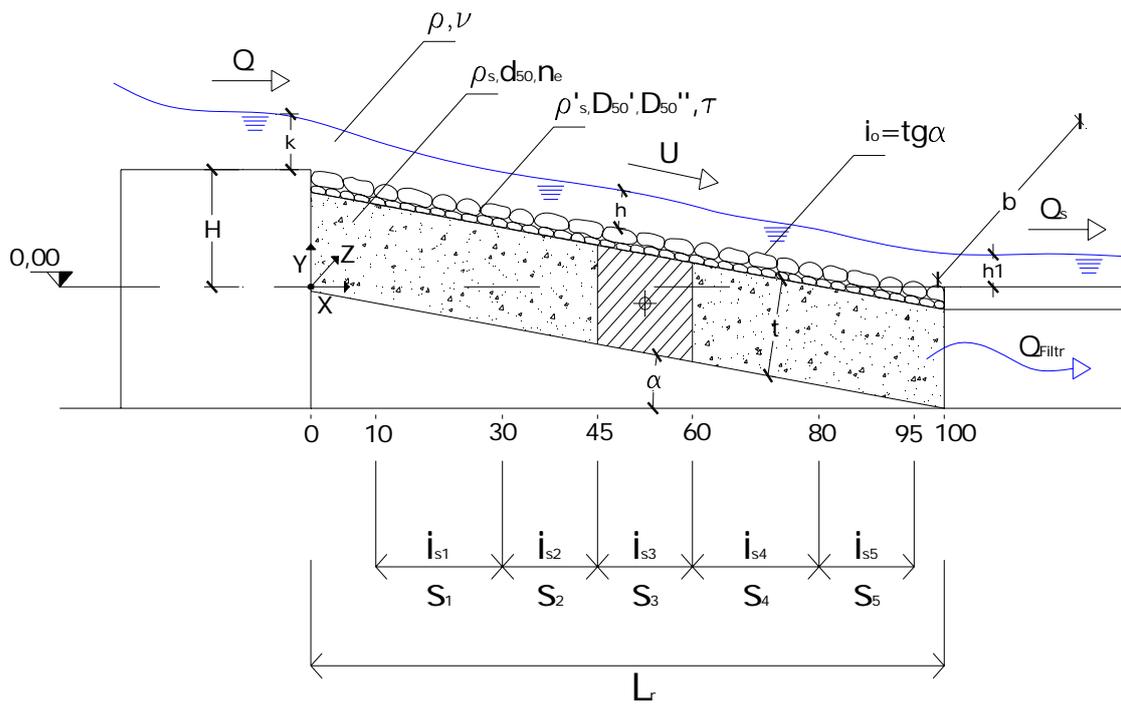


Figura 5.3 grandezze oggetto dello studio

Fluido	ρ	ν	
Gravità e pendenza	g	i_0	
Strato filtrante	d_{50}	n_e	t
Caratteristiche idrodinamiche	k	U	h
Caratteristiche geometriche	b		H
Rampa	D_{50}'	D_{50}''	
Gradiente piezometrico	i_{si}		

Tabella 5.1 grandezze oggetto dello studio

Analisi dimensionale 1

Partendo dal legame funzionale [5.1] ed in particolare, scegliendo come fondamentale la terna di grandezze dimensionalmente indipendenti, g, ρ, d_{50} , atte a rappresentare una terna di grandezze base per un sistema di unità di misura, se $n = 8$ è il numero delle variabili da cui dipende il fenomeno e $m = 3$ il numero delle variabili scelto come base, i raggruppamenti dimensionali par a $n - m = 5$ risulteranno i seguenti:

$$\Pi_1 = f_1(g, \rho, d_{50}, k)$$

$$\Pi_2 = f_2(g, \rho, d_{50}, H)$$

$$\Pi_3 = f_3(g, \rho, d_{50}, i_0)$$

$$\Pi_4 = f_4(g, \rho, d_{50}, t)$$

$$\Pi_5 = f_5(g, \rho, d_{50}, i_{si})$$

Stante la terna di grandezze indipendenti fissate, i raggruppamenti Π_i vengono individuati nei seguenti modi :

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= d_{50}^\alpha \cdot g^\beta \cdot \rho^\gamma \cdot k^1 \\ &= L^\alpha \cdot L^\beta \cdot T^{-2\beta} \cdot M^\gamma \cdot L^{-3\gamma} \cdot L^1 \end{aligned}$$

Risolvendo il sistema di equazioni derivanti dalla precedente relazione, tenendo conto delle unità di misura, si ricavano i valori delle costanti:

$$\left. \begin{cases} 0 = \alpha + \beta - 3\gamma + 1 \\ 0 = \gamma \\ 0 = -2\beta \end{cases} \right\} \Rightarrow \left. \begin{cases} \alpha = -1 \\ \gamma = 0 \\ \beta = 0 \end{cases} \right\}$$

Da cui:

$$\Pi_1 = \frac{k}{d_{50}}$$

Con i medesimi passaggi per i raggruppamenti prima fissati si otterrà:

$$\Pi_2 = \frac{H}{d_{50}} \quad \Pi_3 = i_0 \quad \Pi_4 = \frac{t}{d_{50}} \quad \Pi_5 = i_{si}$$

Sfruttando un'altra particolarità del teorema di Buckingham - Riabucinski si possono ricavare nuovi raggruppamenti combinando adeguatamente quelli già determinati.

In una delle successive analisi avranno grande importanza i seguenti raggruppamenti:

$$\Psi_1 = \frac{\Pi_1}{\Pi_4} = \frac{k}{t} \quad \Psi_2 = \frac{1}{\Pi_2} = \frac{d_{50}}{H} \quad \Psi_4 = \Pi_4^{-1} = \frac{d_{50}}{t} \quad \Psi_5 = \frac{\Pi_5}{\Pi_3} = \frac{i_{si}}{i_0}$$

In definitiva i raggruppamenti utilizzati saranno:

$$\Psi_1 = \frac{k}{t}$$

$$\Psi_2 = \frac{d_{50}}{H}$$

$$\Pi_3 = i_0$$

$$\Psi_4 = \frac{d_{50}}{t}$$

$$\Psi_5 = \frac{i_{si}}{i_0}$$

Il grafico successivo dimostra che il parametro Ψ_2 può essere trascurato ai fini del calcolo della percentuale di portata filtrata, questo perché fissati tutti gli altri gruppi adimensionali si è visto che tale parametro (Ψ_2) non mi fornisce evidenti variazioni di portata di filtrazione:

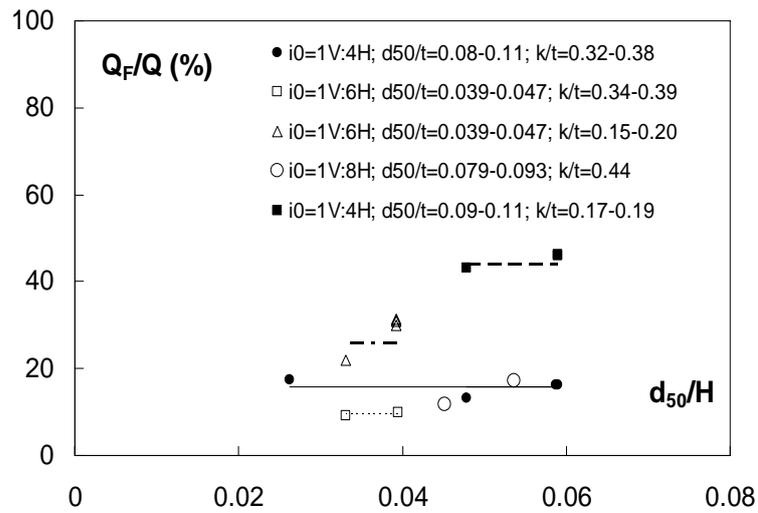


Figura 5.4 invarianza di $Q_F/Q(\%)$ in funzione di d_{50}/H

Invece nel seguente grafico viene mostrato che la percentuale di filtrazione è influenzata dal parametro dimensionale d_{50}/t e quindi è stato giusto prenderlo in considerazione nelle nostre elaborazioni per studiare il fenomeno

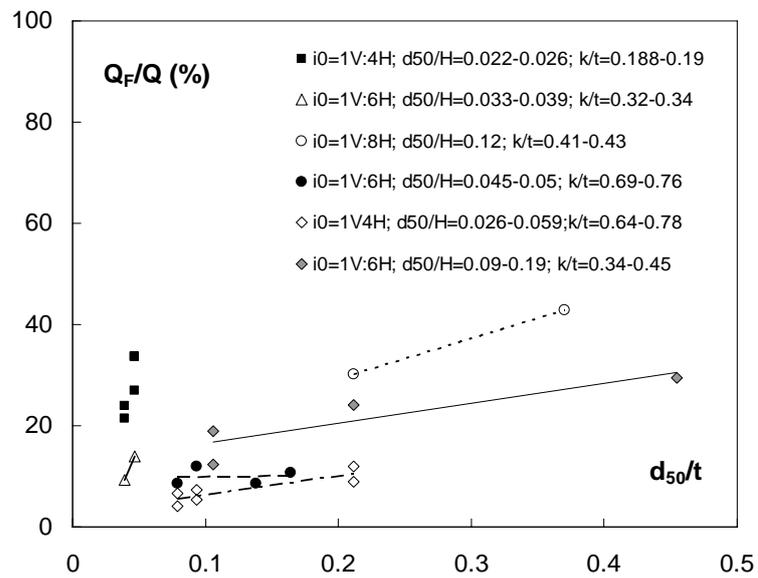


Figura 5.5 variabilità di $Q_F/Q(\%)$ in funzione di d_{50}/t

Analisi dimensionale 2

Partendo sempre dal legame funzionale [5.1] e scegliendo sempre come fondamentale la terna di grandezze dimensionalmente indipendenti, g, ρ, d_{50} , atte a rappresentare una terna di grandezze base per un sistema di unità di misura, se $n = 8$ è il numero delle variabili da cui dipende il fenomeno e $m = 3$ il numero delle variabili scelto come base, i raggruppamenti dimensionali par a $n - m = 5$ risulteranno gli stessi dell'analisi precedente:

$$\Pi_1 = f_1(g, \rho, d_{50}, k)$$

$$\Pi_2 = f_2(g, \rho, d_{50}, H)$$

$$\Pi_3 = f_3(g, \rho, d_{50}, i_0)$$

$$\Pi_4 = f_4(g, \rho, d_{50}, t)$$

$$\Pi_5 = f_5(g, \rho, d_{50}, i_{si})$$

Stante la terna di grandezze indipendenti fissate, i raggruppamenti Π_i vengono individuati nei seguenti modi :

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= d_{50}^\alpha \cdot g^\beta \cdot \rho^\gamma \cdot k^1 \\ &= L^\alpha \cdot L^\beta \cdot T^{-2\beta} \cdot M^\gamma \cdot L^{-3\gamma} \cdot L^1 \end{aligned}$$

Risolvendo il sistema di equazioni derivanti dalla precedente relazione, tenendo conto delle unità di misura, si ricavano i valori delle costanti:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = \alpha + \beta - 3\gamma + 1 \\ 0 = \gamma \\ 0 = -2\beta \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \alpha = -1 \\ \gamma = 0 \\ \beta = 0 \end{array} \right\}$$

Da cui:

$$\Pi_1 = \frac{k}{d_{50}}$$

Con i medesimi passaggi per i raggruppamenti prima fissati si otterrà:

$$\Pi_2 = \frac{H}{d_{50}} \quad \Pi_3 = i_0 \quad \Pi_4 = \frac{t}{d_{50}} \quad \Pi_5 = i_{si}$$

Caratteristica di questa seconda analisi è quella di sfruttare la particolarità del teorema di Buckingham - Riabucinski per ricavare nuovi raggruppamenti combinando adeguatamente quelli già determinati.

In una delle successive analisi avranno grande importanza i seguenti raggruppamenti:

$$\Psi_1 = \frac{\Pi_1}{\Pi_4} = \frac{k}{t} \quad \Psi_2 = \frac{\Psi_1}{\Pi_2} = \frac{k \cdot d_{50}}{t \cdot H} \quad \Psi_4 = \Pi_4^{-1} = \frac{d_{50}}{t} \quad \Psi_5 = \frac{\Pi_5}{\Pi_3} = \frac{i_{si}}{i_0}$$

In definitiva i raggruppamenti utilizzati saranno:

$$\Psi_1 = \frac{k}{t}$$

$$\Psi_2 = \frac{k \cdot d_{50}}{t \cdot H}$$

$$\Pi_3 = i_0$$

$$\Psi_4 = \frac{d_{50}}{t}$$

$$\Psi_5 = \frac{i_{si}}{i_0}$$

5.2 Analisi dimensionale del fenomeno della dissipazione energetica

Il funzionamento idraulico di una rampa di altezza H e di lunghezza L_r , misurata nella direzione orizzontale, al cui piede si forma, una corrente veloce di altezza h_1 , può essere descritto dal seguente legame funzionale:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f(Q, H, k, b, t, i_0, L_r, d_{50}, D_{50}, g, \rho, \nu, C_{mean}, U, \sigma) \quad [5.2]$$

in cui $\frac{\Delta E}{E_0} = \Delta E_r = \frac{E_0 - E_1}{E_0}$ è la dissipazione energetica relativa sviluppata dalla rampa.

Le ipotesi che vengono fatte sono :

- risalto libero al piede della rampa
- materiale uniforme
- influenza trascurabile della variabile b

Nel legame funzionale [5.2] sono presenti delle grandezze che possono essere derivabili da altre, come la lunghezza della rampa $L_r (= i_0 H)$ e la portata $Q (= \sqrt{k^3 b^2 g}$, nei canali a sezione rettangolare) o grandezze costanti come la larghezza del canale “ b ”, la viscosità “ ν ” e la tensione superficiale “ σ ”. Il parametro adimensionale C_{mean} (Chanson 1993) rappresenta la concentrazione media di aria presente nel fluido che scorre al di sopra della rampa; l’effetto del trattenimento di aria è supposto non rilevante a causa della limitata lunghezza della rampa, e durante i test non è stata notata nessuna presenza di bolle d’aria.

Alla fine si ottiene:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f(H, k, t, i_0, d_{50}, g, \rho, U, i_{si}, D_{50}) \quad [5.3]$$

L’ applicazione del teorema di Buckingham, consente di esprimere la relazione [5.3] facendo ricorso a sette raggruppamenti adimensionali dato che le grandezze

fondamentali saranno sempre $n = 3$ e le grandezze nel loro insieme sono 10, per cui $n - m = 7$, ottenendo

$$\phi = (\Delta E_r, \Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7) = 0 \quad [5.4]$$

In particolare, scegliendo come fondamentale la terna di grandezze dimensionalmente indipendenti D_{50} , g , ρ , possiamo ottenere il raggruppamento

Π_1 individuato dalla seguente relazione:

$$\Pi_1 = D_{50}^\alpha \cdot g^\beta \cdot \rho^\gamma \cdot k \quad [5.5]$$

in cui α, β e γ sono costanti numeriche.

Sostituendo nell'equazione [5.5] le unità di misura si perviene alla relazione

$$\Pi_1 = L^\alpha \cdot L^\beta \cdot T^{-2\beta} \cdot Kg^\gamma \cdot L^{-3\gamma} \cdot L \quad [5.5a]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = \alpha + \beta - 3\gamma + 1 \\ 0 = \gamma \\ 0 = -2\beta \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \alpha = -1 \\ \gamma = 0 \\ \beta = 0 \end{array} \right\}$$

ricavando poi le incognite α, β e γ dal sistema, e sostituendo nella [5.5a] si ottiene il raggruppamento Π_1 :

$$\Pi_1 = \frac{k}{D_{50}}$$

Questo parametro è molto importante perché ci permette di determinare le condizioni di scabrezza della rampa e di conseguenza di determinare i parametri della legge Pagliara - Chiavaccini (2004) come già spiegato nel capitolo 4.

Ripetendo la procedura per gli altri raggruppamenti si ottiene:

$$\Pi_1 = \frac{k}{D_{50}}$$

$$\Pi_2 = \frac{d_{50}}{D_{50}}$$

$$\Pi_3 = i_0$$

$$\Pi_4 = i_{si}$$

$$\Pi_5 = \frac{t}{D_{50}}$$

$$\Pi_6 = \frac{H}{D_{50}}$$

Per quanto riguarda il raggruppamento Π_7 vengono riportati per completezza di esposizione, i vari passaggi matematici:

$$\Pi_7 = D_{50}^\alpha \cdot g^\beta \cdot \rho^\gamma \cdot U$$

da cui sostituendo le rispettive unità di misura si ottiene

$$\Pi_7 = D_{50}^\alpha \cdot g^\beta \cdot \rho^\gamma \cdot U = L^\alpha \cdot L^\beta \cdot T^{-2\beta} \cdot kg^\gamma \cdot L^{-3\gamma} \cdot L \cdot T^{-1}$$

Risolvendo il sistema di equazioni derivanti dalla precedente relazione, tenendo conto delle unità di misura, si ricavano i valori delle costanti:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = \alpha + \beta - 3\gamma + 1 \\ 0 = \gamma \\ 0 = -2\beta - 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \alpha = -\frac{1}{2} \\ \gamma = 0 \\ \beta = -\frac{1}{2} \end{array} \right\}$$

da cui si ottiene

$$\Pi_7 = \frac{U}{D_{50}^{1/2} g^{1/2}}$$

Sfruttando una particolarità del teorema di Buckingham - Riabucinski si possono ricavare nuovi raggruppamenti combinando adeguatamente quelli già determinati:

$$\Psi_6 = \frac{\Pi_1}{\Pi_6} = \frac{k}{H} \quad \Psi_5 = \frac{\Pi_1}{\Pi_5} = \frac{k}{t} \quad \Psi_4 = \frac{i_{si}}{i_0}$$

In definitiva i gruppi adimensionali utilizzati saranno:

$$\Pi_1 = \frac{k}{D_{50}}$$

$$\Pi_2 = \frac{d_{50}}{D_{50}}$$

$$\Pi_3 = i_0$$

$$\Psi_4 = \frac{i_{si}}{i_0}$$

$$\Psi_5 = \frac{k}{t}$$

$$\Psi_6 = \frac{k}{H}$$

$$\Pi_7 = \frac{U}{D_{50}^{1/2} g^{1/2}}$$

Nel grafico successivo viene evidenziato che la dissipazione energetica relativa non dipende dal parametro d_{50}/D_{50} , quindi è un fattore del tutto trascurabile che può essere tolto dal legame funzionale.

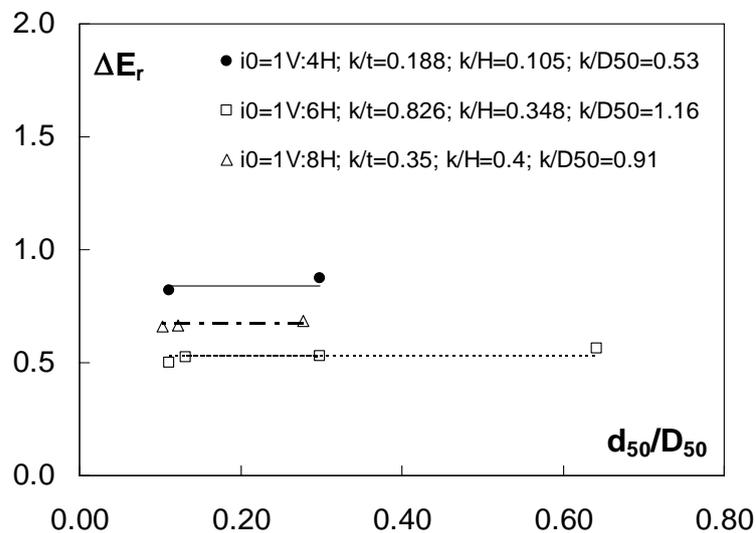


Figura 6.6 ΔE_r in funzione di d_{50}/D_{50}

In definitiva i raggruppamenti funzionali utilizzati nel rappresentare il fenomeno della dissipazione energetica in presenza di filtrazione permettono di esprimere la relazione funzionale come:

$$\Delta E_r = f(\Pi_1, \Pi_3, \Psi_4, \Psi_5, \Psi_6, \Pi_7)$$

6 Elaborazione dati

6.1 Modello teorico

Elaborando tutti i dati a disposizione abbiamo cercato il legame che intercorre tra la cadente piezometrica e la velocità di deflusso attraverso l'ammasso poroso, ovvero quella che abbiamo chiamato fino a questo momento velocità di filtrazione. Ricordando che la velocità di filtrazione da noi misurata è una "bulk velocity" (cioè una velocità "pieno per vuoto"), abbiamo cercato di determinare una relazione del tipo [2.1] avendo a disposizione i valori del carico idraulico ($= \frac{dh}{dx}$) e della velocità di filtrazione. Si riporta l'equazione di Darcy

$$V = K \cdot i \quad [6.1]$$

dove

V = bulk velocity

K = coefficiente di permeabilità

i = gradiente idraulico

tipica dei flussi in regime laminare, e l'equazione

$$i = A \cdot V + B \cdot V^2 \quad [6.2]$$

in cui

V = bulk velocity

i = gradiente idraulico

A , B sono dei coefficienti dipendenti dal tipo di materiale costituente il mezzo filtrante, ricavabili sperimentalmente.

valida in qualsiasi condizione di deflusso.

Le prove che sono state utilizzate per questo tipo di elaborazione sono soltanto quelle in pressione (BC1, vedi riferimento capitolo 4) non considerando quei test condotti con la canaletta in pressione atmosferica, in analogia con le metodologie riportate dalle varie esperienze di altri autori.

Data la conformazione del nostro apparato sperimentale, la portata di filtrazione, e di conseguenza anche la velocità di filtrazione, andrà crescendo da un valore zero nella sezione di inizio dello strato filtrante fino al raggiungimento di un valore massimo pari proprio al valore misurato in uscita dal canale. Di seguito viene mostrato uno schema semplificato dell'andamento di $Q_F(x)$.

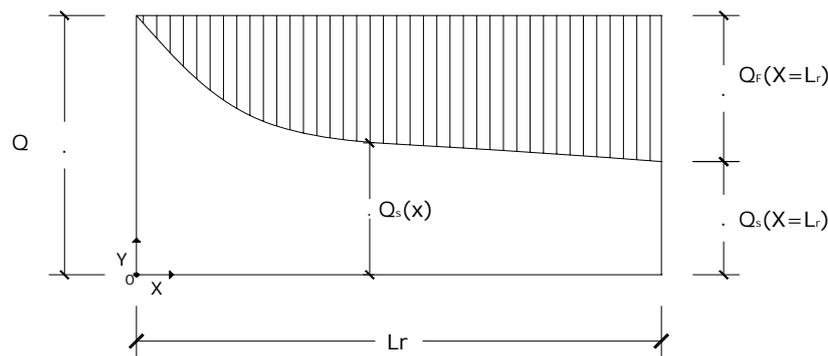


Figura 6. 1 portata di filtrazione in funzione dell'ascissa x

Per questo motivo la velocità di filtrazione misurata in uscita dal canale sarà strettamente legata al valore della cadente piezometrica i_{s5} , in quanto valore del gradiente idraulico presente nella sezione terminale dello strato filtrante (vedi cap. 4). Con riferimento al nostro modello sperimentale la legge [6.2] si modifica in

$$i_{s5} = A \cdot V + B \cdot V^2 \quad [6.3]$$

in cui

V è la velocità di filtrazione misurata ("bulk velocity") pari a $Q_F / (bt)$.

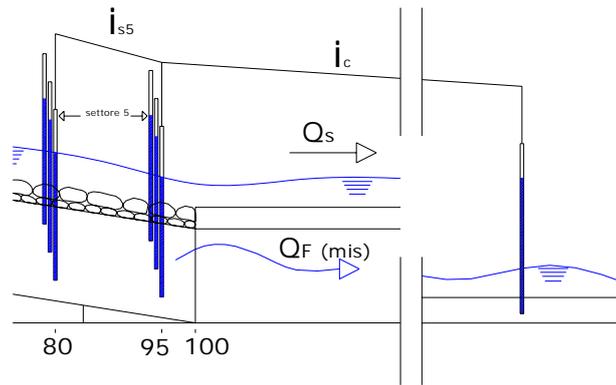


Figura 6.2 particolare dell'ultimo settore

Lo scopo di questa trattazione è la ricerca dei coefficienti A e B che meglio siano in grado di interpolare i nostri dati, ricordando che i valori che verranno di seguito riportati fanno riferimento soltanto ai risultati ottenuti dalle prove sulle rampe con pendenza 1V:4H e 1V:6H, non considerando le prove sulla pendenza 1V:8H perché non riportano i valori di i_{s5} .

I grafici successivi mostrano l'andamento della V al variare della cadente piezometrica relativa all'ultimo settore, parametrizzato rispetto al diametro del materiale di base della rampa.

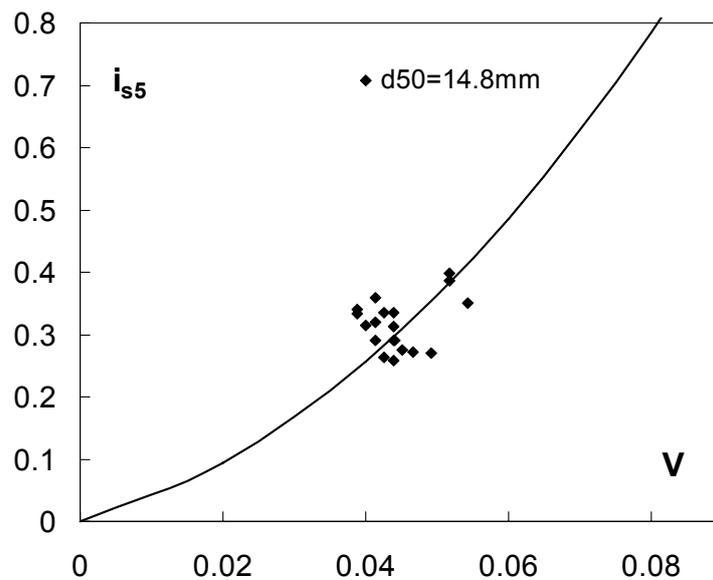


Figura 6.3 andamento di V in funzione di i_{s5} per M1

Si può notare come si abbia un aumento della velocità di filtrazione laddove i carichi piezometrici aumentano.

Nel legame i_{s5} - V non abbiamo volutamente inserito gli altri parametri caratteristici del materiale come la sfericità e la porosità perché considerati costanti, o al più poco variabili da materiale a materiale. Per cui i valori di A e di B relativi a M1 che mi forniscono una curva che interpola i dati sono

$$A = 3 \quad e \quad B = 85.$$

Per quanto riguarda gli altri materiali avremo:

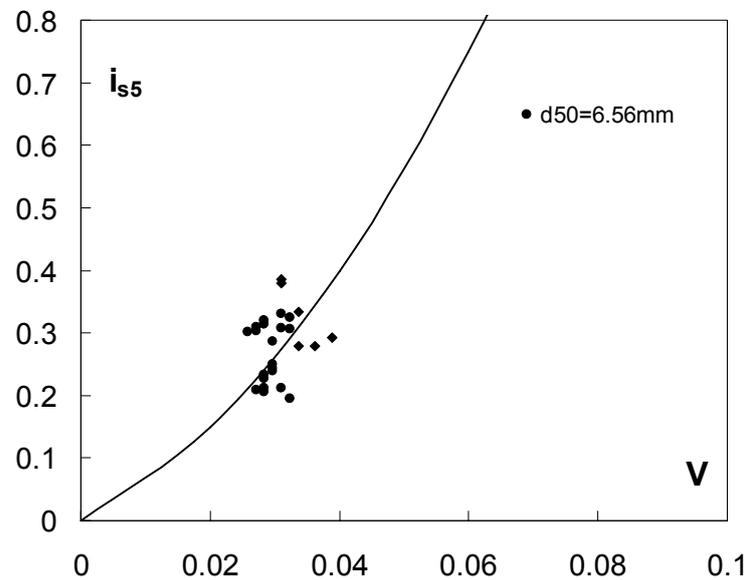


Figura 6.4 andamento di V in funzione di i_{s5} per M2

$$A = 5 \quad e \quad B = 125 \quad \text{per M2};$$

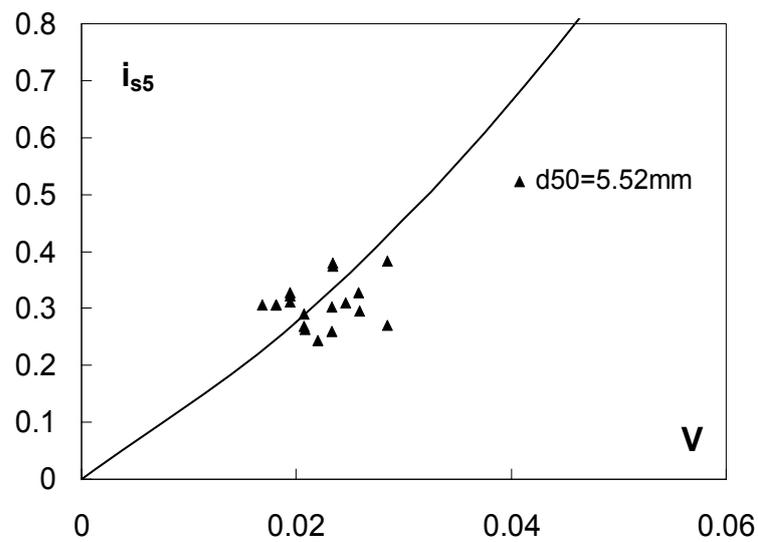


Figura 6.5 andamento di V in funzione di i_{s5} per M3

$A = 11$ e $B = 140$ per M3;

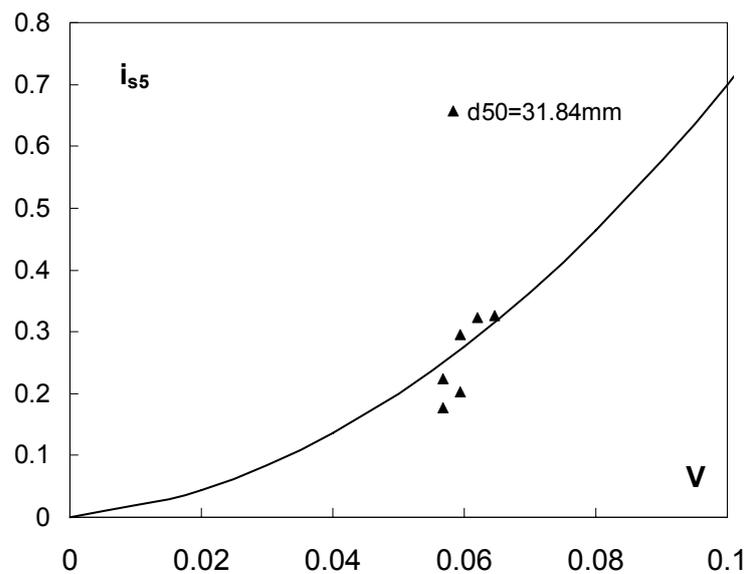


Figura 6.6 andamento di V in funzione di i_{s5} per B2

$A = 1$ e $B = 60$ per B2.

Si riporta in grafico sia l'andamento di A in funzione del d_{50} del materiale di base che quello di B , inserendo inoltre anche i limiti del nostro campo di indagine per quanto riguarda la granulometria dei materiali utilizzati.

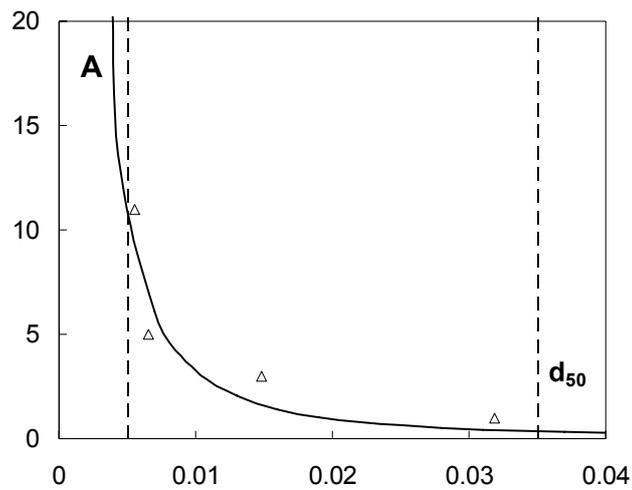


Figura 6.7 A in funzione di d_{50}

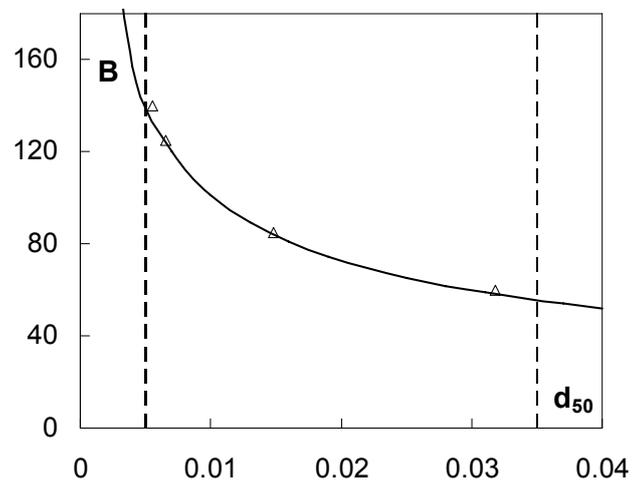


Figura 6.8 B in funzione di d_{50}

Le relazioni che si ottengono sono

$$A = 0.00094d_{50}^{-1.77} \quad \text{e} \quad B = 11.1d_{50}^{-0.48},$$

e per cui si può scrivere

$$i_{s5} = (0.00094d_{50}^{-1.77})V + (11.1d_{50}^{-0.48})V^2 \quad [6.4]$$

in cui d_{50} è espresso in metri e V in metri al secondo.

Si riporta l'espressione della permeabilità intrinseca k che, com'è stato detto nel cap. 2, è legata al parametro A dalla relazione

$$k = \frac{\nu}{gA}$$

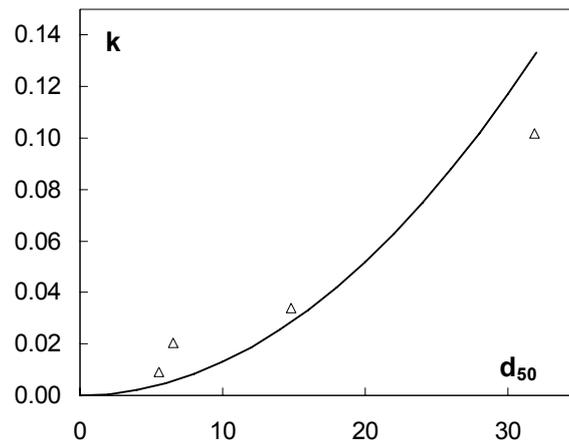


Figura 9 permeabilità intrinseca in funzione di d_{50}

Seguendo le indicazioni di Shimizu (1990), si può pensare di esprimere k in funzione del diametro del materiale di base, con una relazione del tipo

$$k = 0.00013d_{50}^2$$

con k espresso in mm^2 e d_{50} in mm .

Viene di seguito introdotto un grafico che ci mostra la buona correlazione tra i dati misurati e quelli calcolati con la [6.4], e la tabella riassuntiva dei dati sperimentali.

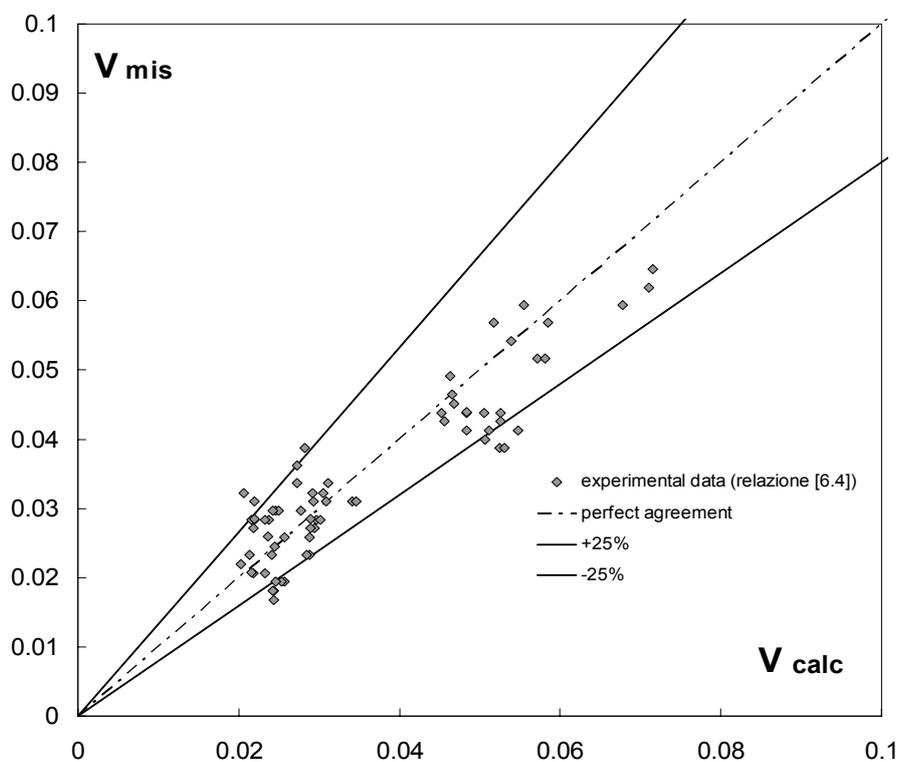


Figura 6.10 correlazione dati misurati e dati calcolati

pendenza (m)	spessore (m)	materiale	Q _{filtr} (l/s)	V _{av} (mis) (m/s)	l _s	k (cm ²)	C _w	S _i	S _{v,acc} (cm ²)	porosità	τ	d _p (cm)	R _k	R _k	R _{k1}	R _{k2}	f _k	R ₀	f ₀	V _{av} (calc) (m/s)	
0.25	0.14	M1	1.84205	0.043858333	0.313333	press	0.000339789	0.153707	0.76	5.691952	0.39	0.739264	0.123438	323.8892	8.084571	1.333788	65.05897	0.294562	102.6205	0.371265	0.056366
0.25		d50(cm)	1.73392	0.04128381	0.32	press							304.8766	7.61				0.339519	96.5966	0.427954	0.051198
0.25		d10(cm)	1.678956	0.03999549	0.314444	press							295.3703	7.372714				0.355445	93.58454	0.448038	0.050094
0.25			1.62579	0.03870926	0.333333	press							285.864	7.135428				0.402274	90.57289	0.570787	0.052419
0.25			1.189	0.043858333	0.335556	press							323.8892	8.084571				0.315453	102.6205	0.387628	0.052622
0.25		dec(cm)	1.787985	0.042571071	0.335556	press							314.3829	7.847265				0.334818	99.60856	0.422038	0.052622
0.25			1.387	0.04128381	0.358889	press							304.8766	7.61				0.307879	96.5966	0.479273	0.054719
0.25			1.62579	0.03870926	0.34	press							285.864	7.135428				0.41032	90.57289	0.512708	0.053027
0.25			1.84205	0.043858333	0.29	press							323.8892	8.084571				0.272628	102.6205	0.343645	0.048317
0.25			1.73392	0.04128381	0.29	press							304.8766	7.61				0.307869	96.5966	0.387842	0.048317
0.166			1.787985	0.042571071	0.263333	press							314.3829	7.847265				0.262755	99.60856	0.331202	0.045648
0.166			1.896115	0.04514556	0.274444	press							333.9555	8.321857				0.243495	105.6365	0.383951	0.045776
0.166			1.84205	0.043858333	0.258889	press							323.8892	8.084571				0.243370	102.6205	0.386779	0.045191
0.166	0.07	M1	0.97701	0.046524286	0.272222	press							343.577	8.575996				0.227425	108.8584	0.286669	0.046551
0.166			1.031075	0.04908881	0.27	press							362.5896	9.050568				0.202533	114.8823	0.255203	0.046327
0.166			0.929448	0.043949762	0.291111	press							324.2644	8.101425				0.272633	102.8344	0.343528	0.048426
0.25			1.139205	0.054247657	0.35	press							400.8149	9.997111				0.219089	126.9301	0.271094	0.053928
0.25			1.08514	0.051673333	0.386667	press							381.6022	9.52514				0.261895	120.9062	0.330081	0.057131
0.25			1.08514	0.051673333	0.388889	press							381.6022	9.52514				0.270142	120.9062	0.340515	0.058186
						bulk															

Figura 6.11 tabella riassuntiva dei dati

Durante questa analisi si è cercato di capire all'interno di quale campo di deflusso ci stavamo trovando, cioè se il moto attraverso lo strato filtrante era completamente turbolento, oppure se ancora in fase di transizione. Per fare questo ci siamo avvalsi dei campi limite dedotti da Venkataram e Rama Mohan Rao (1998), secondo i quali se (vedi cap. 2) :

$$\left(\frac{0.17}{\left(\frac{d}{\sqrt{k}}\right)^{1.1}} \right) = R_{k1} \leq R_k \leq R_{k2} = \left(\frac{10}{\left(\frac{d}{\sqrt{k}}\right)} \right)$$

il moto deve essere considerato ancora transitorio. Nella tabella seguente si riportano i nostri valori limite per ogni tipo di materiale, perché come già ricordato, sia R_{k1} che R_{k2} dipendono dalle caratteristiche del mezzo filtrante.

MATERIALE	R_{k1}	R_{k2}
B2	1.07	53.1
M1	1.15	57.6
M2	1.33	65.3
M3	1.57	75.6

Tabella 6.1 valori di limite di R_k

Secondo i nostri risultati si ottiene:

per B2, $18 < R_k < 20$

per M1, $8 < R_k < 10$

per M2, $4 < R_k < 6$

per M3, $2 < R_k < 3$

per cui si può affermare che il flusso che si sviluppa attraverso la rampa non è ancora turbolento.

Un'ulteriore grafico mostra la correlazione tra i nostri dati sperimentali e la relazione [2.20] che Legrand (2002) ha ottenuto anche grazie all'ausilio del modello capillare proposto da Comiti e Renaud (1989). Ci siamo calcolati i parametri f_p (pore friction factor) e R_p (pore Reynolds number) attraverso le leggi

$$f_p = \frac{ign_e^2 d_p}{2V^2 \tau^3}$$

e

$$R_p = \frac{\rho V \tau d_p}{n \mu},$$

in modo tale da inserire i valori nel grafico in cui sia presente la relazione [2.20]

$$f_p = \frac{16}{R_p} + 0.194$$

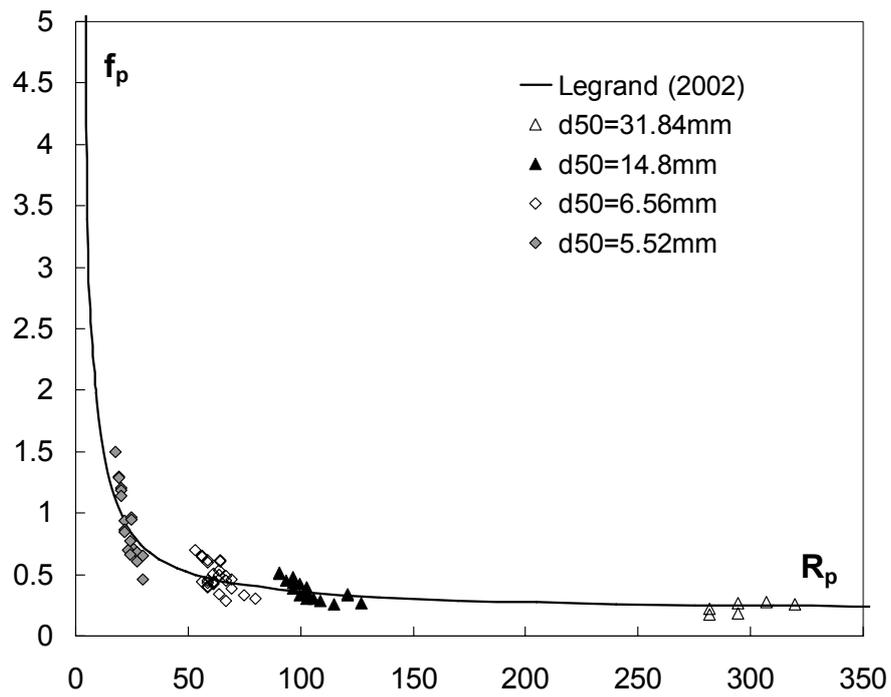


Figura 6.12 dati sperimentali con relazione di Legrand (2002)

In oltre si riporta anche un grafico dove si dimostra la buona correlazione tra i punti sperimentali e la relazione [2.20].

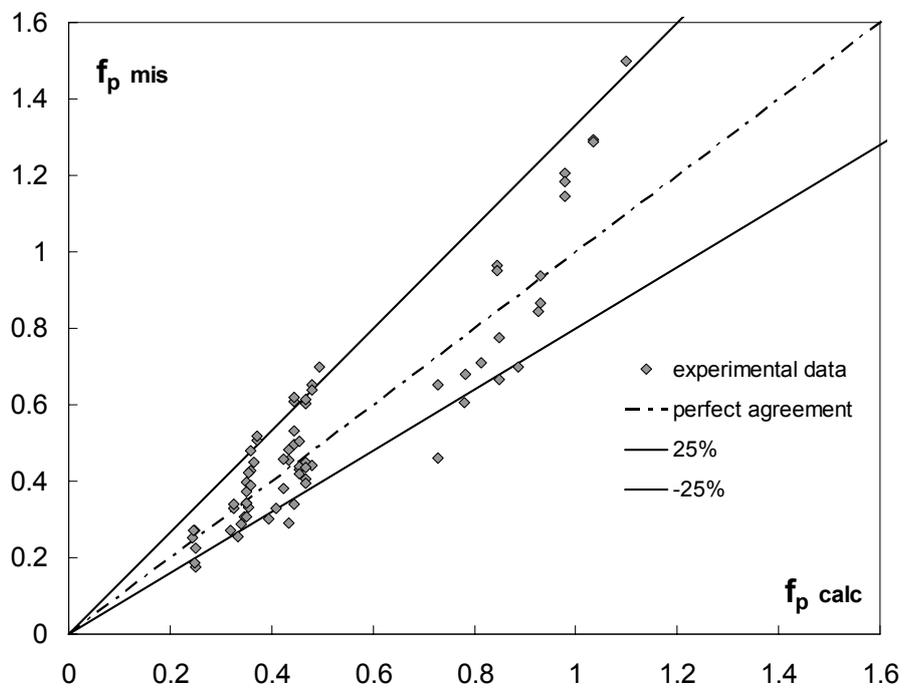


Figura 13 correlazione dati sperimentali e relazione [2.20]

Come ulteriore verifica a quanto detto precedentemente riportiamo una tabella riguardante i valori massimi e minimi di R_p da noi ottenuti durante le prove:

VALORE	R_p
MINIMO	19
MASSIMO	307

Tabella 6.2 valori di R_p

Sapendo che (vedi cap. 2) per un $R_p > 4$ si esce dal regime laminare, e che per un $R_p > 1570$ si entra in quello turbolento (in questo caso per qualsiasi tipo di materiale componente lo strato filtrante), si può riconfermare che le nostre esperienze ci forniscono deflussi interstiziali in regime di transizione.

6.2 Andamento della piezometrica lungo la rampa per le prove in pressione

Come è stato ricordato nel paragrafo precedente, la velocità di filtrazione misurata durante le nostre prove è legata al valore del gradiente dell'ultimo settore (i_{s5}); date le condizioni al contorno di monte, ovvero che la portata in entrata sulla rampa inizierà ad infiltrarsi proprio dalla sezione $x = 0$ cm, è lecito supporre che il valore del carico idraulico in quel punto sia nullo.

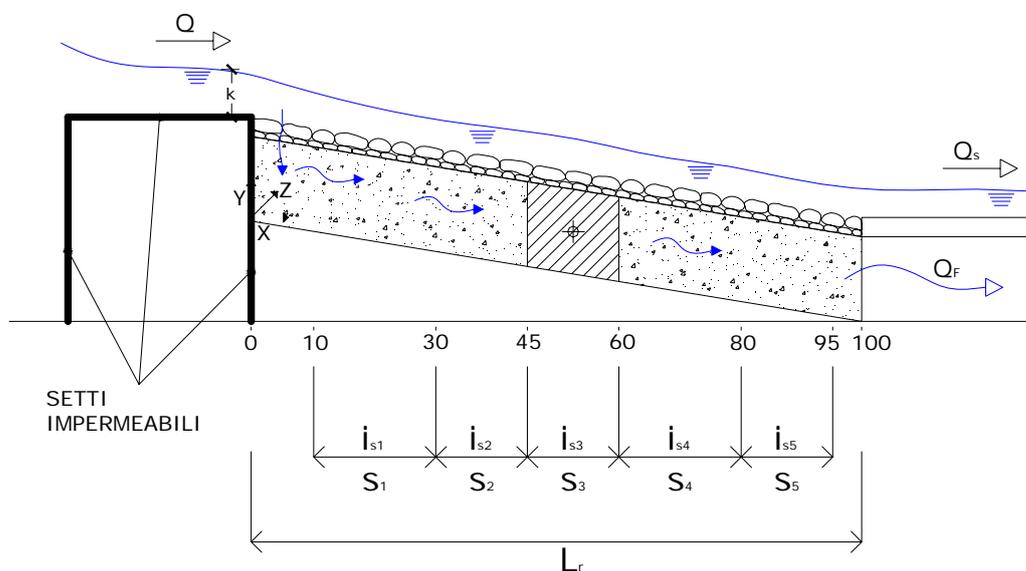


Figura 6.14 schema dei settori in cui è stata suddivisa la rampa

SETTORE	$x_m(\text{cm})$
1	20
2	37.5
3	52.5
4	70
5	87.5

Tabella 6.3 valori delle ascisse dei baricentri dei vari settori

Fatta questa premessa si riportano dei grafici nei quali è stato inserito in ascissa il parametro adimensionale x/L_r (con L_r lunghezza totale della rampa) e in ordinata il parametro i_{si}/i_0 (con i_{si} carico idraulico nel settore i -mo).

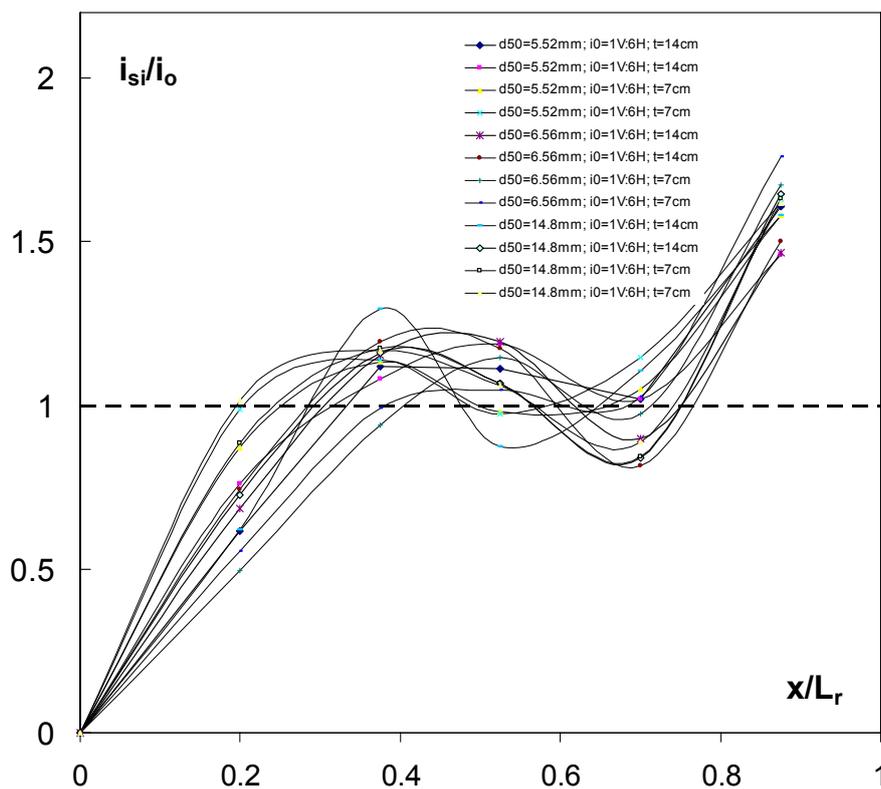


Figura 6.15 andamento di i_{si}/i_0 lungo la rampa (1V:6H)

Nel grafico (relativo alla pendenza 1V:6H) sono descritti tutti gli andamenti relativi ai diversi materiali di base indagati e ai diversi spessori dello strato filtrante. Come si evince dalla figura 6.15 il valore di i_{si}/i_0 cresce molto velocemente nelle sezioni iniziali della rampa, per poi stabilizzarsi attorno al valore 1 nella zona centrale e crescere di nuovo nella parte terminale della rampa stessa. Il valore di i_{si}/i_0 pari ad 1 significa che la cadente piezometrica coincide con l'inclinazione della rampa.

La funzione che meglio sembra interpolare i punti sperimentali è del tipo $y = Ax^B$, e nel caso specifico di $i_0 = 0.1667$, avremo

$$\frac{i_{si}}{i_0} = 1.5 \left(\frac{x}{L_r} \right)^{0.45} \quad [6.5]$$

la quale viene riportata (in rosso) nel seguente grafico:

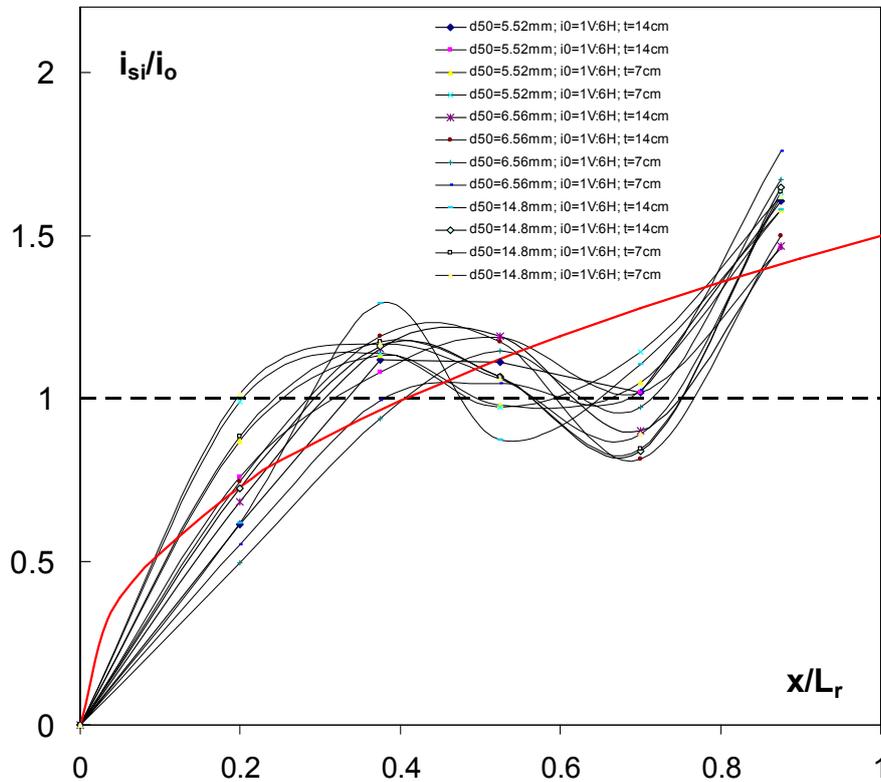


Figura 4.16 sovrapposizione dati sperimentali con relazione [5] (1V:6H)

Lo stesso procedimento è stato fatto per la pendenza 1V:4H, e per brevità di esposizione riportiamo in un unico grafico sia i dati sperimentali che la funzione interpolante (anche in questo caso disegnata in rosso).

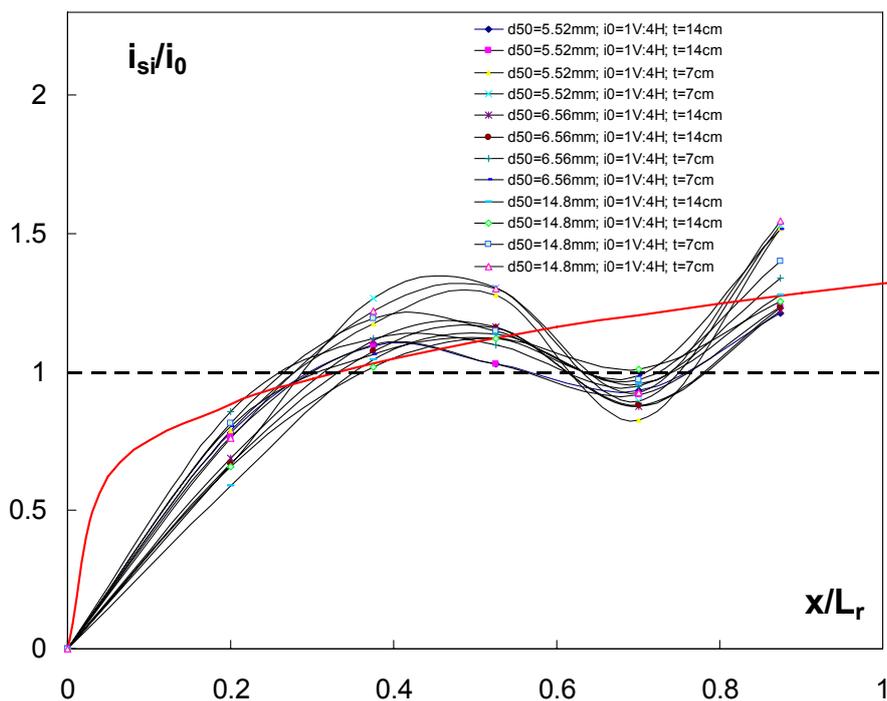


Figura 4.17 andamento della cadente piezometrica in funzione di x (1V:4H)

La legge relativa all'andamento del carico piezometrico lungo la rampa in questo caso sarà:

$$\frac{i_{si}}{i_0} = 1.32 \left(\frac{x}{L_r} \right)^{0.25} \quad [6.6]$$

In definitiva possiamo dire che la variazione di $\frac{i_{si}}{i_0}$ lungo la rampa è indipendente dal tipo di materiale di base utilizzato e dallo spessore t , ma dipende certamente dal parametro i_0 ; per cui in sostanza avremo che

$$\frac{i_{si}}{i_0} = f \left(\frac{x}{L_r}; i_0 \right).$$

In conseguenza a questo, occorre determinare le funzioni che legano i parametri A e B con la pendenza (tali parametri sono funzione anche della condizione al contorno, che in questo caso è la BC1):

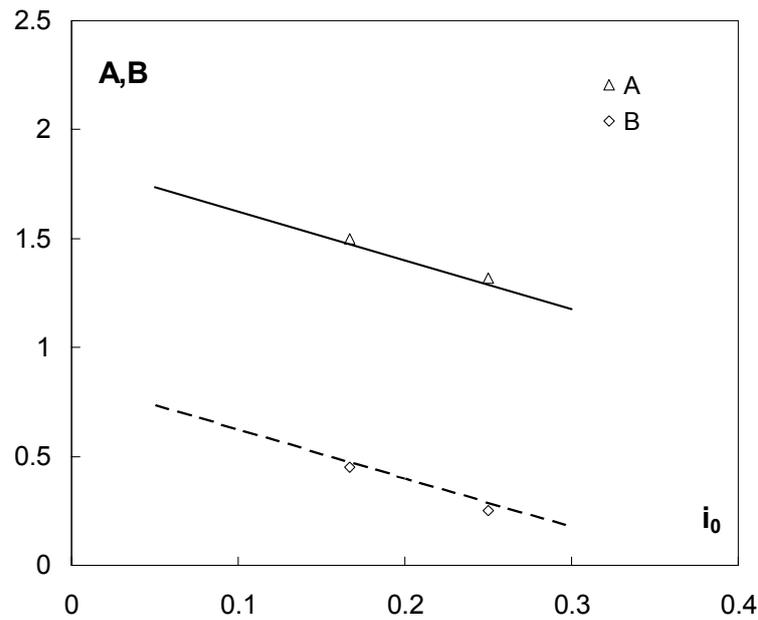


Figura 6.18 parametri A e B in funzione di i_0

da cui si ottiene

$$A = -2.25i_0 + 1.85$$

e

$$B = -2.25i_0 + 0.85.$$

In definitiva si può scrivere

$$\frac{i_{si}}{i_0} = (-2.25i_0 + 1.85) \left(\frac{x}{L_r} \right)^{(-2.25i_0 + 0.85)} \quad [6.7]$$

La relazione [6.7] ci permette di determinare una funzione anche per la pendenza 1V:8H, della quale, come detto, non avevamo a disposizione dati riguardanti i gradienti idraulici lungo i vari settori; ciò può essere fatto semplicemente sostituendo al posto di i_0 il valore 0.125, ottenendo

$$\frac{i_{si}}{i_0} = 1.57 \left(\frac{x}{L_r} \right)^{0.57}.$$

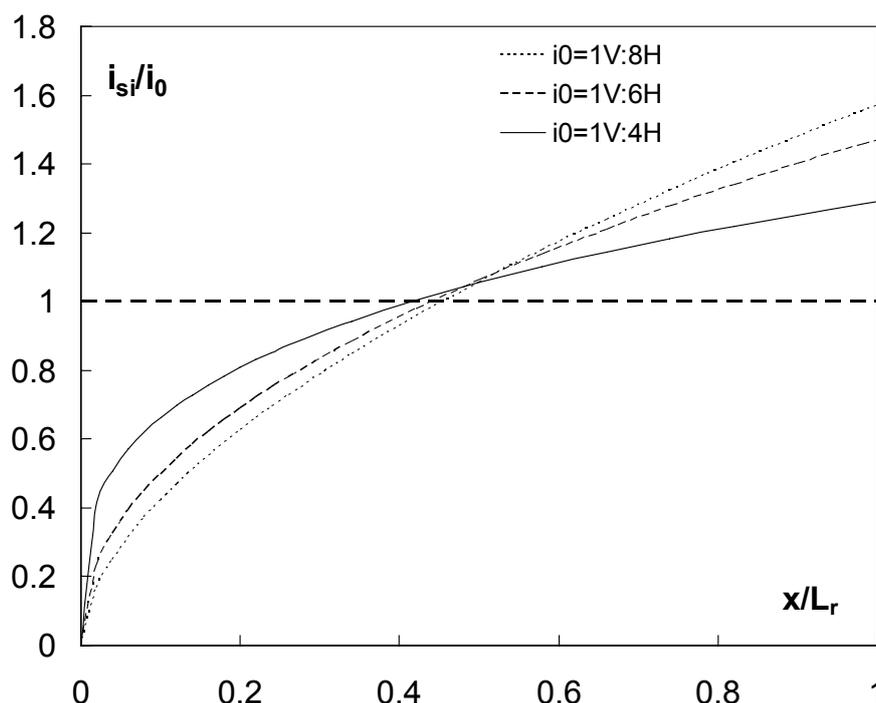


Figura 6.19 andamento di i_{si}/i_0 parametrizzato per la pendenza

Il grafico ci mostra come nelle rampe dove la pendenza è pari a 1V:4H i valori di gradiente piezometrico tendono a salire molto più velocemente nel tratto iniziale, raggiungendo poi rapporti poco superiori all'unità; mentre nelle rampe con pendenza 1V:6H la fase di crescita iniziale è più lenta, ma si ottengono per $x/L_r = 1$ dei rapporti (i_{si}/i_0) decisamente maggiori di 1.

Il passo successivo è stato quello di dare una legge in grado di fornire la velocità di filtrazione una volta note le caratteristiche macroscopiche della rampa, come la pendenza i_0 , lo spessore t e il diametro del materiale di base d_{50} . Sostituendo nell'equazione [6.7] il valore dell'ascissa del baricentro del settore 5, si ottiene

$$i_{s5} = i_0(-2.25i_0 + 1.85)(0.875)^{(-2.25i_0 + 0.85)} \tag{6.8}$$

che sostituito nella [6.4] ci da

$$i_0(-2.25i_0 + 1.85)(0.875)^{(-2.25i_0 + 0.85)} = (0.00094d_{50}^{-1.77}) \cdot V + (11.1d_{50}^{-0.48}) \cdot V^2 \tag{6.9}$$

Nella figura successiva viene mostrata la correlazione tra i dati sperimentali relativi a tutte le pendenze e la funzione [6.9].

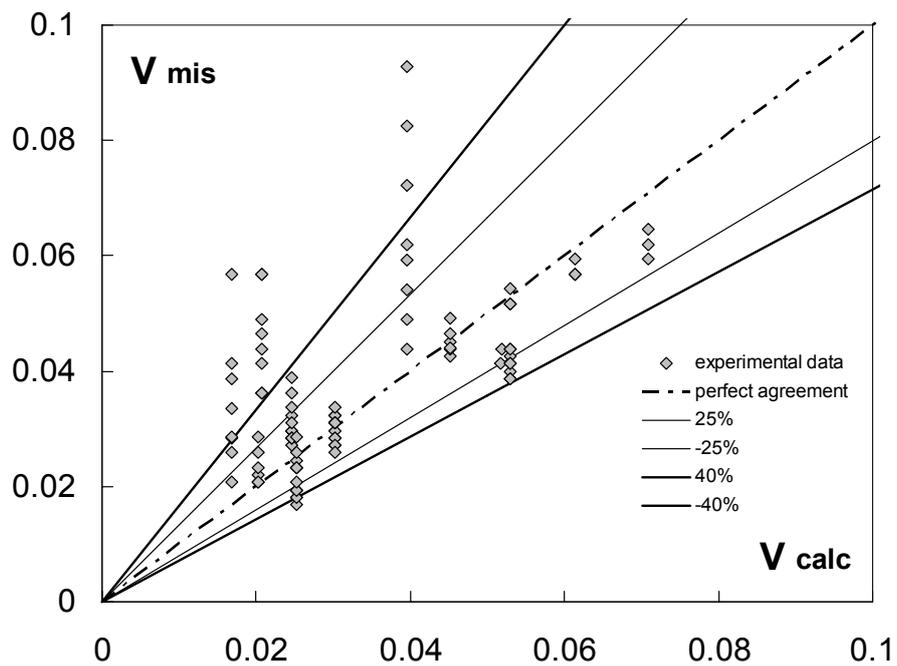


Figura 20 correlazione dati misurati e dati calcolati

Occorre sottolineare come i risultati ottenuti dalle prove sulla pendenza 1V:8H in parte non rientrano in un range soddisfacente di validità, anche perché in quelle esperienze non erano state fatte delle misure piezometriche accurate.

È interessante analizzare qualitativamente anche l'andamento dei valori piezometrici lungo la verticale.

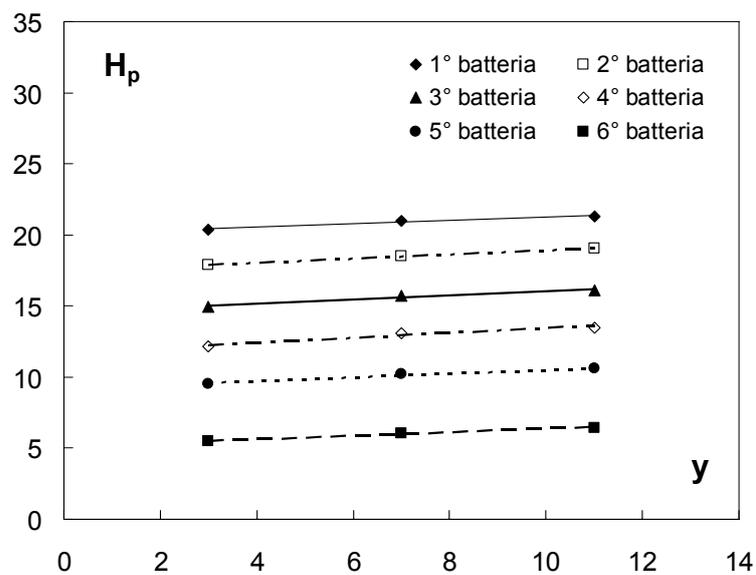


Figura 6.21 andamento di H_p in funzione della quota y (prova n°76)

Nel grafico è stato riportato l'andamento di H_p (livello liquido misurato nel piezometro, relativo alla quota zero di riferimento) in funzione della quota y di presa a cui si trovano i piezometri (riferita al fondo dello strato permeabile) per la prova n°76 (nella quale $i_0=1V:6H$, $t=14\text{cm}$ e $d_{50}=14.8\text{mm}$). Si nota come il piezometro che si trova ad una quota maggiore rispetto agli altri due, porta a ottenere valori di livello liquido maggiori; l'andamento lungo la verticale, per una stessa batteria di piezometri, è di tipo lineare. Lo stesso tipo di ragionamento è stato fatto anche per la prova n°99 (nella quale $i_0=1V:4H$, $t=7\text{cm}$ e $d_{50}=14.8\text{mm}$) e i risultati ottenuti sono gli stessi.

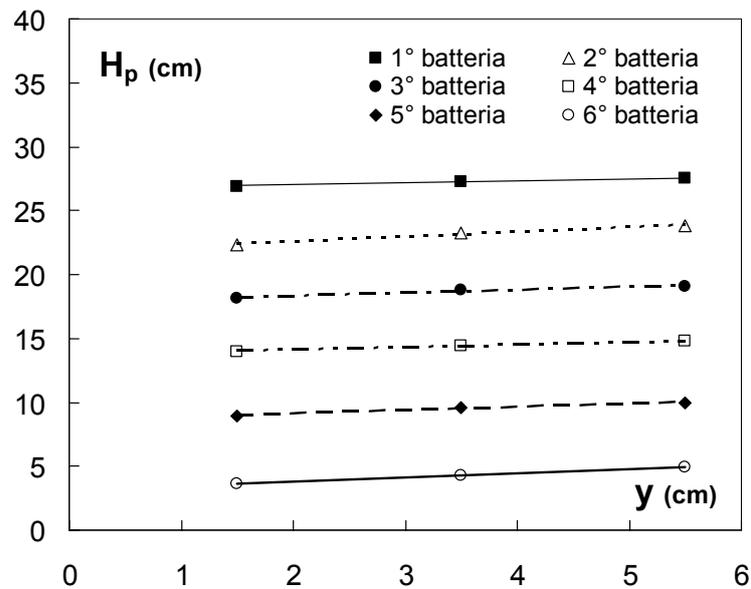


Figura 6.22 andamento di H_p in funzione di y (prova n°99)

Infine si inseriscono dei grafici in grado di mostrarci come sia i valori piezometrici che il profilo liquido sono stati rilevati durante le prove sperimentali:

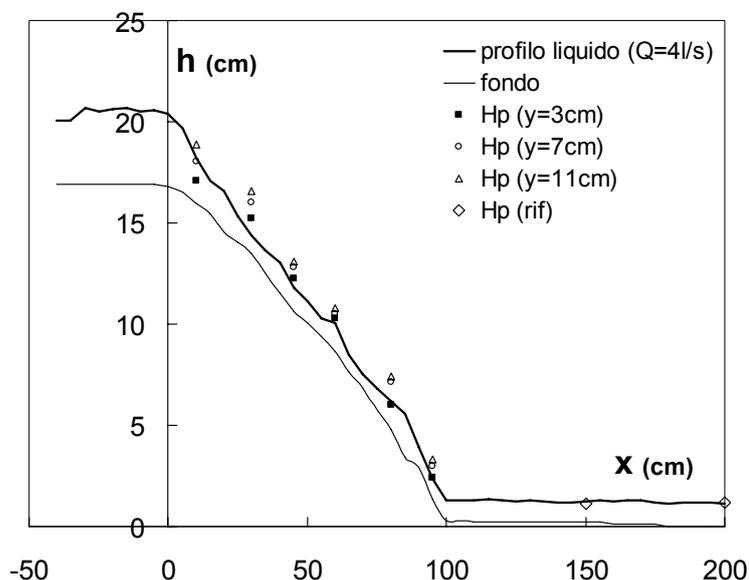


Figura 6.23 andamento di H_p e del profilo liquido in funzione di x (prova n°75)

Con il termine $H_p(\text{rif})$ si è voluto indicare i valori di altezza piezometrica misurata nei due piezometri situati in fondo al canale e che ci hanno permesso di regolare la pressione all'interno dello stato filtrante, e come si può notare tali valori coincidono con il livello liquido presente a valle della rampa nel rispetto della condizione al contorno di valle BC1 che stiamo in questo paragrafo considerando. Si può notare come i valori di $H_p(y = 3 \text{ cm})$, ovvero i valori ottenuti dai piezometri che si trovano ad una quota di presa pari a 3 cm, si sovrappongono al profilo liquido, mentre le altre misure danno quote piezometriche maggiori.

Il successivo grafico ci mostra un confronto tra due prove che hanno lo stesso materiale di base (in questo caso M1), lo stesso spessore t (pari a 14 cm), la stessa pendenza (1V:6H) ma portate in ingresso diverse:

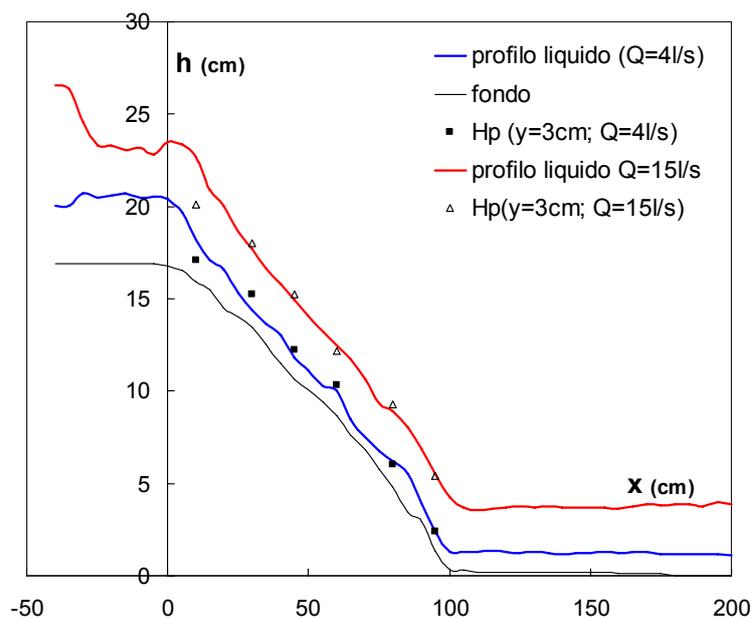


Figura 6.24 confronto tra la prova n°75 e al prova n°76

Come era logico aspettarsi, si hanno tiranti idrici e altezze piezometriche maggiori per portate entranti maggiori; si può inoltre sottolineare come l'altezza liquida al di sopra della rampa tende a diminuire man mano che ci si sposta verso valle a causa dell'effetto della filtrazione. Per chiarezza di esposizione viene riportato un altro grafico riferito ad un materiale diverso (in questo caso M2), ad un altro spessore (7 cm) ed un'altra pendenza (1V:4H) ma ottenendo gli stessi risultati.

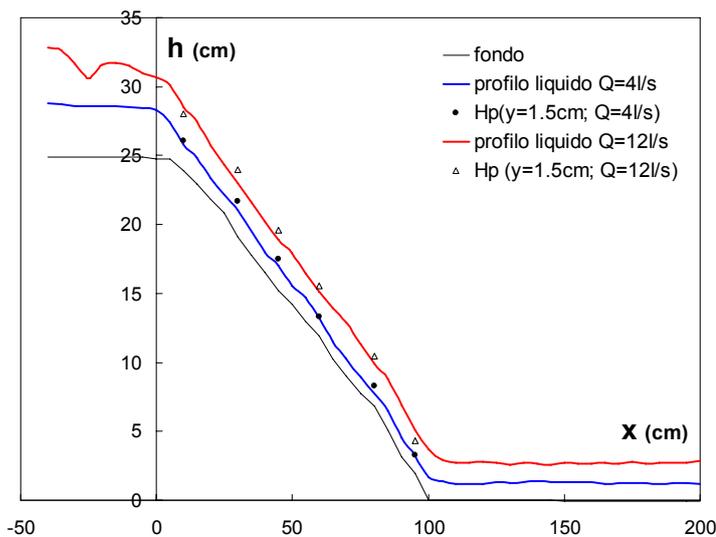


Figura 6.25 confronto tra la prova n°96 e la prova n°98

Analisi della filtrazione mediante tracciante

Sempre con riferimento alla condizione al contorno BC1, in alcune prove è stato valutato l'andamento dei filetti fluidi all'interno del mezzo poroso costituente il materiale di base della rampa al fine di valutare l'andamento della portata di filtrazione attraverso lo strato di base.

Per la valutazione di questo fenomeno abbiamo utilizzato un tracciante, nella fattispecie del bludimetilene, che diluito adeguatamente abbiamo inserito in un piccolo serbatoio a gravità ed è stato fatto defluire lungo la rampa.

Per il calcolo della velocità interstiziale abbiamo preso la misura del tempo all'immissione del tracciante fino a quando questo non avesse raggiunto una prefissata distanza, così facendo abbiamo valutato la velocità come spazio/tempo. Dalle fotografie si può notare come la filtrazione si muova orizzontalmente lungo lo sviluppo della rampa.

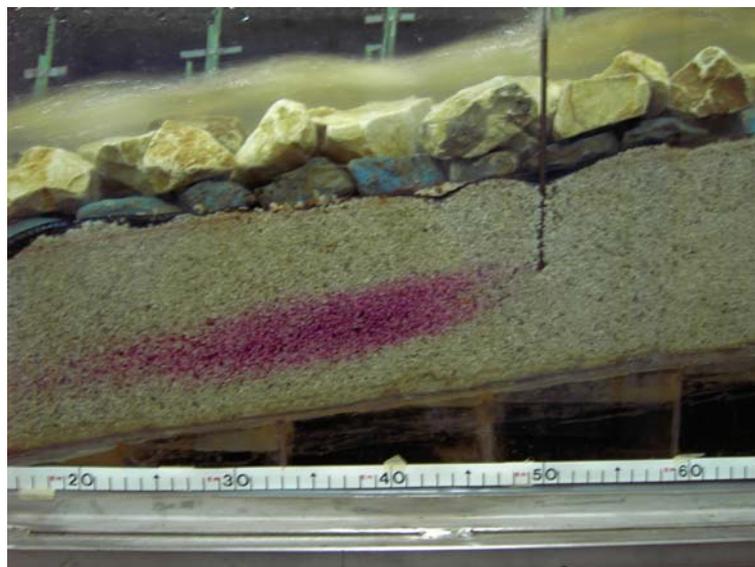


Figura 6.26 prova tracciante prova n°15 sezione x=50cm

Nelle sezioni immediatamente prima dell'imbocco la portata defluisce completamente all'interno della canaletta senza fuoriuscita verso l'alto, e questo avviene in ogni altra sezione della rampa; le figure successive ci mostrano l'andamento del tracciante sia nelle sezioni iniziali della rampa che in quelle finali.

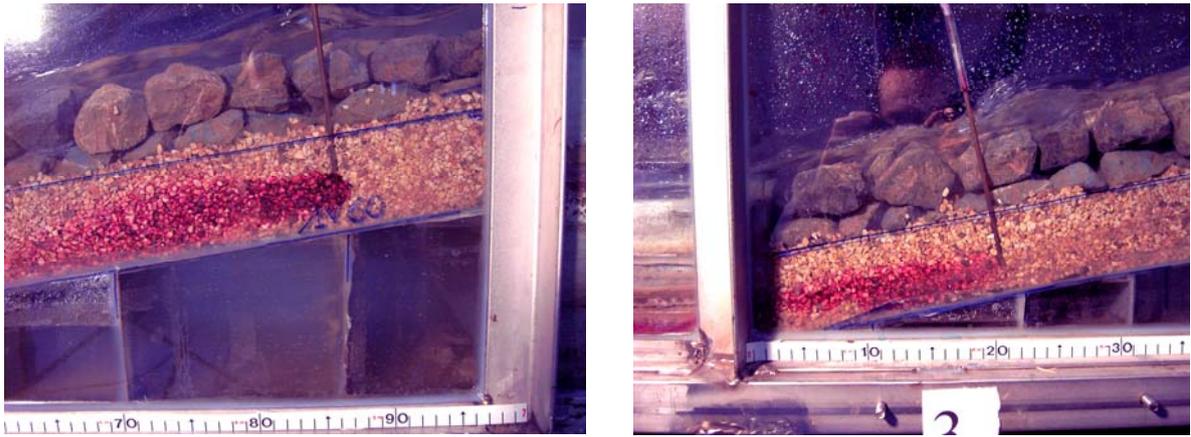


figura 6.27 tracciante prova n°90 sezione $x=15\text{cm}$ e $x=80\text{cm}$



Figura 6.28 tracciante prova n°105 sezione $x=50\text{cm}$ e $x=80\text{cm}$

Nella prova n° 105 abbiamo utilizzato un materiale di maggiori dimensioni granulometriche e questo ha comportato una maggiore turbolenza del flusso attraverso gli spazi interstiziali, come confermato dalla dispersione del tracciante all'interno dello strato filtrante.

6.3 Analisi delle prove non in pressione

Come già spiegato nel capitolo 4 alcune prove sono state effettuate con le condizioni al contorno di valle diverse dalla condizione BC1. L'analisi delle prove con condizione al contorno BC2 e BC3 ci saranno utili per capire meglio gli andamenti dei valori piezometrici lungo la rampa e anche il range di portata di filtrazione che il nostro modello sperimentale è in grado di fornirci.

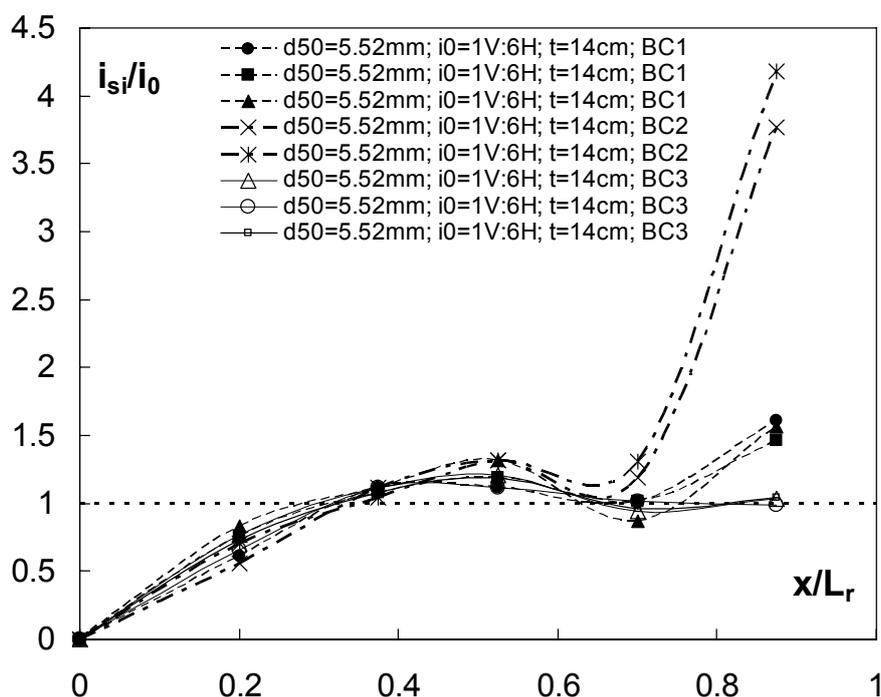


Figura 6.29 confronto fra prove con condizioni al contorno diverse

Nel grafico appena riportato sono messe a confronto varie prove con condizioni al contorno differenti, riferite però tutte al modello con $i_0=1V:6H$ e spessore $t = 14cm$. È interessante sottolineare come nel caso di canaletta a sbocco libero (condizione BC2) si raggiungono valori di i_{s5}/i_0 notevolmente elevati mentre la condizione di pressione impostata (BC3) ci fornisce valori di i_{s5}/i_0 pari ad 1.

Il seguente grafico, analogo al precedente, fissa un ulteriore parametro come la portata entrante, in modo da avere un confronto diretto tra le 3 condizioni al contorno.

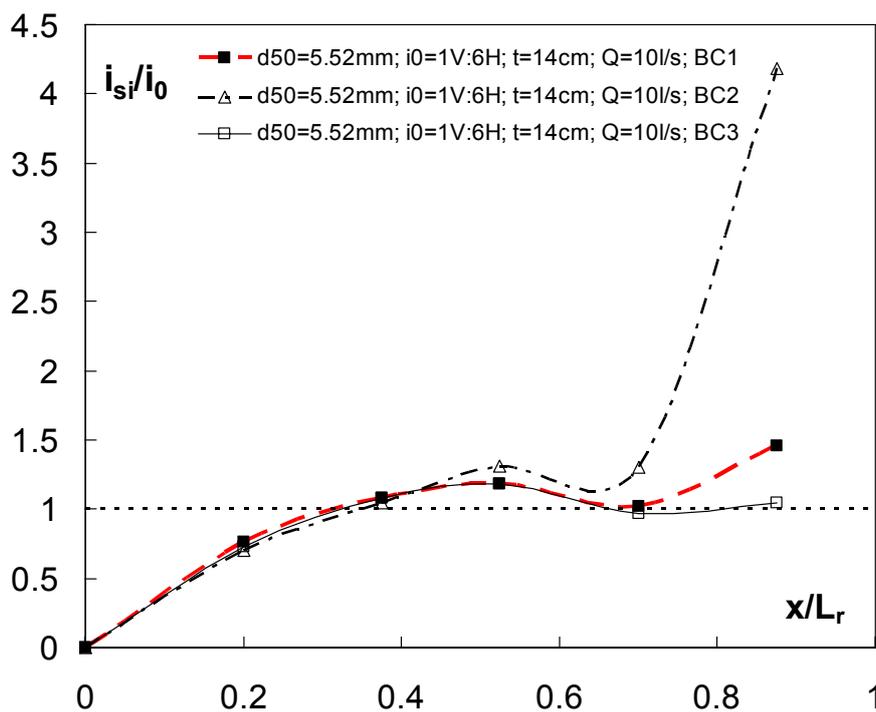


Figura 6.30 carico idraulico parametrizzato per le condizioni al contorno e la portata Q

Diretta conseguenza di quanto appena osservato, e grazie all'ausilio della [6.4], è logico aspettarsi valori di portata di filtrazione maggiori in ordine crescente a partire dalla condizione al contorno BC3, BC1 per poi arrivare alla BC2. Questo è confermato dal grafico successivo, in cui la Q_F è relazionata al d_{50} .

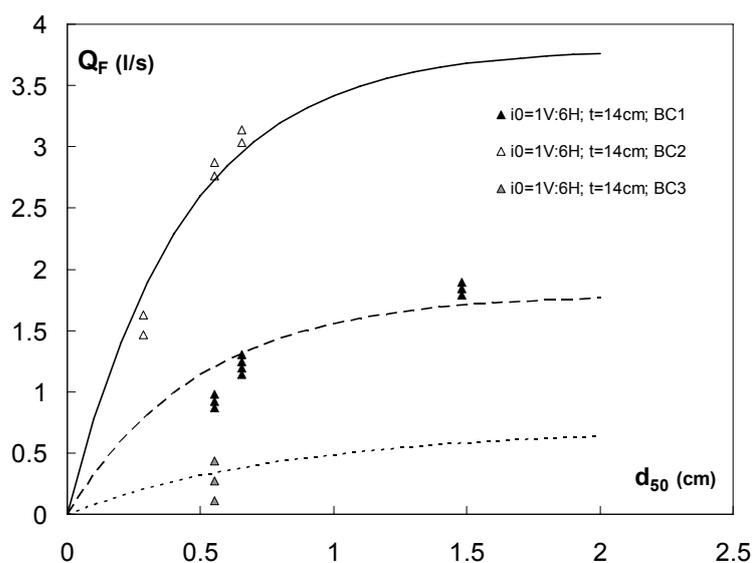


Figura 6.31 portata di filtrazione in funzione di d_{50} per le varie condizioni al contorno

Dopo aver fatto queste precisazioni abbiamo deciso di considerare la portata che si è misurata nelle prove in condizioni di sbocco libero (BC2) come la massima portata che può filtrare attraverso lo strato di base (Q_{Fmax}), a parità di portata entrante, spessore dello strato poroso, granulometria del materiale di base e pendenza della rampa.

Abbiamo cercato una relazione che legasse la portata massima alle caratteristiche macroscopiche della rampa (t , i_0 , d_{50}), non considerando, in una prima analisi di tipo qualitativa, l'effetto che anche la portata entrante ha sulla Q_{Fmax} . Riportiamo sinteticamente alcuni dei passaggi dell'elaborazione fatta a tale proposito:

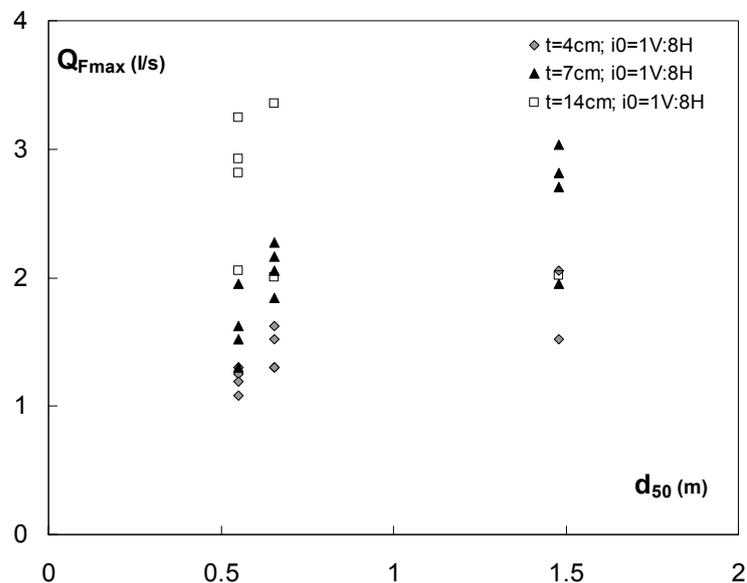


Figura 6.32 andamento della portata di filtrazione max in funzione di d_{50} (1V:8H)

Le curve che sembrano meglio approssimare i punti sperimentali sono del tipo $y = A - Ae^{-Bx}$, dato che nella condizione di $d_{50} = 0$ cm la Q_{Fmax} dovrà annullarsi. Si inseriscono i diagrammi relativi ai parametri A e B dell'equazione citata, in funzione di t e di i_0 , inoltre ai rispettivi legami funzionali.

$$A = f(t, i_0) = m \cdot t^n$$

$$B = f(t, i_0) = q \cdot t + p$$

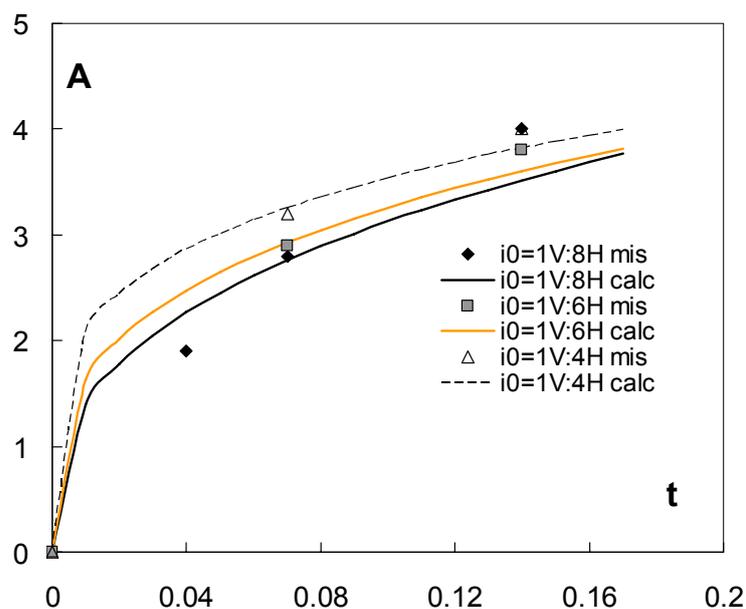


Figura 6.33 parametro A in funzione di t parametrizzato per i_0

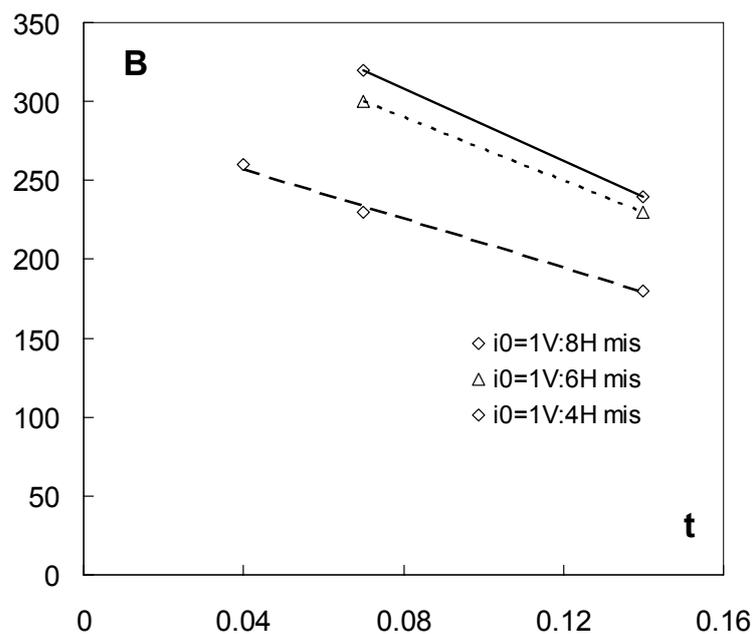


Figura 6.34 parametro B in funzione di t parametrizzato per i_0

Da cui si ottiene

$$A = (3.2i_0^{-0.4})t^{(-0.95i_0+0.46)} \quad e \quad B = -(1912i_0 + 670)t + (737i_0 + 223).$$

In definitiva la Q_{Fmax} si può scrivere, in forma dimensionale, come

$$Q_{Fmax} \left(\frac{l}{s} \right) = (3.2i_0^{-0.4})t^{(-0.95i_0+0.46)} - \frac{(3.2i_0^{-0.4})t^{(-0.95i_0+0.46)}}{e^{[-(1912i_0+670)t+(737i_0+223)]d_{50}}} \quad [6.10]$$

in cui sia d_{50} che t sono espressi in metri.

Proponiamo la correlazione tra i dati sperimentali e dati calcolati.

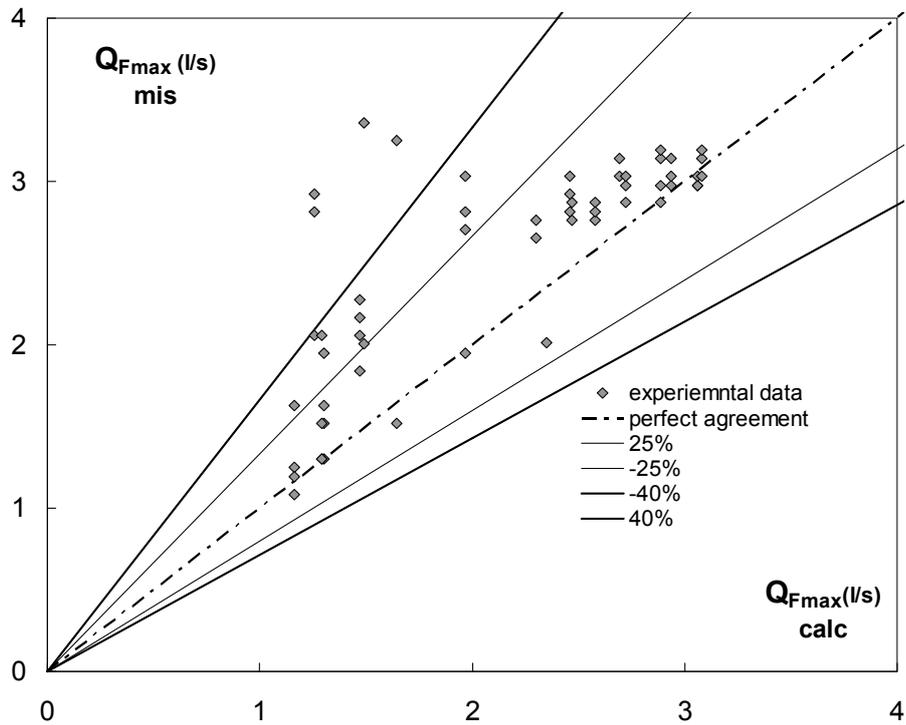


Figura 6.35 correlazione dati sperimentali e dati calcolati

Nel primo dei successivi grafici si mostra l'andamento di Q_{Fmax} in funzione della pendenza una volta fissato t , mentre il secondo rappresenta la variazione di portata massima al variare di t fissata la pendenza.

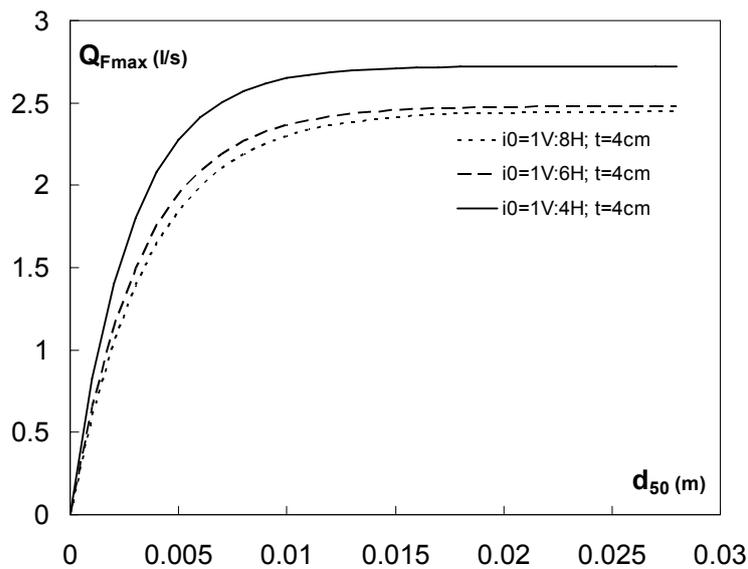


Figura 6.36 Q_{Fmax} parametrizzata per la pendenza

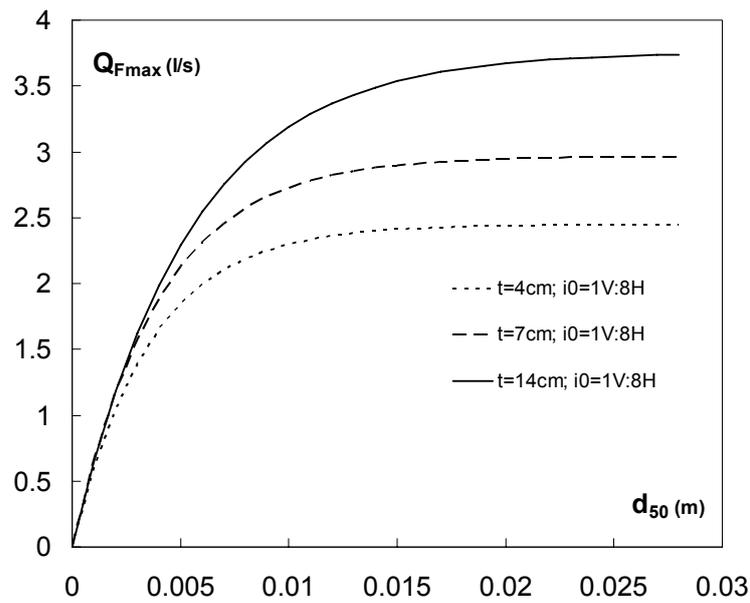


Figura 6.37 Q_{Fmax} parametrizzata per lo spessore

Una volta nota la relazione [6.10] abbiamo cercato di capire quale range di portate possiamo ottenere dal nostro modello sperimentale variando le condizioni al contorno di valle. Avendo già ricordato che la portata misurata in condizione BC2 è la massima ottenibile, abbiamo messo in grafico il rapporto tra la portata misurata in una condizione generica (BC1, BC2 o BC3) e la portata massima calcolata, in funzione del d_{50} .

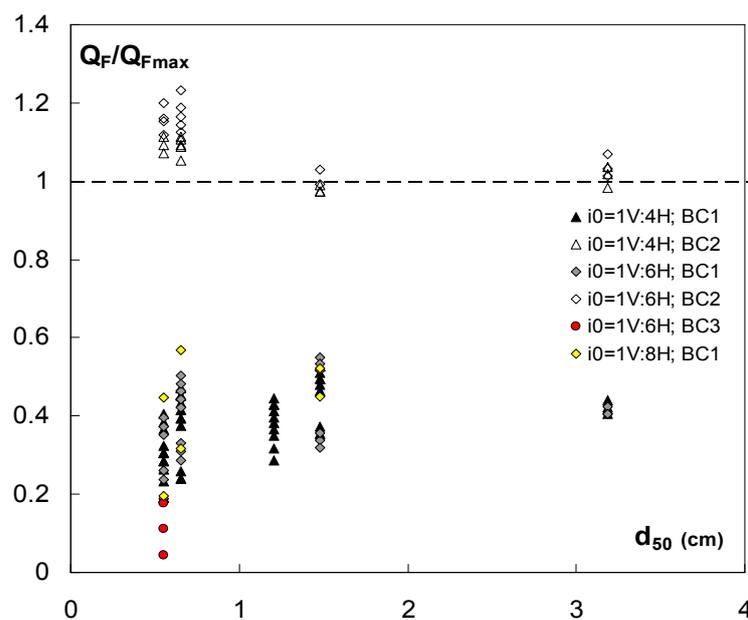


Figura 6.38 Q_F/Q_{Fmax} in funzione di d_{50}

Come si può notare il rapporto Q_F/Q_{Fmax} è pari all'incirca a 1 quando si tratta delle prove nella condizione BC2, mentre si stabilizza tra 0.25 e 0.55 per la condizione BC1. E' interessante sottolineare come per la condizione BC3 tale rapporto varia tra 0.05 e 0.15 dato che le portate che si sono ottenute con quella impostazione sono decisamente minori di quella massima. In prima approssimazione questo è valido per ogni tipo di materiale, trascurando l'effetto della granulometria sul rapporto Q_F/Q_{Fmax} come mostrato dal grafico di "sensibilità" di seguito riportato.

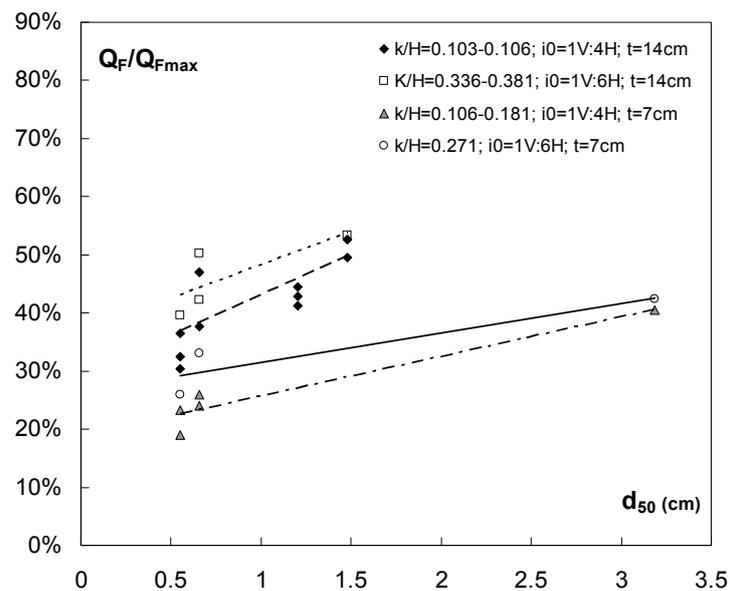


Figura 6.39 grafico di sensibilità di Q_F/Q_{Fmax} rispetto al d_{50}

Stesso ragionamento viene effettuato mettendo in relazione la Q_F/Q_{Fmax} con il k/H , confermando che anche per ogni valore della portata in ingresso, i valori dei rapporti tra la portata filtrata (misurata in una condizione generica) e la portata filtrata massima sono sempre quelli prima menzionati.

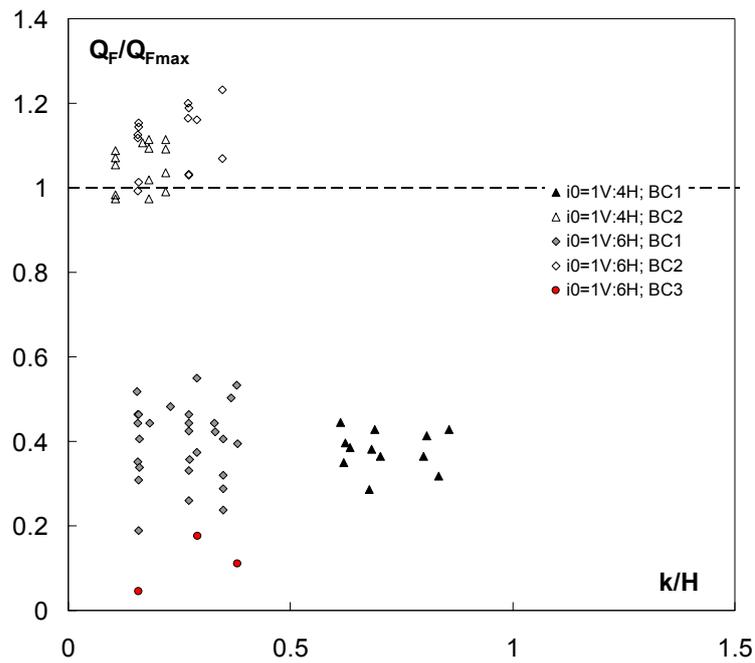


Figura 6.40 Q_F/Q_{Fmax} in funzione di k/H

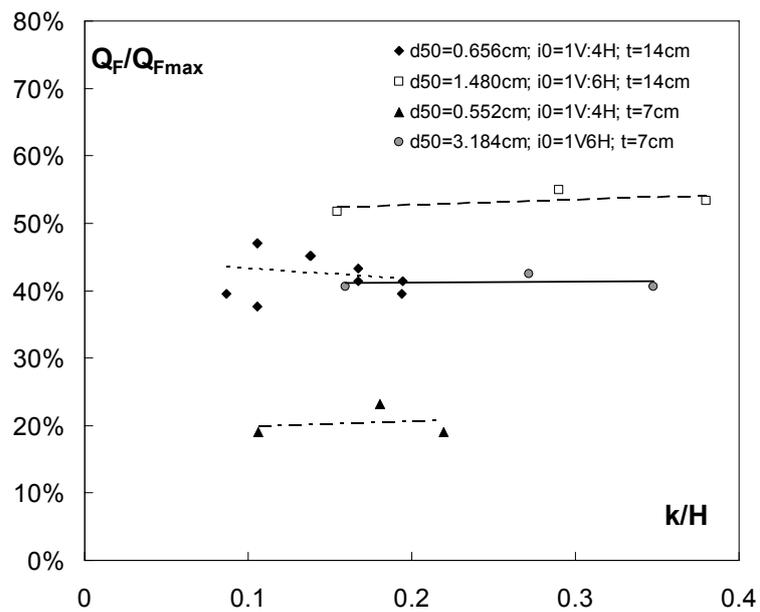


Figura 6.41 grafico di sensibilità di Q_F/Q_{Fmax} rispetto a k/H

Anche l'effetto della portata in ingresso sul rapporto Q_F/Q_{Fmax} si può considerare trascurabile.

In definitiva possiamo riportare una tabella riassuntiva nella quale inserire gli intervalli di variazione del rapporto Q_F/Q_{Fmax} per ogni tipo di materiale, portata entrante, spessore e pendenza, in modo da poter avere un'indicazione di massima sulla portata di filtrazione che si ottiene variando le condizioni al contorno.

condizione al contorno	Q_F/Q_{Fmax}
BC1	25% - 55%
BC2	100%
BC3	5% - 15%

Tabella 6.4 range di variabilità del rapporto Q_F/Q_{Fmax} nelle varie condizioni

6.4 Calcolo della percentuale di filtrazione

Prima di passare alla fase di elaborazione dei dati vera e propria, in questo paragrafo riportiamo alcuni grafici in grado di dare una rappresentazione qualitativa del fenomeno della filtrazione riguardante i modelli descritti nel capitolo 4.

Faremo riferimento sia alle prove effettuate con la canaletta in pressione, ovvero a quei test in cui si era fatto in modo che la pressione misurata in fondo al canale coincidesse con quella presente a valle della rampa, sia a prove in pressione atmosferica, ovvero a quelle in cui la canaletta era lasciata a sbocco libero. Laddove si riporteranno le prove in pressione questa caratteristica non verrà di volta in volta specificata per non appesantire la trattazione, mentre nei casi in cui verranno utilizzati dati ottenuti dalle prove in pressione atmosferica tale operazione verrà caso per caso sottolineata.

I primi grafici mostrano l'andamento della portata di filtrazione in funzione del d_{50} del materiale di base. Il primo riguarda il modello con pendenza 1V:4H

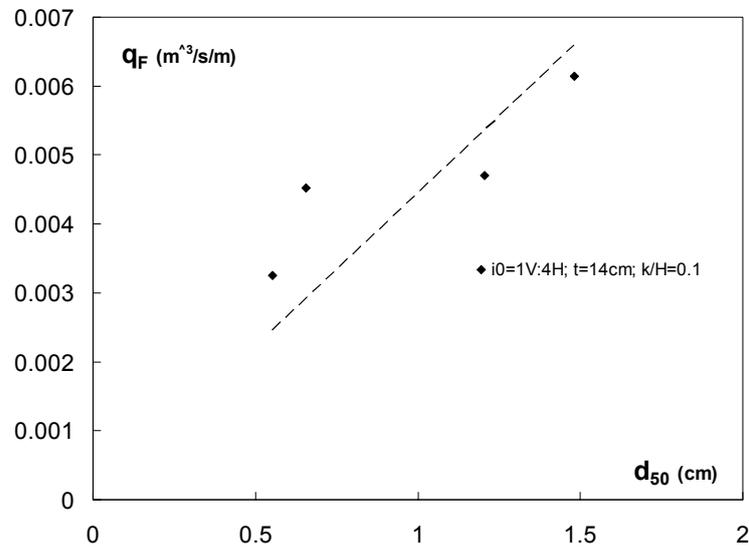


Figura 6.42 portata di filtrazione in funzione del d_{50}

e come si può notare si è inserita la portata di filtrazione per unità di larghezza del canale (la larghezza b è costante e pari a 30 cm); il secondo è inerente al modello con pendenza 1V:6H :

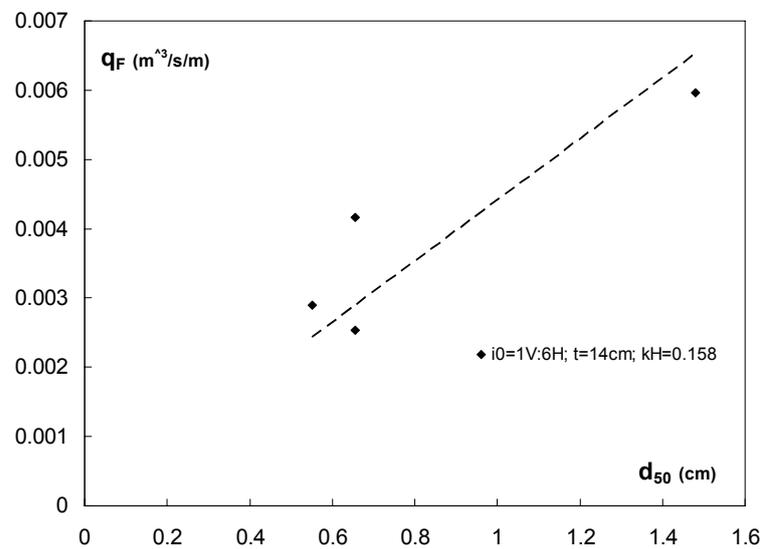


Figura 6.43 portata di filtrazione in funzione di d_{50}

mentre il terzo riguarda la pendenza 1V:8H :

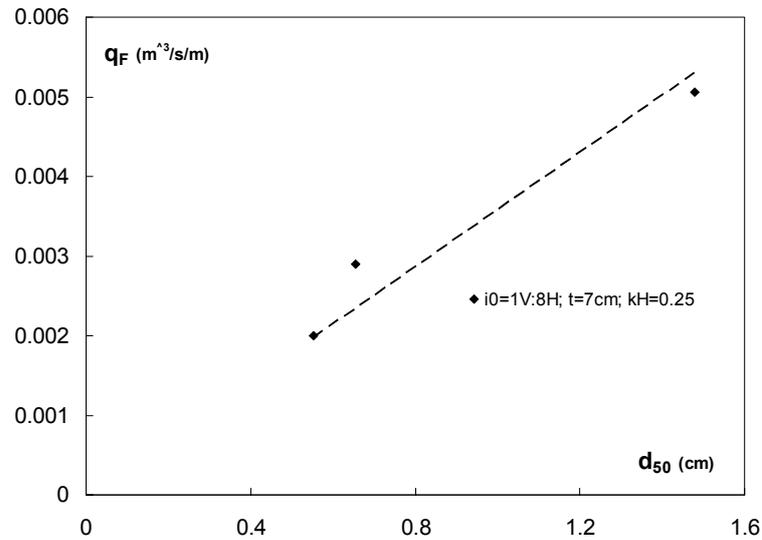


Figura 6.44 portata di filtrazione in funzione di d_{50}

In tutti e tre i grafici è stata mantenuta costante la portata in entrata (rappresentata dal parametro k/H) e lo spessore t ; possiamo quindi dire che la portata di filtrazione (in termini assoluti) aumenta all'aumentare del diametro del materiale dello strato filtrante in modo pressoché lineare, dato che la filtrazione sarà nulla per un valore del d_{50} pari a zero.

I prossimi grafici ci mostrano la dipendenza che esiste tra la q_F e lo spessore t dello strato filtrante, mantenendo però costante la portata in entrata (e quindi k/H); per quanto riguarda la rampa con pendenza 1V:8H abbiamo

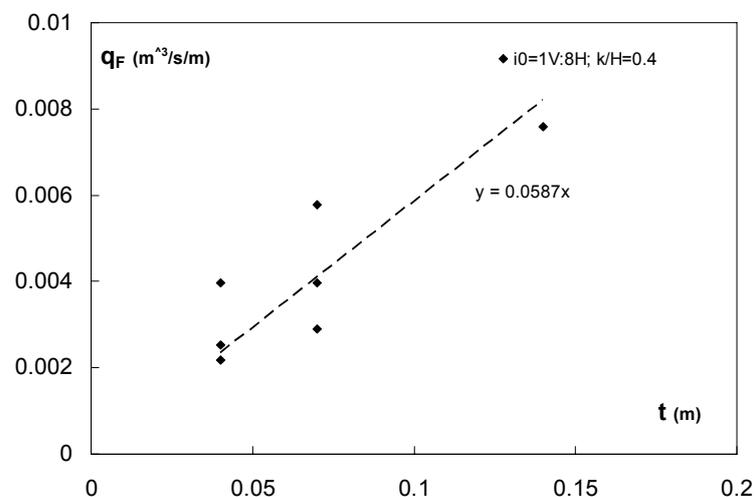


Figura 6.45 portata di filtrazione in funzione dello spessore t

Mentre per la pendenza 1V:4H otteniamo

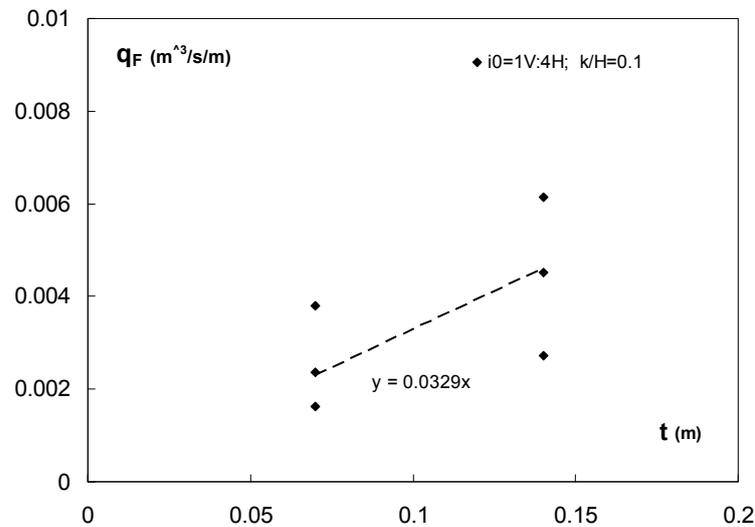


Figura 6.46 portata di filtrazione in funzione di t

Come era logico aspettarsi, la portata di filtrazione aumenta all'aumentare dello spessore t anche in questo caso in modo lineare. È interessante notare che della retta interpolante i punti è stata riportata anche l'equazione, questo perchè il legame tra la portata di filtrazione e lo spessore sarà del tipo

$$q_F = V_F \cdot t$$

e quindi si può verificare che il coefficiente angolare di tale retta rappresenti proprio il valore della velocità di filtrazione misurata (sulla rampa con tale pendenza). Questo è confermato dal successivo grafico in cui si è messo a confronto la portata di filtrazione q_F misurata con quella calcolata utilizzando proprio l'equazione riportata sulla figura precedente.

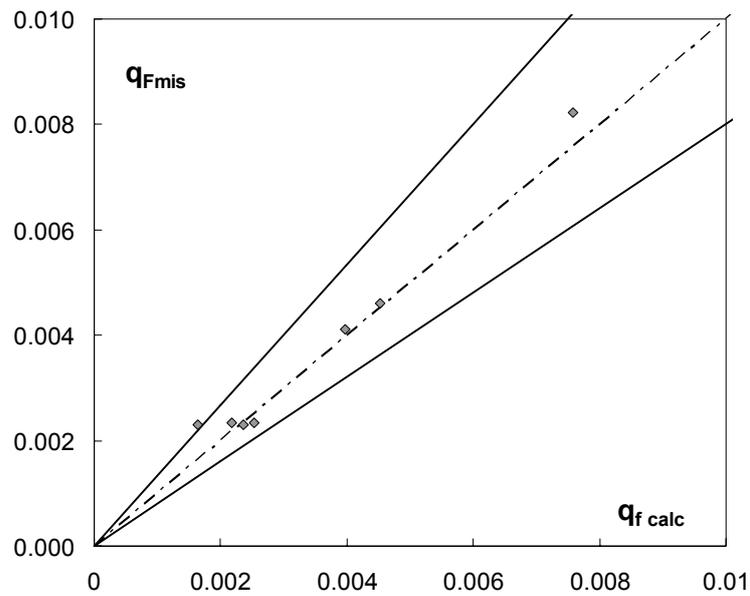


Figura 6.47 dati calcolati e dati misurati

È stato omesso il grafico relativo alla pendenza 1V:6H per non appesantire la trattazione ma si conferma che i risultati sono in completo accordo con quelli relativi alle altre due pendenze.

Passiamo adesso ad analizzare, ancora in modo qualitativo, il parametro adimensionale $\frac{Q_F}{Q}$ (%).

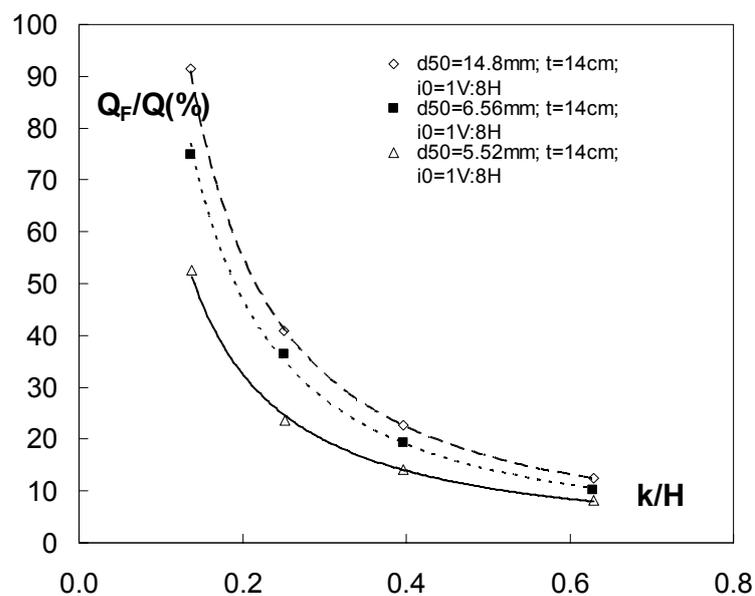


Figura 48 percentuale di filtrazione in funzione di k/H per 1V:8H

Il grafico ci mostra come la percentuale di filtrazione aumenti all'aumentare del diametro del materiale di base, ma viceversa diminuisce con l'aumentare del parametro k/H (ricordiamo come H sia costante per ogni pendenza essendo pari a $i_0 \cdot L_r$) ovvero diminuisce all'aumentare della portata entrante. Si può anche notare come la differenza di percentuali di filtrazione tra i vari materiali si accentui alle basse portate, mentre tale differenza va assottigliandosi verso valori più alti di k/H .

Grafici analoghi al precedente vengono di seguito riportati per le altre due pendenze 1V:6H e 1V:4H, ottenendo gli stessi risultati.

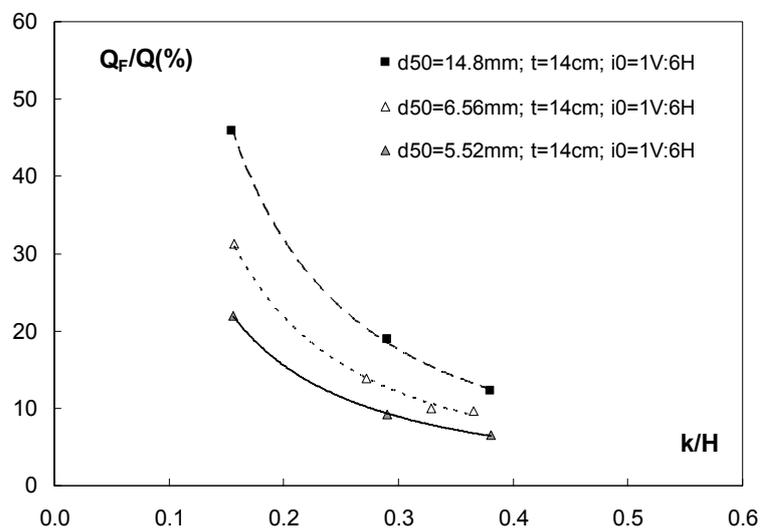


Figura 6.49 percentuale di filtrazione in funzione di k/H per 1V:6H

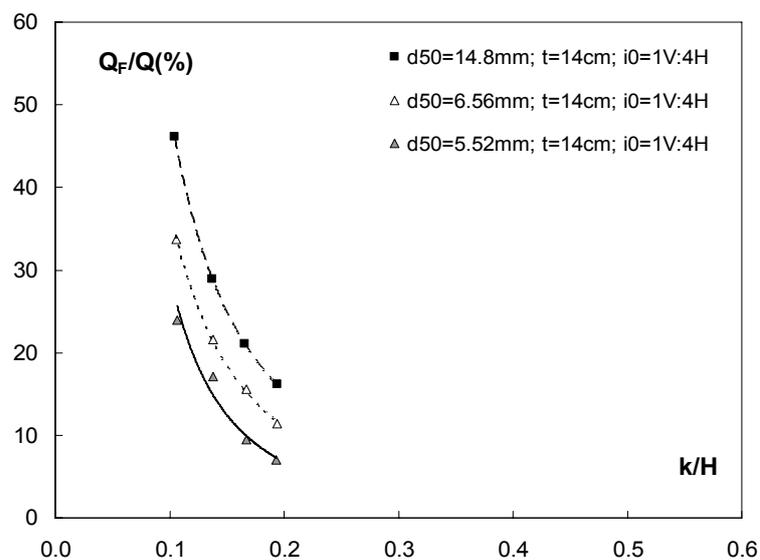


Figura 6.50 percentuale di filtrazione in funzione di k/H per 1V:4H

Si vuole sottolineare che i range ristretti di k/H ottenuti nell'ambito delle prove sulla rampa con pendenza 1V:4H sono dovuti in parte all'elevato valore di H (pari logicamente a 0.25) ed in parte all'impossibilità di raggiungere elevate portate le quali avrebbero potuto mettere in crisi la stabilità della rampa.

Viene fatto adesso lo stesso tipo di ragionamento per quanto riguarda lo spessore t dello strato filtrante:

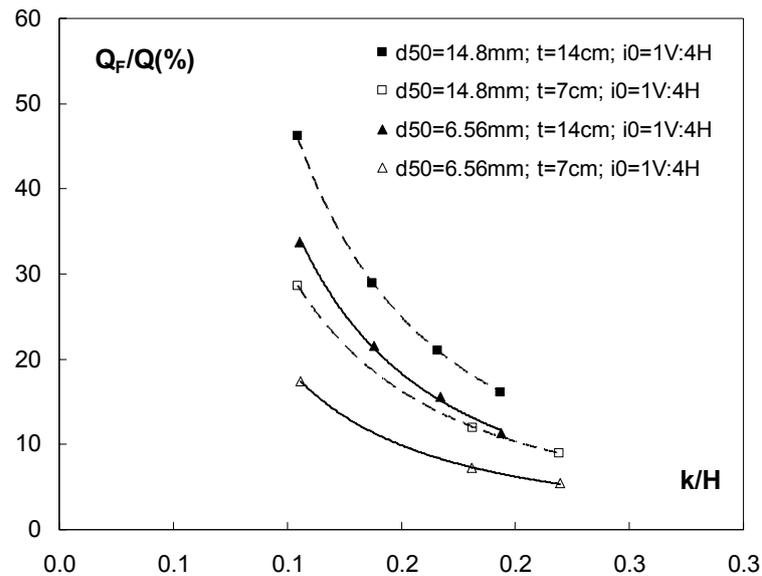


Figura 6.51 percentuale di filtrazione in funzione di t e di d_{50} (1V:4H)

Si è messo in evidenza il fatto che aumentando t aumenta la percentuale di filtrazione (a parità di d_{50} , di k/H e di i_0), e che questo si verifica anche per materiali di base diversi.

Si riportano anche i grafici relativi alle pendenze 1V:6H e 1V:8H.

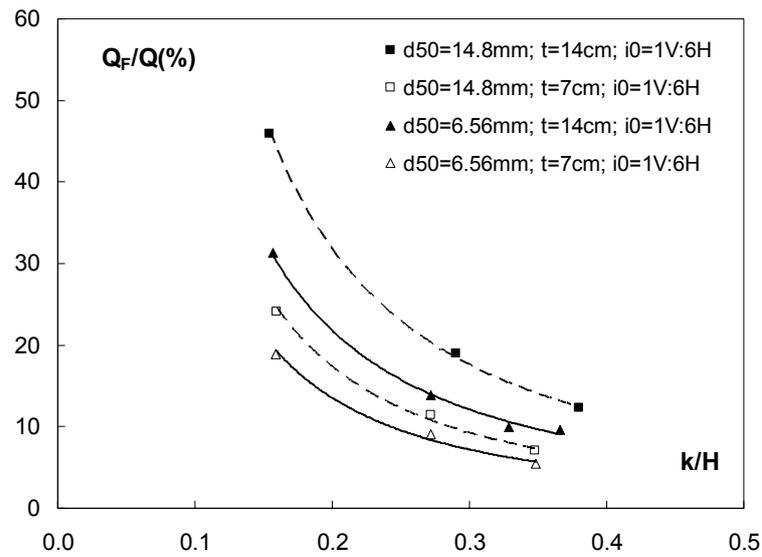


Figura 6.52 percentuale di filtrazione in funzione di t e di d_{50} (1V:6H)

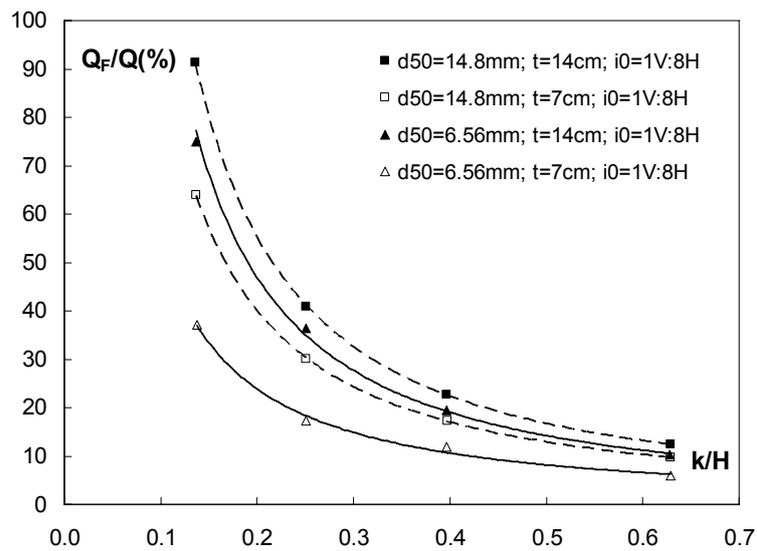


Figura 53 percentuale di filtrazione in funzione di t e di d_{50} (1V:8H)

In ultima analisi vogliamo mostrare il legame che intercorre tra la percentuale di filtrazione e la pendenza della rampa:

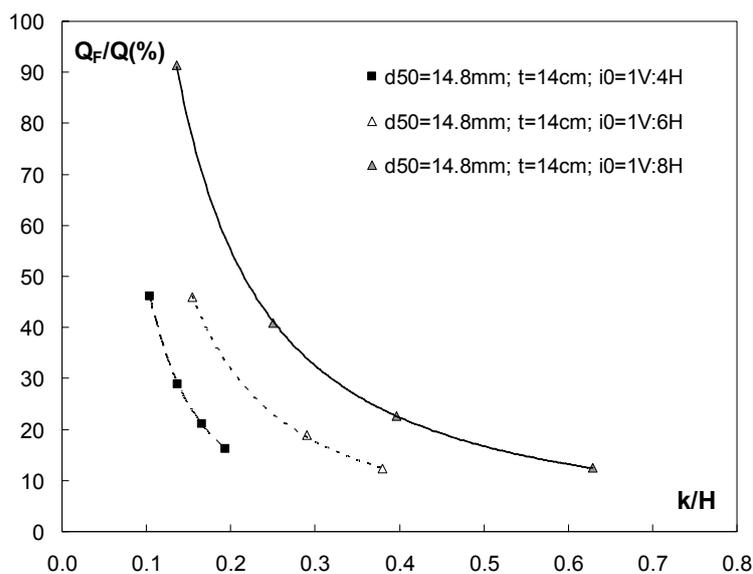


Figura 6.54 percentuale di filtrazione in funzione di i_0

si nota come la percentuale di portata filtrata tenda a diminuire all'aumentare della pendenza, una volta fissato il valore del parametro k/H , il tipo di materiale e lo spessore t . Questo fenomeno si può spiegare pensando che se, per assurdo, la rampa avesse una pendenza $i_0 \rightarrow \infty$ (ovvero un angolo di inclinazione α pari a 90°) la portata filtrata sarebbe nulla perché avremmo a che fare con una struttura di tipo "step and pool", e quindi il fluido non avrebbe modo di penetrare attraverso lo strato di base.

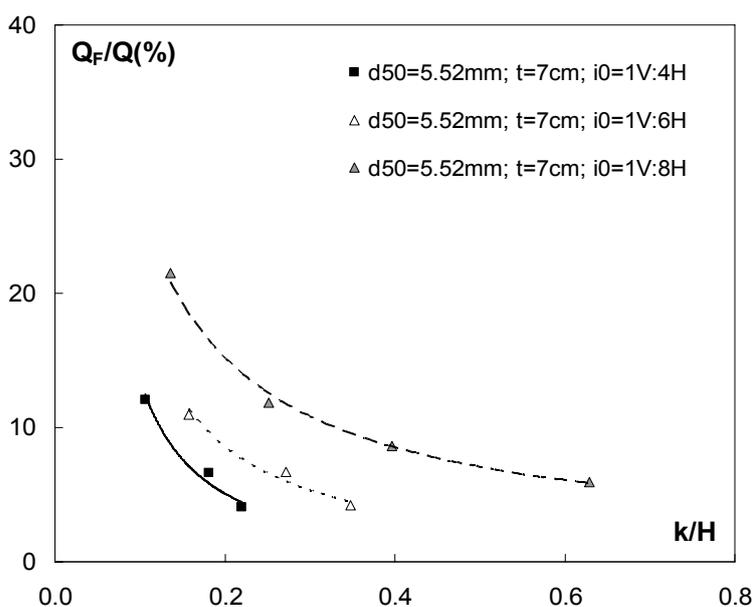


Figura 6.55 percentuale di filtrazione in funzione di i_0

Nei prossimi grafici si è messo in evidenza la differenza che intercorre dall'effettuare una prova in condizione BC1 o BC2 ai fini della portata filtrata.

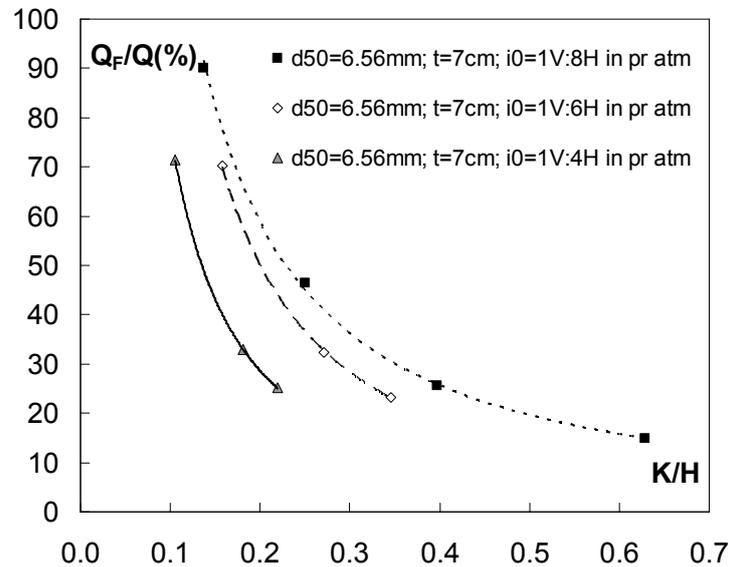


Figura 6.56 percentuale di filtrazione nelle prove a pr. atm.

La figura mostra che la percentuale di filtrazione diminuisce all'aumentare della pendenza anche in condizioni di sbocco libero, motivo per il quale si può ritenere che la condizione al contorno di valle nel caso di canaletta in pressione, condizione realizzata prova per prova in modo manuale, non abbia influenzato in modo negativo le nostre prove dato che anche senza interferenze esterne (ovvero la regolazione manuale delle valvole) gli andamenti dei risultati sono compatibili.

Nel grafico successivo viene evidenziato il fatto che nelle condizioni di deflusso libero (BC2) si ottengono valori molto maggiori di percentuale di filtrazione, una volta fissato il materiale di base, il relativo spessore e la pendenza.

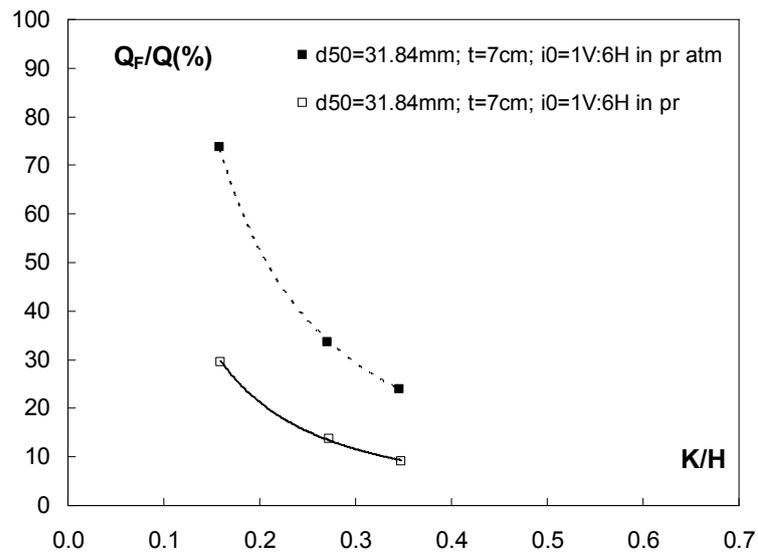


Figura 6.57 variazioni di $Q_F/Q(\%)$ tra prove in pr e prove in pr atm (1V:6H)

Anche variando il parametro i_0 i risultati che si ottengono sono gli stessi.

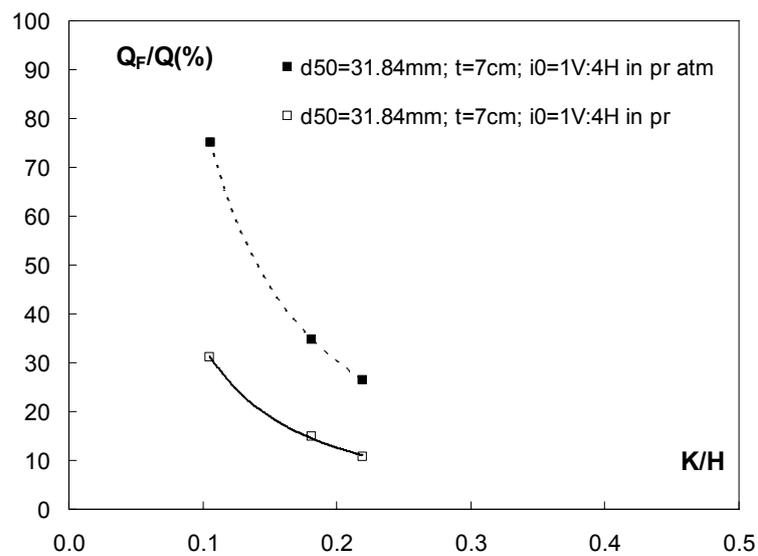


Figura 6.58 variazioni di $Q_F/Q(\%)$ tra prove in pr e prove in pr atm (1V:4H)

Nella figura successiva si mostra l'indipendenza della percentuale di filtrazione rispetto alla variabile D_{50} :

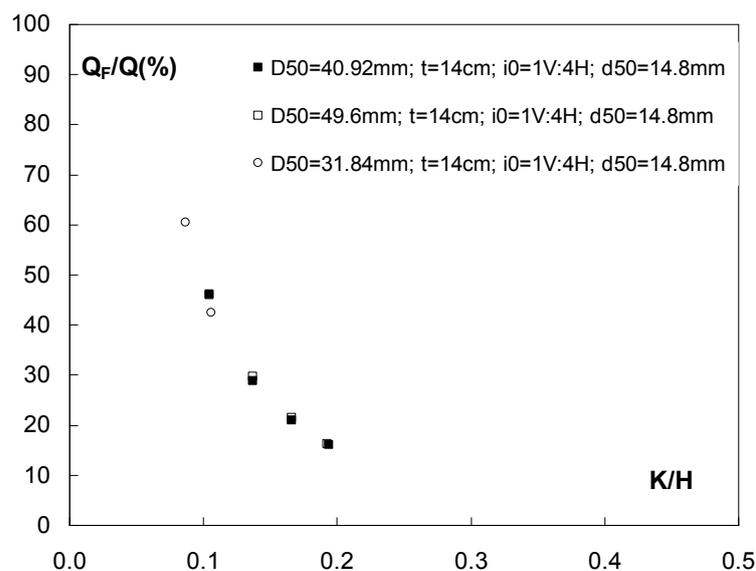


Figura 6.59 $Q_F/Q(\%)$ in funzione di D_{50}

come si può notare i punti con lo stesso valore del rapporto k/H si sovrappongono, a conferma del fatto che il materiale che compone i due strati superficiali non influenza la percentuale di filtrazione, ma su quest'ultima è predominante l'effetto della granulometria dello strato di base.

6.4.1 Relazione $Q_F/Q(\%)=f(d_{50}/t; k/t; i_0)$

Attraverso i dati ottenuti dall'apparato sperimentale vogliamo determinare la percentuale di filtrazione che si ottiene dai vari modelli utilizzati. Ricordo che tutte le prove che verranno utilizzate per ottenere questo risultato sono quelle in cui la canaletta di filtrazione è stata sempre mantenuta in pressione (BC1).

Riportiamo la tabella dei dati sperimentali:

Analizziamo, in modo particolare, l'andamento della percentuale di filtrazione che si ottiene per la rampa con pendenza pari a 1V:6H.

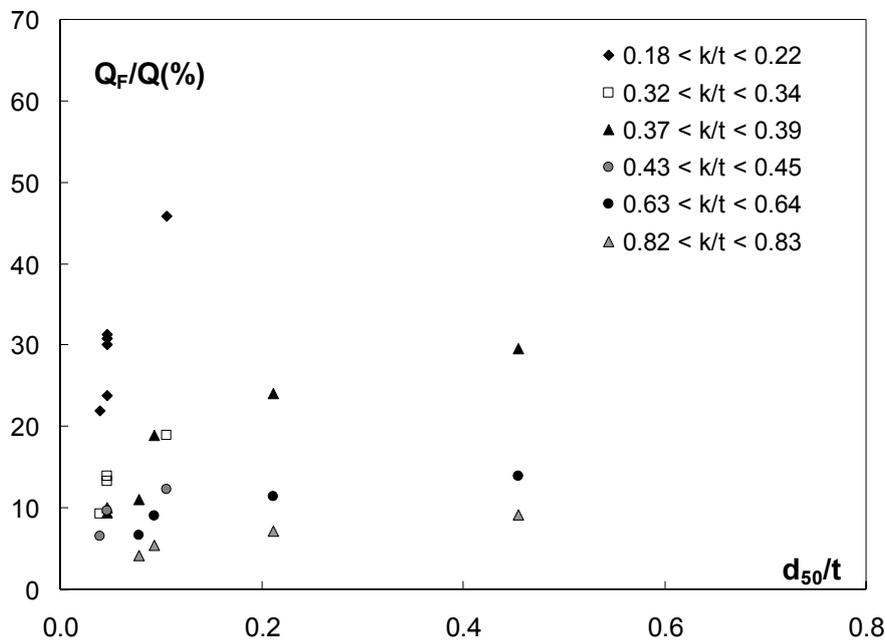


Figura 6.61 percentuale di filtrazione parametrizzata per k/t

Tracciando delle curve del tipo $y = A - Ae^{-Bx}$ si ottiene una buona correlazione con i punti sperimentali trovati. La curva ha come limite massimo d_{50}/t pari ad 1 in quanto è fisicamente impossibile avere un diametro del materiale di grandezza superiore allo spessore del medesimo. La condizione limite inferiore 0 è definita dal fatto che un diametro molto piccolo del materiale di base rende la rampa quasi del tutto impermeabile.

Abbiamo poi trovato una relazione che lega i parametri A e B di tali curve con il parametro adimensionale k/t (si precisa che di ogni intervallo di variazione di k/t si è poi considerato il valore medio); nei grafici seguenti vengono mostrate queste relazioni:

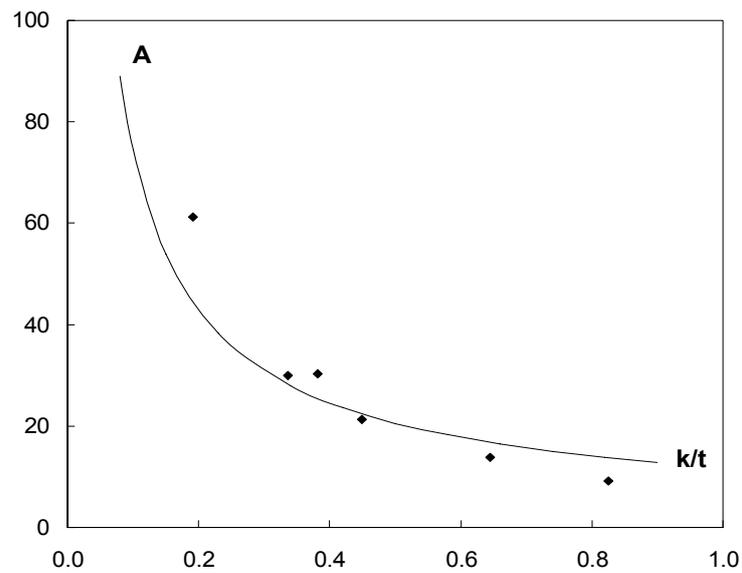


Figura 6.62 parametro A in funzione di k/t

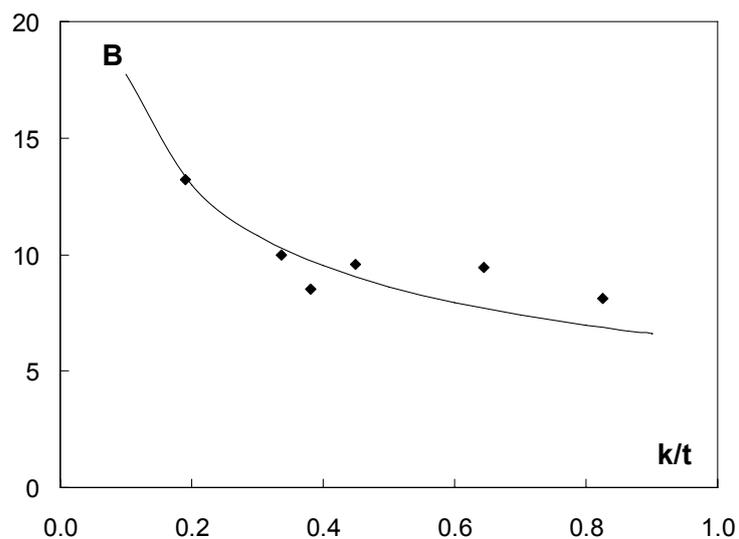


Figura 6.63 parametro B in funzione di k/t

Le relazioni che legano i seguenti parametri con k/t sono:

$$A = 11.8 \left(\frac{k}{t} \right)^{-0.8} \quad \text{e} \quad B = 6.3 \left(\frac{k}{t} \right)^{-0.45} .$$

Anche l'andamento del parametro A risponde a delle caratteristiche ben precise: come è facile intuire A deve essere legato in modo inversamente proporzionale al parametro k/t perché laddove la portata entrante (ovvero il valore di k) è piccola, A dovrà assumere valori elevati, e questo in conseguenza al fatto che la percentuale di filtrazione aumenta al diminuire della portata in ingresso.

Fatte queste precisazioni, si può scrivere l'equazione della percentuale di filtrazione calcolata, relativa ad una fissata pendenza della rampa (in questo caso 1V:6H), nel modo seguente:

$$\frac{Q_F}{Q} (\%) = 11.8 \left(\frac{k}{t} \right)^{0.8} - \frac{11.8 \left(\frac{k}{t} \right)^{0.8}}{e^{6.3 \left(\frac{k}{t} \right)^{-0.45} \cdot \left(\frac{d_{50}}{t} \right)}}$$

Il grafico successivo mostra l'applicazione della precedente equazione ai punti sperimentali rilevati.

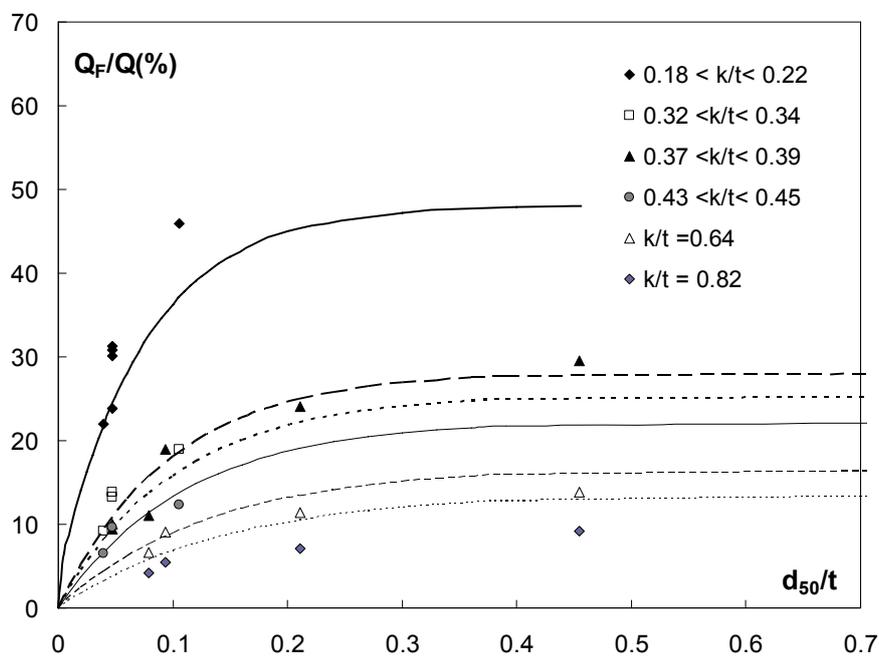


Figura 6.64 percentuale di filtrazione in funzione di d_{50}/t parametrizzata per k/t

Si raggiunge, in ordinata, il limite 100% per valori di k/t tendenti a zero in quanto per notevoli spessori e basse portate in entrata sulla rampa tale portata viene filtrata quasi totalmente.

Proponiamo ora la correlazione tra i dati sperimentali e i dati calcolati:

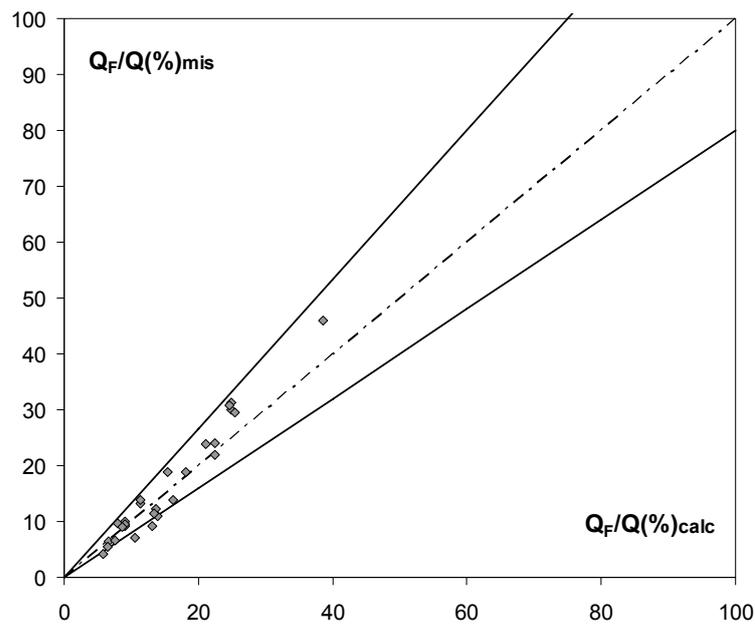


Figura 6.65 correlazione dati sperimentali e dati calcolati

Ripetendo le operazioni fatte anche per le altre pendenze (1V:8H e 1V:4H), possiamo passare alla correlazione di tutti i parametri A e B delle curve rispetto sia al parametro k/t che alla pendenza della rampa i_0 . Quindi dato che, come abbiamo detto

$$A = f\left(\frac{k}{t}; i_0\right) \quad \text{e} \quad B = f\left(\frac{k}{t}; i_0\right),$$

si ottiene

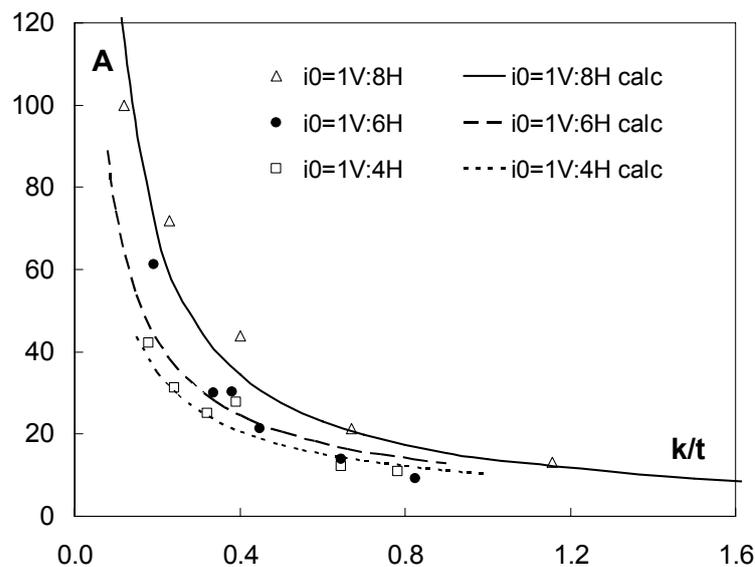


Figura 6.66 parametro A in funzione di k/t ed i_0

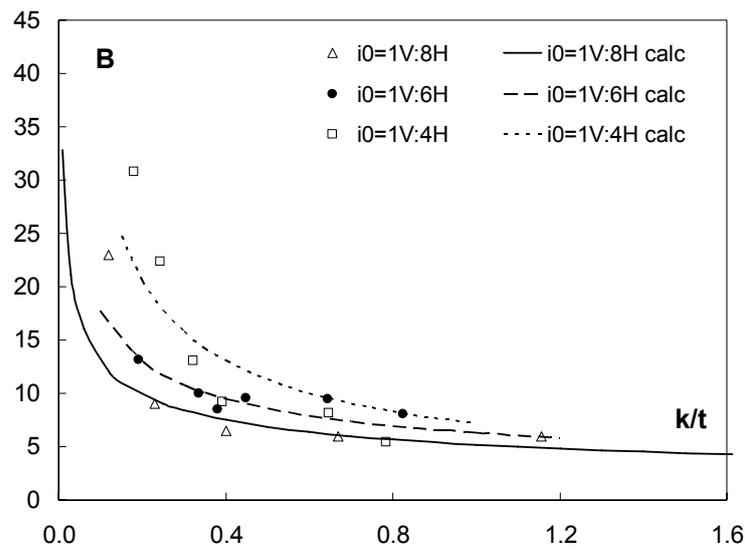


Figura 6.67 parametro B in funzione di k/t e i_0

Le relazioni che meglio approssimano i punti sperimentali riportati nelle due figure precedenti sono:

$$A = m \left(\frac{k}{t} \right)^{-n}$$

e

$$B = q \left(\frac{k}{t} \right)^{-p}$$

A questo punto occorre indagare il legame che intercorre tra i parametri m , n , q , e p con la pendenza i_0 della rampa.

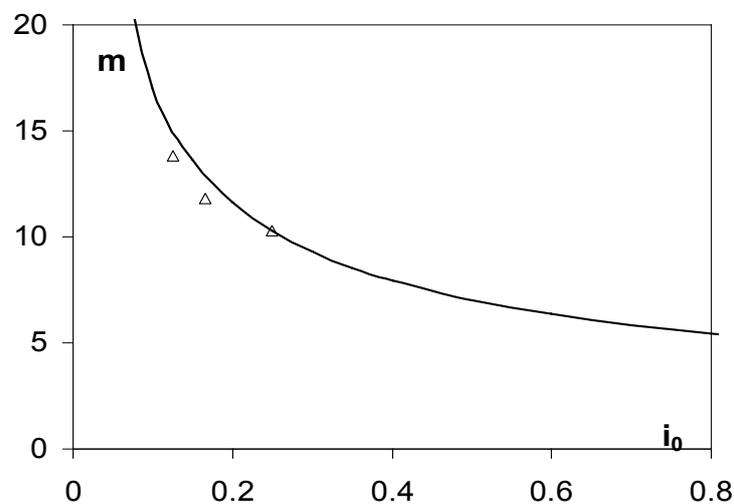
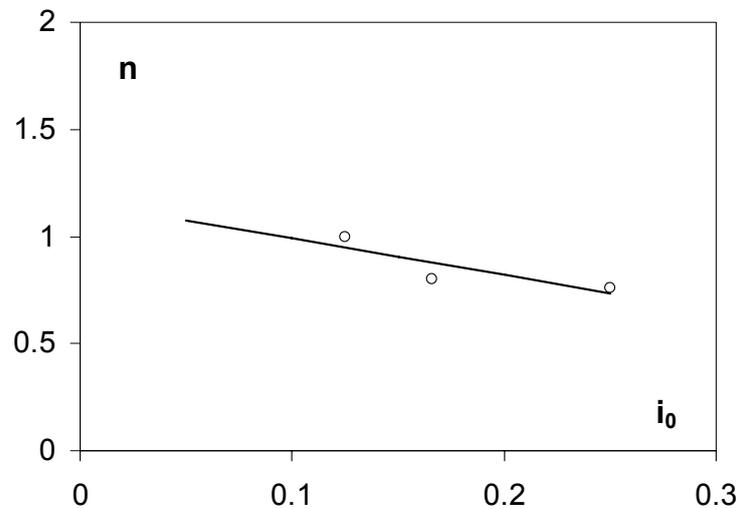


Figura 6.68 parametro m in funzione di i_0

Figura 6.69 parametro n in funzione di i_0

da cui si ottiene

$$m = \frac{4.8}{i_0^{0.55}}$$

La scelta di una curva iperbolica è stata suggerita dal fatto che lo stesso m , e di conseguenza A , devono tendere a zero laddove la pendenza $\rightarrow \infty$, ovvero quando la rampa diventa praticamente verticale, perché in queste condizioni non possiamo avere filtrazione attraverso lo strato poroso.

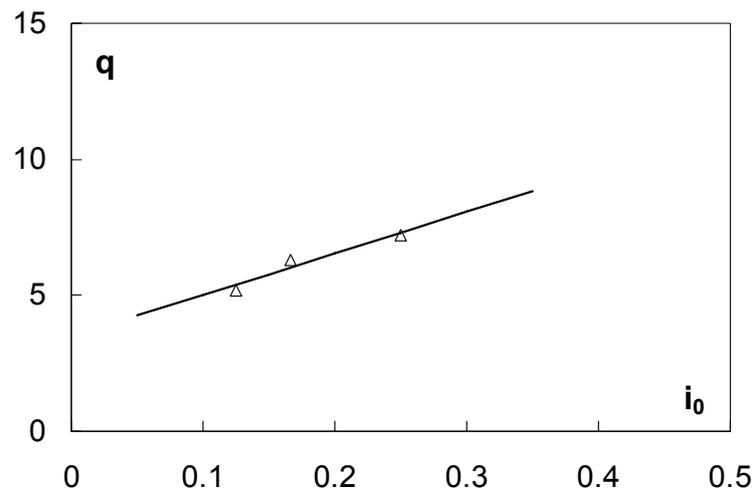
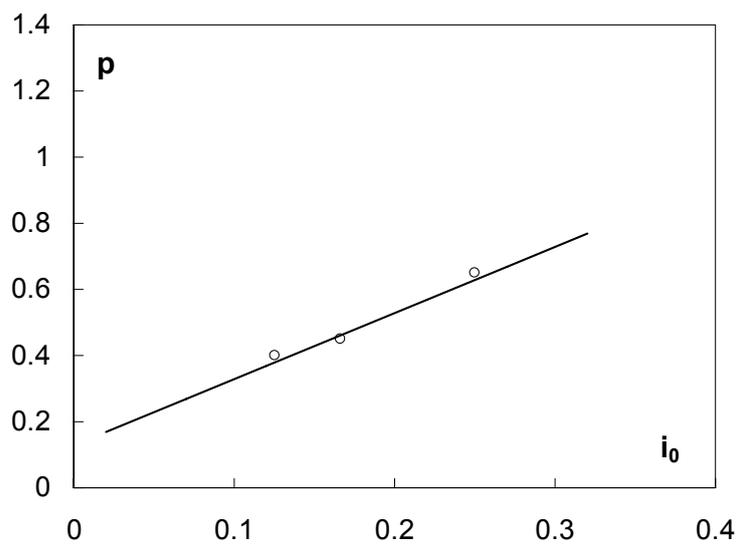
Mentre il coefficiente n lo possiamo indicare con una relazione del tipo

$$n = -1.7i_0 + 1.16$$

e di conseguenza per il parametro A si ottiene

$$A = \left(\frac{4.8}{i_0^{0.55}} \right) \cdot \left(\frac{k}{t} \right)^{-(-1.7i_0 + 1.16)}.$$

Per quanto riguarda il parametro B invece

Figura 6.70 parametro q in funzione di i_0 Figura 6.71 parametro p in funzione di i_0

per cui si ottiene

$$q = 15.2i_0 + 3.5$$

$$p = 2i_0 + 0.13$$

e di conseguenza si ricava

$$B = (15.2i_0 + 3.5) \cdot \left(\frac{k}{t}\right)^{-(2i_0 + 0.13)}.$$

Tale elaborazione ha portato alla seguente equazione che mette in legame di dipendenza la $Q_F/Q(\%)$ con il d_{50} del materiale, con la portata entrante (legata al valore dell'altezza critica k), con lo spessore t dello strato filtrante e con la pendenza i_0 .

$$\frac{Q_F}{Q}(\%) = \left(\frac{4.8}{i_0^{0.55}} \right) \left(\frac{k}{t} \right)^{-(-1.7i_0+1.16)} \frac{\left(\frac{4.8}{i_0^{0.55}} \right) \left(\frac{k}{t} \right)^{-(-1.7i_0+1.16)}}{e^{(15.2i_0+3.5) \left(\frac{k}{t} \right)^{-(2i_0+0.13)} \left(\frac{d_{50}}{t} \right)}} \quad [6.11]$$

La precedente equazione mostra una buona correlazione con i dati sperimentali raccolti come si evince dal seguente grafico:

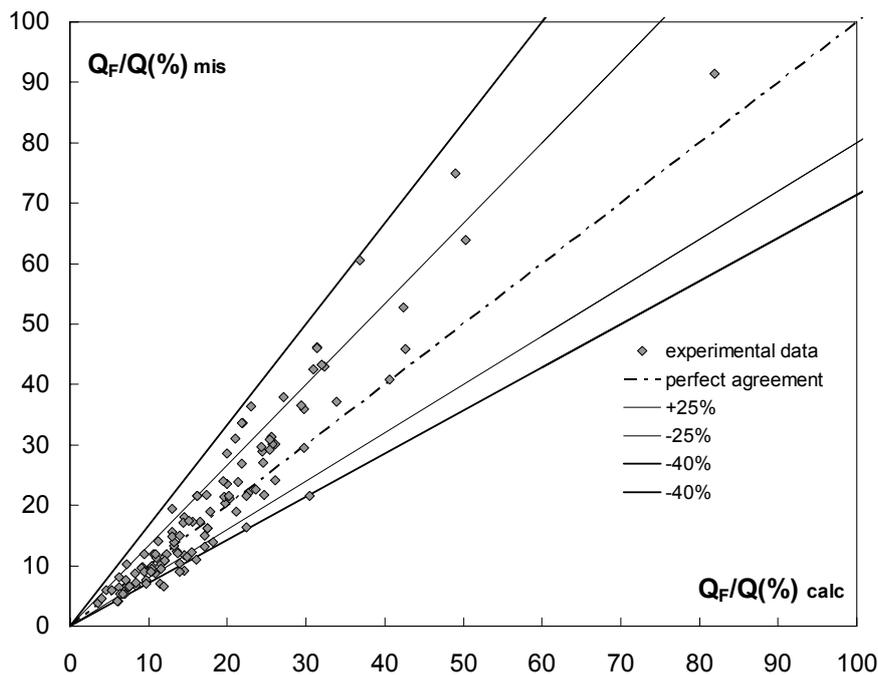


Figura 6.72 correlazione dati calcolati con dati misurati

Una volta ottenuta la relazione [6.11], si possono accostare i punti sperimentali alle curve calcolate:

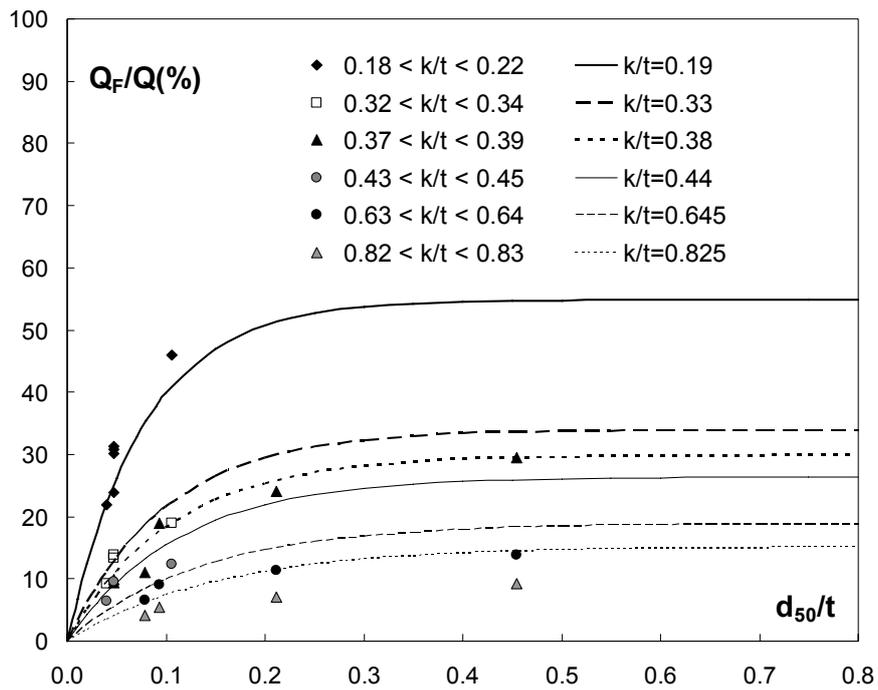


Figura 6.73 percentuale di filtrazione in funzione di d_{50}/t con l'utilizzo della [1]

Nel grafico successivo sono riportati gli andamenti della percentuale di filtrazione in funzione di d_{50}/t parametrizzato per la pendenza una volta che è stato fissato il rapporto k/t . Insieme alle curve calcolate con la relazione [6.11] sono stati aggiunti anche i relativi punti sperimentali.

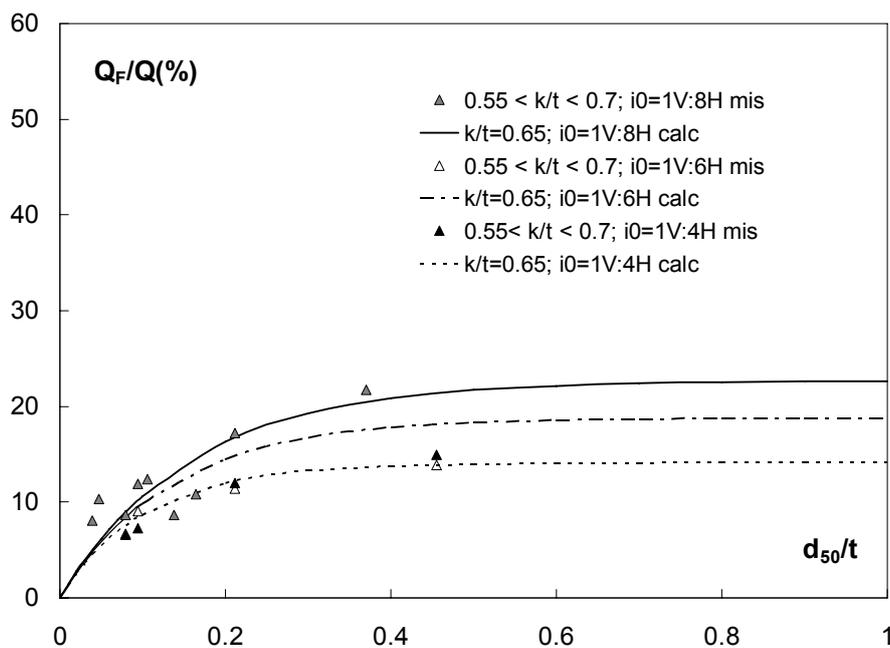


Figura 6.74 percentuale di filtrazione in funzione di d_{50}/t

La figura precedente ci mostra come all'aumentare della pendenza si abbia una diminuzione della percentuale di filtrazione.

Verranno di seguito inseriti alcuni figure in grado di spiegare meglio l'andamento della $Q_F/Q(\%)$ in funzione di tutti i parametri in gioco.

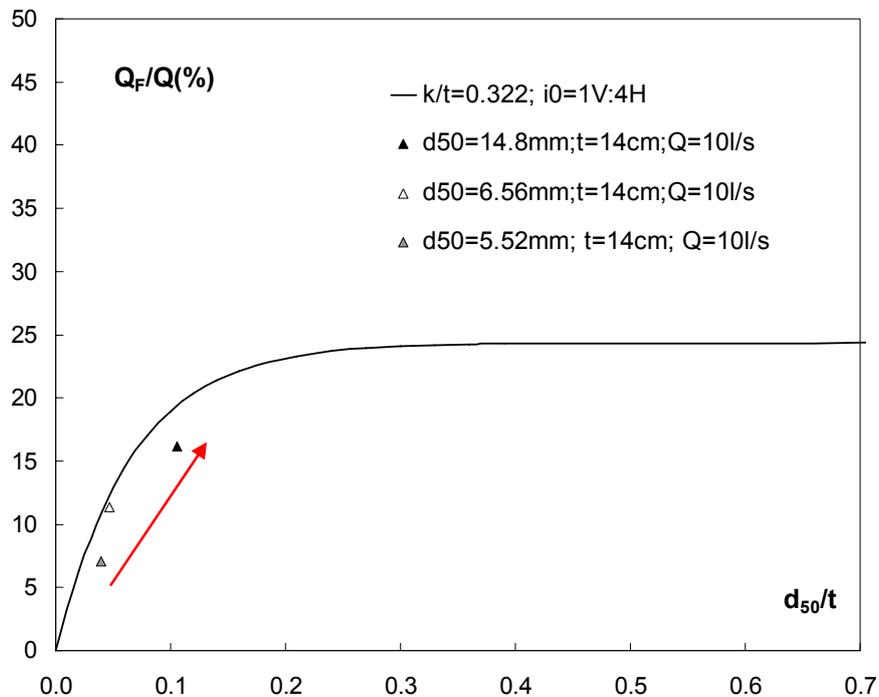


Figura 6.75 percentuale di filtrazione al variare di d_{50}

Il grafico appena riportato sottolinea che la portata di filtrazione diminuisce al diminuire del diametro del materiale di base; infatti nel grafico ci muoviamo lungo la curva descritta dalla relazione [6.11], curva caratterizzata dall'aver k , t e i_0 costanti (con la freccia rossa si indica il verso dei diametri crescenti).

Il successivo grafico vuole mettere in evidenza cosa accade alla percentuale di filtrazione all'aumentare della portata, fissati i parametri pendenza, spessore e materiale di base:

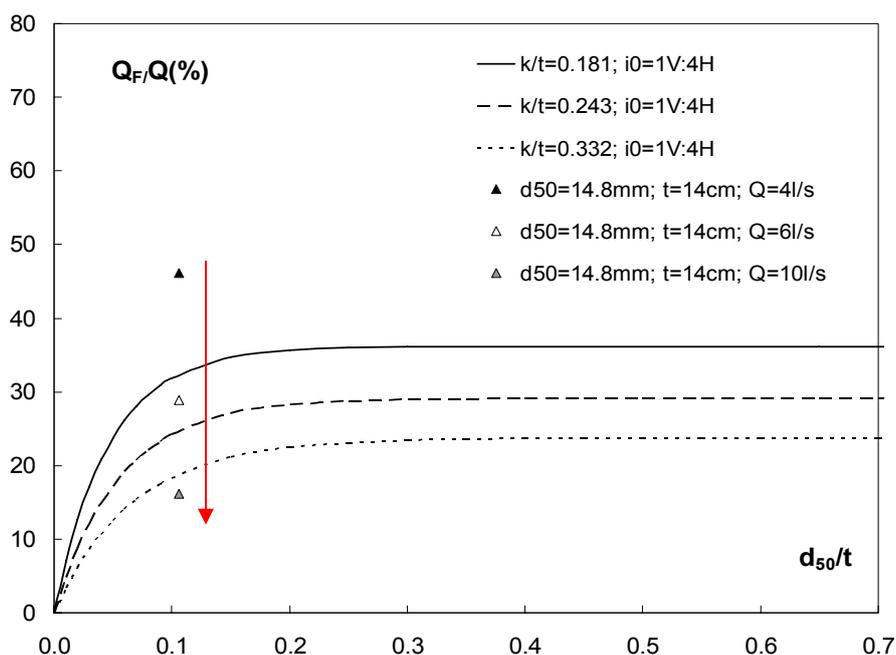


Figura 6.76 percentuale di filtrazione in funzione di k

a conferma di quanto già espresso, la percentuale di filtrazione è inversamente proporzionale alla portata entrante, ed infatti ci “muoviamo” su curve diverse al variare di Q (o di k), come indicato dalla freccia (orientata nel verso crescente di Q). Sono stati inseriti anche dei punti sperimentali a maggiore chiarimento.

Importante è osservare la figura successiva che ci fa notare la dipendenza tra la percentuale di filtrazione e lo spessore t , fissati i parametri i_0 , k e d_{50} .

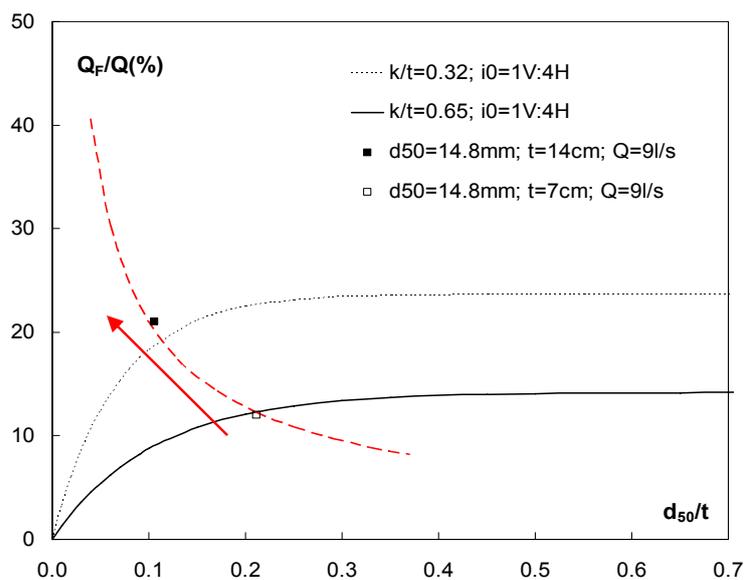


Figura 6.77 percentuale di filtrazione in funzione di t

L'aumento dello spessore t (ad esempio da 14 cm a 7 cm, rappresentato anche dal verso dalla direzione della freccia rossa) comporta una diminuzione di d_{50}/t (se d_{50} è stato fissato), e quindi dovrò tracciare un'altra curva, la quale mi darà un valore di $Q_F/Q(\%)$ sicuramente maggiore anche se il parametro d_{50}/t è diminuito. La linea rossa tratteggiata presente nel grafico vuole indicare l'andamento che si ha quando si realizzano rampe con spessori dello strato filtrante via via crescente: infatti per $t \rightarrow \infty$ sia il rapporto d_{50}/t che k/t tendono a zero, risultando valori di percentuale di filtrazione prossimi al 100%; per $t \rightarrow 0$ sia il rapporto d_{50}/t che k/t tendono ad infinito per cui ricaveremo valori di percentuali di filtrazione nulli.

Nella tabella successiva vengono riportati i range di variabilità dei parametri registrati durante le prove.

VALORE	k/t	d_{50}/t	i_0
MINIMO	0.12	0.039	0.125
MASSIMO	0.8	0.45	0.25

Tabella 6.5 valori minimi e massimi dei parametri della relazione [10] ottenuti dalle prove

La stessa relazione [6.11] fornisce, per alcuni valori di d_{50}/t e k/t , percentuali di filtrazione anche maggiori del 100%.

Per questo motivo, fissata la pendenza, ci siamo calcolati alcune coppie di valori $k/t - d_{50}/t$ che sostituiti nella [6.11] ci danno $Q_F = Q$, e li abbiamo inseriti in un grafico.

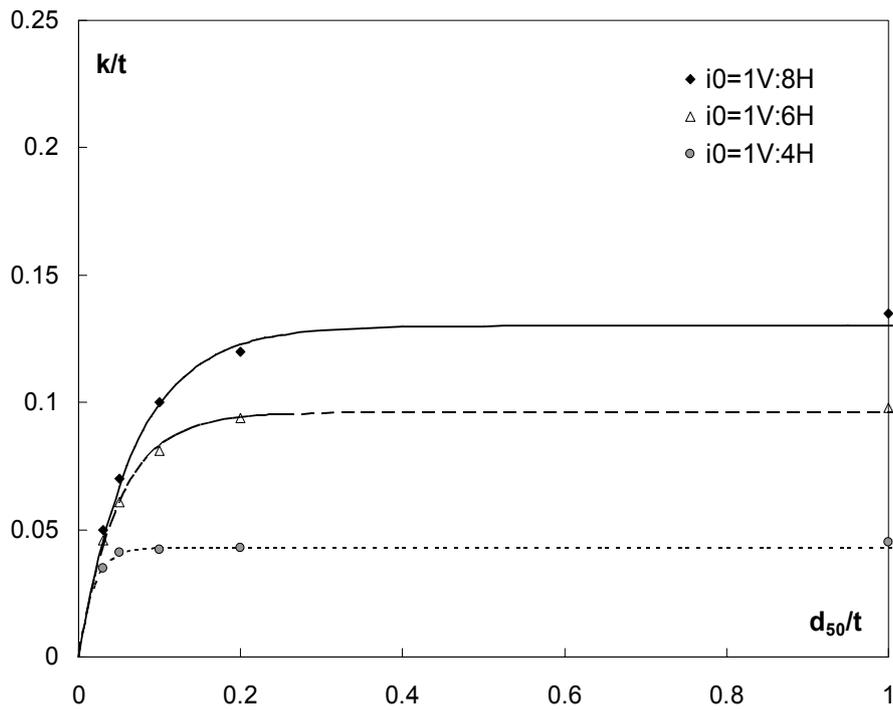


Figura 6.78 k/t in funzione di d_{50}/t parametrizzato per la pendenza

Le curve che interpolano i punti sono del tipo $y = a(1 - e^{-bx})$, i cui parametri variano al variare della pendenza.

$$\frac{k}{t} = f\left(\frac{d_{50}}{t}; i_0\right), \quad a, b = f(i_0).$$

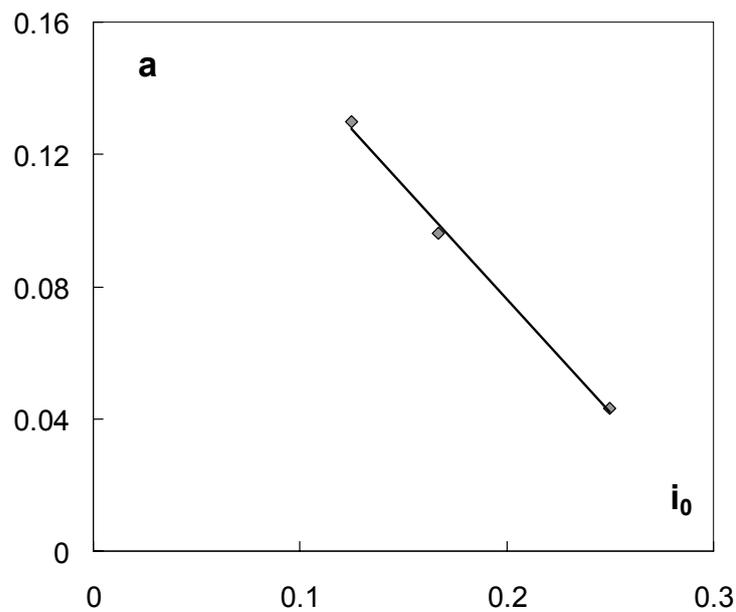
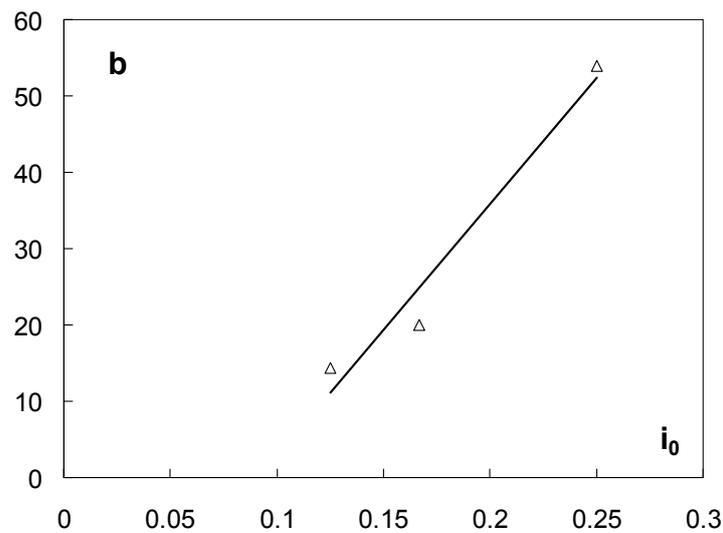


Figura 6.79 parametro a in funzione di i_0

Figura 6.80 parametro b in funzione di i_0

Per cui otterremo,

$$\frac{k}{t} = (-0.69i_0 + 0.21) \left(1 - e^{-(330i_0 - 30)\left(\frac{d_{50}}{t}\right)} \right), \quad [6.12]$$

relazione che ci permette di determinare, una volta fissato il valore di d_{50}/t e di i_0 , il valore di k/t con il quale si ottengono dalla [6.11] percentuali di filtrazione superiori al 100%. Naturalmente tutte le volte che i coefficienti prima elencati soddisfano la [6.12], significa che la portata entrante si infiltrerà totalmente o a causa dello spessore troppo elevato o a causa della pezzatura del materiale di base molto grande, per cui in tutte queste circostanze la [6.11] andrà limitata al valore 100% .

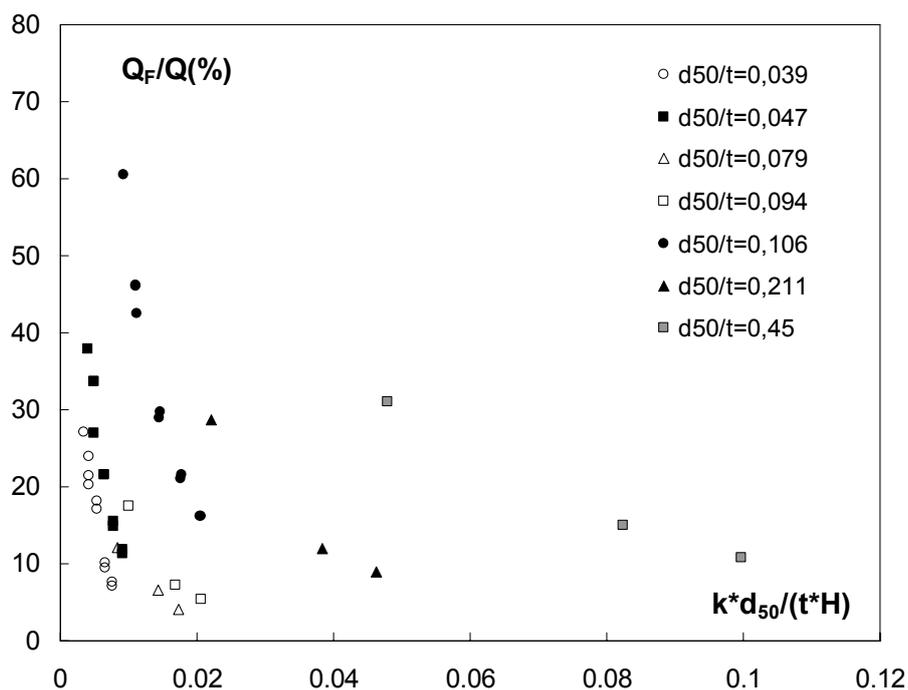


Figura 6.82 percentuale di filtrazione parametrizzata per d_{50}/t

Tracciando delle curve del tipo $y = A \cdot x^{(-B)}$ si ottiene una buona correlazione con i punti sperimentali trovati. La curva ha come limite massimo $Q_F/Q(\%)$ pari al 100% mentre la condizione limite inferiore corrispondente allo 0% di portata filtrata non è definita perché non siamo stati in grado di indagare valori di portate così grandi da ottenere tale risultato.

Abbiamo poi determinato delle funzioni in grado di legarmi i parametri A e B di tali curve con il parametro adimensionale d_{50}/t .

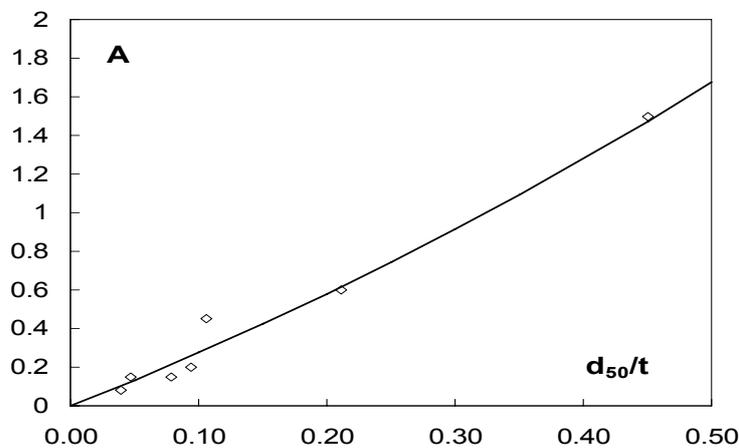


Figura 6.83 parametro A in funzione di d_{50}/t

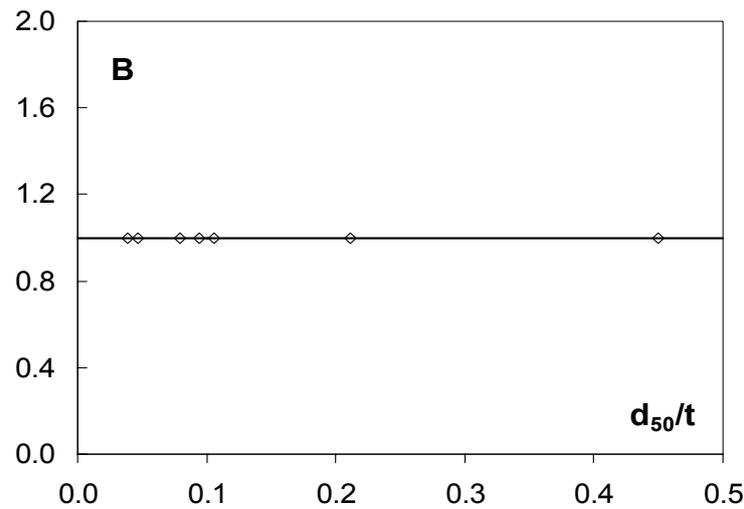


Figura 6.84 parametro B in funzione di d_{50}/t

Le relazioni che legano i seguenti parametri con d_{50}/t sono:

$$A = 1.5 \left(\frac{d_{50}}{t} \right)^2 + 2.6 \left(\frac{d_{50}}{t} \right) \quad \text{e} \quad B = 1.$$

L'andamento del parametro A risponde a delle caratteristiche ben precise: dovrà essere direttamente proporzionale al parametro d_{50}/t perché laddove il materiale di base assume un valore molto piccolo questo rende lo strato di base quasi impermeabile e quindi A deve tendere a zero. Nessun tipo di considerazioni sono state fatte per il parametro B, il quale rimane costante al variare di d_{50}/t .

Fatte queste precisazioni, si può scrivere l'equazione della percentuale di filtrazione calcolata, relativa ad una fissata pendenza della rampa (in questo caso 1V:4H), nel modo seguente:

$$\frac{Q_F}{Q} (\%) = \left[1.5 \left(\frac{d_{50}}{t} \right)^2 + 2.6 \left(\frac{d_{50}}{t} \right) \right] \cdot \left(\frac{kd_{50}}{tH} \right)^{-1}$$

Il grafico seguente mostra l'applicazione della precedente equazione ai punti sperimentali rilevati.

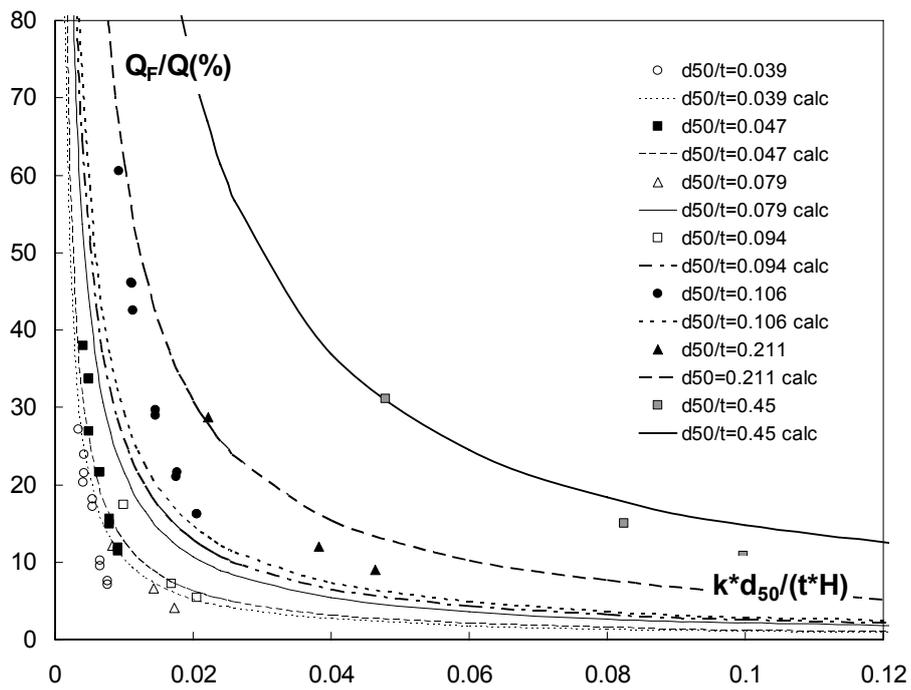


Figura 6.85 percentuale di filtrazione parametrizzata per d_{50}/t (1V:4H)

Proponiamo ora la correlazione tra i dati sperimentali e i dati calcolati:

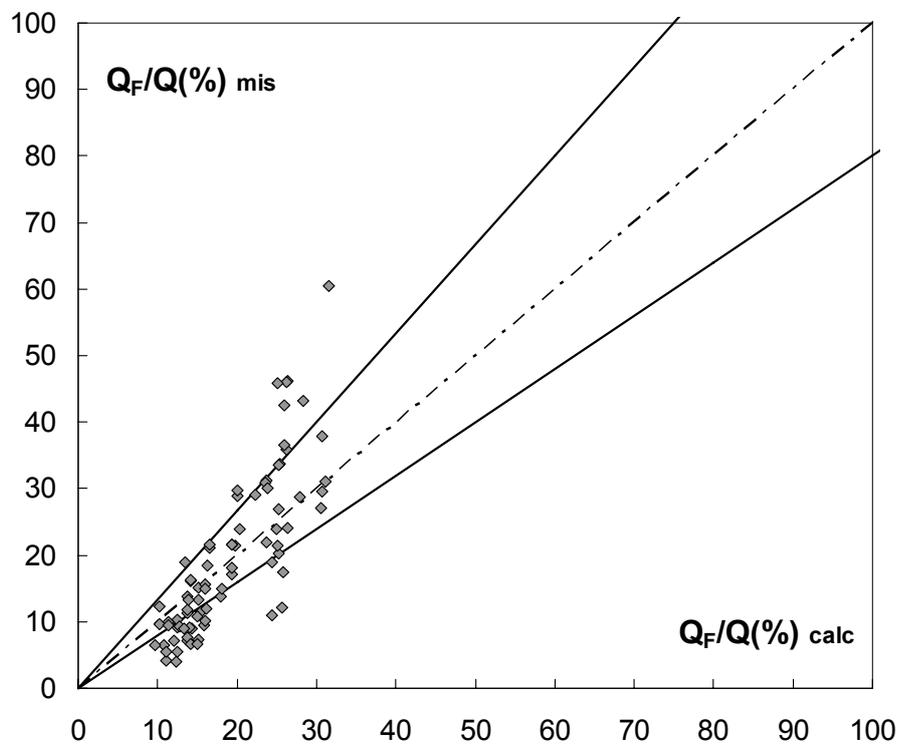


Figura 6.86 correlazione dati sperimentali e dati calcolati (1V:4H)

Ripetendo le operazioni fatte nelle pagine precedenti per le altre pendenze (1V:8H e 1V:6H), possiamo poi passare alla correlazione di tutti i parametri A e B delle curve rispetto sia al parametro d_{50}/t che alla pendenza della rampa i_0 . Quindi dato che, come abbiamo detto

$$A = f\left(\frac{d_{50}}{t}; i_0\right) \quad \text{e} \quad B = \text{cost} = 1,$$

si ottiene

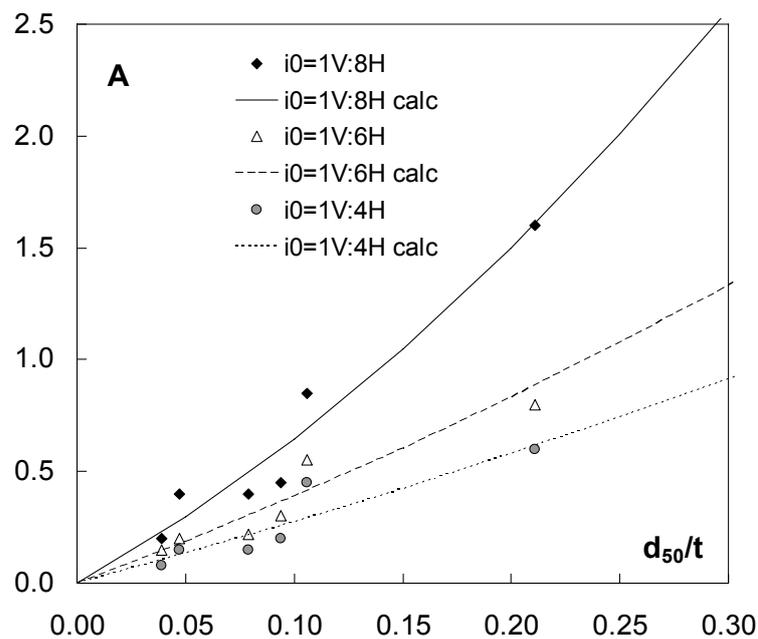


Figura 6.87 parametro A in funzione di d_{50}/t ed i_0

La relazione che meglio approssima i punti sperimentali della figura è:

$$A = m\left(\frac{d_{50}}{t}\right)^2 + n\left(\frac{d_{50}}{t}\right)$$

mentre si ricorda che $B = 1$ anche per le pendenze 1V:6H e 1V:8H.

A questo punto occorre indagare il legame che intercorre tra i parametri m e n con la pendenza i_0 della rampa.

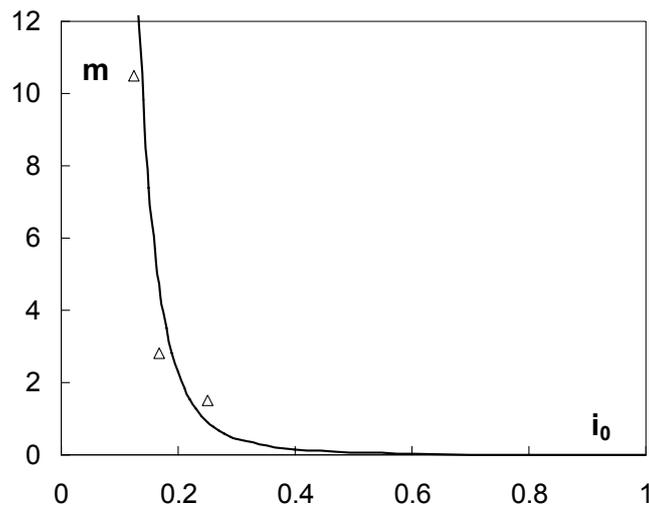


Figura 6.88 parametro m in funzione di i_0

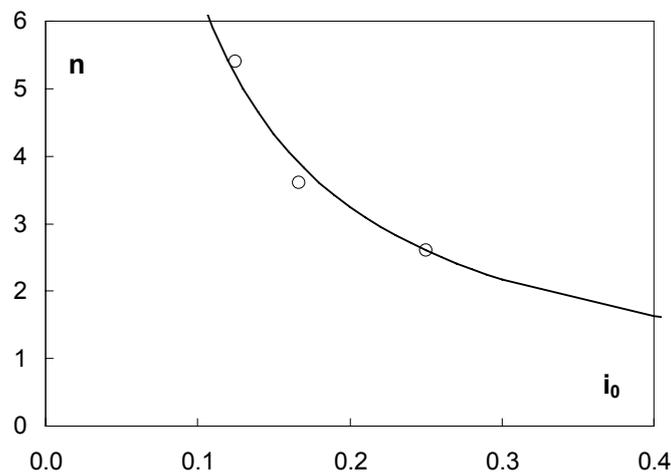


Figura 6.89 parametro n in funzione di i_0

da cui si ottiene

$$m = \frac{0.0031}{i_0^{4.1}}$$

$$n = \frac{0.65}{i_0}$$

e di conseguenza per il parametro A si ottiene

$$A = \left(\frac{0.0031}{i_0^{4.1}} \right) \left(\frac{d_{50}}{t} \right)^2 + \left(\frac{0.65}{i_0} \right) \left(\frac{d_{50}}{t} \right).$$

Occorre sottolineare che la scelta delle funzioni iperboliche che legano m ed n con i_0 è stata vincolata dal fatto che entrambi i parametri devono tendere a zero, e di

conseguenza annullare A, quando la pendenza della rampa tende ad infinito, cioè quando la rampa è verticale, in modo da risultare a sua volta nulla anche la percentuale di filtrazione.

In conclusione, l'elaborazione ha portato alla seguente equazione che mette in relazione la $Q_F/Q(\%)$ con il d_{50} del materiale, con la portata entrante (legata al valore dell'altezza critica k), con lo spessore t dello strato filtrante e con la pendenza i_0 della rampa, ottenendo:

$$\frac{Q_F}{Q}(\%) = \left[\left(\frac{0.0031}{i_0^{4.1}} \right) \left(\frac{d_{50}}{t} \right)^2 + \left(\frac{0.65}{i_0} \right) \left(\frac{d_{50}}{t} \right) \right] \left(\frac{kd_{50}}{tH} \right) \quad [6.13]$$

La precedente equazione mostra una buona correlazione con i dati sperimentali raccolti come si evince dal seguente grafico:

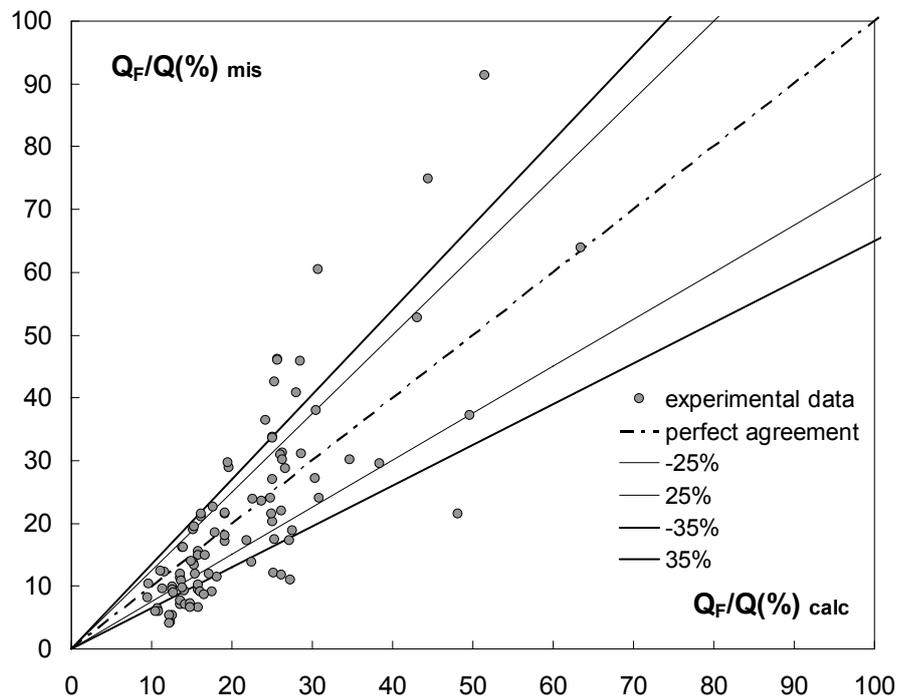


Figura 6.90 correlazione dati calcolati con dati misurati

Grazie all'equazione [6.13] possiamo andare a modificare il grafico di prima descritto, ottenendo

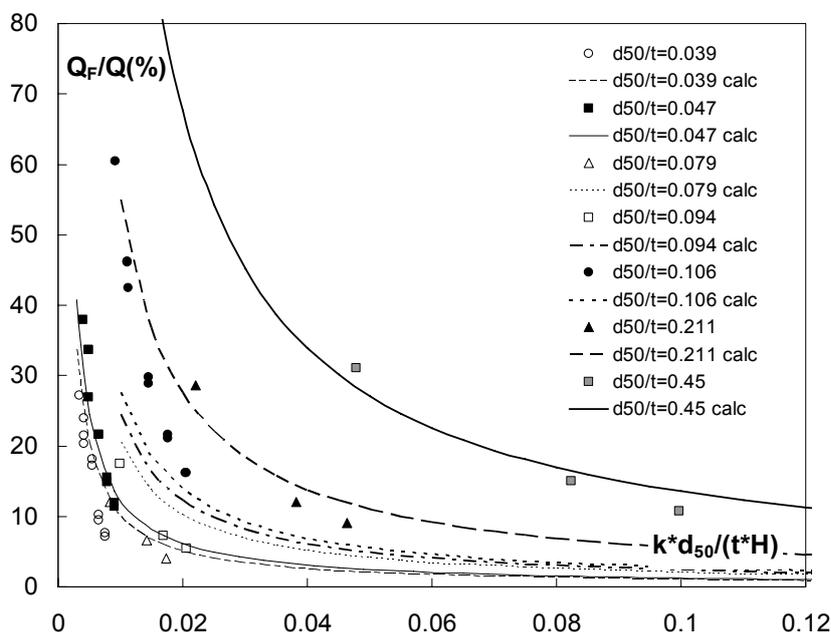


Figura 6.91 percentuale di filtrazione in funzione di $kd_{50}/(tH)$ con l'utilizzo della [2] (1V:4H)

Nel grafico successivo sono riportati gli andamenti della percentuale di filtrazione in funzione di kd_{50}/tH parametrizzato per la pendenza una volta che è stato fissato il rapporto d_{50}/t . Insieme alle curve calcolate con la relazione [6.13] sono stati aggiunti anche i relativi punti sperimentali.

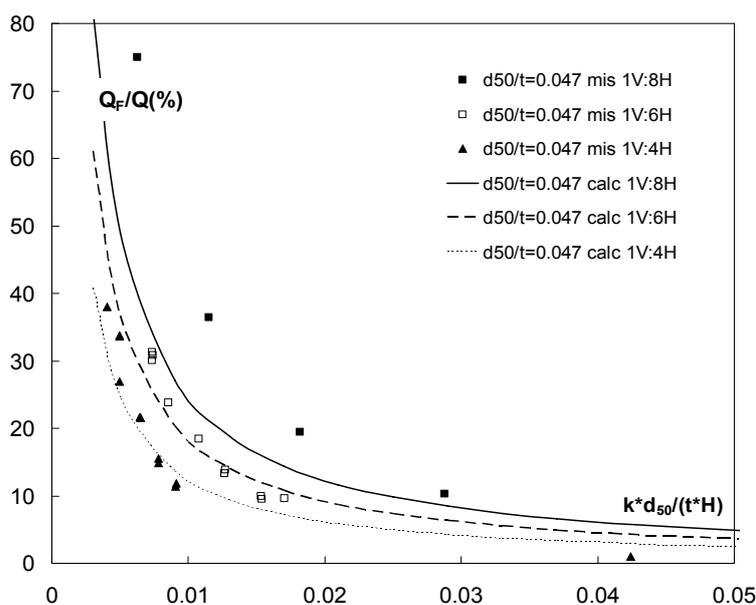


Figura 6.92 percentuale di filtrazione in funzione di $kd_{50}/(tH)$

La figura ci mostra come all'aumentare della pendenza si abbia ancora una volta la conferma di una diminuzione della percentuale di filtrazione, se si fissa il valore del rapporto d_{50}/t .

Verranno di seguito inseriti alcuni grafici in grado di spiegare meglio l'andamento della $Q_F/Q(\%)$ in funzione di tutti i parametri in gioco: il primo mette in relazione la percentuale di filtrazione con il parametro d_{50}/t per evidenziare che l'aumento di tale parametro fornisce curve in grado di dare valori di $Q_F/Q(\%)$ maggiori, mentre il secondo grafico mette in risalto il legame con il diametro del materiale di base.

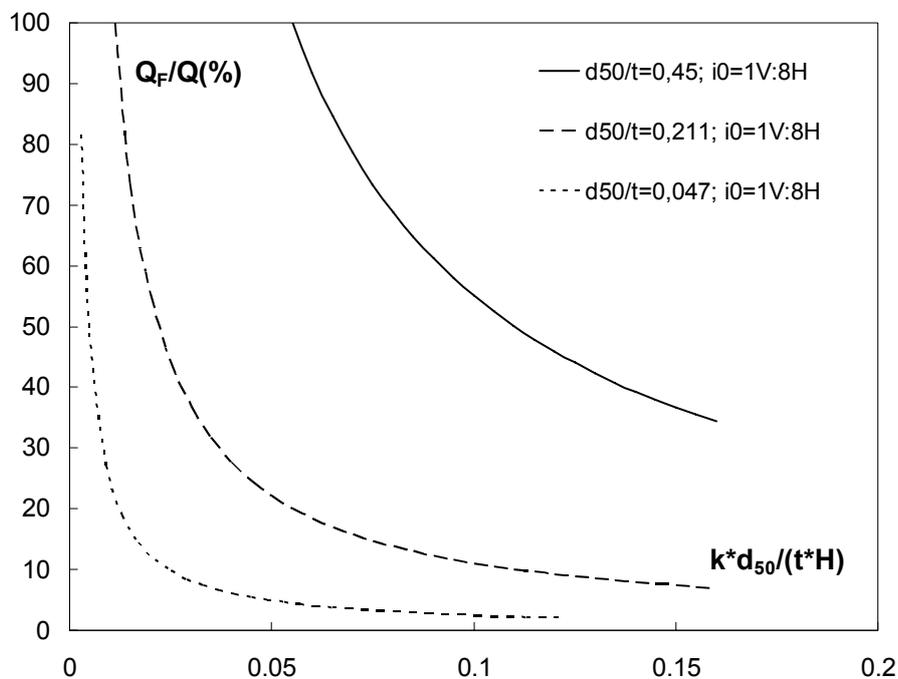


Figura 6.93 andamento della percentuale di filtrazione in funzione di d_{50}/t

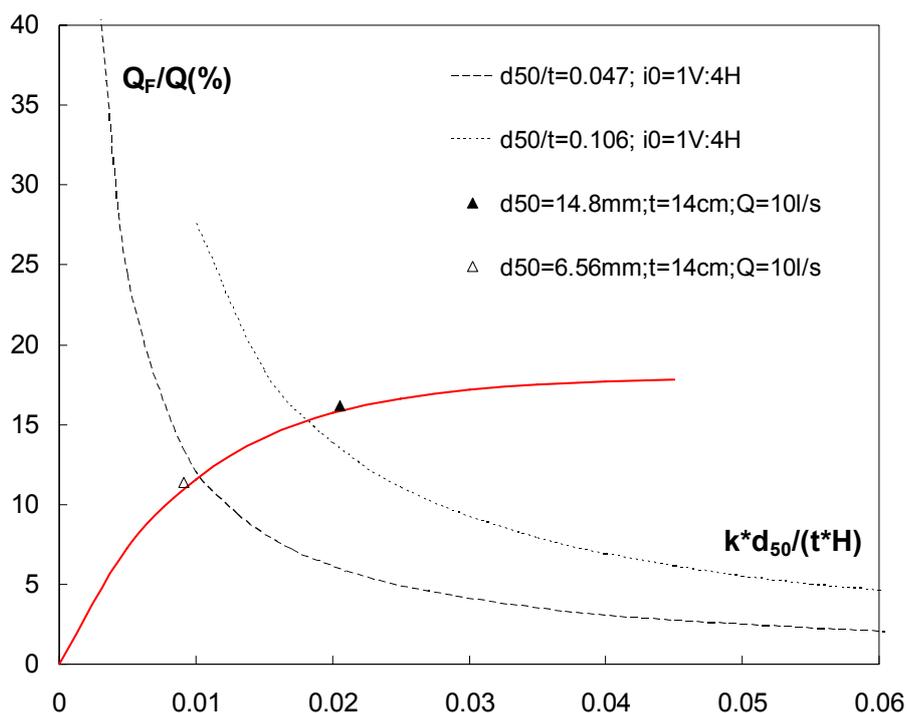


Figura 6.94 andamento della percentuale di filtrazione al variare di d_{50}

La figura ci mostra che all'aumentare di d_{50} , fissato lo spessore t , la pendenza i_0 e la portata entrante entrante (e quindi k), il valore in ascissa di $k d_{50}/(tH)$ aumenta ma aumenta anche il parametro d_{50}/t il quale ci permette di tracciare un'altra curva con un rapporto d_{50}/t maggiore. In rosso è stata tracciata qualitativamente una funzione che indica l'andamento di questi punti sperimentali sulle curve [6.13].

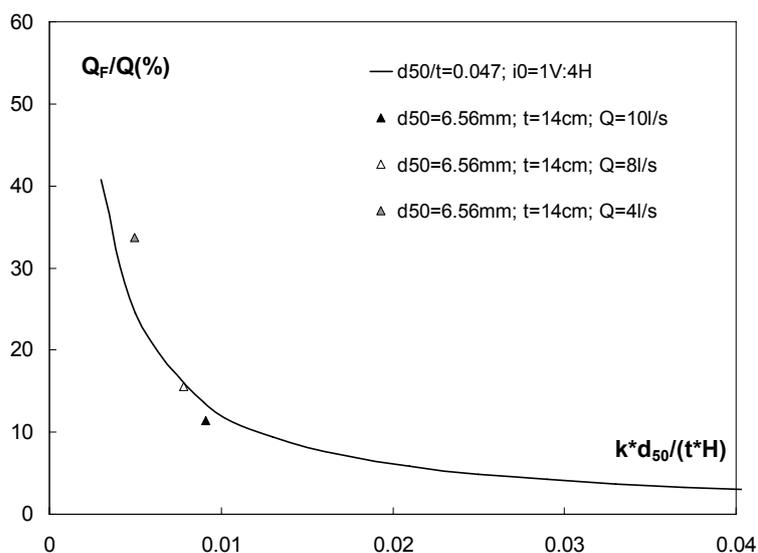


Figura 6.95 percentuale di filtrazione al variare della portata entrante

Nella figura precedente si è variato il parametro k , mantenendo costanti sia la pendenza che lo spessore t e il d_{50} del materiale, notando come, muovendoci su una stessa curva (dato che $d_{50}/t = \text{costante}$), risultano valori di percentuale di filtrazione minori all'aumentare della portata entrante, tutto questo a conferma di quanto era già stato ampiamente detto in precedenza.

La figura seguente ci mostra la variabilità della percentuale di filtrazione in funzione dello spessore t dello strato di base.

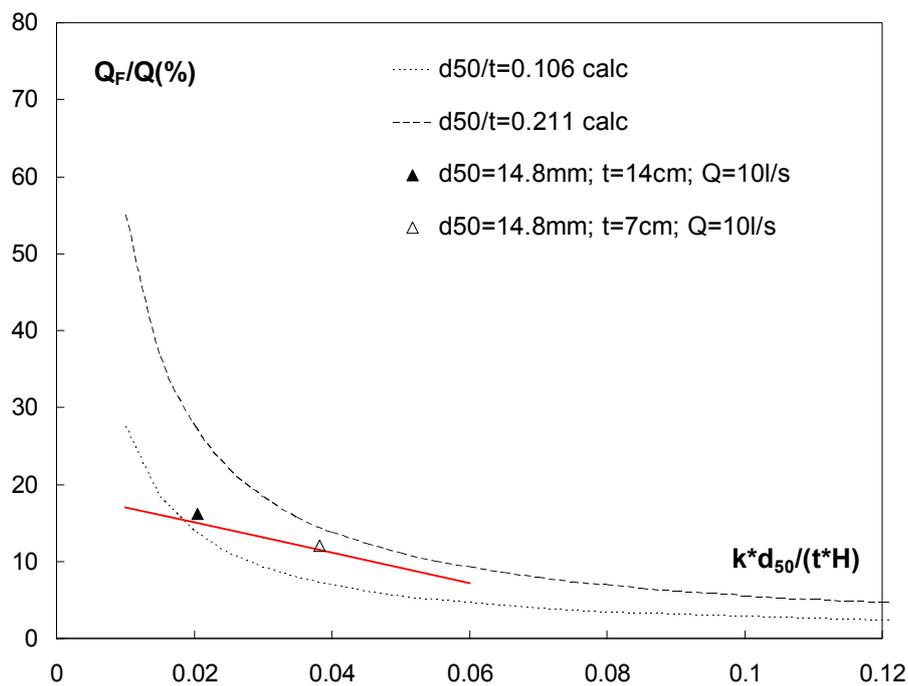


Figura 6.96 percentuale di filtrazione al variare dello spessore t

Un aumento di t , ad esempio da 7cm a 14cm, porta i punti sperimentali ad avvicinarsi all'asse delle ordinate, ma lo stesso aumento di spessore determina curve con rapporti di d_{50}/t diversi. Con la linea in rosso si è indicato l'andamento dei punti sperimentali, i quali all'aumentare di t si spostano da una curva con $d_{50}/t = 0.211$ ad un'altra con $d_{50}/t = 0.106$, ma anche se tale parametro è diminuito si ottengono valori di $Q_F/Q(\%)$ maggiori per spessori è maggiori.

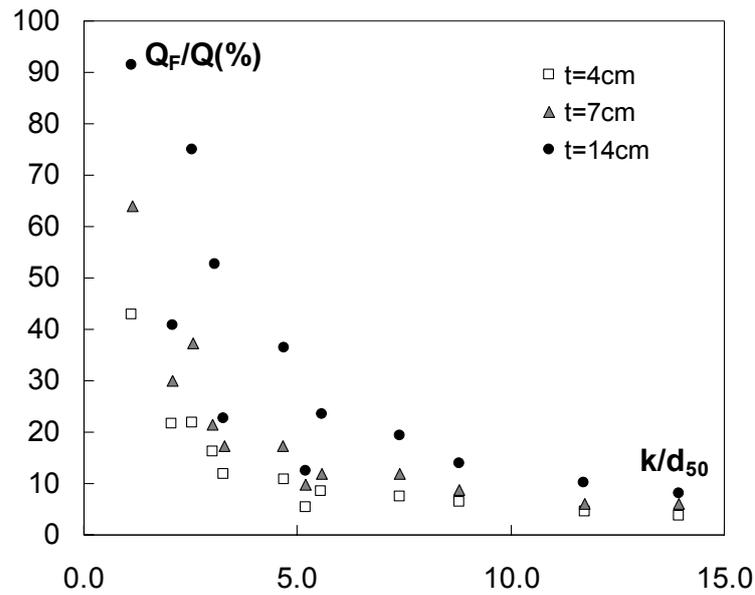


Figura 6.98 percentuale di filtrazione parametrizzata per t

Tracciando delle curve del tipo $y = A \cdot x^{-B}$ si ottiene una buona correlazione con i punti sperimentali. Sono state trovate anche le relazioni che legano i parametri A e B con lo spessore t, e nei grafici successivi vengono mostrati questi legami.

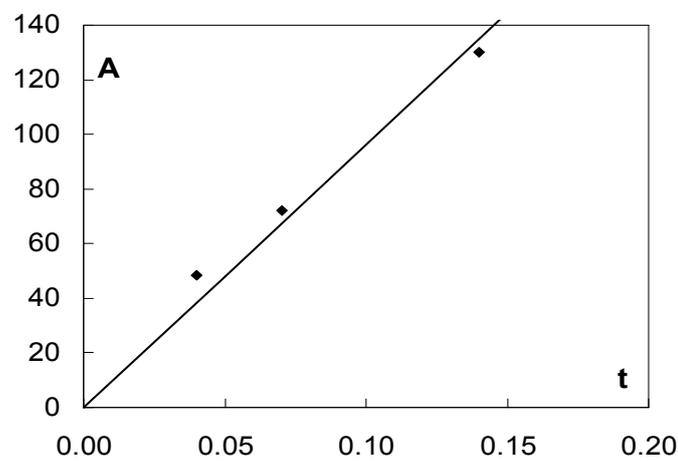


Figura 6.99 parametro A in funzione di t

Le relazioni sono le seguenti: per il parametro A si ha

$$A = 964.7t$$

mentre il parametro B risulta costante e pari a

$$B = 1.015.$$

Si ottiene quindi, per la rampa con pendenza 1V:8H, l'equazione relativa alla percentuale di portata di filtrazione calcolata:

$$\frac{Q_F}{Q} (\%) = (964.7t) \cdot \left(\frac{k}{d_{50}} \right)^{-1.015}.$$

Si riporta sul grafico l'andamento della funzione unita ai dati sperimentali.

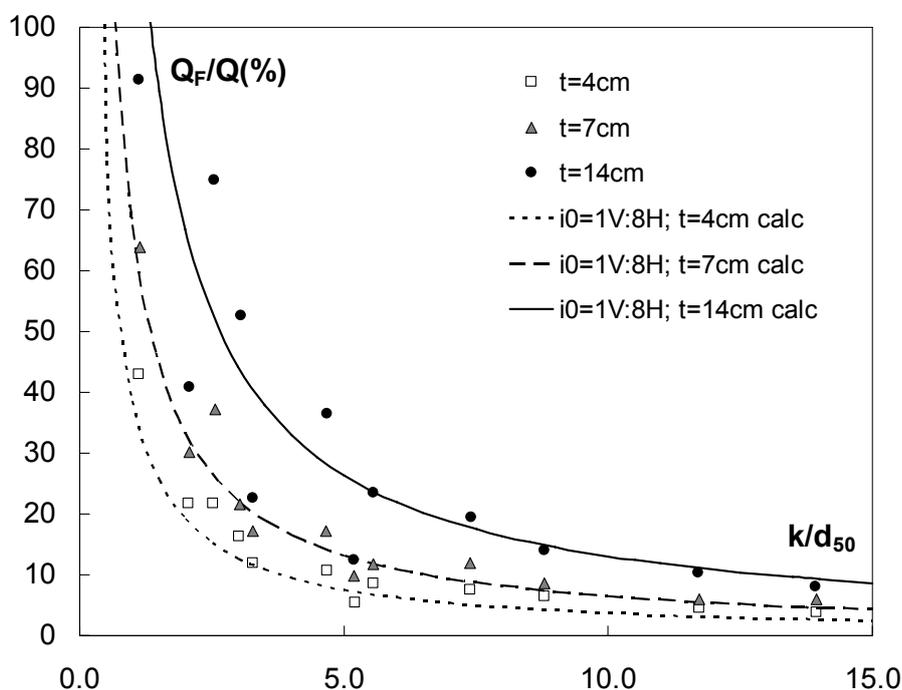


Figura 6.100 percentuale di filtrazione parametrizzata per t (dati calcolati)

Come possiamo notare per alti valori di k/d_{50} , e quindi per alti valori della portata entrante e bassi valori della granulometria del materiale di base, si hanno piccole percentuali di portata filtrata attraverso l'ammasso permeabile. Viceversa per bassi valori di k/d_{50} si hanno elevate percentuali di filtrazione, e questo può essere legato al fatto di avere basse portate entranti che si infiltrano totalmente.

La curva ha un limite superiore (in ordinata) pari al 100% perchè naturalmente non possiamo avere una portata filtrata superiore alla portata in ingresso, e anche un limite in ascissa (relativa al parametro k/d_{50}) pari a zero definito dal fatto che

un diametro molto piccolo del materiale di base rende tale strato quasi del tutto impermeabile.

Proponiamo ora la correlazione tra i dati sperimentali e i dati calcolati:

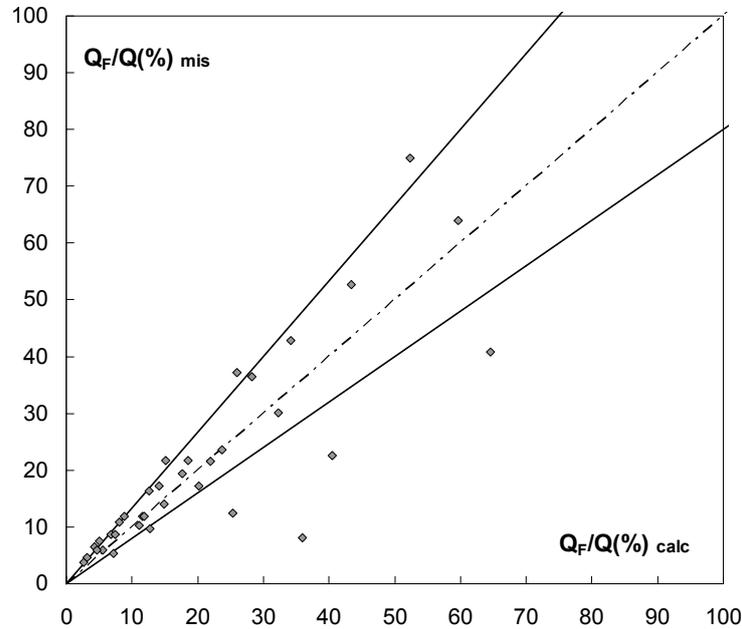


Figura 6.101 correlazione dati sperimentali e dati calcolati (1V:8H)

Ripetendo le operazioni fatte nelle pagine precedenti per le altre pendenze (1V:6H e 1V:4H), possiamo poi passare alle correlazioni di tutti i parametri A e B delle curve rispetto alle pendenze della rampa.

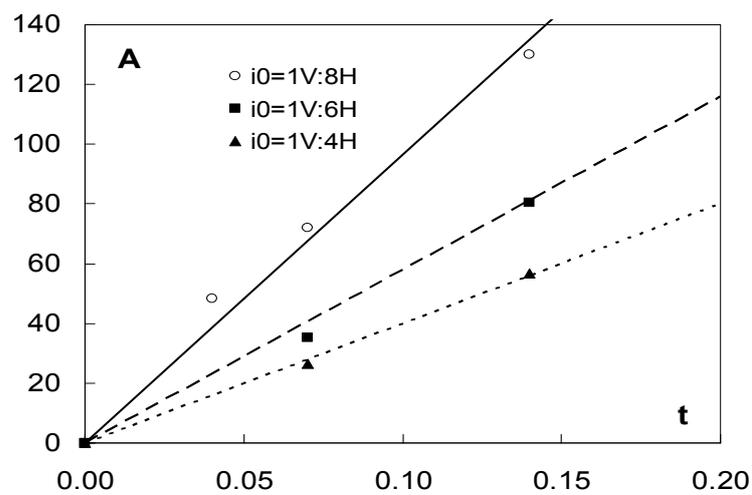


Figura 6.102 parametro in funzione di t e di i_0

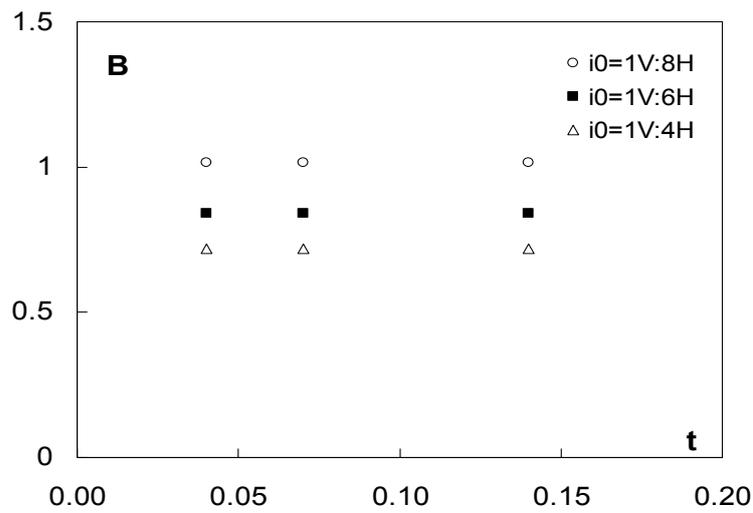


Figura 6.103 parametro B in funzione della pendenza i_0 e dello spessore t

Procedendo poniamo i parametri A e B anche in funzione della pendenza della rampa in modo da avere:

$$A = f(t, i_0) \quad \text{e} \quad B = (i_0)$$

Come abbiamo notato il parametro A instaura un legame lineare con lo spessore quindi occorre determinare i parametri di tale legge in funzione della pendenza : sapendo che

$$A = m \cdot t$$

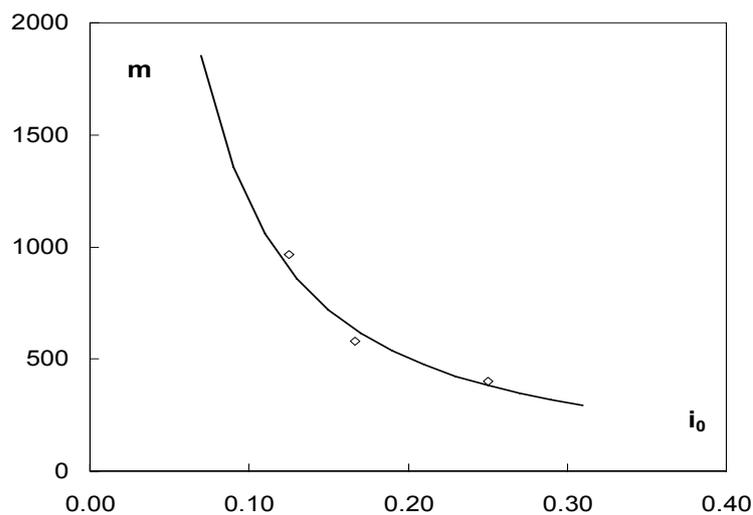


Figura 6.104 parametro m in funzione di i_0

avremo in definitiva

$$A = (68.5i_0^{-1.24})t$$

mentre per quanto riguarda B, essendo

$B = \cos t = n$, avremo

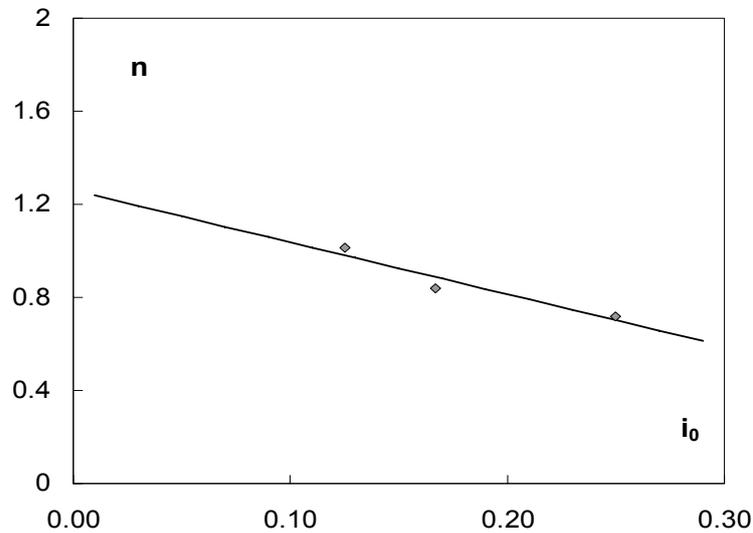


Figura 6.105 parametro n in funzione di i_0

$$B = -2.23i_0 + 1.26.$$

Si riporta infine l'equazione che mette in relazione la $\frac{Q_F}{Q}$ (%) con la portata entrante, il d_{50} del materiale dello strato filtrante, con il suo spessore t e anche con la pendenza della rampa stessa.

$$\frac{Q_F}{Q} (\%) = \left[(68.5 \cdot i_0^{-1.24}) t \right] \left(\frac{k}{d_{50}} \right)^{-(-2.23i_0 + 1.26)} \quad [6.14]$$

Dove lo spessore t è espresso in metri.

La precedente equazione mostra una soddisfacente correlazione con i dati sperimentali raccolti come mostrato dal grafico seguente:

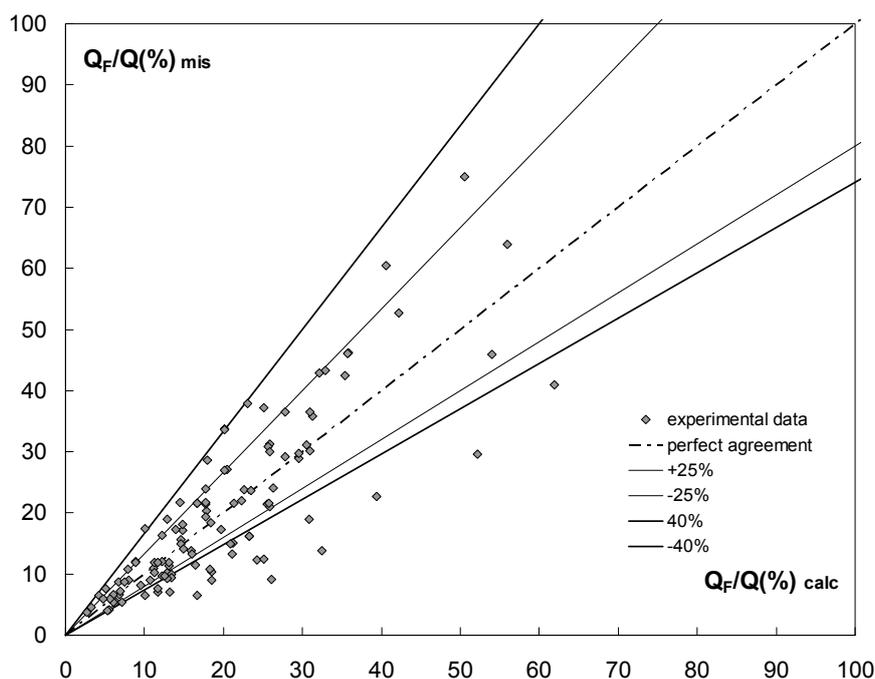


Figura 6.106 correlazione dati sperimentali e dati calcolati su tutte le pendenze

Nel successivo grafico si mette in evidenza l'andamento della $Q_F/Q(\%)$ in funzione della pendenza una volta fissato lo spessore (in questo caso lo spessore t è pari a 7 cm), dove si è inserito le curve ottenute dall'equazione precedente (quindi linea che unisce i valori calcolati) e anche i relativi punti misurati.

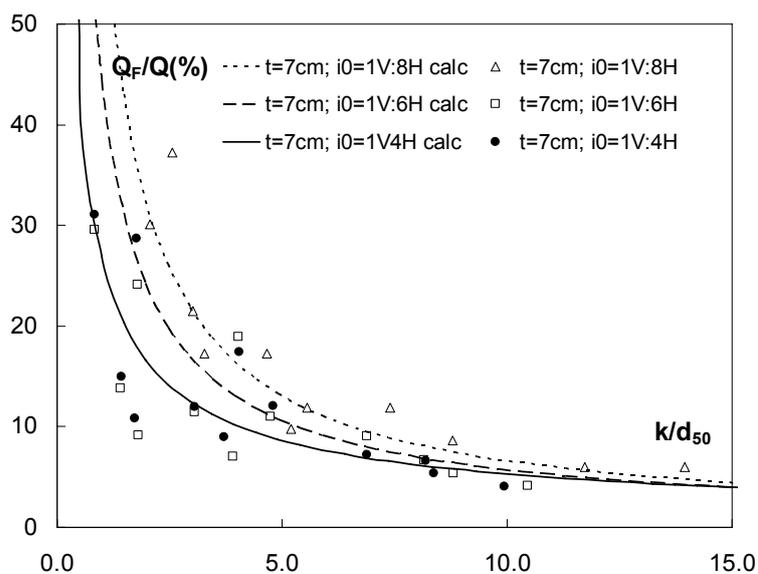


Figura 6.107 percentuale di filtrazione in funzione della pendenza fissato lo spessore t

Anche questo grafico ci conferma che, una volta nota la granulometria del materiale filtrante e il valore della portata entrante, la percentuale di filtrazione risulterà sicuramente minore laddove la pendenza è maggiore; così come aumentando lo spessore t si avrà un incremento di portata filtrata

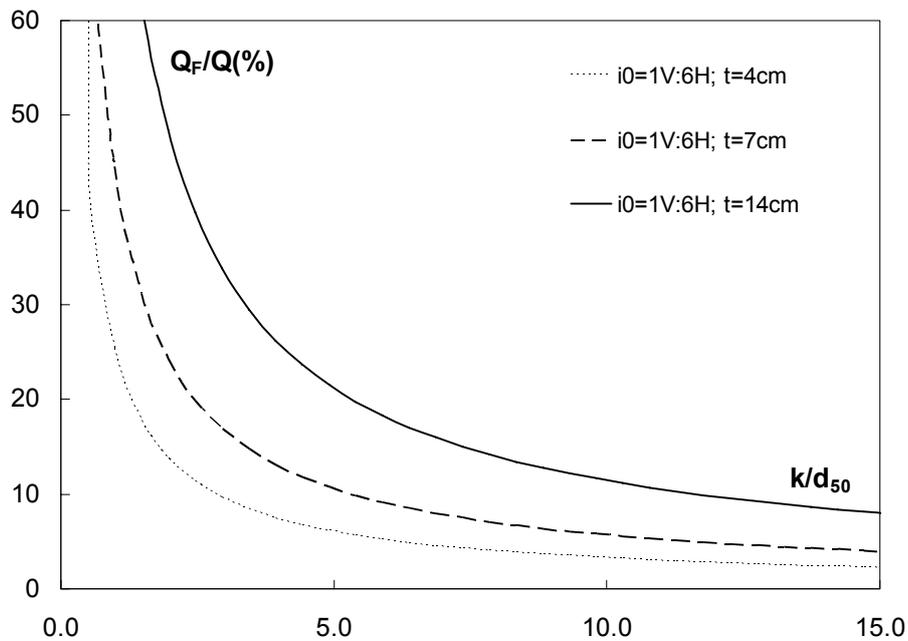


Figura 6.108 percentuale di filtrazione in funzione dello spessore t

6.5 Confronto tra le nostre relazioni e i dati di altri autori

Avendo a disposizione una notevole quantità di dati derivanti da esperienze di altri autori che hanno effettuato ricerche sui moti di filtrazione, vogliamo verificare la validità della nostra relazione [6.4]

$$i_{s5} = (0.00094d_{50}^{-1.77})V + (11.1d_{50}^{-0.48})V^2 .$$

Ricordiamo che questa equazione ci fornisce le velocità di filtrazione in funzione soltanto del gradiente idraulico e del diametro del materiale, a differenza delle [6.11], [6.13] e [6.14], le quali necessitano della conoscenza dell'altezza critica presente a monte(e quindi della portata entrante) e dello spessore dello strato filtrante. Riportiamo in una tabella i valori limite delle variabili in gioco:

VALORE	d_{50} (cm)	n_e	Sf	V (m/s)	i_{s5}	Re
MINIMO	0.552	38%	0.74	0.01	0.17	29.3
MASSIMO	3.184	40%	0.8	0.065	0.41	422.4

Tabella 6.6 intervalli di variazione delle variabili in gioco

Come già ricordato nel paragrafo 6.1, abbiamo considerato del tutto trascurabile la variabilità sia della porosità che della sfericità dei nostri materiali, mentre per il calcolo del numero di Reynolds ci siamo ricollegati a quanto detto nel capitolo 3 (relazione [3.4]).

Partiamo dal confronto con i dati che Faggioni (1999) ha ricavato durante le sue esperienze di laboratorio: viene di seguito riportata una tabella relativa ai suoi dati sperimentali e un grafico in cui si confrontano i suoi risultati con la [6.4].

	descrizione	diámetro medio	sfericità	porosità	V (cm/s)	i	Re
		d _m (cm)	S _r	n			
Faggioni (1999)	spezzato piccolo disposto alla rinfusa con riempimento dal lato	2.88	0.7	40.94%	1.29	0.0166	73.18
		2.88	0.7	40.94%	3.01	0.0683	171.22
		2.88	0.7	40.94%	4.84	0.1612	275.17
		2.88	0.7	40.94%	6.36	0.2651	361.99
		2.88	0.7	40.94%	7.59	0.3684	431.68
		2.88	0.7	40.94%	8.69	0.4739	494.35
Faggioni (1999)	spezzato medio disposto alla rinfusa con riempimento dal lato	7.33	0.75	43.74%	0.30	0.0007	48.59
		7.33	0.75	43.74%	7.05	0.0997	1148.87
		7.33	0.75	43.74%	9.53	0.1782	1551.33
		7.33	0.75	43.74%	11.33	0.2452	1844.39
		7.33	0.75	43.74%	13.12	0.3238	2137.41
		7.33	0.75	43.74%	14.88	0.4083	2422.91
Faggioni (1999)	spezzato grande disposto alla rinfusa con riempimento dal lato	10.09	0.68	47.26%	0.15	8E-05	32.93
		10.09	0.68	47.26%	0.40	0.0003	87.03
		10.09	0.68	47.26%	0.72	0.0009	155.34
		10.09	0.68	47.26%	2.30	0.0069	498.69
		10.09	0.68	47.26%	6.03	0.0418	1308.42
		10.09	0.68	47.26%	7.70	0.0666	1669.82
		10.09	0.68	47.26%	9.78	0.1055	2120.42
		10.09	0.68	47.26%	12.72	0.1715	2757.69
		10.09	0.68	47.26%	16.42	0.2786	3560.85
		10.09	0.68	47.26%	20.38	0.4196	4419.20
Faggioni (1999)	ciotoli piccoli di marmo bianco disposti alla rinfusa con riempimento dall'alto	1.6	0.8	34.54%	0.09	0.0008	2.89
		1.6	0.8	34.54%	0.23	0.0021	7.46
		1.6	0.8	34.54%	0.43	0.0051	14.13
		1.6	0.8	34.54%	1.04	0.0194	34.02
		1.6	0.8	34.54%	2.98	0.1126	97.02
		1.6	0.8	34.54%	4.25	0.2115	138.46
		1.6	0.8	34.54%	5.61	0.3435	182.71
		1.6	0.8	34.54%	7.09	0.5116	230.92
Faggioni (1999)	cubetti di polistirolo espanso disposti alla rinfusa con riempimento dall'alto	3.91	0.81	40.48%	0.14	0.0003	12.34
		3.91	0.81	40.48%	0.28	0.0009	24.55
		3.91	0.81	40.48%	0.60	0.0028	53.00
		3.91	0.81	40.48%	1.06	0.0078	93.59
		3.91	0.81	40.48%	1.72	0.0187	152.25
		3.91	0.81	40.48%	2.50	0.0376	221.96
		3.91	0.81	40.48%	3.18	0.067	282.20
		3.91	0.81	40.48%	3.77	0.0929	334.73
		3.91	0.81	40.48%	4.37	0.1236	387.18
		3.91	0.81	40.48%	5.13	0.1675	454.67
		3.91	0.81	40.48%	6.49	0.2676	575.33
		3.91	0.81	40.48%	8.05	0.4019	714.05
		3.91	0.81	40.48%	10.05	0.604	891.58

Figura 6.109 dati sperimentali Faggioni (1999)

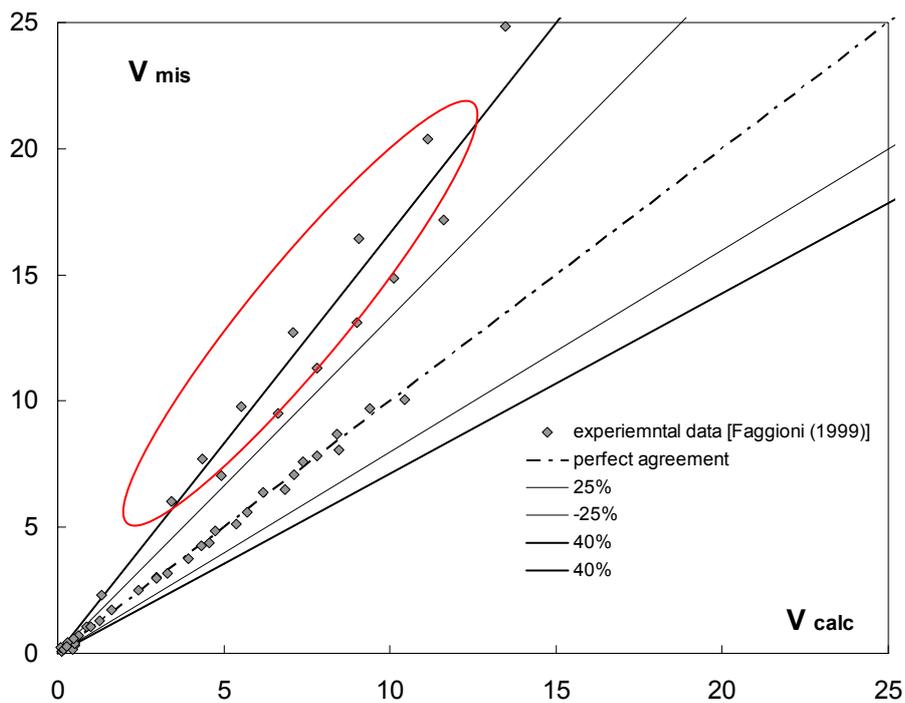


Figura 6.110 correlazione dati sperimentali (Faggioni, 1999) e dati calcolati con la [6.4]

Nel grafico le velocità di filtrazione sono espresse in cm/s. Come si può evincere, c'è una ottima corrispondenza tra la relazione [6.4] e i dati sperimentali, tranne che per quei punti cerchiati in rosso i quali fanno riferimento a materiali con porosità dell'ordine del 47% e sfericità inferiore a 0.7.

Nella figura successiva si mette in evidenza la buona corrispondenza anche alle basse velocità di filtrazione (particolare che non si percepisce in modo chiaro dal grafico precedente).

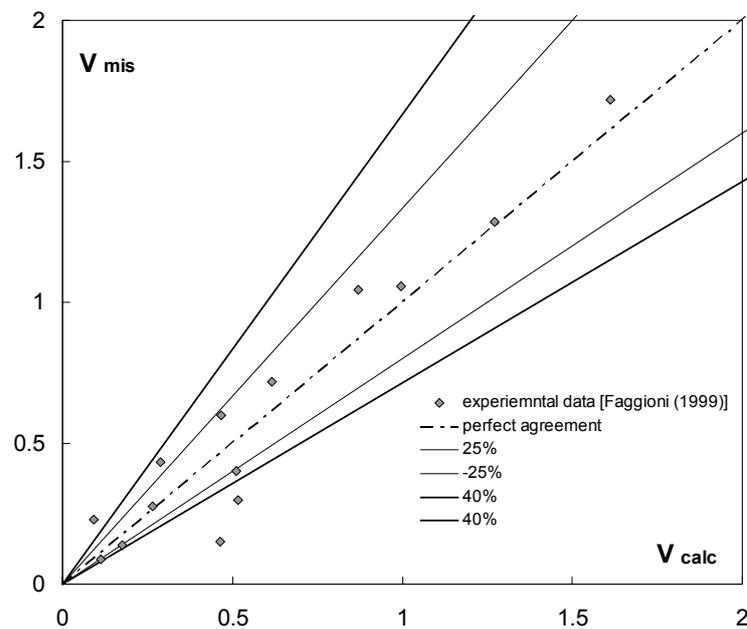


Figura 6.111 correlazione per bassi valori di gradiente idraulico (particolare)

Si inserisce un grafico i - V nel quale vengono rappresentate le relazioni [6.4] e [2.36] ricavata da Faggioni (1999):

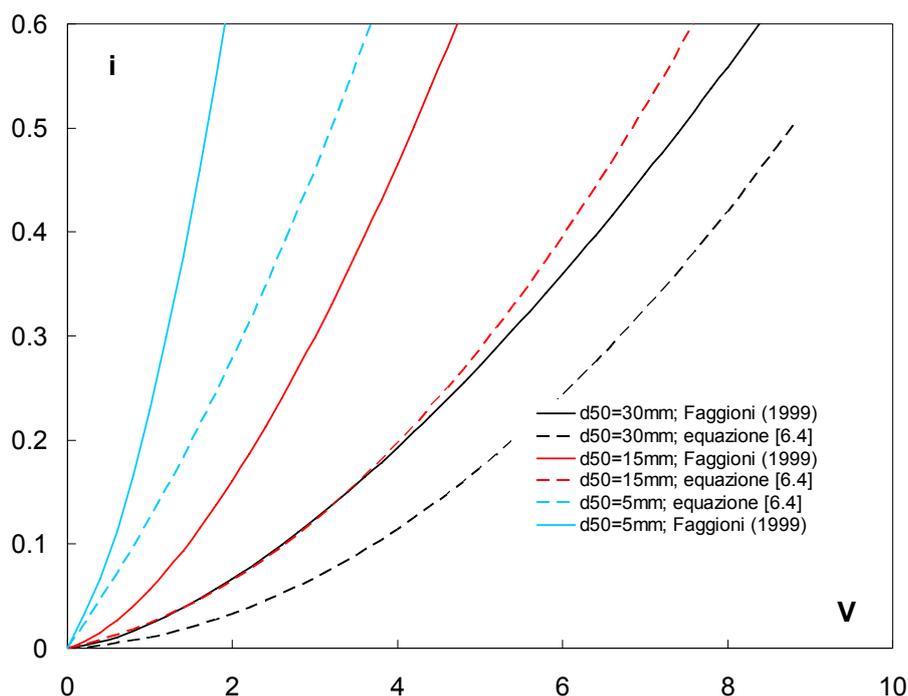


Figura 6.112 confronto tra la nostra relazione e quella di Faggioni

Le due funzioni sono quasi parallele per $d_{50} = 30\text{ mm}$, mentre si discostano in modo più marcato per il $d_{50} = 15\text{ mm}$; logicamente entrambe le relazioni ci forniscono valori di velocità di filtrazione maggiori, a parità di carico idraulico, per materiali di granulometria maggiore. Ad ulteriore chiarimento, nella figura seguente si riportano anche i punti sperimentali in unione alle curve calcolate dalle equazioni [6.4] e [2.36].

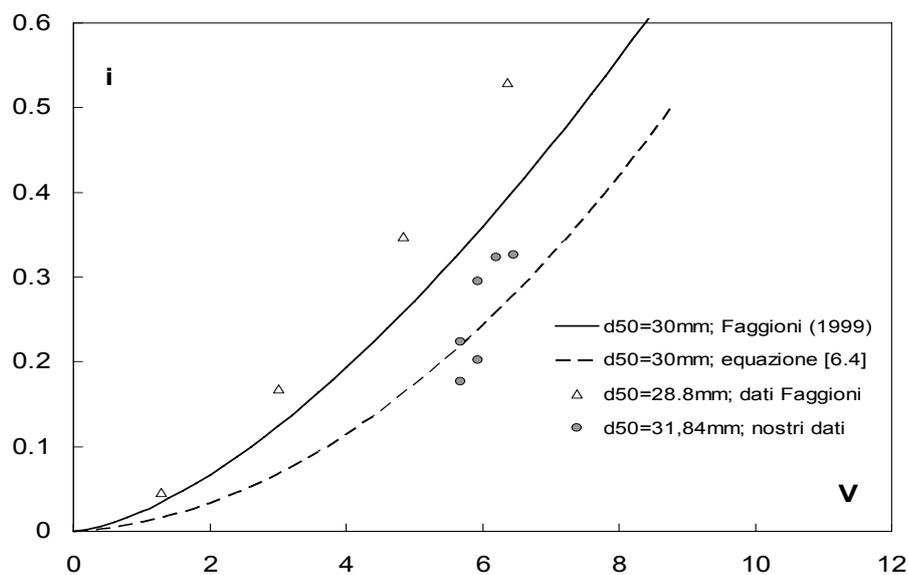


Figura 6.113 relazione [6.4] e relazione [2.36]

Si riportano adesso, in una tabella, i dati sviluppati da Martins (1990):

	descrizione	diametro medio		sfericità		porosità		V (cm/s)	i	Re
		d _m (cm)	S _r	ne						
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	1.1	0.7	46.18%		2.82	0.109	67.17		
		1.1	0.7	46.18%		3.93	0.228	93.60		
		1.1	0.7	46.18%		4.80	0.354	114.52		
		1.1	0.7	46.18%		5.63	0.477	134.34		
		1.1	0.7	46.18%		6.33	0.596	150.86		
		1.1	0.7	46.18%		6.97	0.732	166.27		
		1.1	0.7	46.18%		7.62	0.848	181.69		
		1.1	0.7	46.18%		8.17	0.978	194.90		
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	1.1	0.7	45.95%		2.89	0.104	68.73		
		1.1	0.7	45.95%		4.09	0.24	97.10		
		1.1	0.7	45.95%		5.10	0.349	121.10		
		1.1	0.7	45.95%		5.84	0.475	138.56		
		1.1	0.7	45.95%		6.57	0.597	156.01		
		1.1	0.7	45.95%		7.17	0.719	170.20		
		1.1	0.7	45.95%		7.86	0.847	186.56		
		1.1	0.7	45.95%		8.32	0.963	197.47		
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	1.6	0.7	42.82%		3.34	0.099	109.03		
		1.6	0.7	42.82%		4.75	0.223	155.16		
		1.6	0.7	42.82%		5.74	0.342	187.32		
		1.6	0.7	42.82%		6.59	0.455	215.27		
		1.6	0.7	42.82%		7.49	0.576	244.63		
		1.6	0.7	42.82%		8.44	0.697	275.38		
		1.6	0.7	42.82%		9.12	0.819	297.75		
		1.6	0.7	42.82%		9.81	0.932	320.11		
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	1.6	0.7	42.66%		3.46	0.108	112.49		
		1.6	0.7	42.66%		4.86	0.235	158.32		
		1.6	0.7	42.66%		5.93	0.364	193.04		
		1.6	0.7	42.66%		6.78	0.491	220.81		
		1.6	0.7	42.66%		7.55	0.615	245.81		
		1.6	0.7	42.66%		8.28	0.737	269.42		
		1.6	0.7	42.66%		9.00	0.862	293.03		
		1.6	0.7	42.66%		9.64	0.982	313.86		
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	2.2	0.7	43.08%		4.09	0.118	184.55		
		2.2	0.7	43.08%		5.99	0.24	270.02		
		2.2	0.7	43.08%		7.37	0.354	332.18		
		2.2	0.7	43.08%		8.62	0.47	388.52		
		2.2	0.7	43.08%		9.69	0.591	437.08		
		2.2	0.7	43.08%		10.94	0.729	493.42		
		2.2	0.7	43.08%		11.89	0.846	536.15		
		2.2	0.7	43.08%		12.71	0.974	573.06		
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	2.2	0.7	42.36%		3.98	0.119	177.31		
		2.2	0.7	42.36%		5.85	0.239	260.30		
		2.2	0.7	42.36%		7.29	0.358	324.44		
		2.2	0.7	42.36%		8.51	0.475	379.14		
		2.2	0.7	42.36%		9.62	0.593	428.18		
		2.2	0.7	42.36%		10.67	0.736	475.34		
		2.2	0.7	42.36%		11.65	0.846	518.72		
		2.2	0.7	42.36%		12.45	0.958	554.56		

Figura 6.114 dati sperimentali Martins (1990)

Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	3.2	0.7	42.89%	5.02	0.103	328.04
		3.2	0.7	42.89%	6.95	0.229	454.21
		3.2	0.7	42.89%	8.45	0.346	552.34
		3.2	0.7	42.89%	9.74	0.466	636.45
		3.2	0.7	42.89%	10.85	0.585	709.35
		3.2	0.7	42.89%	12.01	0.71	785.05
		3.2	0.7	42.89%	12.87	0.828	841.13
		3.2	0.7	42.89%	13.72	0.944	897.20
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	3.2	0.7	43.63%	5.54	0.109	366.98
		3.2	0.7	43.63%	7.46	0.23	494.12
		3.2	0.7	43.63%	8.99	0.349	595.25
		3.2	0.7	43.63%	10.43	0.467	690.61
		3.2	0.7	43.63%	11.69	0.597	774.41
		3.2	0.7	43.63%	12.83	0.714	849.54
		3.2	0.7	43.63%	13.70	0.833	907.33
		3.2	0.7	43.63%	14.66	0.955	970.90
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	4.4	0.7	39.69%	6.39	0.104	543.90
		4.4	0.7	39.69%	8.97	0.229	763.48
		4.4	0.7	39.69%	10.72	0.342	912.13
		4.4	0.7	39.69%	12.38	0.466	1054.01
		4.4	0.7	39.69%	13.77	0.578	1172.25
		4.4	0.7	39.69%	15.04	0.707	1280.36
		4.4	0.7	39.69%	16.31	0.825	1388.46
		4.4	0.7	39.69%	17.34	0.945	1476.29
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	4.4	0.7	39.47%	6.20	0.109	525.53
		4.4	0.7	39.47%	8.21	0.23	696.24
		4.4	0.7	39.47%	10.66	0.349	903.77
		4.4	0.7	39.47%	12.35	0.467	1047.71
		4.4	0.7	39.47%	13.78	0.597	1168.21
		4.4	0.7	39.47%	15.16	0.714	1285.37
		4.4	0.7	39.47%	16.34	0.833	1385.79
		4.4	0.7	39.47%	17.45	0.955	1479.51
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	6.35	0.7	41.38%	8.86	0.118	1119.13
		6.35	0.7	41.38%	11.92	0.248	1506.11
		6.35	0.7	41.38%	14.77	0.39	1866.95
		6.35	0.7	41.38%	17.13	0.525	2165.04
		6.35	0.7	41.38%	18.99	0.652	2400.37
		6.35	0.7	41.38%	20.73	0.793	2620.01
		6.35	0.7	41.38%	22.43	0.93	2834.42
		6.35	0.7	41.38%	23.71	1.068	2996.54
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	8.9	0.7	47.37%	11.75	0.098	2317.71
		8.9	0.7	47.37%	15.06	0.215	2971.90
		8.9	0.7	47.37%	18.76	0.336	3700.85
		8.9	0.7	47.37%	21.22	0.448	4186.83
		8.9	0.7	47.37%	23.16	0.56	4569.99
		8.9	0.7	47.37%	25.20	0.662	4971.85
		8.9	0.7	47.37%	26.86	0.774	5298.95
		8.9	0.7	47.37%	28.61	0.908	5644.74
Martins (1990)	materiale spigoloso uniforme	12.7	0.7	48.05%	16.58	0.106	4728.00
		12.7	0.7	48.05%	22.68	0.234	6468.45
		12.7	0.7	48.05%	27.97	0.363	7975.93
		12.7	0.7	48.05%	31.18	0.493	8894.12
		12.7	0.7	48.05%	34.26	0.603	9771.20
		12.7	0.7	48.05%	38.20	0.73	10894.96
		12.7	0.7	48.05%	41.03	0.848	11703.51
		12.7	0.7	48.05%	43.68	0.991	12457.25

Continua da fig. 6.101

Mentre nel grafico seguente si mettono in relazione tali dati con la nostra relazione [6.4].

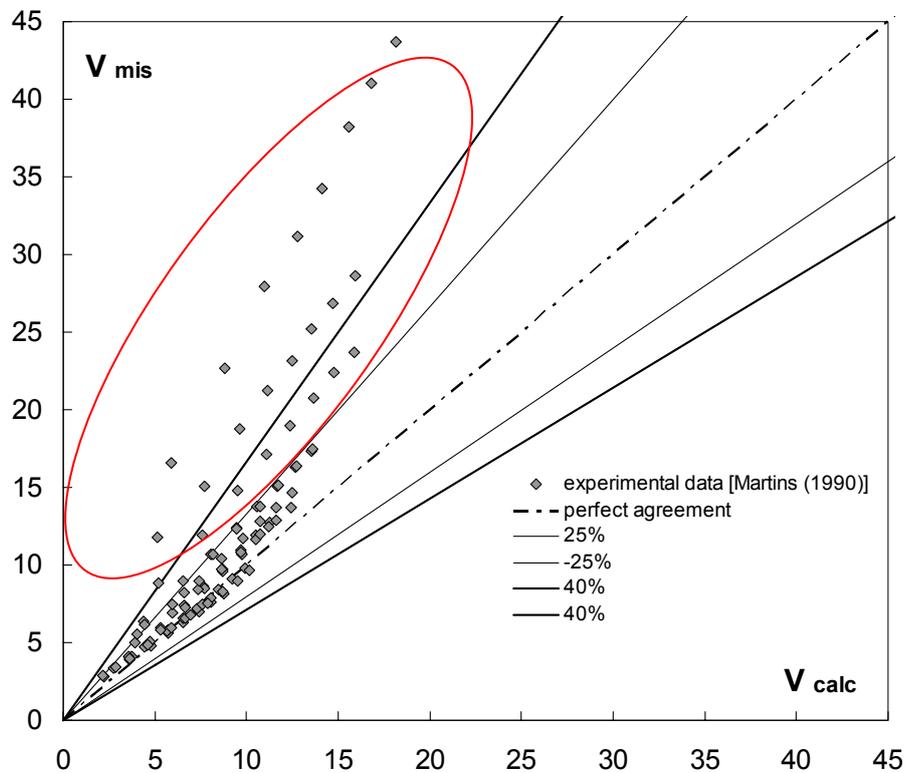


Figura 6.115 correlazione dati sperimentali [Martins (1990)] e dati calcolati con la [6.4]

Anche in questo caso la rispondenza dei dati alla legge da noi determinata è buona, soprattutto se si guardano quelle prove i cui parametri rientrano perfettamente in quelli espressi in tabella 6.6.

Con il cerchio rosso sono stati evidenziati quei punti che non rientrano in un soddisfacente campo di validità: tali valori si riferiscono ai test effettuati da Martins (1990) con materiali di granulometria grossolana ($d_{50} > 6$ cm), e quindi maggiore rispetto a quella dei materiali da noi utilizzati. In questo caso la sfericità era un parametro costante, mentre la porosità variava entro valori compresi tra il 39% e il 48%.

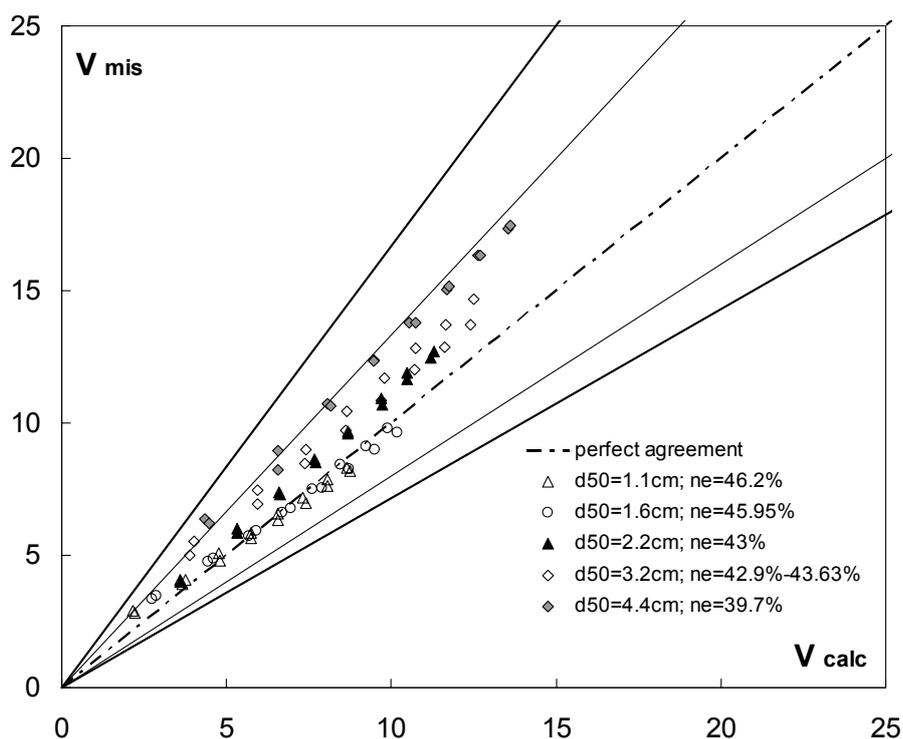


Figura 6.116 correlazione dati sperimentali [Martins (1990)] e dati calcolati (particolare)

La figura appena riportata mette in evidenza la buona correlazione tra i dati sperimentali e i dati calcolati soprattutto per i materiali di minore pezzatura, anche se facenti riferimento a valori di porosità molto diverse tra loro.

Si inseriscono anche i dati di Pradip Kumar (1994) e il relativo grafico calcolato-misurato:

	descrizione	diametro medio		sfericità		porosità		V (cm/s)	i	Re
		d _m (cm)	S _f	ne						
Pradip Kumar (1994)	rocce spezzate	1.31	0.7	47.00%	3.84	0.1479	110.73			
		1.31	0.7	47.00%	4.58	0.2089	132.07			
		1.31	0.7	47.00%	6.32	0.3981	182.25			
		1.31	0.7	47.00%	7.87	0.5623	226.94			
		1.31	0.7	47.00%	10.49	0.9549	302.49			
		1.31	0.7	47.00%	12.76	1.1481	367.95			
		1.31	0.7	47.00%	13.67	1.4125	394.19			
Pradip Kumar (1994)	rocce spezzate	2.01	0.7	45.88%	2.22	0.0513	96.19			
		2.01	0.7	45.88%	5.02	0.2187	217.51			
		2.01	0.7	45.88%	6.58	0.389	285.11			
		2.01	0.7	45.88%	8.82	0.631	382.17			
		2.01	0.7	45.88%	10.98	0.9226	475.76			
		2.01	0.7	45.88%	12.9	1.2023	558.95			
		2.01	0.7	45.88%	16.43	1.9953	711.91			

Figura 6.117 dati sperimentali di Pradip Kumar (1994)

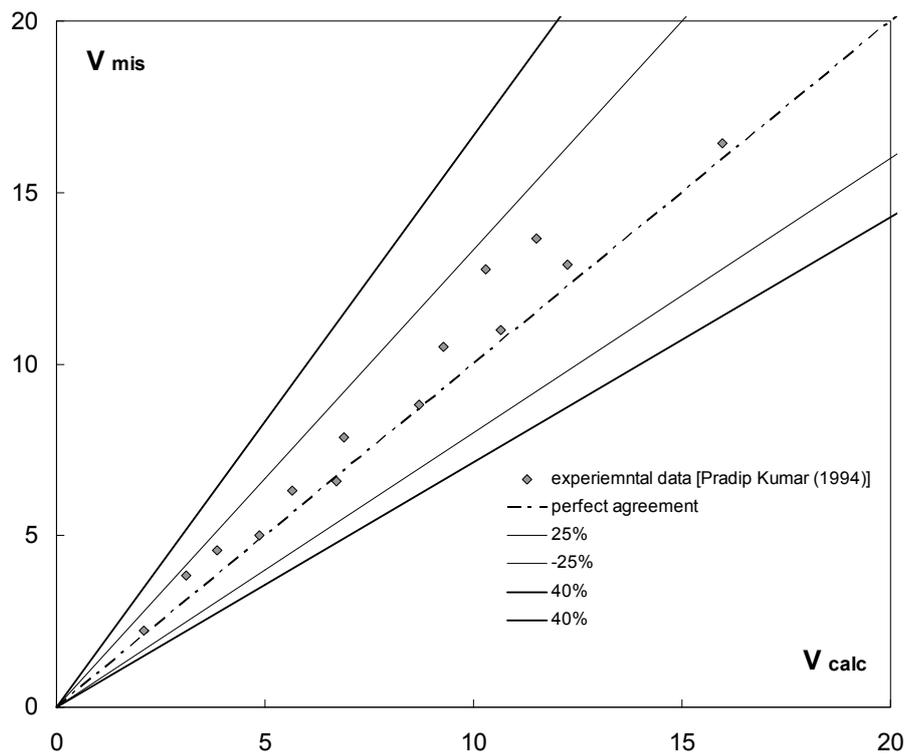


Figura 6.118 correlazione dati misurati [Pradip Kumar (1994)] e dati calcolati con la [6.4]

Si riportano i dati relativi alle esperienze di Niranjan (1973) le cui prove sono state effettuate con elevati gradienti idraulici e se ne riporta una tabella riassuntiva.

	descrizione	diametro medio	sfericità	porosità			
		d_m (cm)	S_f	ne	V (cm/s)	i	Re
Niranjan (1973)	rocce spezzate	2.99	0.7	46.60%	29.39	2.69	1919.89
		2.99	0.7	46.60%	42.49	5.24	2775.64
		2.99	0.7	46.60%	47.67	6.76	3114.02
		2.99	0.7	46.60%	50.5	7.33	3298.89
		2.99	0.7	46.60%	62.13	12.59	4058.62
		2.99	0.7	46.60%	71.33	16.6	4659.60
		2.99	0.7	46.60%	78.21	19.5	5109.04
Niranjan (1973)	rocce spezzate	0.925	0.7	43.00%	12.68	3.758	240.07
		0.925	0.7	43.00%	15.69	5.248	297.05
		0.925	0.7	43.00%	20.33	9.441	384.90
		0.925	0.7	43.00%	25.3	12.882	479.00
		0.925	0.7	43.00%	26.8	15.311	507.40
		0.925	0.7	43.00%	33.16	21.878	627.81

Figura 6.119 dati sperimentali di Niranjan (1973)

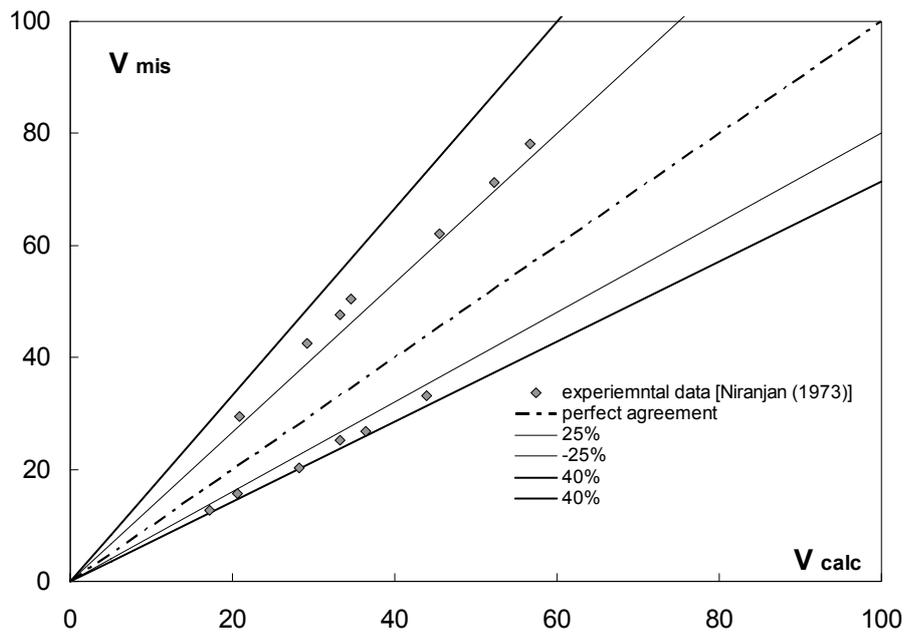


Figura 6.120 correlazione dati sperimentali [Niranjan (1973)]

Dato che i valori dei carichi piezometrici sono elevati, e di conseguenza anche le velocità ottenute sono elevate, la correlazione con la [6.4] non è ottima, ma rientra comunque nel range del $\pm 40\%$.

Infine si riportano i dati di G.H. Fancher e Lindquist (1973):

	descrizione	diametro medio	sfericità	porosità			
		d_m (cm)	S_r	ne	V (cm/s)	i	Re
G. H. Fancher	sabbia di Ottawa	0.07	0.7	34.50%	0.069	1.22	0.09
		0.07	0.7	34.50%	0.0896	1.64	0.11
		0.07	0.7	34.50%	0.166	2.74	0.21
		0.07	0.7	34.50%	0.331	6.32	0.41
		0.07	0.7	34.50%	0.48	9.76	0.60
		0.07	0.7	34.50%	0.606	12.4	0.76
		0.07	0.7	34.50%	0.731	16.9	0.91
		0.07	0.7	34.50%	0.855	20.2	1.07
E. Lindquist (1933)	sabbia	0.492	0.7	38.00%	0.196	0.015	1.81
		0.492	0.7	38.00%	0.532	0.045	4.93
		0.492	0.7	38.00%	0.742	0.07	6.87
		0.492	0.7	38.00%	1.16	0.12	10.74
		0.492	0.7	38.00%	1.51	0.185	13.98
		0.492	0.7	38.00%	2	0.28	18.52
		0.492	0.7	38.00%	2.55	0.41	23.61
		0.492	0.7	38.00%	2.95	0.52	27.31
		0.492	0.7	38.00%	3.3	0.63	30.55
		0.492	0.7	38.00%	3.7	0.75	34.25
		0.492	0.7	38.00%	4.06	0.9	37.59
E. Lindquist (1933)	sabbia	0.105	0.7	38.00%	0.042	0.045	0.08
		0.105	0.7	38.00%	0.062	0.07	0.12
		0.105	0.7	38.00%	0.155	0.2	0.31
		0.105	0.7	38.00%	0.238	0.31	0.47
		0.105	0.7	38.00%	0.462	0.61	0.91
		0.105	0.7	38.00%	0.504	0.7	1.00
		0.105	0.7	38.00%	0.616	0.81	1.22
		0.105	0.7	38.00%	0.7	0.94	1.38
		0.105	0.7	38.00%	0.756	1.05	1.49
		0.105	0.7	38.00%	0.952	1.35	1.88
		0.105	0.7	38.00%	1.02	1.48	2.02

Figura 6.121 tabella dei dati sperimentali G.H. Fancher e Lindquist (1973)

Il primo dei due grafici è relativo ad un materiale di granulometria molto fine ($d_{50} = 0.07 \text{ cm}$), mentre il secondo si riferisce ai dati di Lindquist, il quale ha indagato materiali con diametri comparabili ai nostri.

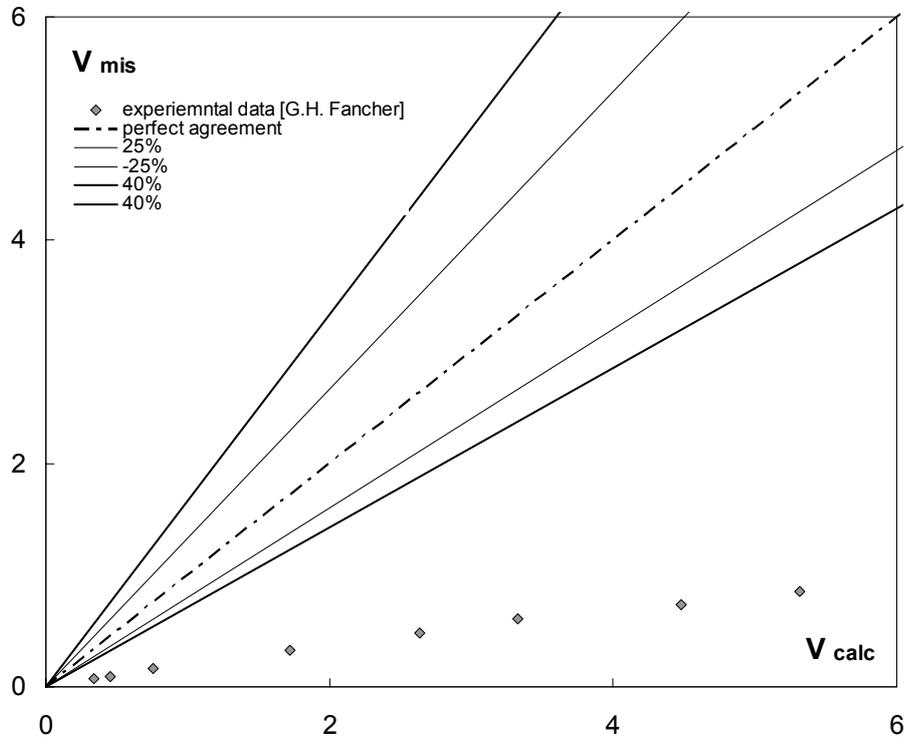


Figura 6.122 correlazione dati misurati (G.H. Fancher) e dati calcolati

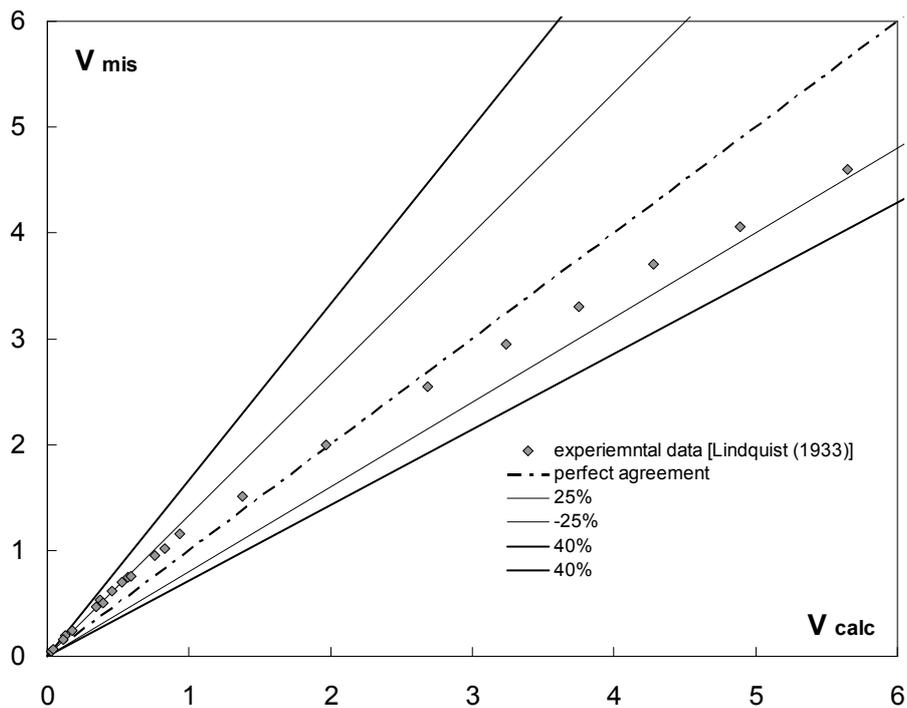


Figura 6.123 correlazione dati misurati [Lindquist (1933)] con dati calcolati

Possiamo in definitiva concludere che il vero fattore discriminante che ci deve far riflettere sull'utilizzo o meno della [6.4] è proprio la dimensione del materiale che si sta indagando, dato che i risultati ottenuti sono ottimi quando il d_{50} non si discosta dai valori specificati in tabella 6.6, anche laddove si abbiano valori di gradiente, sfericità e porosità molto diversi da quelli ricavati dalle nostre esperienze.

In ultimo abbiamo considerato i dati presenti nell'articolo di C.E. Rice, K.C. Kadavy (1998) "Roughness of loose rock riprap on steep slope", per fare un confronto con la relazione [6.11]. I dati al contorno della loro esperienza sono:

- Lunghezza canale pari a 4.27m
- Larghezza canale pari a 1.07m
- $0.0824\text{m}^3/\text{sec}/\text{m} < q < 0.177\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$
- d_{50} compreso tra 52mm - 89mm
- $d_{84} = 70\text{mm} - 117\text{mm}$
- $1.38 \leq \sigma \leq 1.59$
- Peso specifico $2.59 \text{ tonn}/\text{m}^3 < \gamma < 2.82 \text{ tonn}/\text{m}^3$
- pendenze $0.025 < i_0 < 0.227$
- Spessore strato riprap $11.2\text{cm} < d_m < 16.7\text{cm}$
- portate di filtrazione $0.0029\text{m}^3/\text{sec}/\text{m} < q_f < 0.0225\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$
- portata superficiale $0.059\text{m}^3/\text{sec}/\text{m} < q_s < 0.174\text{m}^3$

Viene anche in questo caso riportata una tabella con i dati ottenuti dagli autori.

prova	q_t	Q_t	d_{50}	i_0	d_m	q_f	Q_f (mis)	V
	($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)	(m^3/s)	(mm)		(m)	($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)	(m^3/s)	(m/s)
1	0.0824	0.088168	89	0.227	0.167	0.0225	0.024075	0.134731
2	0.0575	0.061525	89	0.161	0.165	0.0225	0.024075	0.136364
3	0.136	0.14552	89	0.125	0.158	0.0178	0.019046	0.112658
4	0.161	0.17227	89	0.102	0.169	0.0176	0.018832	0.104142
5	0.167	0.17869	89	0.1	0.155	0.0124	0.013268	0.08
6	0.179	0.19153	89	0.064	0.154	0.0089	0.009523	0.057792
7	0.177	0.18939	89	0.028	0.156	0.0082	0.008774	0.052564
8	0.0347	0.037129	52	0.22	0.108	0.0085	0.009095	0.078704
9	0.0412	0.044084	52	0.158	0.108	0.0082	0.008774	0.075926
10	0.0615	0.065805	52	0.126	0.106	0.0072	0.007704	0.067925
11	0.0651	0.069657	52	0.099	0.115	0.007	0.00749	0.06087
12	0.178	0.19046	52	0.063	0.112	0.0046	0.004922	0.041071
13	0.177	0.18939	52	0.025	0.112	0.0029	0.003103	0.025893

Figura 6.124 tabella riassuntiva dei dati di Rice e Kadavy (1998)

Grazie ai dati presenti siamo stati in grado di poterci determinare le grandezze da inserire nella [6.11] per arrivare alla determinazione della portata di filtrazione. Di seguito viene riportato un calcolato - misurato.

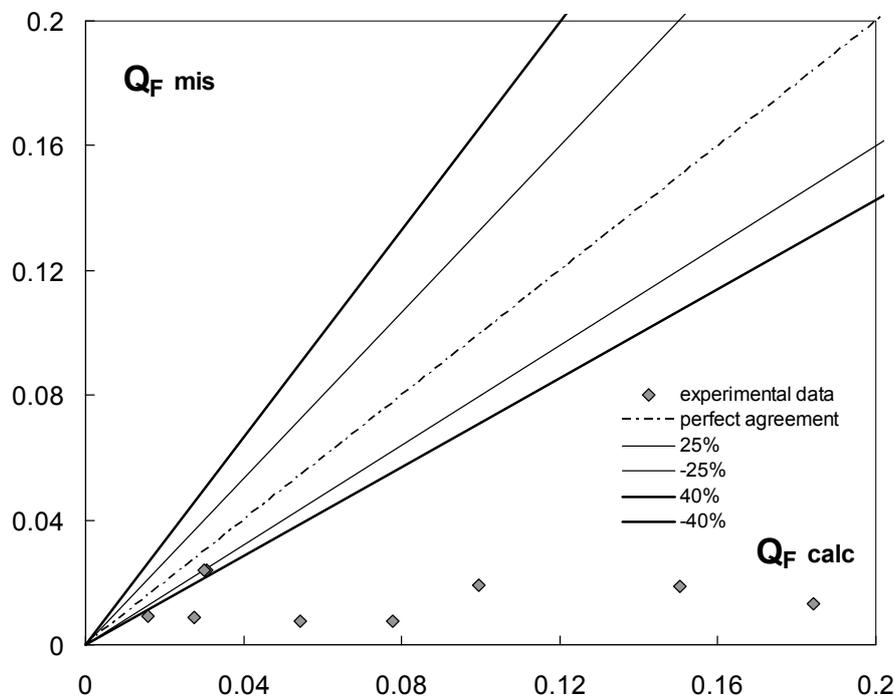


Figura 6.125 calcolato - misurato utilizzando la [6.10]

Come si può notare i risultati ottenuti non sono soddisfacenti, a causa del fatto che i range del rapporto d_{50}/t risultano molto più elevati di quelli riportati in tabella 6.5.

6.6 Confronto con precedenti teorie

In questo paragrafo, viceversa, vogliamo confrontare i nostri dati con le relazioni proposte in passato da altri autori. Facendo riferimento al capitolo 2, riportiamo una tabella riassuntiva delle varie formule che utilizzeremo per fare il confronto, inserendovi, la dove è stato possibile, le condizioni al contorno dell'esperienza che ha portato alla realizzazione di tale legge.

Autori	Modello	i_0	d_{50} (mm)	t (cm)	γ_s (tonn/m ³)	formula
Rice,Kadavy (1998)	strato di riprap con overflow	0.025-0.227	52 ; 89	11.2-16.7	2.59-2.82	[2.32]
Codell,Abt (1990)	due strati filtranti	0.01-0.1	26-157	15.2;30.5	-	[2.32]
Abt,Ruff (1991)	rampa unico spessore	0.01-0.2	26-158	7.6-30.5	2.65	[2.34]
Faggioni (1999)	strato filtrante senza overflow	0.00008-24.8	0.54-127	40	-	[2.36]
Parkin (1963)	-	-	9.3-18.7	-	-	[2.35]
Wilkins (1956)	-	-	-	-	-	[2.26]
Martins (1990)	Re>250	-	-	-	-	[2.28]
Gent (1991)	strato filtrante senza overflow	-	31-61	50	-	[2.29]

Figura 6.126 tabella delle formule utilizzate per il confronto

Di seguito verranno inseriti i vari grafici con i nostri dati sperimentali correlati alle formule forniteci dalla letteratura.

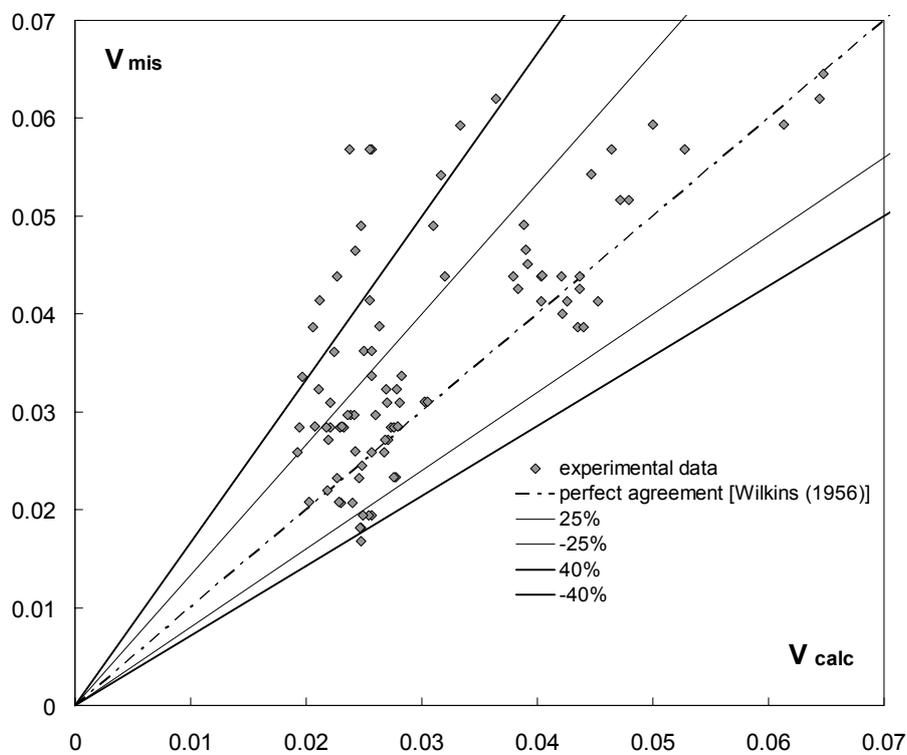


Figura 6.127 dati sperimentali e dati calcolati con Wilkins (1956)

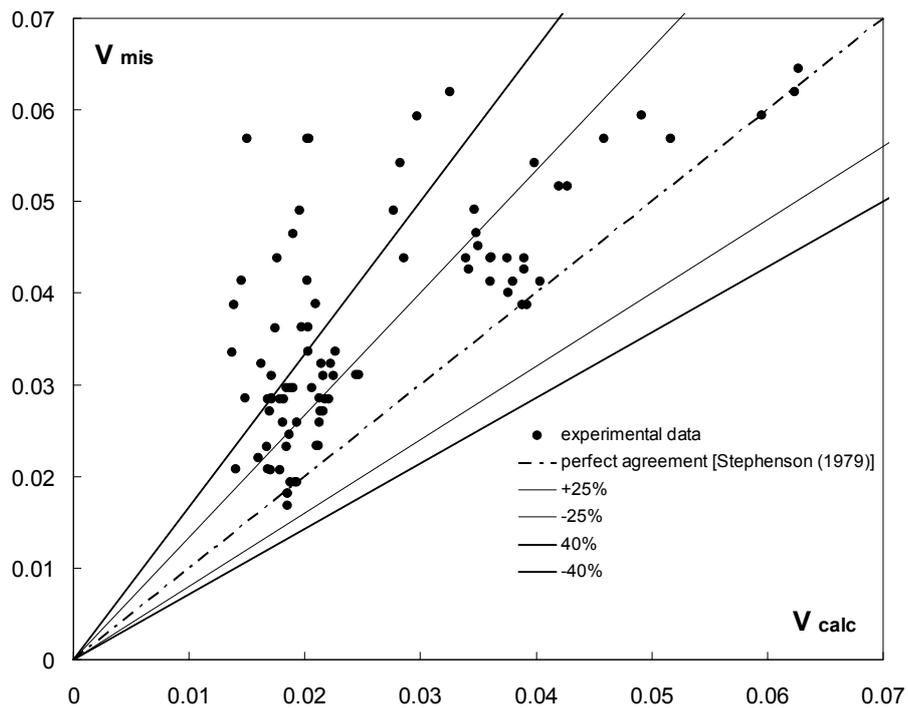


Figura 6.128 dati calcolati e dati misurati con Stephenson (1979)

Occorre sottolineare che i valori che escono fuori dall'intervallo del $\pm 40\%$ sono relativi alle velocità di filtrazione ottenute dai modelli con pendenza pari a 1V:8H.

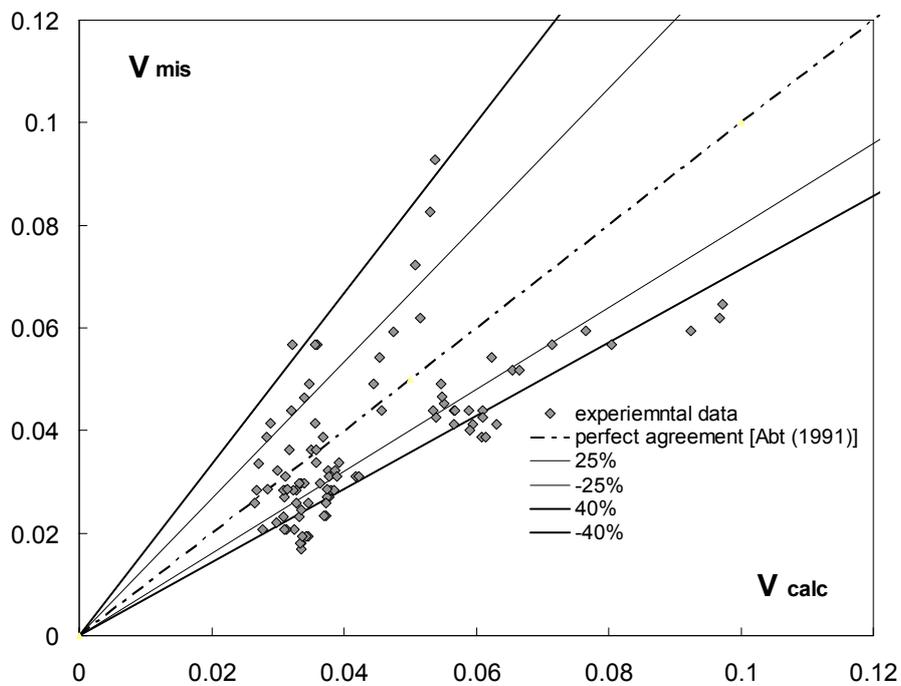


Figura 6.129 dati calcolati e dati misurati con Abt (1991)

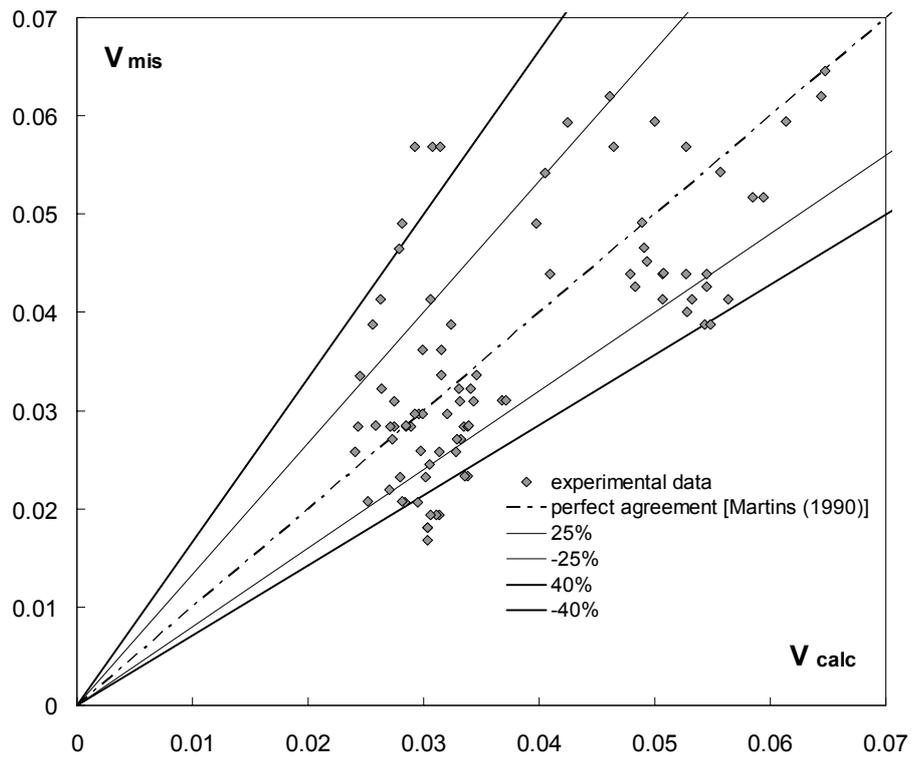


Figura 6.130 dati calcolati e dati misurati con Martins (1990)

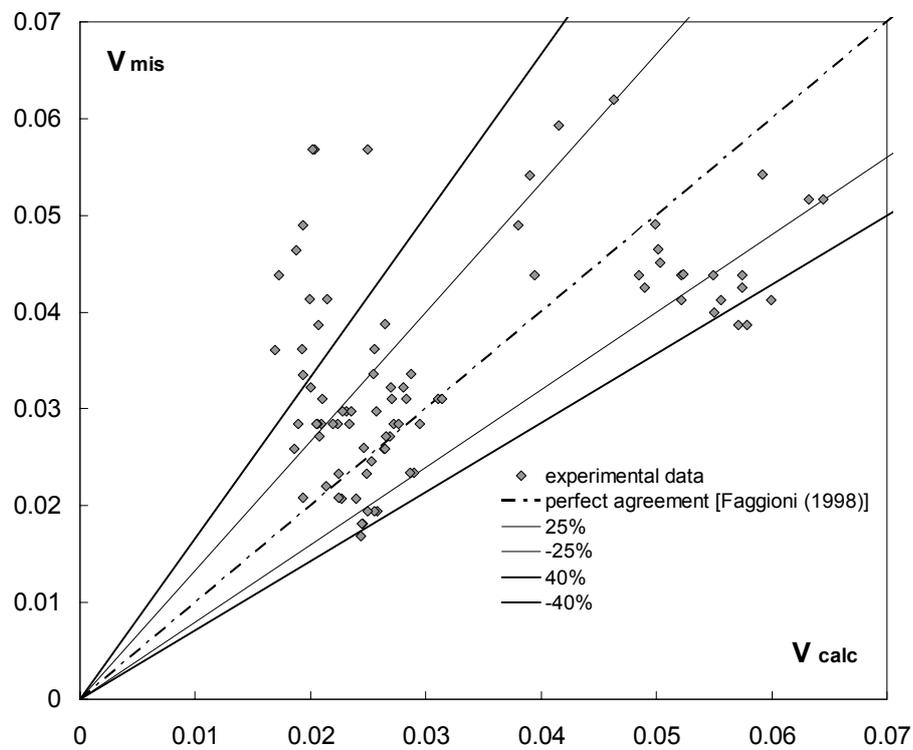


Figura 6.131 dati misurati e dati calcolati con Faggioni (1990)

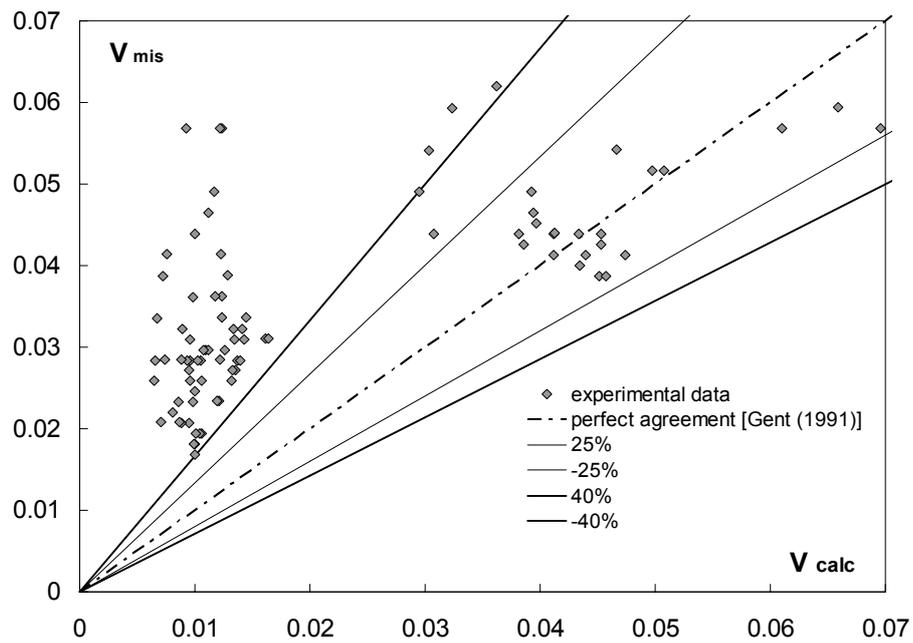


Figura 6.132 dati misurati e dati calcolati con Gent (1991)

Da questo grafico si nota come la relazione [2.29] tenda a sottostimare le velocità di filtrazione relative ai materiali di più piccola pezzatura.

È interessante riportare un grafico calcolato-misurato basato sulla relazione di Parkin (1963; Parkin et al. 1966):

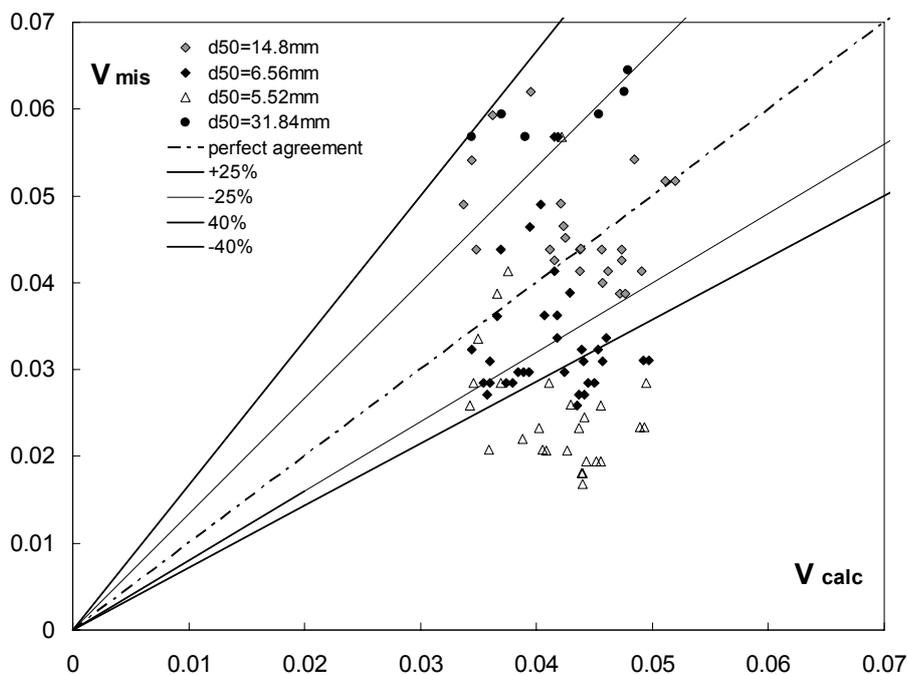


Figura 6.133 dati misurati e dati calcolati con la relazione di Parkin (1963)

L'autore ha ricavato la formula [2.35] effettuando studi su materiali di pezzatura variabile tra $\frac{3}{8} - \frac{3}{4}$ di in, ovvero materiali con un d_{50} compreso tra 9.3 mm e 18.7 mm. Dato che la relazione [2.35] non ha come variabile il diametro delle particelle dello strato filtrante, è obbligatorio confrontare i nostri risultati sperimentali utilizzando solamente quei materiali che rientrano nel range prima descritto. In conseguenza di quanto appena detto risulta chiaro che nella figura si ha un'ottima correlazione per il materiale con $d_{50} = 14.8$ mm, sufficientemente buona per il materiale con $d_{50} = 6.56$ mm, ed insufficiente per gli altri due materiali.

A conclusione di questo paragrafo si può dire che la maggior parte delle formule presenti in letteratura forniscono valori di velocità di filtrazione paragonabili a quelli che abbiamo ottenuto dalla nostra esperienza, e quindi possiamo dire che tali misure sono attendibili.

6.7 Analisi della dissipazione energetica

Andiamo adesso a valutare la dissipazione energetica sulla rampa in presenza di filtrazione, nella condizione al contorno di valle BC1. Iniziamo con la costruzione dello schema grafico e le relative espressioni dell'energia.

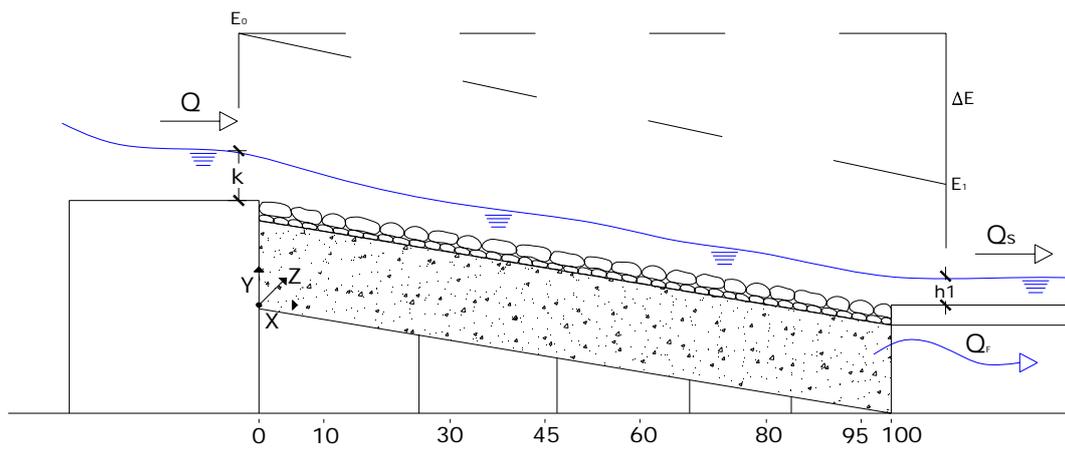


Figura 6.134 schema geometrico relativo all'energia lungo la rampa

dove E_0 è l'energia di monte della rampa

$$E_0 = H + \frac{3}{2} \cdot k$$

E_1 è l'energia al piede della rampa

$$E_1 = h_1 + \frac{Q_s^2}{B^2 \cdot h_1^2 \cdot 2g}$$

La dissipazione energetica viene calcolata come:

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = \frac{E_0 - E_1}{E_0}$$

dove:

- Q portata entrante totale
- Q_s portata superficiale a valle della rampa
- q portata per unità di larghezza ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)
- b larghezza del canale

- k altezza critica relativa alla portata Q
- h_1 tirante idrico al piede della rampa

La dissipazione energetica relativa viene graficata in funzione di k/H e confrontata con l'equazione Pagliara - Chiavaccini (2004), legge relativa a rampe che non sono soggette a filtrazione lungo il loro sviluppo, e che qui ricordiamo.

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = A + (1 - A)e^{(B+C_i_0)k/H} \quad [6.15]$$

Al fine di poter determinare i parametri A, B, C di tale legge [6.15] è stata verificata la condizione di sommergenza relativa dalle prove effettuate. Per fare ciò sono stati misurati gli spessori idrici sulla parte centrale della rampa, i quali sono stati ottenuti, sezione per sezione, come differenza tra la media dei punti rilevati per il pelo libero e la media dei punti rilevati per il fondo. Lo spessore idrico, a sua volta, viene determinato come valore medio di tutte le altezze idriche e poi moltiplicato per il coseno dell'angolo che la rampa forma con la verticale. Trovato tale spessore idrico è stato possibile verificare in quale condizione di flusso era la rampa utilizzando le tabelle successive.

Valore	h_s/d_{84}
Minimo	0,116
Massimo	0,859

tabella 6.7 valori mini e massimi dei dati sperimentali

Roughness condition	h_u/d_{84}
Large scale roughness (LR)	$h_u/d_{84} < 1,2$
Intermediate scale roughness (IR)	$1,2 < h_u/d_{84} < 4,0$
Small scale roughness (SR)	$h_u/d_{84} > 4,0$

tabella 6.8 condizioni di sommergenza

Come si evince dalle tabelle precedenti il range all'interno del quale varia il rapporto h_s/d_{84} , ottenuto da tutte le prove effettuati sui vari modelli, è

ampiamente < di 1,2 e quindi si può affermare di essere in condizione di flusso in larga sommergenza. Questo ci permette di poter determinare i parametri A, B, C come prima specificato.

Facendo sempre riferimento alla curva di Pagliara - Chiavaccini (2004) già citata e avendo valutato con prove specifiche la validità della stessa per il canale in oggetto, vediamo come si comporta una rampa in pietrame soggetta a filtrazione dal punto di vista energetico.

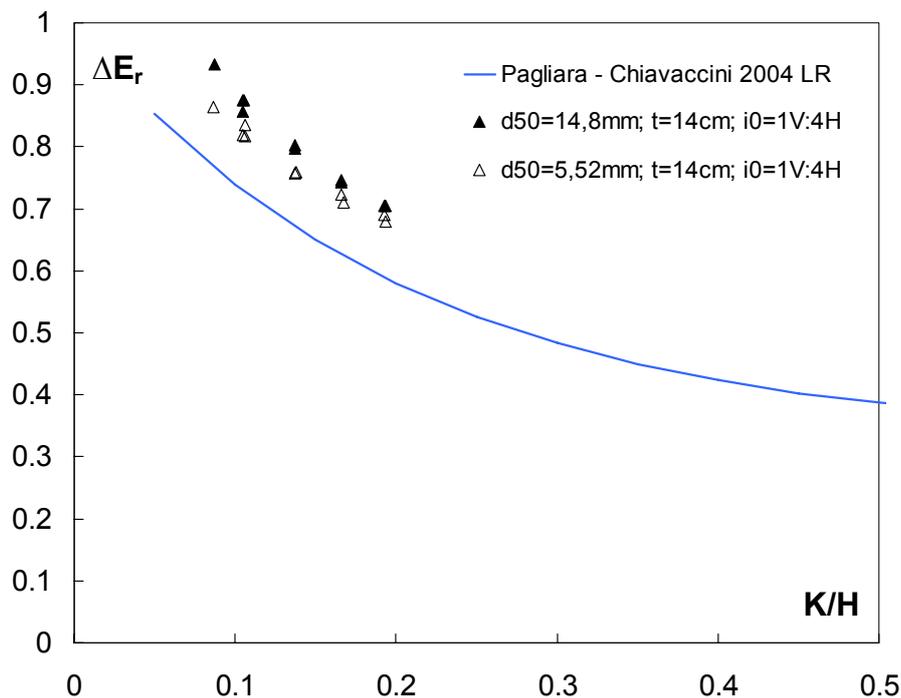


Figura 6.135 dissipazione energetica parametrizzata per il materiale di base

Il grafico appena riportato ci mostra due aspetti importanti: il primo riguarda lo scostamento dei punti sperimentali dalla curva [6.15] a causa del fenomeno della filtrazione che aumenta la dissipazione energetica prodotta dalla rampa, mentre il secondo aspetto ci mostra come la dissipazione energetica aumenta laddove il materiale di base aumenta la sua granulometria, proprio a causa dell'incremento della portata filtrata. Questo avviene sia per la pendenza 1V:4H (a cui la figura fa riferimento) che anche per le altre pendenze.

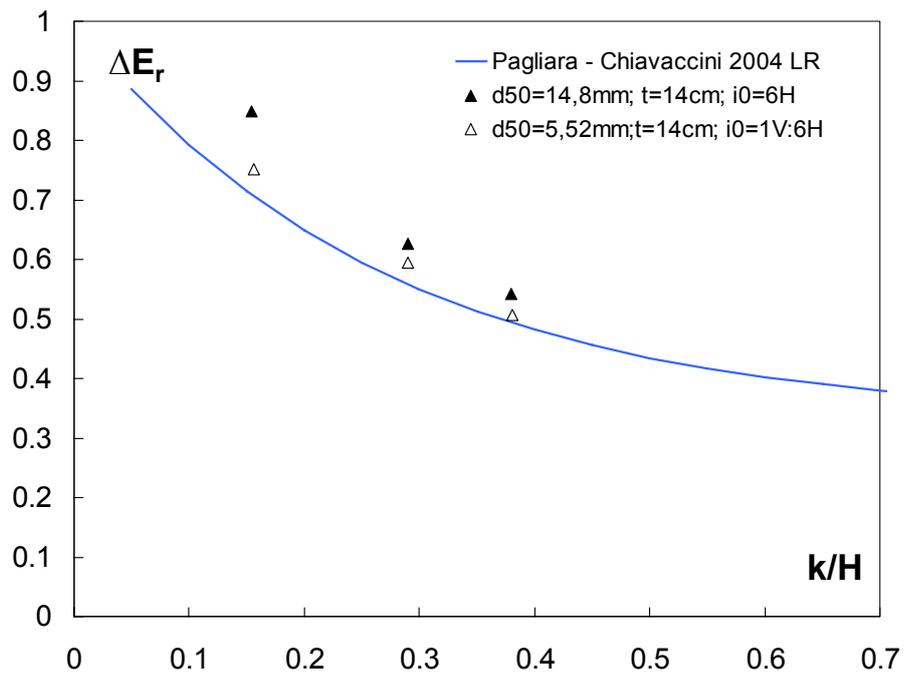


Figura 6.136 dissipazione energetica parametrizzata per il materiale di base

Occorre sottolineare inoltre che i punti sperimentali tendono ad avvicinarsi alla curva all'aumentare della portata entrante perché in questi casi diventa trascurabile l'effetto della filtrazione e quindi il modello si comporta, ai fini energetici, come una rampa impermeabile.

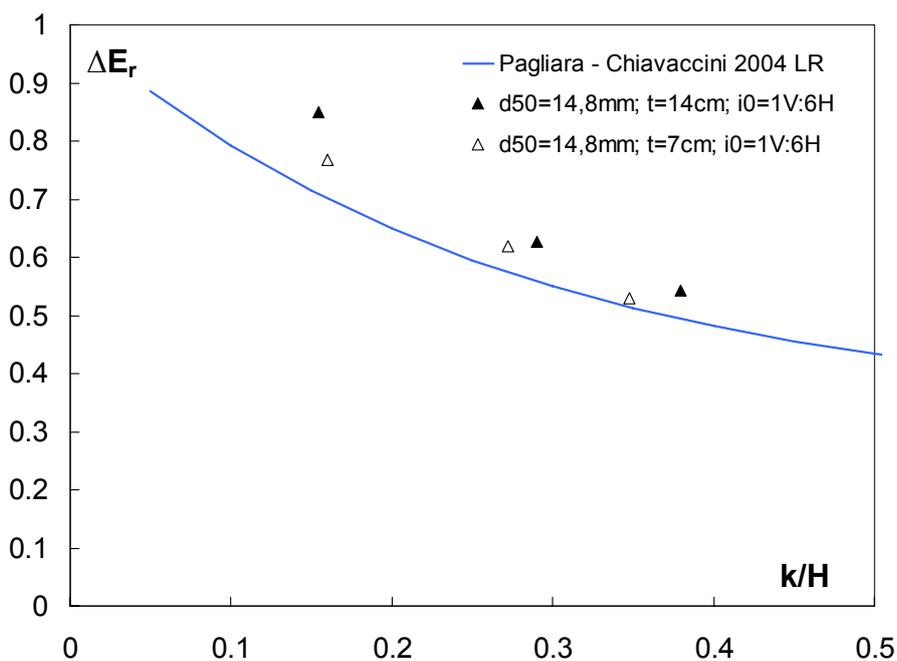


Figura 6.137 dissipazione energetica parametrizzata per lo spessore t

Stesso discorso può essere fatto quando si mettono a confronto i risultati di rampe con spessore dello strato di base diverso: la dissipazione energetica aumenta dove lo spessore è maggiore sempre per il fatto che la quantità di portata filtrata è aumentata. Per maggiore chiarezza si riporta anche il grafico relativo al materiale M3, che avendo un d_{50} molto piccolo fa risentire meno dell'effetto della presenza dello strato permeabile (infatti i punti sperimentali si trovano sulla curva [6.15]) e della variazione di spessore.

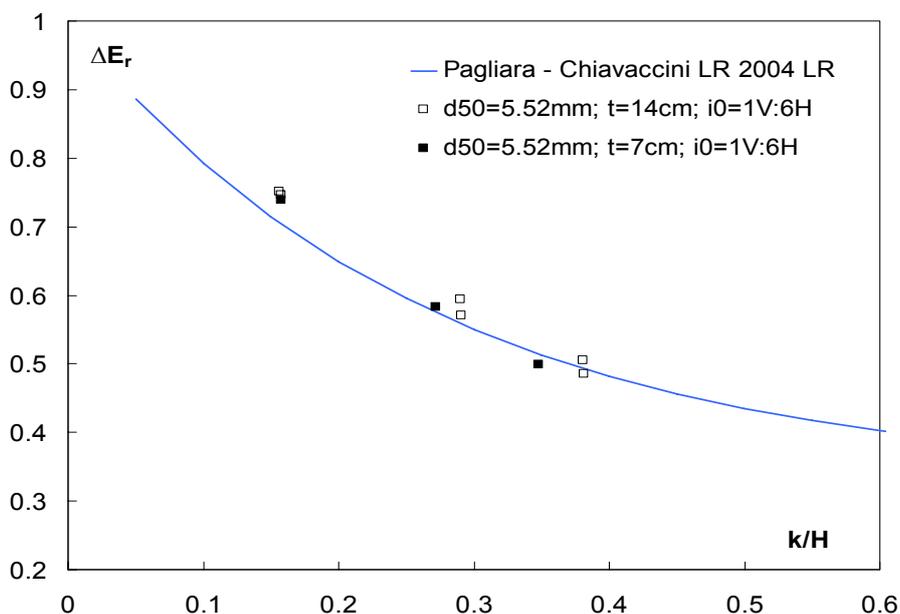


Figura 6.138 dissipazione energetica parametrizzata per lo spessore t

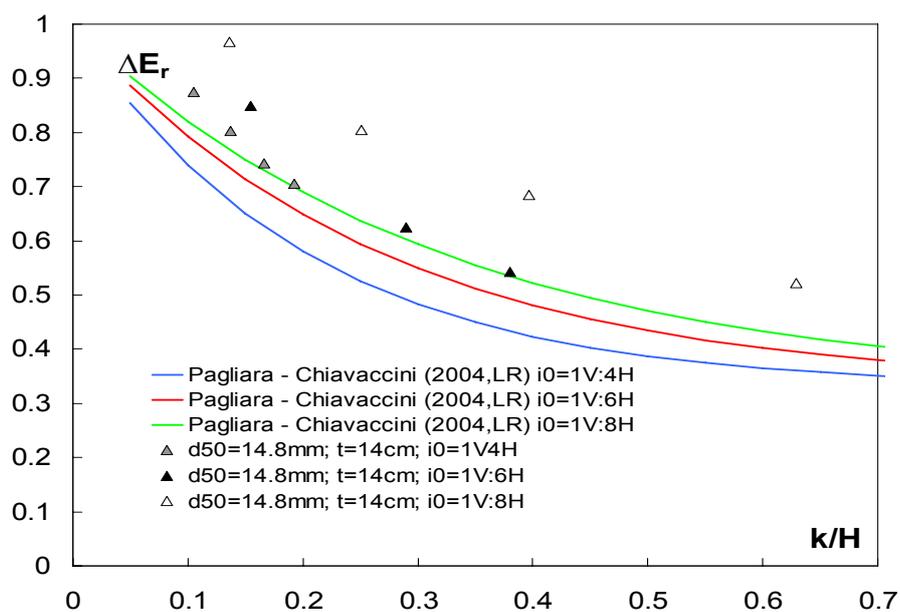


Figura 6.139 dissipazione energetica parametrizzata per la pendenza i_0

Sempre in accordo con quanto detto per la percentuale di filtrazione, anche la dissipazione diminuisce all'aumentare della pendenza della rampa, a parità di materiale di base e di spessore.

Per concludere questa prima parte, si riporta un grafico che ci conferma quanto già detto nel capitolo 5, ovvero che la dissipazione energetica, così come la percentuale di filtrazione, non risentono della variazione del D_{50} dello strato superficiale della rampa.

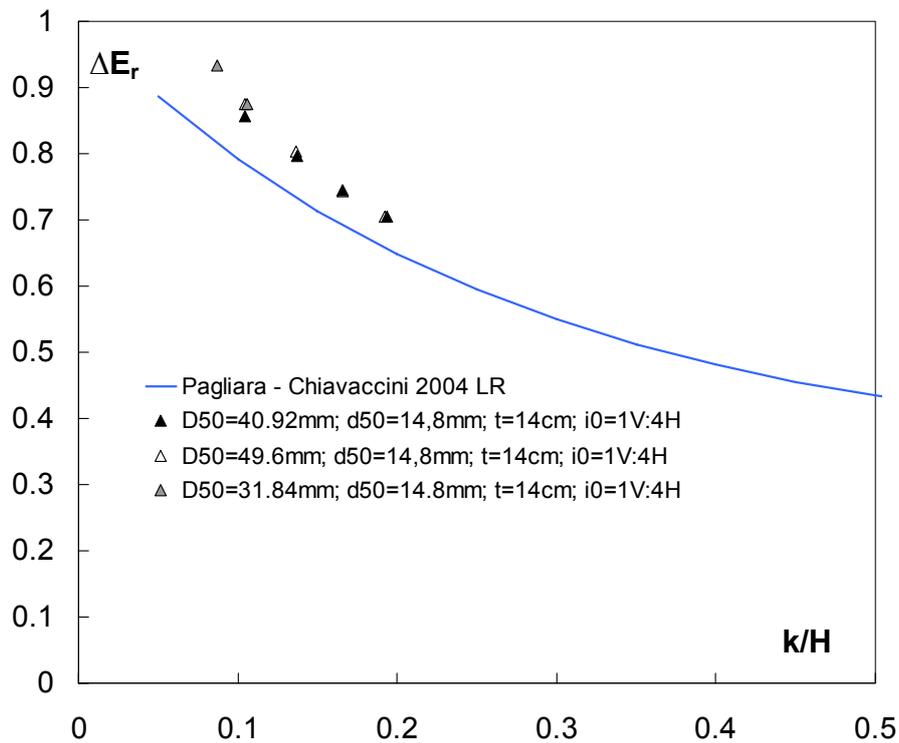


Figura 6.140 dissipazione energetica parametrizzata per il D_{50}

6.7.1 Calcolo del parametro ψ

Come abbiamo visto dalla descrizione qualitativa del fenomeno della dissipazione energetica, i punti sperimentali trovati si posizionano, qualunque sia il materiale di base, lo spessore o la pendenza, al di sopra della curva di Pagliara - Chiavaccini (2004). Quello che vogliamo determinare è un parametro (Ψ) in grado di quantificarci lo scostamento che esiste tra i valori misurati in presenza di filtrazione e quelli calcolati con la [6.15], cioè quando la filtrazione è assente.

Definiamo alcune grandezze che verranno utilizzate in seguito:

$$\Psi = \Delta E_r'(mis) - \Delta E_r \quad [6.16]$$

dove

- $\Delta E_r'(mis)$ rappresenta il valore della dissipazione energetica relativa misurata sperimentalmente in presenza di filtrazione (relativa alla portata entrante totale, k)
- ΔE_r rappresenta il valore della dissipazione energetica relativa calcolata con la [6.15] in assenza di filtrazione, relativa anch'essa alla portata entrante totale, k).

Il parametro ψ è stato messo in funzione del rapporto k/t e del d_{50} del materiale di base, ottenendo, ad esempio per la pendenza 1V:6H, il seguente grafico:

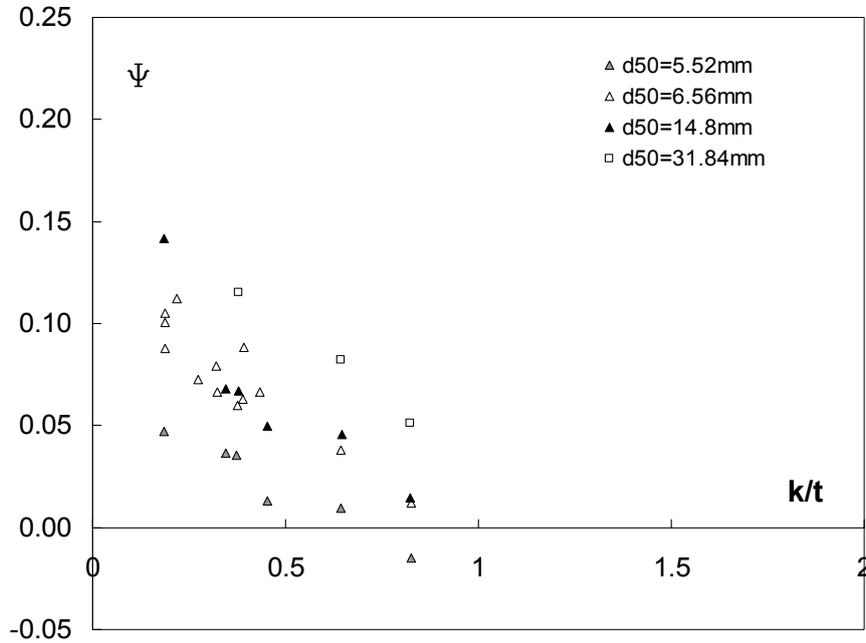


Figura 6.141 ψ in funzione di k/t parametrizzato per il d_{50}

Le curve che approssimano al meglio i punti sperimentali sono del tipo $y = Ae^{-Bx}$, e quindi dobbiamo andare a determinare i valori di A e di B in funzione del d_{50} .

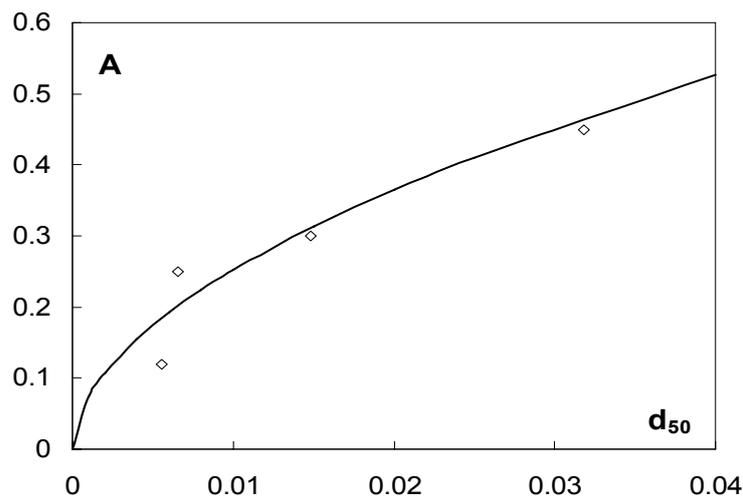


Figura 6.142 parametro A in funzione di d_{50}

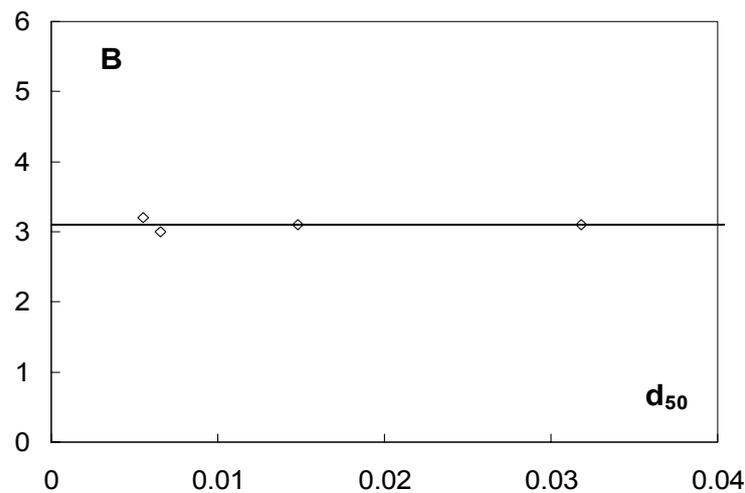


Figura 6.143 parametro B in funzione di d_{50}

Le relazioni che legano i due parametri con il d_{50} sono:

$$A = 2.9d_{50}^{0.53} \quad \text{e} \quad B = \text{cost} = 3.1.$$

L'andamento del coefficiente A risponde a delle esigenze ben precise: deve crescere all'aumentare del valore del diametro del materiale, in modo tale da fornire valori di ψ sempre maggiori, come logica conseguenza dell'aumento della portata filtrata.

Si può scrivere l'equazione di ψ calcolato, relativo ad una fissata pendenza (in questo caso 1V:6H), nel modo seguente:

$$\Psi = (2.9d_{50}^{0.53})e^{-3.1\left(\frac{k}{t}\right)}.$$

Il grafico successivo mostra l'applicazione della precedente relazione ai punti sperimentali rilevati.

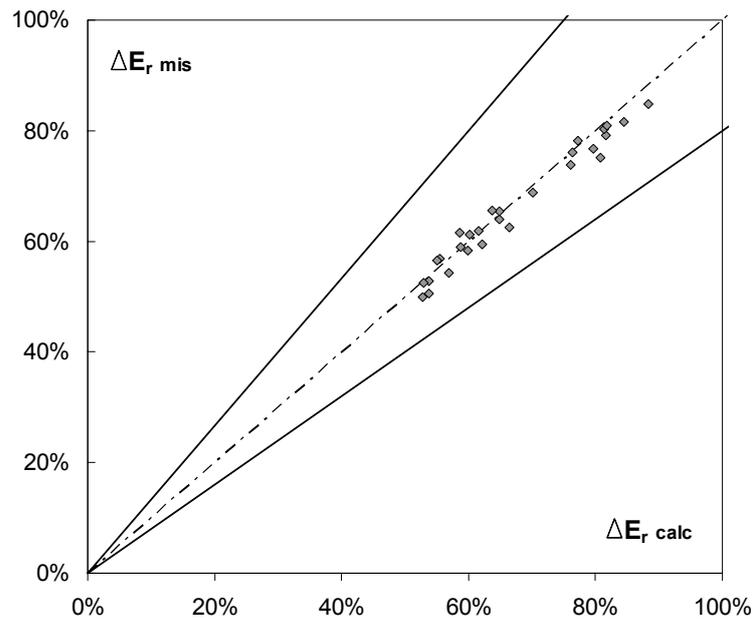


Figura 6.144 correlazione dati misurati e dati calcolati

Ripetendo le operazioni fatte nelle pagine precedenti anche per le altre pendenze (1V:8H e 1V:4H), possiamo passare alla correlazione di tutti i parametri A e B delle curve rispetto sia del d_{50} che alla pendenza della rampa i_0 . Dato che

$$A = f(d_{50}; i_0) \quad \text{e} \quad B = f(i_0)$$

si ottiene

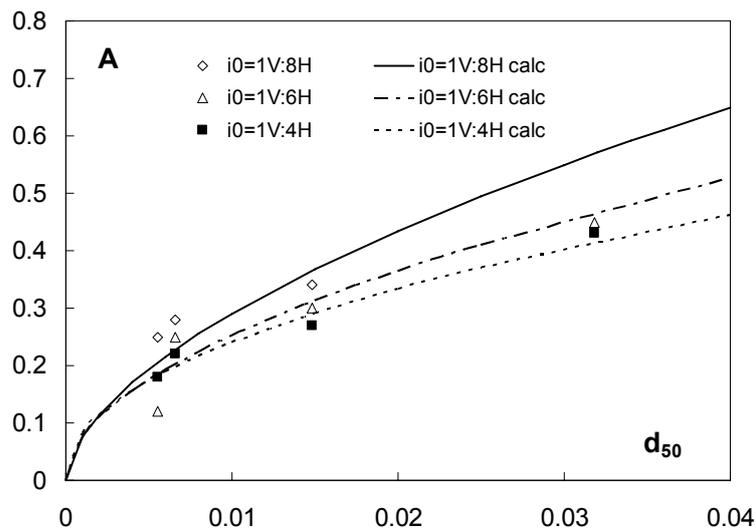


Figura 6.145 parametro A in funzione di i_0

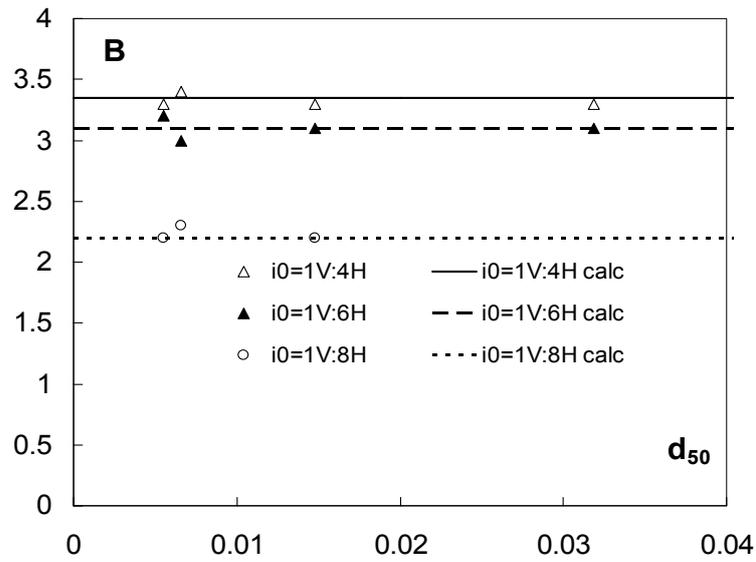


Figura 6.146 parametro B in funzione di i_0

Le relazioni che approssimano i punti sperimentali sono del tipo

$$A = m d_{50}^{-n} \quad \text{e} \quad B = \text{cost} = q.$$

A questo punto occorre indagare il legame che intercorre tra i coefficienti m , n e q con la pendenza della rampa.

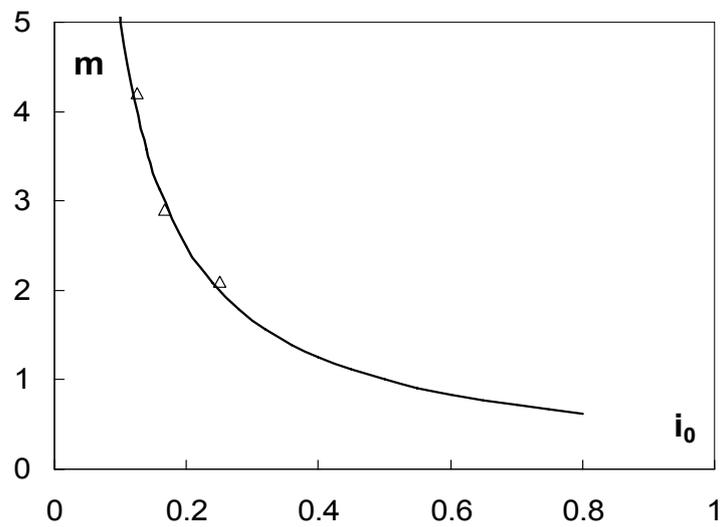


Figura 6.147 coefficiente m in funzione di i_0

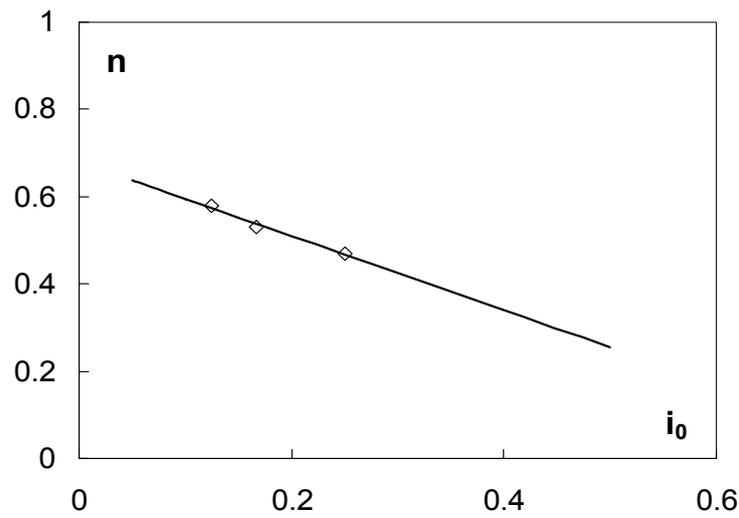


Figura 6.148 coefficiente n in funzione di i_0

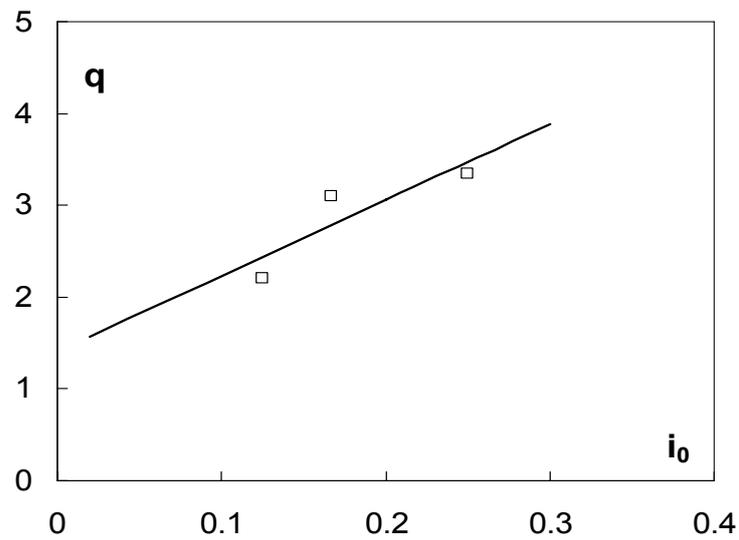


Figura 6.149 coefficiente q in funzione di i_0

Per cui si ottiene

$$m = \frac{0.5}{i_0} \quad , \quad n = (-0.85i_0 + 0.68) \quad \text{e} \quad q = 8.3i_0 + 1.4.$$

La scelta di una curva iperbolica per il coefficiente m è stata dettata dal fatto che il parametro A , e di conseguenza ψ , devono tendere a zero quando la pendenza assume valori infinitamente grandi, dato che la portata filtrata si annulla e quindi non deve esservi scostamento tra il valore di dissipazione energetica calcolato con la [6.15] e quello misurato.

Infine si possono esprimere i parametri A e B nel modo seguente:

$$A = \left(\frac{0.5}{i_0} \right) d_{50}^{(-0.85+0.68)} , \quad B = 8.3i_0 + 1.4 .$$

Tale elaborazione ha portato alla equazione descritta qui sotto nella quale si lega il parametro Ψ con il d_{50} del materiale, con il rapporto k/t e con la pendenza della rampa.

$$\Psi = \left[\left(\frac{0.5}{i_0} \right) d_{50}^{(-0.85i_0+0.68)} \right] e^{-(8.3i_0+1.4)\left(\frac{k}{t}\right)} . \quad [6.17]$$

con d_{50} espresso in metri.

La legge sopra menzionata mostra un'ottima correlazione con i dati sperimentali raccolti come mostrato dal grafico successivo.

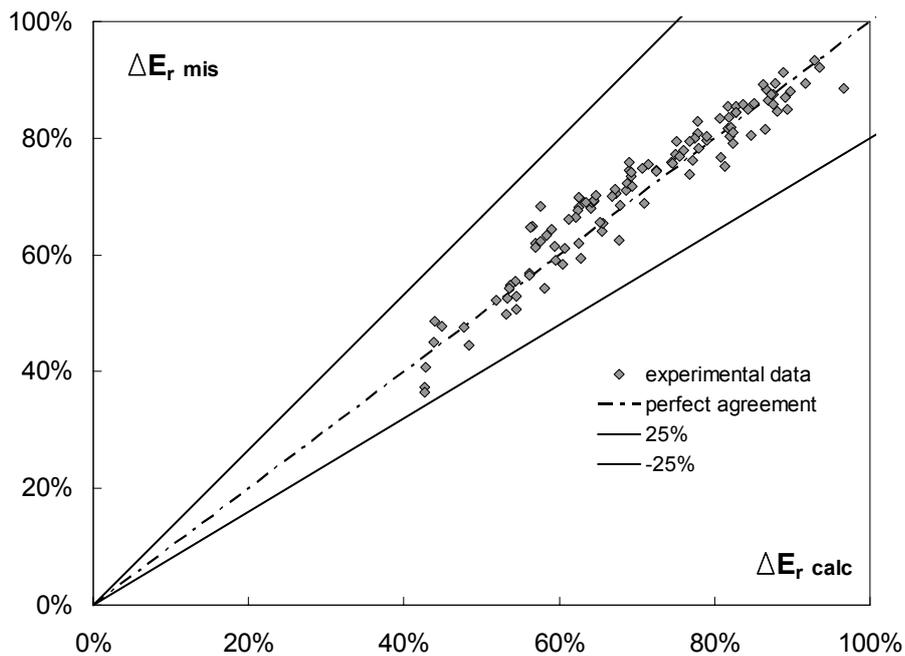


Figura 6.150 correlazione dati sperimentali e dati calcolati con la [6.16]

A questo punto possiamo disegnare le curve calcolate con la [6.17] ed affiancarle ai punti sperimentali.

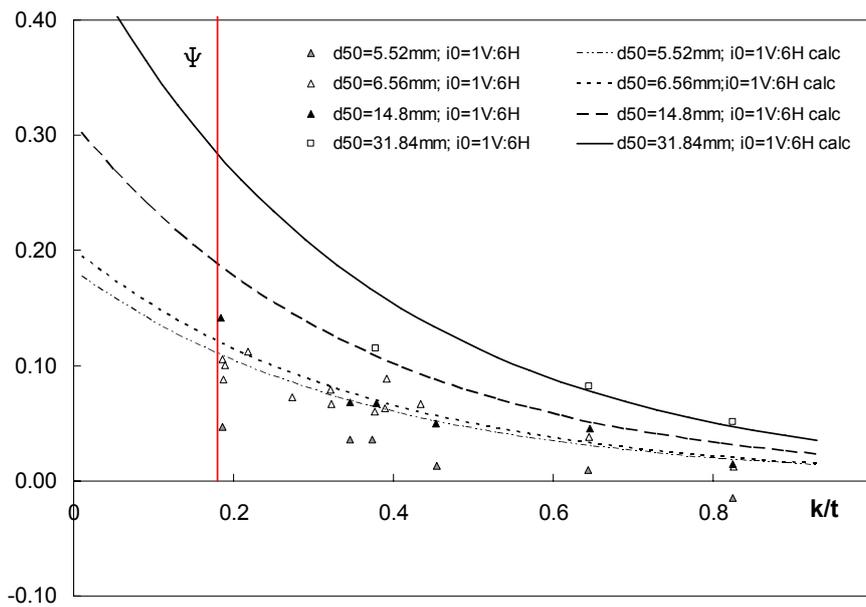


Figura 6.151 parametro Ψ in funzione di k/t (1V:6H)

Con la linea in rosso si è segnato il limite inferiore raggiunto dal parametro k/t , e si è imposto che le curve in tale punto debbano essere arrestate. Il motivo di tale accorgimento è dovuto al fatto che l'equazione [6.17], per $k/t = 0$, fornisce comunque dei valori di $\Psi \neq 0$, ma sappiamo che per portate in entrata nulle o spessori infinitamente grandi, tale parametro dovrà essere nullo.

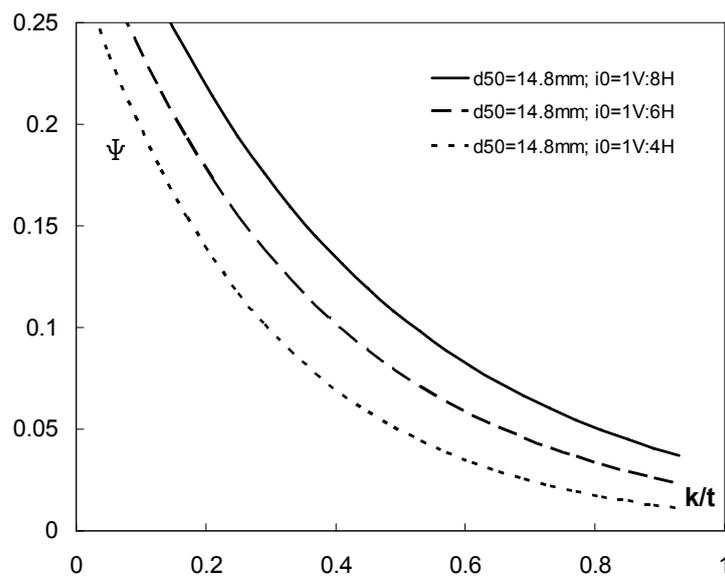


Figura 6.152 Ψ parametrizzato per la pendenza

Il grafico ci mostra come il parametro ψ diminuisca all'aumentare della pendenza, mentre la figura successiva mette in evidenza l'incremento di ψ verso diametri maggiori e come tale effetto si risenta maggiormente alle basse portate o con spessori più grandi (cioè per bassi valori di k/t); viceversa per spessori molto piccoli ψ tende a zero dato che lo strato permeabile diventa trascurabile e la dissipazione energetica segue la [6.15].

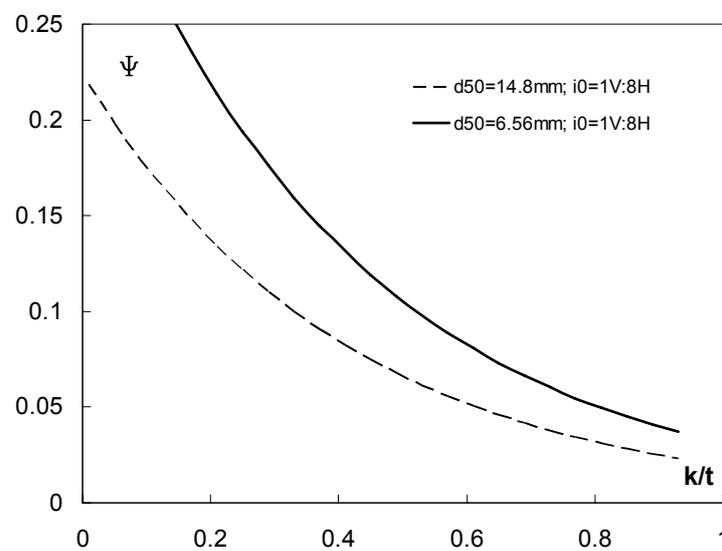


Figura 6.153 ψ parametrizzato per il d_{50}

È interessante arrivati a questo punto, riportare un grafico in cui inserire i valori di dissipazione energetica misurata e i valori

$$\Delta E_r(\text{calc}) = \Delta E_r'(\text{mis}) - \Psi(\text{calc}).$$

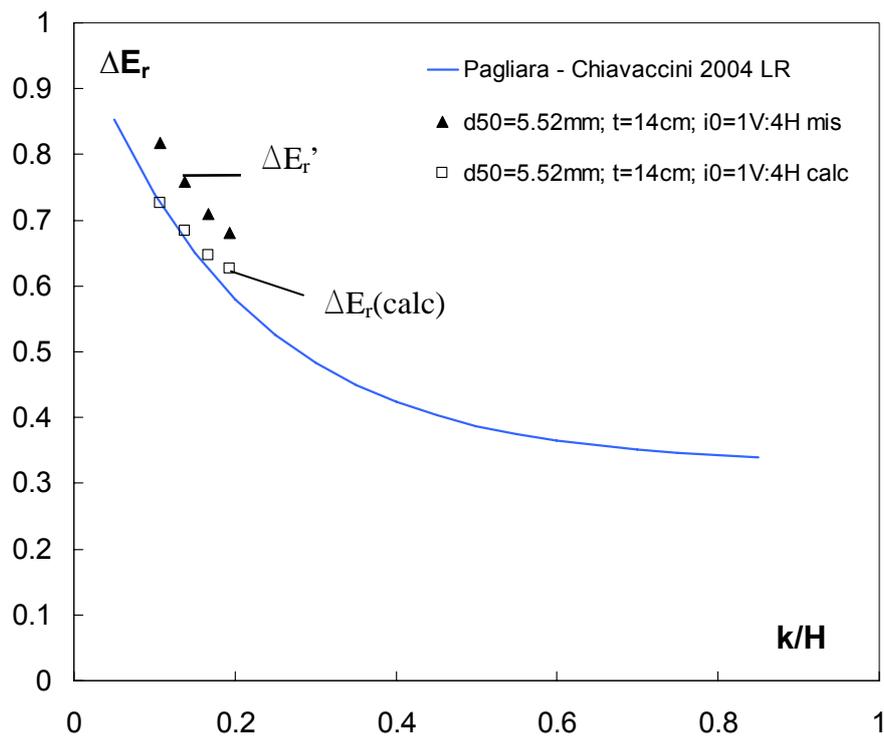


Figura 6.154 dissipazione energetica in funzione di k/H

Come ci aspettavamo i punti tendono a disporsi sulla curva Pagliara - Chiavaccini (2004), come se la rampa non fosse soggetta a filtrazione.

Grazie alla relazione [6.17], una volta nota la portata entrante (e quindi k), lo spessore t dello strato filtrante, il relativo d_{50} e la pendenza della rampa, saremo in grado di stimare il valore della dissipazione energetica relativa che una rampa, soggetta al fenomeno della filtrazione, produce, semplicemente sommando ψ all'equazione [6.15].

6.7.2 Ipotesi di portata superficiale costante sopra la rampa

Per riuscire a capire quale è il funzionamento energetico di una rampa in massi soggetta anche al fenomeno della filtrazione, è necessario capire qual è l'andamento della portata superficiale che scorre sopra la rampa, questo perché, sempre facendo riferimento alla curva Pagliara - Chiavaccini (2004), vogliamo capire come eventualmente modificare tale formulazione per adeguarla al caso in esame.

Una delle ipotesi che è stata fatta è quella di pensare che la portata che scorre al di sopra della rampa sia costante e pari alla portata superficiale, ottenuta come differenza tra la portata totale entrante e la portata di filtrazione misurata all'uscita del canale. Per cui introduciamo adesso i parametri relativi a questa ipotesi:

$$Q_s = Q - Q_F \quad \text{portata superficiale}$$

$$k_s = \sqrt[3]{\frac{Q_s^2}{b^2 \cdot g}} \quad \text{altezza critica a monte della rampa riferita alla portata superficiale}$$

$$h_s \quad \text{tirante idrico medio sulla rampa}$$

$$U_s = \frac{Q_s}{b \cdot h_s} \quad \text{velocità superficiale media della corrente}$$

$$R_{es} = \frac{U_s \cdot d_{50}}{\nu} \quad \text{numero di Reynolds del granulo}$$

$$E_{0s} = H + \frac{3}{2} \cdot k_s \quad \text{energia a monte della rampa}$$

$$E_1 = h_1 + \frac{Q_s^2}{b^2 \cdot h_1^2 \cdot 2g} \quad \text{energia al piede della rampa}$$

$$\Delta E_r = \frac{E_{0s} - E_1}{E_{0s}} \quad \text{dissipazione energetica.}$$

Proponiamo di nuovo la curva Pagliara - Chiavaccini introducendo però come ascissa k_s/H ; nel grafico k/H si riferisce alla portata totale entrante mentre k_s/H si riferisce all'altezza critica della portata superficiale in base all'ipotesi fatta.

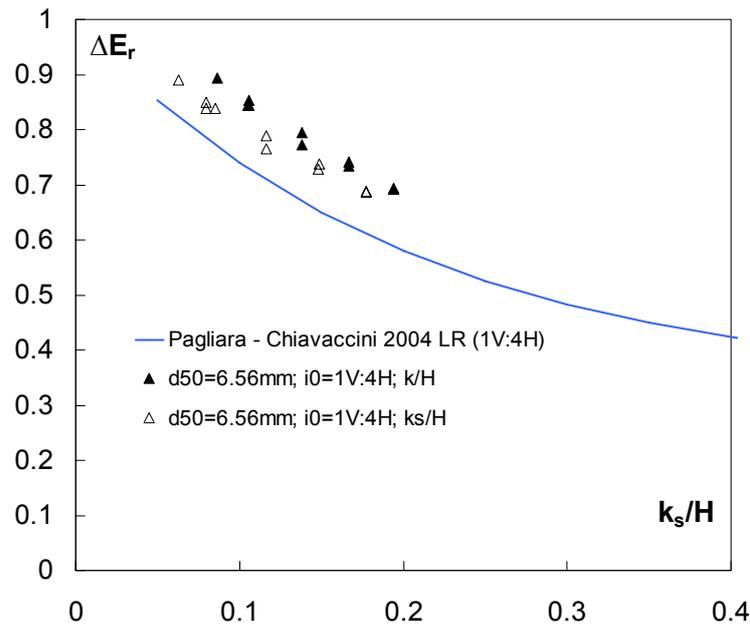


Figura 6.155 dissipazione energetica in funzione di k/H e k_s/H (1V:4H,M2)

Si nota come i dati sperimentali che fanno riferimento al rapporto k_s/H siano più vicini alla curva rispetto ai punti relativi al parametro k/H . La stessa cosa si verifica anche per gli altri materiali utilizzati per costituire lo strato poroso, e per le altre pendenze, come mostrato dai grafici seguenti.

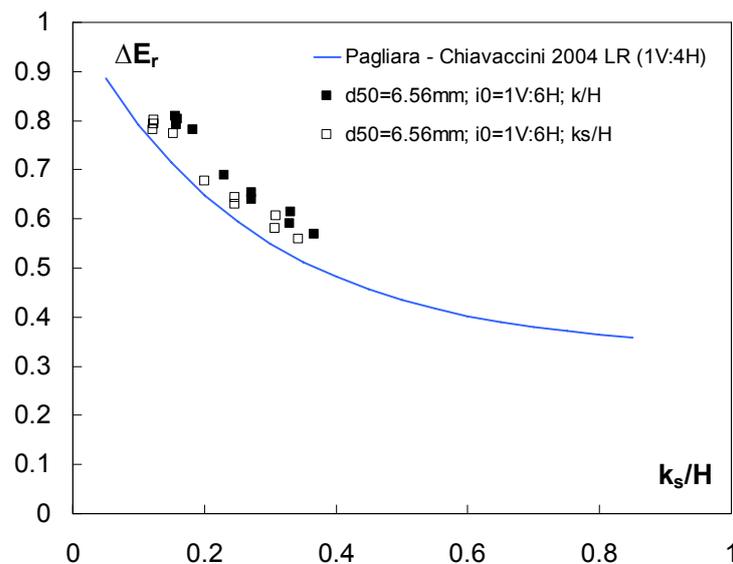


Figura 6.156 dissipazione energetica in funzione di k/H e di k_s/H (1V:6H;M2)

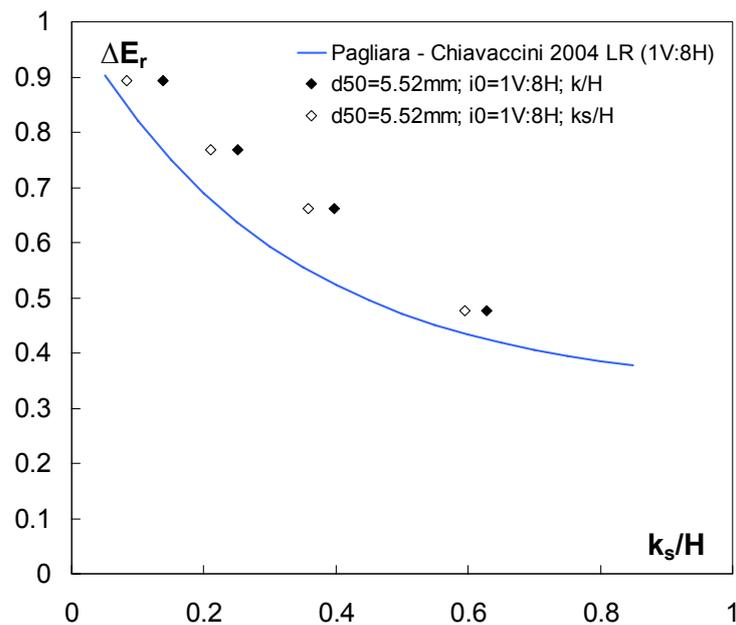


Figura 6.157 dissipazione energetica in funzione di k/H e di k_s/H (1V:8H;M3)

Da una prima analisi del fenomeno dal punto di vista energetico, come avevamo già notato nella precedente trattazione, abbiamo una maggiore dissipazione energetica rispetto alla formula Pagliara - Chiavaccini (2004) dovuta ai moti di filtrazione presenti nella rampa. Possiamo adesso quantificare questa differenza introducendo un nuovo parametro (sempre nell'ipotesi di portata superficiale costante al di sopra della rampa e pari a Q_s):

- ΔE_r dissipazione energetica in assenza di filtrazione
- $\Delta E_r'$ dissipazione energetica in presenza di filtrazione (riferita a k_s)
- $\Delta = \Delta E_r' - \Delta E_r$

Riprendendo l'equazione [6.15] possiamo introdurre il nuovo parametro:

$$\Delta E_r' = \frac{\Delta E}{E_0} = \Delta + A + (1 - A) \cdot e^{(B+C \cdot S) \cdot k_s / H}$$

La fase successiva ha previsto l'analisi del fattore Δ .

Poniamo la nostra incognita in funzione del numero di Reynolds superficiale, perché il parametro che interessa è la velocità dello strato superficiale, la quale è modificata dal processo di filtrazione, parametrizzata per lo spessore del materiale:

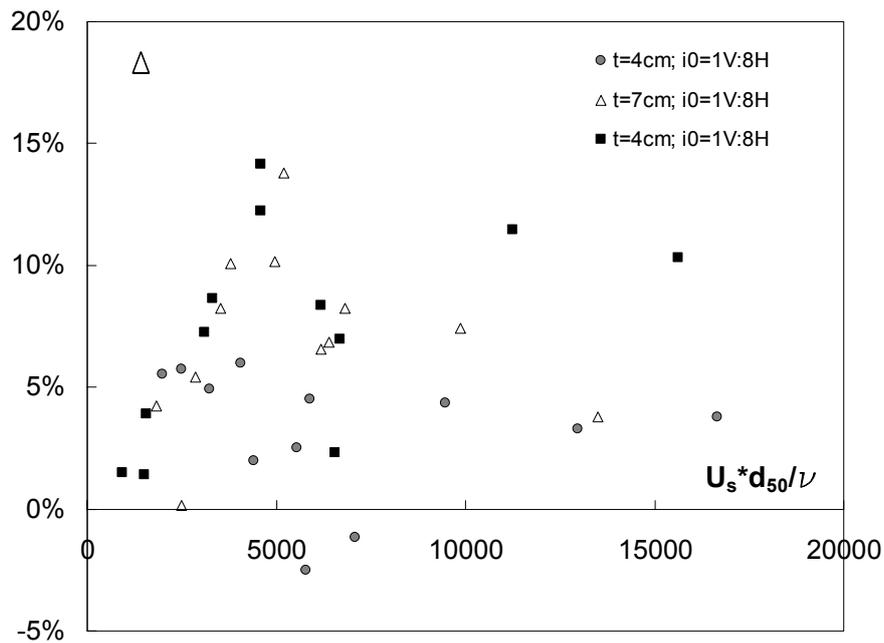


Figura 6.158 parametro Δ in funzione di R_{es} parametrizzato per lo spessore t (1V:8H)

Il grafico fa riferimento ai modelli che hanno la pendenza della rampa pari 1V:8H. Tracciando delle curve del tipo $y = a - ae^{-bx}$, in cui la x rappresenta il numero di Reynolds definito all'inizio del paragrafo, si ottiene una buona correlazione con i punti sperimentali trovati. È stata poi cercata una relazione che lega il parametro a di tali curve con il parametro t mentre il parametro b è rimasto costante; nei grafici seguenti vengono mostrate queste relazioni:

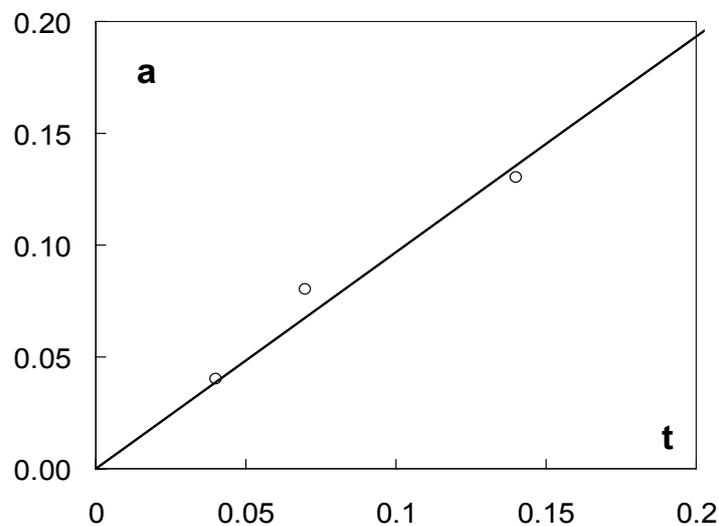


Figura 6.159 parametro a in funzione di t

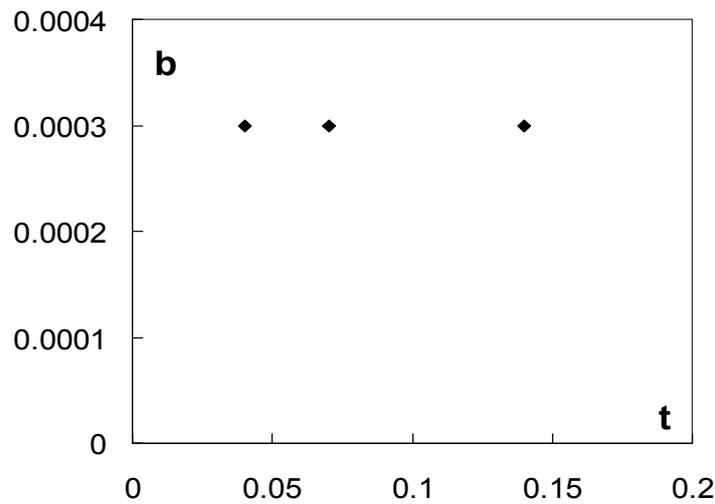


Figura 6.160 parametro b in funzione di t

da cui si ottiene

$$a = 0.97t \quad \text{e} \quad b = \cos t = 3 \cdot 10^{-4}$$

e così si può scrivere

$$\Delta = 0.97t - \frac{0.97t}{e^{(0.0003 \cdot U_s \cdot d_{50} / \nu)}}$$

Nel grafico seguente vengono inserite le curve ottenute dall'equazione prima scritta, ognuna relativa al proprio spessore:

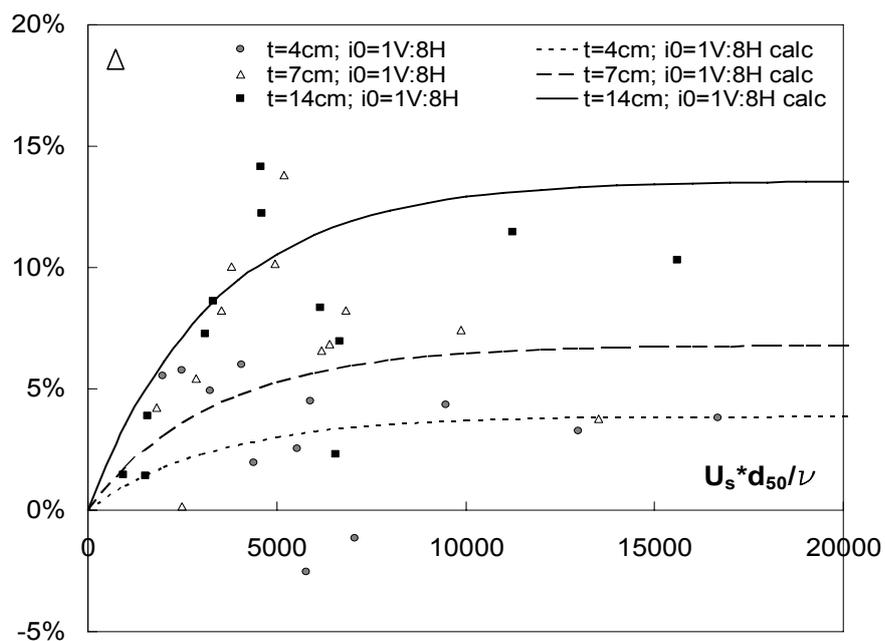


Figura 6.161 Δ in funzione di Re_s con curve calcolate

Analizzando l'andamento del parametro Δ si nota che questo tende a zero quando lo spessore del materiale tende a zero poiché in questa circostanza non avremmo filtrazione e quindi i punti sperimentali rispetterebbero la curva Pagliara - Chiavaccini (2004).

In definitiva l'equazione Pagliara - Chiavaccini (2004), modificata rispetto alla filtrazione, risulta essere per la pendenza 1V:8H:

$$\Delta E_r' = 0.97t - \frac{0.97t}{e^{(0.0003 \cdot U_s \cdot d_{50}/v)}} + A + (1-A) \cdot e^{(B+C_i_0) \cdot k_s/H}.$$

Proponiamo adesso la correlazione tra i dati sperimentali e quelli calcolati con la precedente equazione:

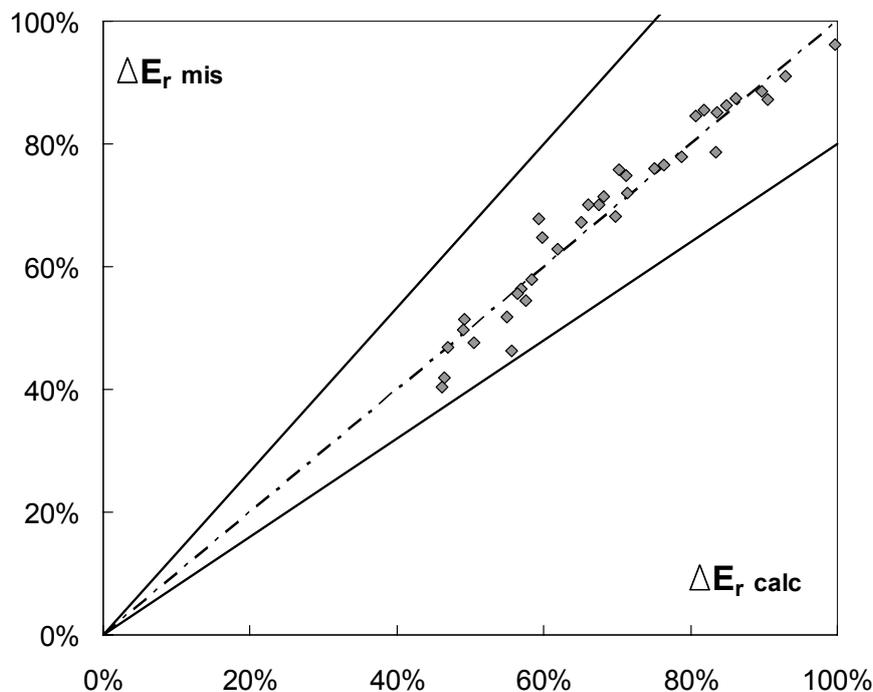


Figura 6.162 correlazione dati sperimentali e dati calcolati (1V:8H)

Questo tipo di elaborazione è stata estesa anche ai modelli che hanno una pendenza della rampa pari sia a 1V:6H che 1V:4H, e di seguito vengono riportate le correlazioni di tutti i parametri a e b delle curve rispetto alla pendenza i_0 .

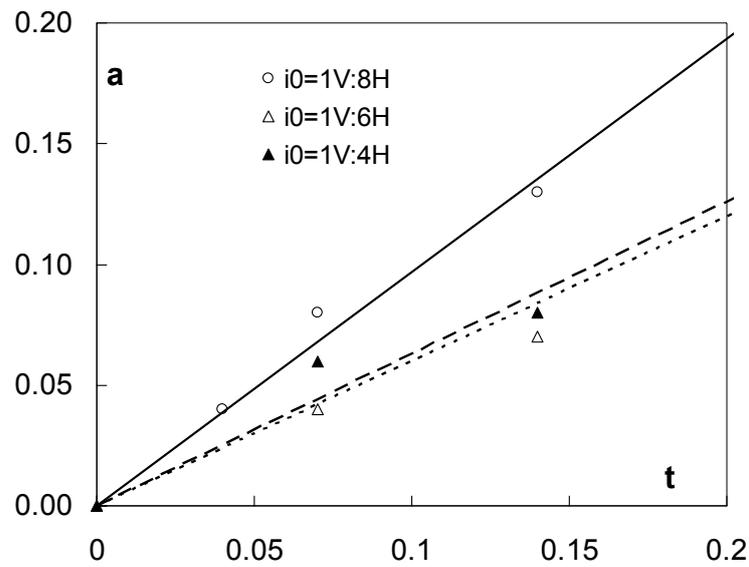


Figura 6.163 coefficiente a parametrizzato rispetto alla pendenza della rampa

Come si può notare il parametro a aumenta con il diminuire della pendenza della rampa, come mostrano le rette che interpolano i punti misurati, questo perché per pendenze minori si hanno dissipazioni energetiche maggiori, e quindi Δ maggiori, coerentemente con ciò che era già stato messo in evidenza da grafici precedenti.

Essendo $a = f(t, i_0) = mt$ si ottiene

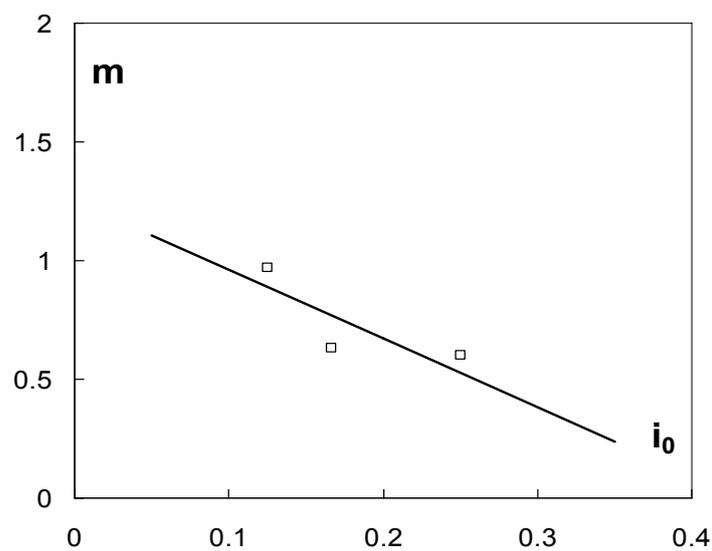


Figura 6.164 coefficiente m in funzione di i_0

Per cui $a = (-2.9i_0 + 1.25)t$.

Per quanto riguarda il parametro b , esso rimane costante e pari a 0,0003 anche nell'analisi delle altre pendenze; detto questo si può scrivere l'equazione finale che mette in relazione il parametro Δ in funzione dello spessore t dello strato filtrante, del numero di Reynolds del granulo e della pendenza:

$$\Delta = (-2.9i_0 + 1.25)t - \frac{(-2.9i_0 + 1.25)t}{e^{(0.0003 \cdot U_s \cdot d_{50} / \nu)}} \quad [6.18]$$

con t espresso in metri.

In definitiva l'equazione Pagliara - Chiavaccini (2004) può essere modificata nel seguente modo:

$$\Delta E_r' = (-2.9i_0 + 1.25)t - \frac{(-2.9i_0 + 1.25)t}{e^{(0.0003 \cdot U_s \cdot d_{50} / \nu)}} + A + (1 - A) \cdot e^{(B+C i_0) \cdot k_s / H} \quad [6.19]$$

Proponiamo adesso la correlazione con tutti i dati sperimentali:

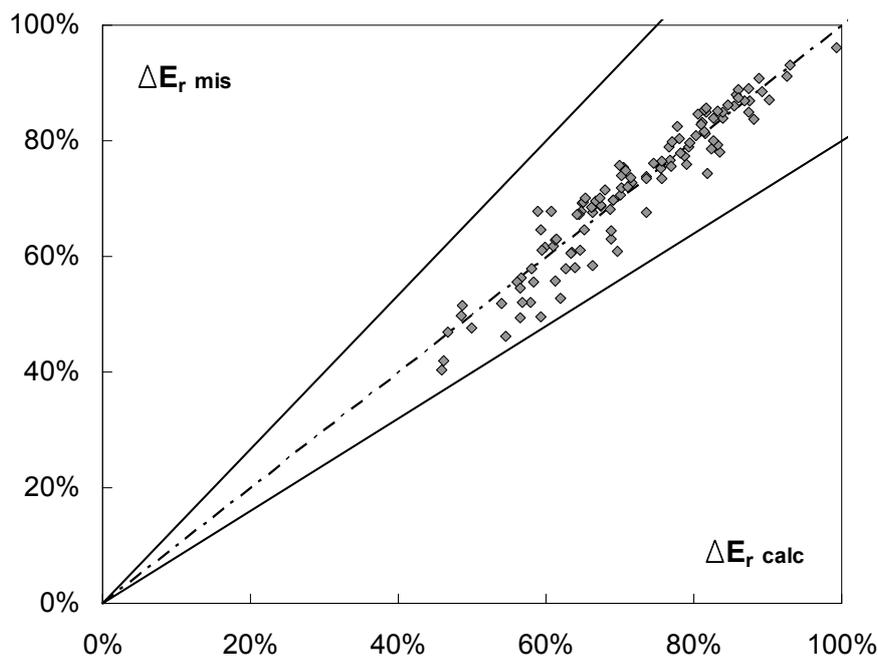


Figura 6.165 correlazione dati sperimentali e valori calcolati

Viene di seguito riportato un'ulteriore grafico che mostra, fissato lo spessore dello strato filtrante, l'andamento sia dei punti sperimentali che di quelli calcolati con la relazione precedente in funzione della pendenza della rampa:

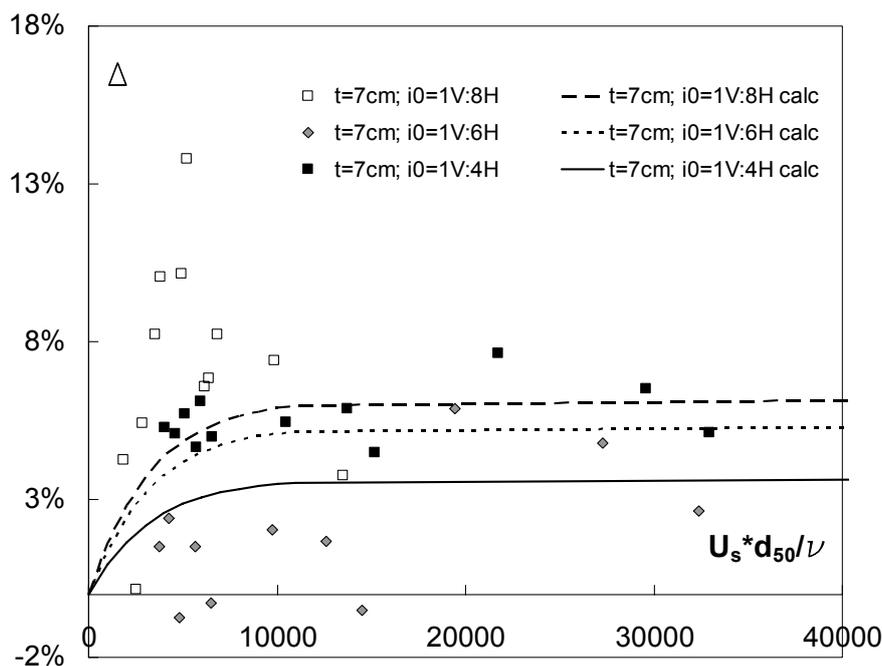


Figura 6.166 Δ in funzione di R_{es} parametrizzato per t

Si sottolinea ancora una volta come il valore di Δ aumenti con il diminuire della pendenza, e di conseguenza, essendo $\Delta E_r' = \Delta + \Delta E_r$, incrementa anche la dissipazione energetica in presenza di filtrazione.

Infine si inseriscono due grafici che mostrano il significato del parametro Δ : si nota come il recupero energetico calcolato (cioè Δ) porta i valori di $\Delta E_r'(mis)$ a porsi sulla curva di equazione [6.15]. Il primo grafico è riferito in particolare ai punti misurati derivanti dalle prove sul modello 2 con materiale di base M2, spessore 14 cm e pendenza 1V:4H, mentre il secondo fa riferimento al modello 3 (pendenza 1V:6H, $t = 7$ cm) ma con lo stesso materiale:

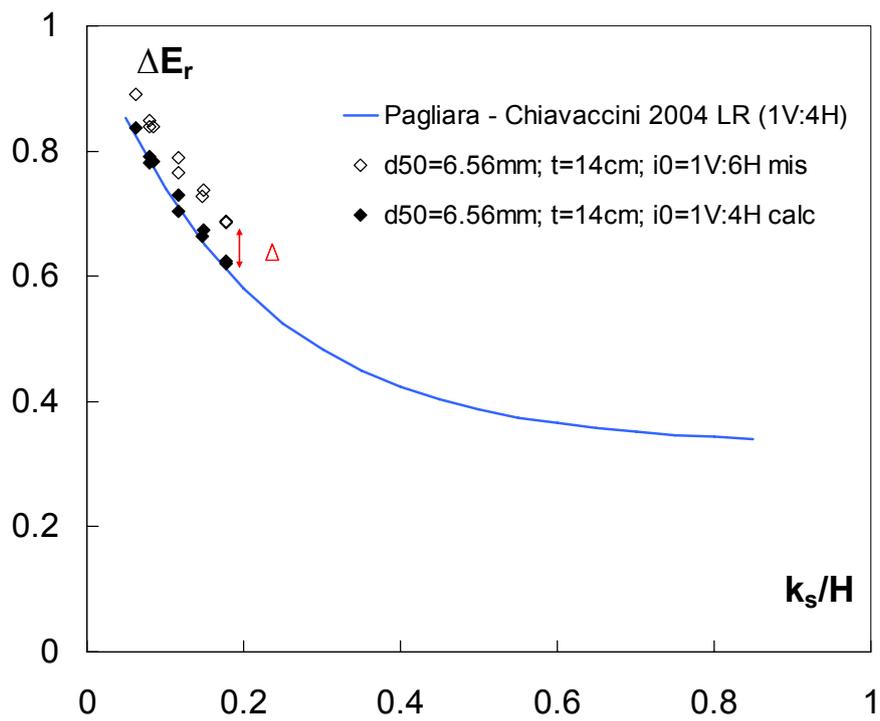


Figura 6.167 dissipazione energetica in funzione di k_s/H con il particolare di Δ

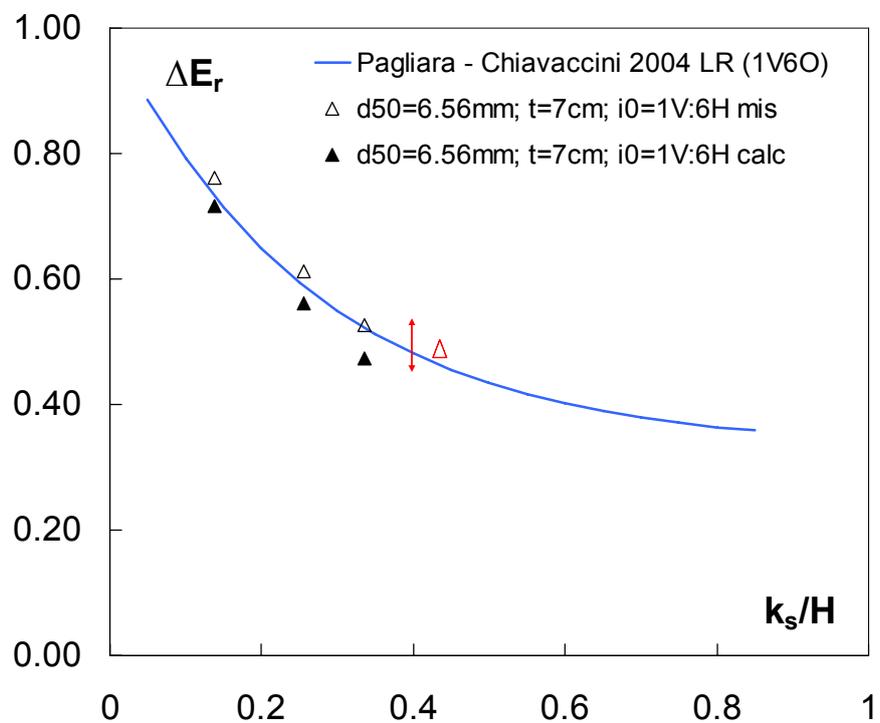


Figura 6.168 dissipazione energetica in funzione di k_s/H con il particolare di Δ (1V:6H)

6.7.3 Andamento della portata di filtrazione in funzione di x

Per riuscire a dare un'espressione corretta di ΔE_f , riferita ad una rampa in massi soggetta anche al fenomeno della filtrazione la cosa più importante è capire qual è il vero andamento della portata che filtra lungo la rampa stessa, in modo da poter calcolare sezione per sezione la quantità di energia che si dissipa a causa dei moti di infiltrazione oltre a quella che si dissipa in conseguenza della scabrezza della rampa.

La conoscenza della relazione

$$Q_F = f(x)$$

ci permetterebbe di sapere punto per punto la portata superficiale con la quale poter calcolare una portata costante equivalente ad essa in modo da poter usufruire della [6.15] soltanto inserendovi il relativo k_{eq} , ovvero come se non considerassimo la presenza dello strato filtrante.

Infatti come si nota dai grafici relativi all'elaborazione precedente, l'ipotesi con la quale si suppone che lungo la rampa, fin dall'inizio ($x = 0$ cm), possa scorrere una portata $Q_s = Q - Q_F$ è decisamente troppo semplificativa: sicuramente nelle sezioni iniziali della rampa scorrerà una portata superiore pressoché pari alla portata entrante, perché come si evince dalla conformazione dell'apparato sperimentale, la portata di filtrazione aumenterà man mano che ci si sposta verso valle partendo da un valore all'incirca pari a zero nella sezione iniziale e tendendo velocemente verso il valore che è stato misurato in uscita dalla rampa.

Viene di nuovo riportato lo schema che rappresenta la variazione della portata superficiale con l'ascissa x :

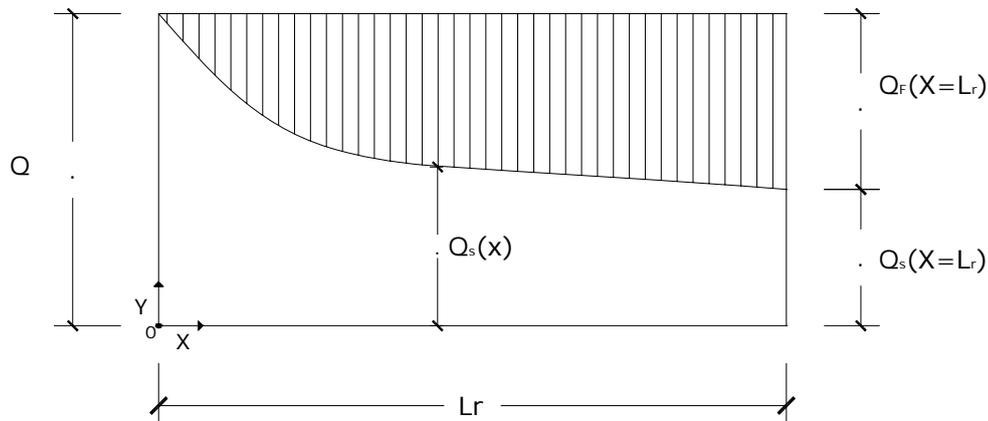


Figura 6.169 schema dell'andamento della portata di filtrazione lungo l'ascissa x

L'elaborazione che verrà presentata di seguito ha lo scopo di ricercare una funzione che ci permetta di poter calcolare con soddisfacente precisione la portata di filtrazione in una sezione qualsiasi lungo la rampa, e di conseguenza di poter determinare la corrispettiva portata superficiale, attraverso la quale andare a riesaminare la dissipazione energetica.

I dati a nostra disposizione sono:

- Q portata totale entrante
- Q_F portata di filtrazione totale misurata in uscita dalla rampa
- $Q_F(x)$ portata di filtrazione in una sezione generica
- b larghezza della rampa
- t spessore dello strato filtrante
- h_i altezza idrica sopra la rampa nella sezione i -ma
- $E_0 = H + \frac{3}{2} \cdot k$ energia di monte della rampa \cong con l'energia presente all'inizio del primo settore
- $E_i = h_i + \frac{Q_s^2(x)}{(b \cdot h_i)^2 \cdot 2g}$ energia specifica nella sezione i -ma
- $V_F = \frac{Q_F}{b \cdot t}$ velocità di filtrazione misurata nella sezione terminale della rampa
- Q_s portata superiore presente nella sezione finale $= Q - Q_F$

- $Q_s(x)$ portata superficiale presente in una sezione generica
- i_{si} valore del gradiente piezometrico relativo al settore i^{mo} (ottenuto come media dei tre valori risultanti dalla presenza dei tre piezometri di ogni batteria)
- L_r lunghezza della rampa

Ricordiamo che grazie alla presenza delle sei batterie piezometriche abbiamo suddiviso la rampa in 5 settori ognuno compreso tra due batterie di piezometri e di ogni settore abbiamo pensato il carico piezometrico come applicato nel baricentro del settore stesso.

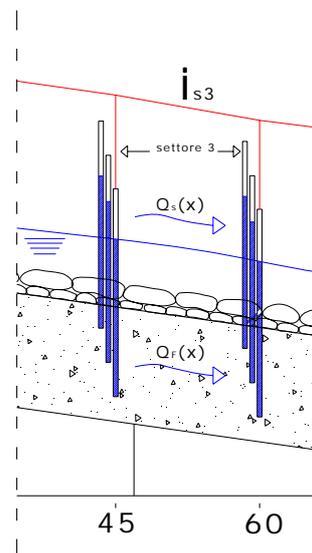


Figura 6.170 particolare di un settore lungo la rampa

Grazie a quanto già detto nei paragrafi precedenti, riportiamo sia la relazione [6.7], che ci forniva l'andamento del carico piezometrico lungo la rampa

$$\frac{i_{si}}{i_0} = (-2.25i_0 + 1.85) \left(\frac{x}{L_r} \right)^{(-2.25i_0 + 0.85)},$$

che la [6.4], la quale esprimeva il legame tra la velocità di filtrazione misurata e il carico piezometrico i_{s5}

$$i_{s5} = (0.00094d_{50}^{-1.77})V + (11.1d_{50}^{-0.48})V^2.$$

Ipotizzando di estendere la validità di quest'ultima a tutti gli altri settori della rampa siamo in grado di dare una relazione con la quale ottenere $V_F = f(x)$, e quindi si può scrivere che

$$\frac{(0.00094 \cdot d_{50}^{-1.77})V_F + (11.1 \cdot d_{50}^{-0.48})V_F^2}{i_0} - (-2.25i_0 + 1.85) \left(\frac{x}{L_r} \right)^{(-2.25i_0 + 0.85)} = 0 \quad [6.20]$$

che in termini di portata filtrata si può esprimere

$$\frac{(0.00094 \cdot d_{50}^{-1.77}) \cdot \left(\frac{Q_F(x)}{bt} \right) + (11.1 \cdot d_{50}^{-0.48}) \cdot \left(\frac{Q_F(x)}{bt} \right)^2}{i_0} - (-2.25i_0 + 1.85) \left(\frac{x}{L_r} \right)^{(-2.25i_0 + 0.85)} = 0 \quad [6.20']$$

Per ricavare in modo esplicito la portata di filtrazione $Q_F(x)$ occorre risolvere l'equazione di secondo grado sopra riportata:

$$Q_F(x) = \frac{-\frac{(0.00094 \cdot d_{50}^{-1.77})}{(bt)} \pm \sqrt{\left[\frac{(0.00094 \cdot d_{50}^{-1.77})}{(bt)} \right]^2 + 4 \frac{(11.1 \cdot d_{50}^{-0.48})}{(bt)^2} \cdot \left[(-2.25i_0 + 1.85) \left(\frac{x}{L_r} \right)^{(-2.25i_0 + 0.85)} \right]}}{\left[\frac{2 \cdot (11.1 \cdot d_{50}^{-0.48})}{(bt)^2} \right]}$$

La soluzione negativa della [6.20'] perde di significato, in quanto per $x = 0$ cm (ovvero nella sezione iniziale) avremmo un valore di portata filtrata diversa da zero e oltretutto negativa.

Per verificare la veridicità di tale legge e delle ipotesi fatte, è stato studiato un procedimento che ne confermasse l'attendibilità: analizzando un cospicuo numero di prove, siamo andati alla ricerca dei valori di energia specifica E_i presente nelle sezioni di estremità dei vari settori.

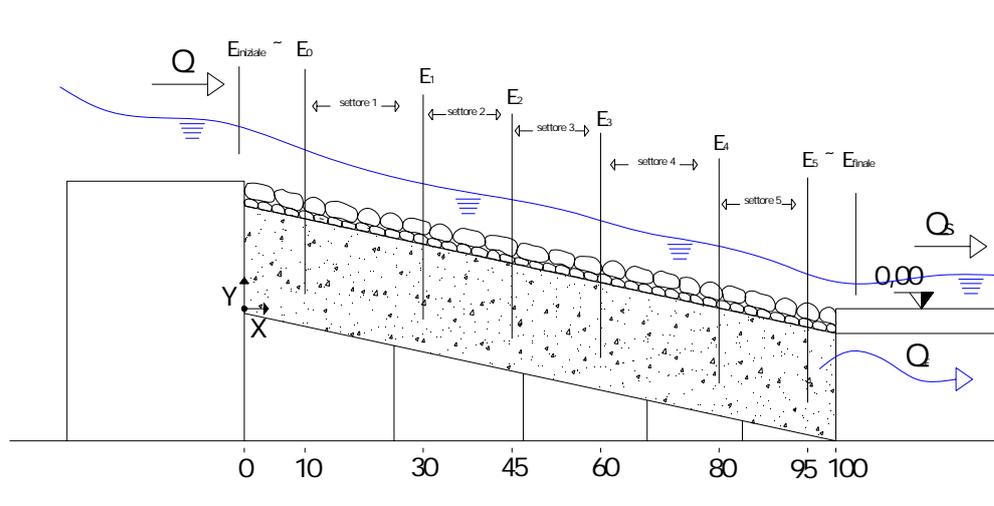


Figura 6.171 schema del modello energetico

Così facendo siamo stati in grado di determinare i valori di dissipazione $\Delta E_i = E_i - E_{i+1}$ parziali, e una volta sommati si è ricavato il ΔE_{tot} che, diviso per E_0 , ci fornisce la dissipazione relativa calcolata

$$\Delta E_r^{calc} = \frac{(E_0 - E_1) + (E_1 - E_2) + (E_2 - E_3) + (E_4 - E_5)}{E_0}$$

Questo valore è stato confrontato con la dissipazione energetica misurata durante l'effettuazione delle prove

$$\Delta E_r^{mis} = \frac{E_0 - E_5}{E_0}$$

dove E_5 è stata supposta pari all'energia al piede della rampa.

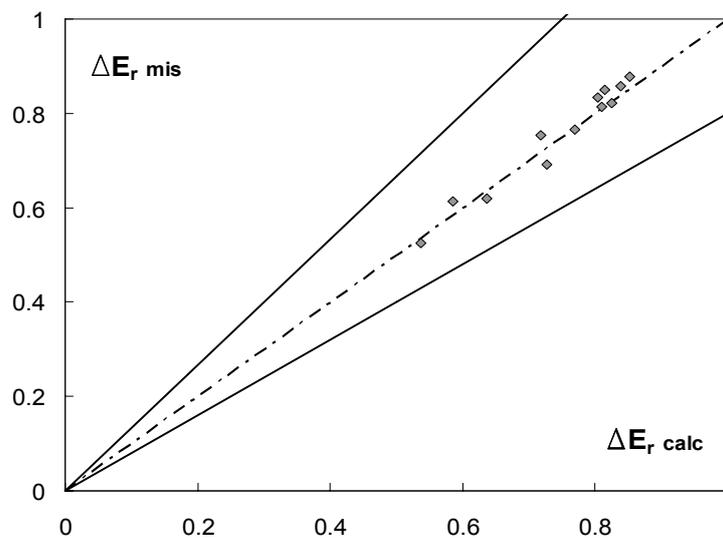


Figura 6.172 correlazione dati sperimentali e dati calcolati

L'ottima correlazione tra i valori calcolati e quelli misurati ci conforta nel dire che la relazione $Q_F = f(x)$ appena trovata può essere soddisfacente.

Abbiamo poi considerato la nostra rampa come una condotta con erogazione uniforme, e con tale approccio abbiamo cercato di determinare una portata equivalente in grado di produrre la stessa perdita di carico della portata che realmente scorre sopra la rampa.

Al fine di calcolare la perdita di carico totale Y_0 tra due punti A e B di una condotta con erogazione continua ad andamento qualsiasi, si integra a tutta la lunghezza della condotta l'espressione che fornisce la perdita di carico dH per un tratto di lunghezza infinitesimo dx :

$$Y_0 = \int dH = \int_0^{L_r} \frac{8 \cdot f_x \cdot Q_x^2}{g \pi^2 \cdot D^5} dx$$

che nella nostra situazione, ovvero nel caso di correnti a pelo libero, si trasforma in

$$Y_0 = \int dH = \int_0^{L_r} f \cdot \frac{Q_s^2(x)}{2g \cdot 4R_m \cdot (b \cdot h)^2} dx$$

in cui:

- Y_0 perdita di carico totale
- Q portata totale
- $Q_s(x) = Q - Q_F(x)$ portata superficiale nella sezione x
- $R_m = 4 \cdot D = f(h)$ raggio idraulico
- f coefficiente d'attrito di Darcy - Weisbach

Potendo considerare costante sia il coefficiente di resistenza al flusso f che il raggio idraulico medio R_m , perchè funzione dell'altezza idrica presente sopra la rampa la quale si ipotizza costante, si può passare all'integrazione della seguente relazione

$$\int_0^{L_r} Q_s^2(x) dx = \int_0^{L_r} (Q - Q_F(x))^2 dx \quad [6.21]$$

La sopraindicata relazione è di difficile soluzione, presentando una serie di integrali notevoli che non si risolvono con le comuni tecniche matematiche. Per questo motivo abbiamo cercato di aggirare l'ostacolo andando alla ricerca di una relazione che ci fornisse in modo esplicito la portata di filtrazione in funzione

dell'ascissa x sfruttando i valori di velocità di filtrazione che ci vengono forniti dalla [6.4]; il seguente grafico mostra l'andamento del rapporto $V_F(x)/V_F$ (dove V_F è il valore sperimentale misurato) in funzione di x/L_r :

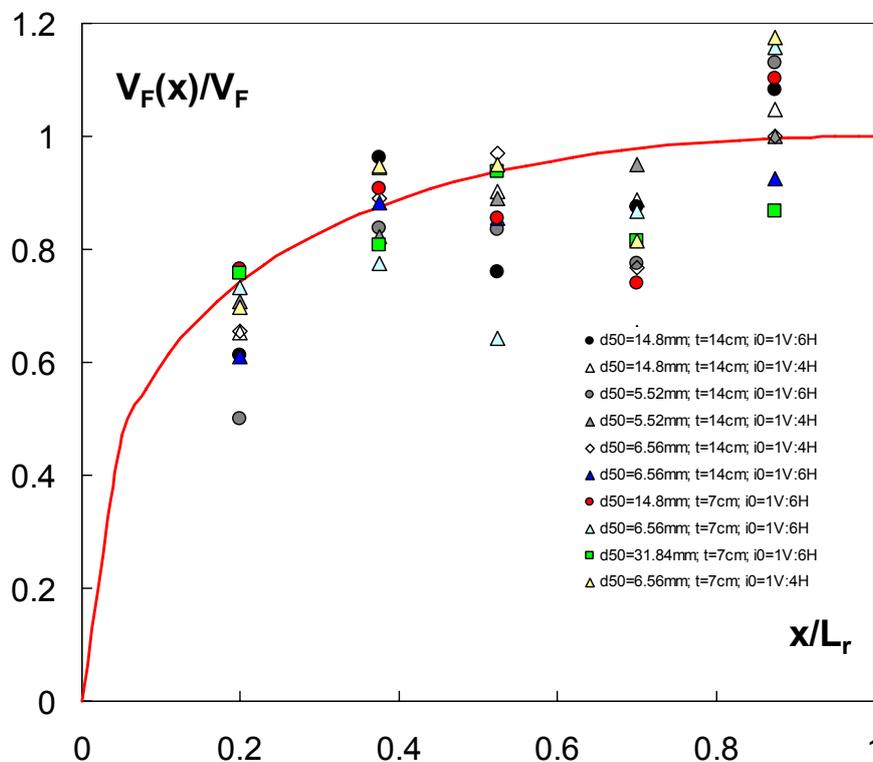


Figura 6.173 andamento di $V_F(x)/V_F$ in funzione di x/L_r

La funzione che meglio è in grado di interpolare i punti è del tipo $y = Cx + Bx^A + D$, alla quale sono state imposte alcune condizioni:

1. dovrà passare per zero quando $x = 0$, dato che la velocità di filtrazione è nulla nella sezione iniziale della rampa $\rightarrow D = 0$;
2. dovrà passare per 1 quando la $x = 1$, ovvero che la velocità di filtrazione nella sezione terminale della rampa sarà pari alla velocità filtrata misurata $\rightarrow C = 1 - B$;
3. dovrà avere tangente orizzontale in $x = 1$, perché non possiamo avere che $V_F(x) > V_F$;

ciò premesso, la relazione che si ottiene, la quale abbiamo supposto essere la stessa per ogni tipo di materiale di base utilizzato e per ogni tipo di pendenza, si scrive nella forma:

$$\frac{V_F(x)}{V_F} = -\left(\frac{A}{1-A}\right)\left(\frac{x}{L_r}\right) + \left(\frac{1}{1-A}\right)\left(\frac{x}{L_r}\right)^A \quad [6.22]$$

in cui $A = 0.4$.

La [6.22] rimane invariata anche se espressa in termini di portata, scorrendo entrambe le velocità ($V_F(x)$ e V_F) attraverso la stessa superficie filtrante:

$$Q_F(x) = \left[-\left(\frac{A}{1-A}\right)\left(\frac{x}{L_r}\right) + \left(\frac{1}{1-A}\right)\left(\frac{x}{L_r}\right)^A \right] \cdot Q_F \quad [6.23]$$

Sostituendo la [6.23] nella [6.21] ed omettendo i passaggi algebrici che hanno portato alla soluzione dell'integrale, si ricava l'espressione della perdita di carico:

$$Y_0 = \frac{f}{2g \cdot 4R_m(bt)^2} \cdot \left[Q^2 - 1.74 \cdot QQ_F + 0.75(Q_F)^2 \right]$$

da cui si può estrapolare la portata equivalente

$$Q_{eq} = \sqrt{\left[Q^2 - 1.74QQ_F + 0.75(Q_F)^2 \right]} \quad [6.24]$$

Una volta determinata la portata equivalente, è possibile ricavarci l'altezza critica equivalente

$$k_{eq} = \sqrt[3]{\frac{Q_{eq}^2}{b^2 g}}$$

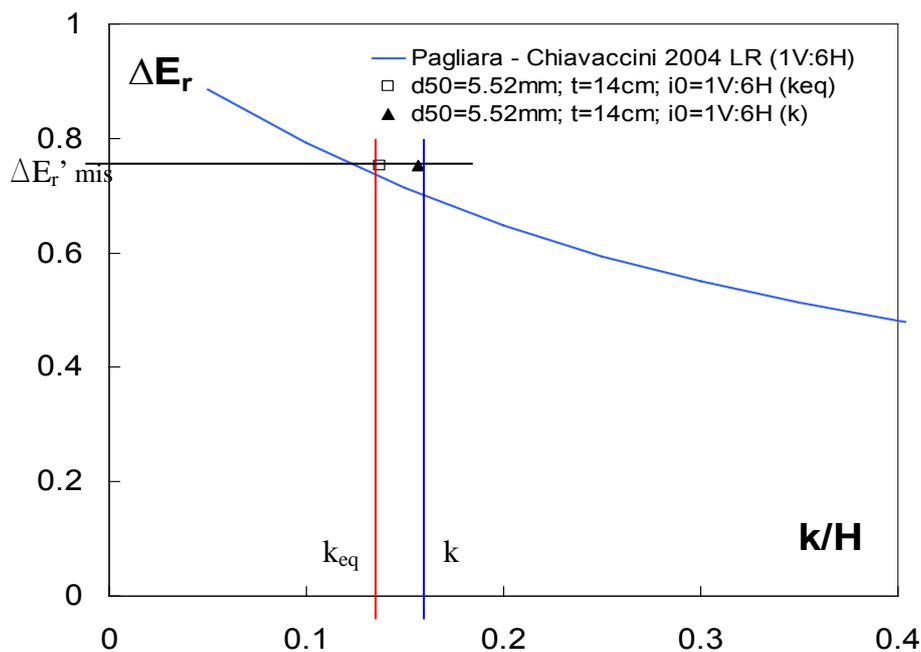


Figura 6.174 dissipazione energetica riferita a k e k_{eq}

La figura vuole mettere in evidenza come i punti sperimentali si spostano verso la curva Pagliara - Chiavaccini (2004), perché la dissipazione $\Delta E_r'(mis)$ viene relazionata con la k_{eq} che naturalmente è, in valore, minore della k riferita alla portata totale entrante.

Con questo procedimento siamo in grado di utilizzare l'equazione [6.15] sostituendovi al posto di k il k_{eq} appena trovato, in quanto espressione del vero andamento della portata superficiale.

Viene inserito un grafico nel quale si riportano i valori di dissipazione misurati e quelli calcolati con la [6.15] dove al posto di k si è inserito la k_{eq} .

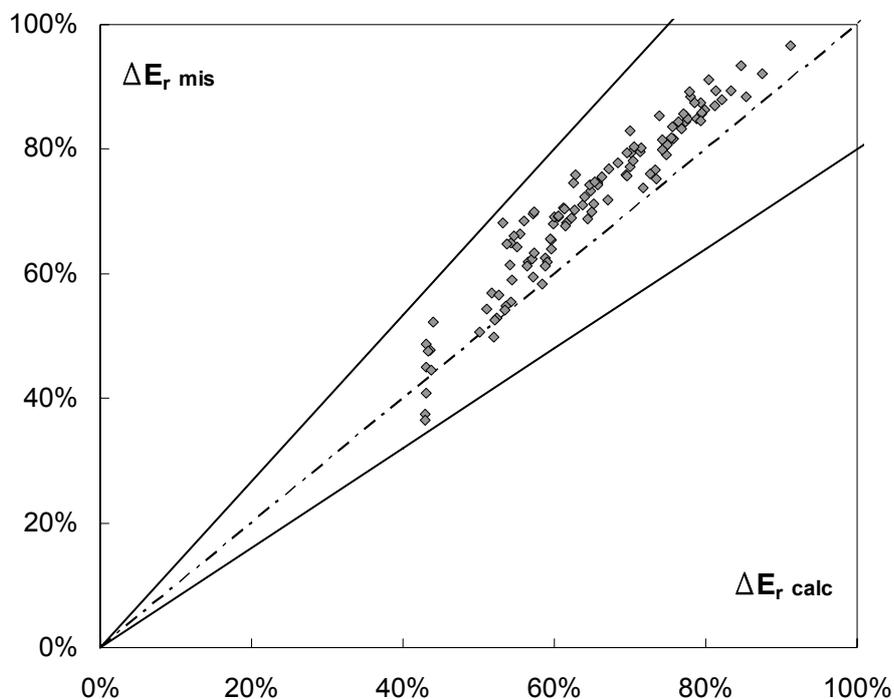


Figura 6.175 correlazione dati misurati e dati calcolati con la [6.14]

Occorre sottolineare che la correlazione non è perfetta a causa di una serie di ipotesi che sono state fatte durante il procedimento, ma in ogni modo abbiamo cercato di sfruttare i dati a nostra disposizione per organizzare uno schema di calcolo il più possibile aderente al vero.

Conclusioni

Le classiche strutture utilizzate per gli interventi di sistemazione idraulica sui corsi d'acqua presentano molti problemi, sia dal punto di vista dell'efficienza idraulica sia dal punto di vista ambientale.

Per queste ragioni, negli ultimi anni si è registrato un crescente interesse per la realizzazione di rampe in pietrame nell'ambito di interventi di sistemazione di corsi d'acqua naturali che ha determinato l'esigenza di effettuare indagini sperimentali approfondite volte a conoscere i fenomeni collegati al deflusso delle acque in presenza di tali opere.

Nel presente studio si è dedicata particolare attenzione a come il fenomeno della filtrazione influenza il comportamento di rampe in massi, al variare dei parametri sia di tipo geometrico che fisico.

I risultati ottenuti sono stati:

- Determinazione della percentuale di filtrazione in funzione di alcuni parametri come la pendenza, spessore, portata entrante e diametro del material di base (relazione [6.11], [6.13], [6.14]); di conseguenza siamo stati in grado di prevedere il valore della portata che può filtrare all'interno della rampa nelle varie condizioni al contorno di valle (pressione atmosferica, pressione etc.);
- Determinazione dell'andamento della velocità di filtrazione lungo la rampa, legata prima ai valori dei gradienti idraulici dei vari settori, e poi alle grandezze macroscopiche della rampa (pendenza, spessore e materiale), in modo tale da poter conoscere, sezione per sezione il valore della portata filtrata e di quella superficiale (relazione [6.9]);
- Analisi della dissipazione energetica anche in relazione alle teorie sviluppate in seguito allo studio della filtrazione (relazione [6.17], [6.24]).

Per cercare di riassumere i concetti fondamentali sui quali abbiamo basato le elaborazioni svolte durante questo studio, si riporta, a conclusione, un esempio in grado di chiarire meglio gli aspetti principali.

Vogliamo calcolare la portata di filtrazione e la dissipazione energetica relativa ad una rampa in massi che ha le seguenti caratteristiche:

larghezza	$b = 30 \text{ cm};$
lunghezza	$L = 100 \text{ cm};$
spessore strato filtrante	$t = 7 \text{ cm};$
diametro materiale di base	$d_{50} = 1.48 \text{ cm};$
pendenza	$i_0 = 0.25;$
altezza della rampa	$H = L \cdot i_0 = 25 \text{ cm};$

inoltre si conosce il valore della portata in ingresso $Q = 10 \text{ l/s}$.

Una volta calcolata l'altezza critica k relativa alla portata Q

$$k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} = 0.048 \text{ m},$$

si determina, utilizzando ad esempio la relazione [6.11], il valore della percentuale di filtrazione

$$\frac{Q_F}{Q} (\%) = 11.8\% .$$

Per cui la portata di filtrazione sarà pari a

$$Q_F = 1.18 \text{ l/s},$$

mentre la velocità di filtrazione relativa si ricava direttamente come

$$V_F = \frac{Q_F}{b \cdot t} = 0.056 \text{ m/s} .$$

Un modo per verificare il risultato ottenuto è quello di utilizzare l'equazione [6.9] e ricavare un nuovo valore della velocità di filtrazione dall'equazione di secondo grado

$$1.63V + 83.7V^2 - 0.31 = 0, \text{ da cui } V_F = 0.053 \text{ m/s} .$$

Come si può notare i due valori sono praticamente coincidenti.

Per il calcolo della dissipazione energetica, una volta stabilita la condizione di deflusso (ovvero larga sommergenza) si utilizza la relazione [6.17] con la quale determinarsi il parametro Ψ , da aggiungere poi all'equazione Pagliara - Chiavaccini (2004):

$$\Psi = 0.045$$

mentre la dissipazione in assenza di filtrazione è data da:

$$\Delta E_r = A + (1 - A)e^{(B+C \cdot i_0)^k/H} = 0.59 .$$

In definitiva si ottiene la dissipazione totale come somma dei due contributi

$$\Delta E_r' = \Delta E_r + \Psi = 0.635 , \text{ ovvero una dissipazione del } 63\% .$$

Anche in questo caso a riprova dei risultati ottenuti, si calcola il valore della dissipazione energetica passando attraverso l'utilizzo della portata equivalente; secondo la relazione [6.24] avremo che

$$Q_{eq} = \sqrt{[Q^2 - 1.74QQ_F + 0.75(Q_F)^2]}$$

nella quale al posto di Q_F abbiamo inserito il valore prima calcolato = 1.18 l/s; si ottiene

$$Q_{eq} = 8.97l / s$$

$$\text{e un'altezza critica } k_{eq} = \sqrt[3]{\frac{Q_{eq}}{b^2 g}} = 0.216m .$$

Per cui, utilizzando semplicemente la relazione Pagliara - Chiavaccini (2004) si ricava direttamente la dissipazione energetica totale (anche dovuta all'effetto della filtrazione)

$$\Delta E_r' = 0.631$$

Il valore trovato è pressoché lo stesso ricavato attraverso l'utilizzo del parametro Ψ .

Ringraziamenti

Arrivato al termine di questo lavoro, desidero ringraziare il Prof. Stefano Pagliara e il Prof. Maurizio Venutelli per avermi seguito durante la preparazione della tesi mostrando sempre la massima disponibilità; inoltre ringrazio l'Ing. Ilaria Lotti per la sua collaborazione durante i mesi passati in laboratorio ma soprattutto per il notevole aiuto fornitomi nelle elaborazioni finali. Un grazie va naturalmente ai tecnici di laboratorio Alessandro e Vincenzo per l'assistenza dimostrata, e a tutto il dipartimento di Idraulica.

Un grazie speciale va sicuramente ai miei genitori Mario e Lorian, i quali fin dai primi passi di questo lungo percorso universitario mi hanno sempre sostenuto e consigliato nel modo migliore, senza farmi mai mancare la loro fiducia. Un grazie va anche a tutto il resto della mia famiglia: a Paola, Paolo, ai miei nipotini Marta e Matteo che molto spesso con i loro sorrisi e i loro gesti d'affetto mi hanno fatto dimenticare i piccoli inciampi che l'università mi proponeva.

Voglio ringraziare Andrea, inizialmente compagno di studi ma poi grande amico con cui dividere le lunghe e faticose giornate nelle aule della facoltà.

Un ringraziamento va a tutti gli amici che, direttamente o indirettamente, mi sono stati vicini e che mi hanno dato una "pacca" sulla spalla quando era necessario.

Ed infine un'enorme grazie va a Lisa, la persona che più di ogni altra ha condiviso con me questo lungo viaggio ed insieme alla quale sono riuscito a realizzare questo sogno. Questo traguardo è anche suo, perché mi ha tenuto per mano nei momenti difficili, ha gioito con me per le soddisfazioni più grandi e soprattutto ha sempre creduto nelle mie capacità.

Legenda simboli

a	asse maggiore
b	larghezza del canale, asse intermedio
c	asse minore
d_m	diametro medio
d_{eq}	diametro equivalente $d_{eq} = d_{50} * r_d$
d_{50}	diametro del materiale di base
d_p	diametro dei pori
f	coefficiente d'attrito di Darcy-Weisbach
f_k	friction factor
f_p	pore friction factor
g	accelerazione di gravità
h	altezza liquida in una sezione generica
h_u	tirante idrico sulla rampa
h_l	tirante idrico a valle della rampa
h_s	tirante idrico relativo alla portata superficiale Q_s
h_v	altezza canale venturi espressa in cm
i	gradiente piezometrico
i_0	pendenza della rampa
i_{si}	gradiente piezometrico riferito al settore i^{-m_0}
k	altezza critica calcolata in base alla portata totale Q entrante
k_{eq}	altezza critica calcolata in base alla portata equivalente Q_{eq}
k_s	altezza critica calcolata in base alla portata Q_s
k	permeabilità intrinseca
L_r	lunghezza della rampa
n	porosità del materiale
q	portata per unità di larghezza ($m^3/s/m$)
q_F	portata filtrata per unità di larghezza ($m^3/s/m$)
r_d	rapporto tra il diametro medio (d_m) e il diametro equivalente

t	spessore dello strato filtrante
B _i	strati superficiali
C _{mean}	concentrazione d'aria in volume nella miscela acqua-aria
D ₅₀	diametro degli strati superficiali
E _o	energia iniziale a monte della rampa
E ₁	energia finale a valle della rampa
ΔE _r	dissipazione energetica sperimentale
M _i	materiale di base
H	differenza di quota tra lo scalino iniziale e il fondo della rampa
H _p	altezza piezometrica
K	coefficiente di permeabilità del mezzo filtrante
Q	portata liquida totale entrante (l/s)
Q _{eq}	portata equivalente (l/s)
Q _F	portata di filtrazione (in percentuale $\frac{Q_F}{Q} (\%) = \frac{Q_F}{Q} \cdot 100$)
Q _{Fmax}	portata di filtrazione nella condizione di sbocco in pressione atmosferica
Q _s	portata superficiale
R _m	raggio medio idraulico
Re	numero di Reynolds
R _k	numero di Reynolds basato sulla permeabilità intrinseca
R _p	numero di Reynolds basato sul diametro dei pori
R _{es}	numero di Reynolds del granulo
S _f	sfericità del materiale determinata sperimentalmente
V	velocità di filtrazione (indicata anche V _F)
V _a	volume della parte liquida
V _s	volume della parte solida
V _v	volume dei vuoti
U	velocità media della corrente
U _s	velocità riferita all'altezza di valle h _s
α	angolo d'inclinazione della rampa

Legenda simboli

γ	peso specifico
τ	tortuosità
ν	viscosità cinematica
ρ	densità dell'acqua
ρ_s	densità dei materiali costituenti la rampa
σ	coefficiente di uniformità
μ	viscosità dinamica

Bibliografia

- [1] Ramakrishna Rao A. , Sitaram N. "*Stability and mobility of sand-bed channels affected by seepage*" Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol.125, No.16, November/December, 1999, ASCE.
 - [2] Chen X. , Chiew Y. M. "*Velocity distribution of turbulent open channel flow with bed suction*" Journal of Hydraulic Engineering, Vol.130, No.2, February 1, 2004, ASCE.
 - [3] Pagliara S. , Chiavaccini P. "*Energy dissipation on block ramps*" Journal of Hydraulic Engineering, Vol.132, No.1, January 1, 2006, ASCE.
 - [4] Smart G. M. "*Turbulent velocity profiles and boundary shear in gravel bed rivers*" Journal of Hydraulic Engineering, Vol.125, No. 2, February,1999, ASCE.
 - [5] Mchioku K., Maeno S., Furusawa T., Haneda M., "*Discharge through a permeable mound weir*" Journal of Hydraulic Engineering, Vol.131, No. 1, January 1, 2005, ASCE.
 - [6] McCorquodale J.A., Hannoura A.A.A. "*Hydraulic conductivity of rockfill*" (1977)
 - [7] Prinos P. "*Bed suction effects on structure of turbulent open channel flow*" Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 121, No. 5, May, 1995, ASCE.
 - [8] Prinos P.,Sofialidis D.,Keramaris E. "*Turbulent flow over and within a porous bed*" Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 9, September 1, 2003, ASCE.
 - [9] Stormont J.C., Morris C.E. "*Unsaturated drainage layers for diversion of infiltrating water*" Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 123, No. 5, September/October, 1997, ASCE.
 - [10] Li B., Garga V.K., Davies M.H. "*Relationships for non darcy flow in rockfill*" Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 124, No. 2, February, 1998, ASCE.
 - [11] Jarret R.D. "*Hydraulics of high gradient stream*" Journal of Hydraulic of Engineering, Vol. 110, No. 11, November, 1984, ASCE.
-

- [12] Hagerty D.J., Parola A.C. "Seepage effects in some riprap revetment" Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 127, No.7, July, 2001, ASCE.
 - [13] Codell R.B., Abt S.R., Johnson T., Ruff J. "Estimation of flow through and over armored slopes" Journal of Hydraulic Engineering, Vol.116, No.10, October, 1990, ASCE.
 - [14] Steven R., Abt J., Ruff F., Wittler R.J. "Estimating flow through riprap" Journal of Hydraulic Engineering, Vol.117, No.5, May, 1991, ASCE.
 - [15] Rice C.E., Kadavy K.C., Robinson K.M. "Roughness of loose rock riprap on steep slopes" Journal of Hydraulic Engineering, Vol.124, No.2, February, 1998, ASCE.
 - [16] Curtis R.P., Lawson J.D. "Flow over and through rockfill banks" Journal of Hydraulic Division, Vol. 93, HY 5, September, (1967), ASCE.
 - [17] Ward J. C. "Turbulent flows in porous media" Journal of Hydraulic Division, Vol. 90, pag 1-12, 1964, ASCE.
 - [18] Ward J.C. "Closure of turbulent flow in porous media" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 92, HY 4, July (1966), pp 1-12.
 - [19] Hansen D., Bari R. "Uncertainty in water surface profile of buried stream flowing under coarse material" Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 128, No. 8, August 1, 2001, ASCE.
 - [20] Li B., Garga V.K. "Theoretical solution for seepage flow in overtopped rockfill" Journal of Hydraulic Engineering, Vol.124, No 2, February, (1998), ASCE.
 - [21] Curtis R.P., Lawson J.D. "Flow over and through rockfill banks" Journal of Hydraulic Division, Vol. 93, HY 5, September, 1967, ASCE.
 - [22] Gupta A. D., Paudyal G. N. "Characteristics of free surface flow over a gravel bed" Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 111, December 1985, ASCE.
 - [23] Legrand J. "Revisited analysis of pressure drop in flow through crushed rocks" Journal of Hydraulic Engineering, Vol.128, No. 11, November 1, 2002, ASCE.
-

- [24] Venkataraman P. , Rama Mohan Rao P. “*Darcian, transitional, and turbulent flow through porous media*” *Journal of Hydraulic Engineering* ,Vol.124, No. 8, August, 1998, ASCE.
 - [25] Reddy N.B.P., Rama Mohan Rao P. “*Effect of convergence on non linear flow in porous media*” *Journal of Hydraulic Engineering*,Vol.132, No. 4, April 1, 2006, ASCE.
 - [27] Samani H.M.V, Samani J.M.V., Shaiannejad M. “*Reservoir routing using steady and unsteady flow through rockfill dams*” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 129, No. 6, June 1, 2003, ASCE.
 - [29] Lage J.L., Antohe B.V. “*Darcy’s experiments and the deviation to non-linear flow regime*” *Journal of fluids Engineering*, Vol. 27, August , 1998, ASCE.
 - [30] Trussell R.R, Chang M. “*Review of flow through porous media as applied to head loss in water filters*” *Journal of Environmental Engineering*, Vol.125, No. 11, November, 1999, ASCE.
 - [31] Mendoza C., Zhou D., “*Flow through porous bed of turbulent stream* ” *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 119,No. 2, February, 1993, ASCE.
 - [32] Wright D.E. “*Nonlinear flow through granular media*” *Journal of Hydraulic Division*, Vol. 94, HY 4, July, 1968, ASCE.
 - [33] Maeno S., Michioku K., Morinaga S., Ohnishi T. “*Hydraulic characteristics of a rubble mound weir and its failure process*” *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 45, 2001, ASCE.
 - [34] Dey S., Raikar R.V. “*Characteristics of loose rough boundary streams at near-threshold*” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 133, No. 3, March 1, 2007, ASCE.
 - [35] Ahmed N., Sunada D.K. “*Nonlinear flow in porous media*” *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 95, HY 6, November, 1969, ASCE.
 - [36] S. Dey “*Non-uniform open channel flow with upward seepage through loose beds*” *International Journal of sediment Research*, Vol. 18, No. 3, 2003, ASCE.
 - [37] N.B.P. Reddy, P.R.M. Rao “*Convergence effect on the flow resistance in porous media*” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 85, May, 2004, ASCE.
-

- [38] Chahar B.R. "*Analysis of seepage from polygon channel*" Journal of Hydraulics Engineering, Vol. 133, April 1, 2007, ASCE.
- [39] Egidio Indri "*Esperienze sul moto dell'acqua entro ammassi di materiali sferici*" Istituto di idraulica e costruzioni idrauliche dell'università di Padova (centro veneto di ricerche idrauliche del C.N.R.); estratto da: L'ACQUA - vol. XXXVI, 1958.
- [40] A. Peruginelli "*idraulica*" SEU, Pisa (2001).
- [41] Milano V., Pagliara S. and Faggioni S. (1999) "*Ricerca sperimentale sui moti turbolenti di filtrazione*" Dipartimento di ingegneria Edile, Idraulica e del Territorio, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Pisa.
- [42] V. Ferro, G. Dalla Fontana, S. Pagliara, S. Puglisi, P. Scotton "*Opere di sistemazione idraulico-forestale a basso impatto ambientale*" edizioni McGraw-Hill, Milano 2004.
- [43] M.R.A. Van Gent "*Porous flow through rubble mound material*" Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 121, No. 3, May/June, 1995, ASCE.
-

APPENDICE

Misurazioni sperimentali

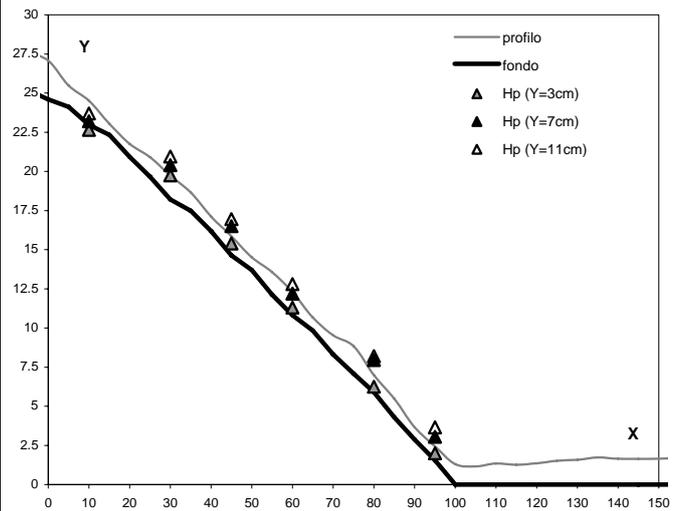
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.98	25.20	2.78
-35	27.91	25.20	2.71
-30	27.54	25.20	2.34
-25	27.53	25.20	2.33
-20	27.55	25.20	2.35
-15	27.59	25.20	2.39
-10	27.53	25.20	2.33
-5	27.54	25.20	2.34
0	27.07	24.60	2.47
5	25.48	24.13	1.36
10	24.51	22.97	1.54
15	23.04	22.33	0.71
20	21.75	20.93	0.82
25	20.90	19.66	1.24
30	19.73	18.20	1.53
35	18.65	17.49	1.16
40	17.12	16.19	0.93
45	15.86	14.64	1.22
50	14.51	13.70	0.81
55	13.57	12.13	1.44
60	12.30	10.82	1.48
65	10.67	9.84	0.83
70	9.53	8.31	1.22
75	8.83	7.08	1.75
80	6.99	5.91	1.08
85	5.48	4.29	1.19
90	3.66	2.88	0.79
95	2.43	1.55	0.88
100	1.30	0.00	1.30
105	1.16	0.00	1.16
110	1.35	0.00	1.35
115	1.27	0.00	1.27
120	1.36	0.00	1.36
125	1.52	0.00	1.52
130	1.58	0.00	1.58
135	1.73	0.00	1.73
140	1.65	0.00	1.65
145	1.64	0.00	1.64
150	1.65	0.00	1.65
155	1.68	0.00	1.68
160	1.59	0.00	1.59
165	1.69	0.00	1.69
170	1.79	0.00	1.79
175	1.79	0.00	1.79
180	1.78	0.00	1.78
185	1.78	0.00	1.78
190	1.89	0.00	1.89
195	1.74	0.00	1.74
200	1.82	0.00	1.82

sezioni rampa

Prova n°	25	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8	1.206
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	4	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.40	
portata superiore Q _s (l/s)	2.60	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	22.65	23.2	23.7
30	19.75	20.4	20.95
45	15.4	16.5	16.95
60	11.3	12.2	12.8
80	6.25	7.95	8.2
95	2	3.05	3.65
320	1	1	1
350	0.9	0.9	0.9



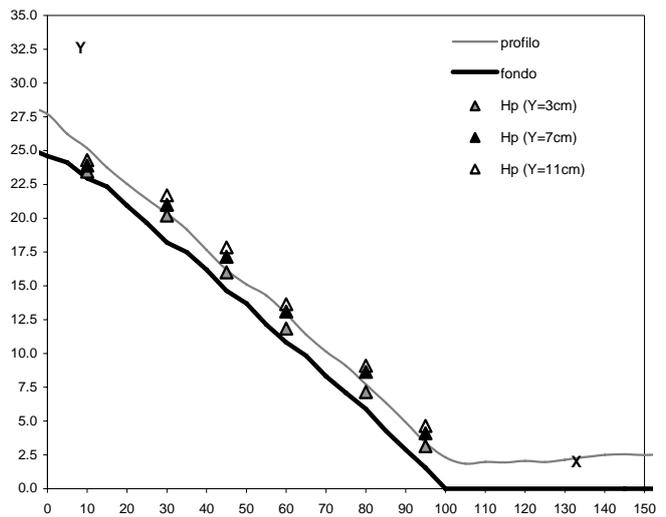
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	29.19	25.20	3.99
-35	29.18	25.20	3.98
-30	28.26	25.20	3.06
-25	28.24	25.20	3.04
-20	28.15	25.20	2.95
-15	28.20	25.20	3.00
-10	28.24	25.20	3.04
-5	28.20	25.20	3.00
0	27.71	24.60	3.11
5	26.24	24.13	2.12
10	25.17	22.97	2.20
15	23.75	22.33	1.42
20	22.53	20.93	1.60
25	21.42	19.66	1.76
30	20.35	18.20	2.15
35	19.16	17.49	1.67
40	17.66	16.19	1.47
45	16.19	14.64	1.55
50	15.11	13.70	1.41
55	14.29	12.13	2.16
60	12.94	10.82	2.12
65	11.40	9.84	1.56
70	10.14	8.31	1.83
75	9.09	7.08	2.01
80	7.72	5.91	1.81
85	6.36	4.29	2.07
90	4.92	2.88	2.05
95	3.41	1.55	1.86
100	2.32	0.00	2.32
105	1.85	0.00	1.85
110	1.99	0.00	1.99
115	1.95	0.00	1.95
120	2.06	0.00	2.06
125	1.98	0.00	1.98
130	2.15	0.00	2.15
135	2.34	0.00	2.34
140	2.50	0.00	2.50
145	2.55	0.00	2.55
150	2.49	0.00	2.49
155	2.58	0.00	2.58
160	2.81	0.00	2.81
165	2.82	0.00	2.82
170	2.85	0.00	2.85
175	2.87	0.00	2.87
180	2.84	0.00	2.84
185	2.72	0.00	2.72
190	2.69	0.00	2.69
195	2.80	0.00	2.80
200	2.75	0.00	2.75

sezioni rampa

Prova n°	26	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8	1.206
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	6.05	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.30	
portata superiore Q _s (l/s)	4.75	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.45	23.9	24.3
30	20.2	21	21.7
45	16	17.15	17.85
60	11.85	13.1	13.65
80	7.15	8.65	9.1
95	3.15	4.1	4.65
320	2.3	2.3	2.3
350	2.25	2.25	2.25



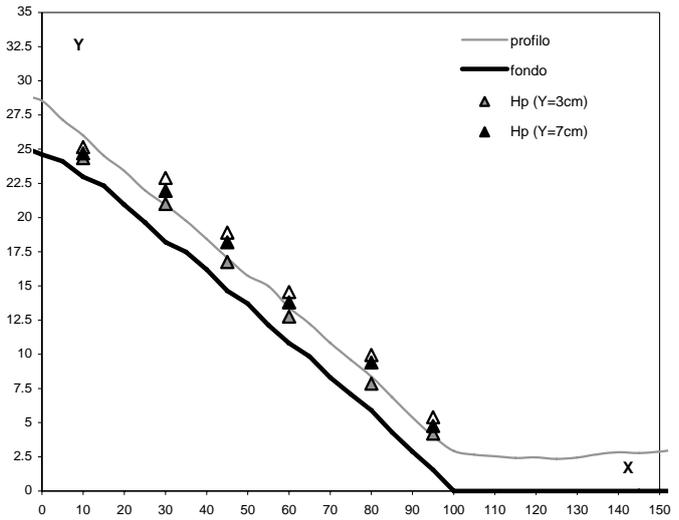
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y ₀ (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.19	25.20	5.99
-35	31.12	25.20	5.92
-30	29.63	25.20	4.43
-25	29.38	25.20	4.18
-20	29.04	25.20	3.84
-15	29.19	25.20	3.99
-10	29.09	25.20	3.89
-5	28.88	25.20	3.68
0	28.54	24.60	3.94
5	27.15	24.13	3.03
10	26.01	22.97	3.04
15	24.53	22.33	2.20
20	23.40	20.93	2.47
25	22.00	19.66	2.34
30	20.92	18.20	2.72
35	19.77	17.49	2.28
40	18.43	16.19	2.24
45	17.04	14.64	2.40
50	15.75	13.70	2.05
55	14.98	12.13	2.85
60	13.42	10.82	2.60
65	12.24	9.84	2.40
70	10.84	8.31	2.53
75	9.58	7.08	2.50
80	8.38	5.91	2.47
85	6.87	4.29	2.58
90	5.38	2.88	2.51
95	4.01	1.55	2.46
100	2.93	0.00	2.93
105	2.66	0.00	2.66
110	2.54	0.00	2.54
115	2.42	0.00	2.42
120	2.46	0.00	2.46
125	2.35	0.00	2.35
130	2.45	0.00	2.45
135	2.69	0.00	2.69
140	2.84	0.00	2.84
145	2.77	0.00	2.77
150	2.88	0.00	2.88
155	3.04	0.00	3.04
160	2.92	0.00	2.92
165	3.03	0.00	3.03
170	3.14	0.00	3.14
175	3.05	0.00	3.05
180	3.10	0.00	3.10
185	3.17	0.00	3.17
190	3.03	0.00	3.03
195	3.12	0.00	3.12
200	3.17	0.00	3.17

sezioni rampa

Prova n°	27	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8	1.206
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _{tot} (l/s)	9.0225	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.19	
portata superiore Q _{sup} (l/s)	12.1	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.35	24.7	25.15
30	21	21.95	22.9
45	16.75	18.2	18.9
60	12.75	13.8	14.55
80	7.85	9.4	9.95
95	4.2	4.75	5.4
320	3.1	3.1	3.1
350	3.1	3.1	3.1



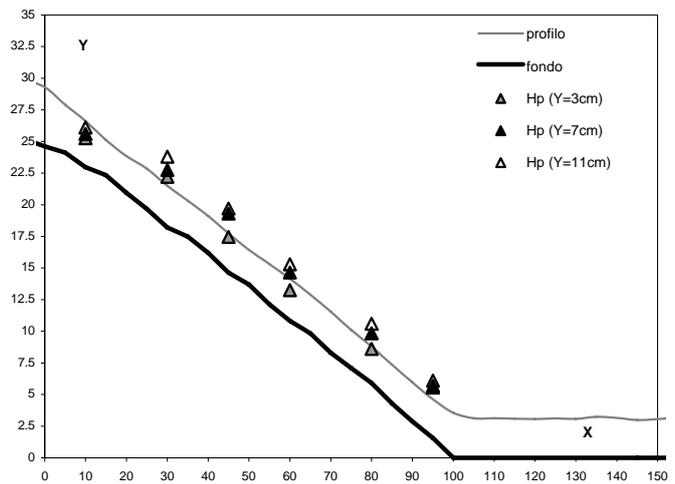
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	32.91	25.20	7.71
-35	32.82	25.20	7.62
-30	31.48	25.20	6.28
-25	30.47	25.20	5.27
-20	29.92	25.20	4.72
-15	30.13	25.20	4.93
-10	29.81	25.20	4.61
-5	29.82	25.20	4.62
0	29.29	24.60	4.69
5	27.91	24.13	3.79
10	26.62	22.97	3.65
15	25.12	22.33	2.79
20	23.84	20.93	2.91
25	22.85	19.66	3.19
30	21.49	18.20	3.29
35	20.32	17.49	2.83
40	19.11	16.19	2.92
45	17.74	14.64	3.10
50	16.44	13.70	2.74
55	15.32	12.13	3.19
60	14.15	10.82	3.33
65	12.89	9.84	3.05
70	11.55	8.31	3.24
75	10.10	7.08	3.02
80	8.80	5.91	2.89
85	7.36	4.29	3.07
90	5.96	2.88	3.09
95	4.62	1.55	3.07
100	3.56	0.00	3.56
105	3.12	0.00	3.12
110	3.12	0.00	3.12
115	3.09	0.00	3.09
120	3.07	0.00	3.07
125	3.11	0.00	3.11
130	3.08	0.00	3.08
135	3.23	0.00	3.23
140	3.15	0.00	3.15
145	2.99	0.00	2.99
150	3.05	0.00	3.05
155	3.19	0.00	3.19
160	3.20	0.00	3.20
165	3.30	0.00	3.30
170	3.60	0.00	3.60
175	3.84	0.00	3.84
180	4.12	0.00	4.12
185	4.53	0.00	4.53
190	4.50	0.00	4.50
195	4.35	0.00	4.35
200	4.49	0.00	4.49

sezioni rampa

Prova n°	28	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8	1.206
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	11.985	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.09	
portata superiore Q _s (l/s)	10.90	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	25.25	25.6	26.1
30	22.2	22.75	23.8
45	17.45	19.3	19.7
60	13.25	14.65	15.3
80	8.6	9.85	10.6
95	5.55	5.7	6.1
320	4.7	4.7	4.7
350	4.75	4.75	4.75

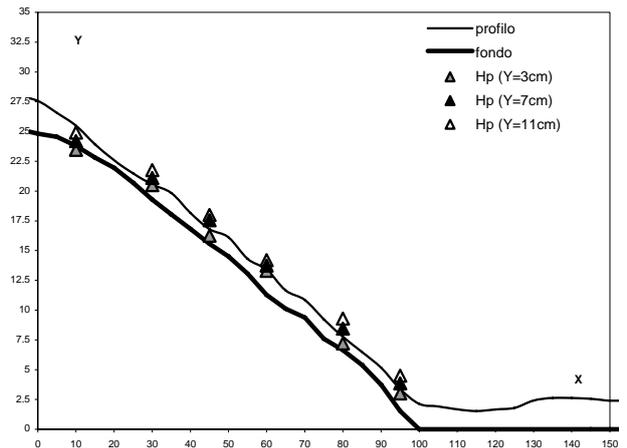


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.59	25.20	3.39
-35	28.54	25.20	3.34
-30	27.99	25.20	2.79
-25	27.86	25.20	2.66
-20	27.96	25.20	2.76
-15	27.94	25.20	2.74
-10	27.96	25.20	2.76
-5	27.93	25.20	2.73
0	27.57	24.82	2.75
5	26.56	24.56	2.00
10	25.49	23.80	1.69
15	23.92	22.81	1.11
20	22.59	21.96	0.63
25	21.48	20.69	0.79
30	20.56	19.29	1.27
35	19.84	18.05	1.79
40	18.17	16.81	1.36
45	16.80	15.57	1.23
50	16.12	14.52	1.60
55	14.31	13.06	1.25
60	13.40	11.29	2.11
65	11.65	10.12	1.53
70	10.85	9.38	1.47
75	9.22	7.59	1.63
80	7.77	6.66	1.11
85	6.49	5.39	1.10
90	5.17	3.74	1.43
95	3.37	1.54	1.83
100	2.13	0.00	2.13
105	1.91	0.00	1.91
110	1.67	0.00	1.67
115	1.53	0.00	1.53
120	1.66	0.00	1.66
125	1.79	0.00	1.79
130	2.42	0.00	2.42
135	2.63	0.00	2.63
140	2.62	0.00	2.62
145	2.56	0.00	2.56
150	2.41	0.00	2.41
155	2.44	0.00	2.44
160	2.62	0.00	2.62
165	2.53	0.00	2.53
170	2.34	0.00	2.34
175	2.55	0.00	2.55
180	2.39	0.00	2.39
185	2.47	0.00	2.47
190	2.61	0.00	2.61
195	2.68	0.00	2.68
200	2.84	0.00	2.84

Prova n°		29	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M8	1.206
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			5.02
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.46
portata superiore Q _u (l/s)			3.56

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.45	24.2	24.9
30	20.5	21.1	21.75
45	16.25	17.55	18
60	13.3	13.75	14.2
80	7.2	8.45	9.3
95	3	3.85	4.5
320	1.85	1.85	1.85
350	1.8	1.8	1.8

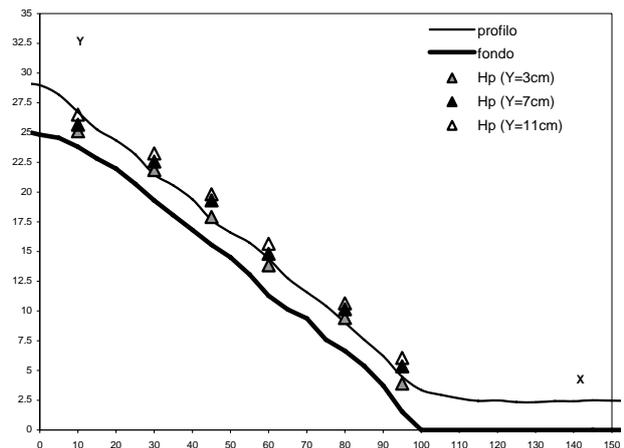


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.05	25.20	5.85
-35	31.03	25.20	5.83
-30	29.72	25.20	4.52
-25	29.49	25.20	4.29
-20	29.24	25.20	4.04
-15	29.24	25.20	4.04
-10	29.27	25.20	4.07
-5	29.14	25.20	3.94
0	28.98	24.82	4.16
5	28.18	24.56	3.62
10	26.72	23.80	2.92
15	25.26	22.81	2.45
20	24.34	21.96	2.38
25	23.16	20.69	2.47
30	21.47	19.29	2.18
35	20.56	18.05	2.51
40	19.38	16.81	2.57
45	17.65	15.57	2.08
50	16.60	14.52	2.08
55	15.73	13.06	2.67
60	14.40	11.29	3.11
65	12.76	10.12	2.64
70	11.58	9.38	2.20
75	10.44	7.59	2.85
80	9.04	6.66	2.38
85	7.60	5.39	2.21
90	6.22	3.74	2.48
95	4.48	1.54	2.94
100	3.36	0.00	3.36
105	2.97	0.00	2.97
110	2.66	0.00	2.66
115	2.44	0.00	2.44
120	2.49	0.00	2.49
125	2.34	0.00	2.34
130	2.33	0.00	2.33
135	2.43	0.00	2.43
140	2.42	0.00	2.42
145	2.50	0.00	2.50
150	2.47	0.00	2.47
155	2.44	0.00	2.44
160	2.48	0.00	2.48
165	2.69	0.00	2.69
170	3.02	0.00	3.02
175	3.03	0.00	3.03
180	3.07	0.00	3.07
185	3.09	0.00	3.09
190	3.36	0.00	3.36
195	3.16	0.00	3.16
200	3.10	0.00	3.10

Prova n°	30	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8	1.206
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	9.01	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	1.36	
portata superiore Q _c (l/s)	7.65	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	25.1	25.65	26.5
30	21.85	22.55	23.25
45	17.9	19.3	19.8
60	13.85	14.8	15.65
80	9.4	10.15	10.65
95	3.9	5.35	6.05
320	3.55	3.55	3.55
350	3.45	3.45	3.45

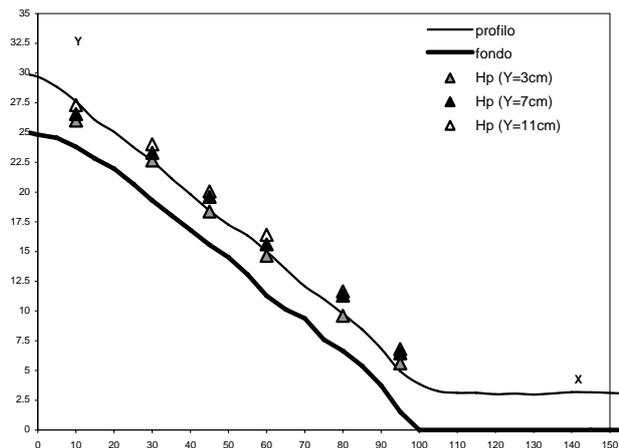


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	32.58	25.20	7.38
-35	32.57	25.20	7.37
-30	31.43	25.20	6.23
-25	30.67	25.20	5.47
-20	30.25	25.20	5.05
-15	30.05	25.20	4.85
-10	29.95	25.20	4.75
-5	29.97	25.20	4.77
0	29.69	24.82	4.87
5	28.83	24.56	4.27
10	27.62	23.80	3.82
15	26.04	22.81	3.23
20	25.06	21.96	3.10
25	23.79	20.69	3.10
30	22.61	19.29	3.32
35	21.15	18.05	3.10
40	19.82	16.81	3.01
45	18.44	15.57	2.87
50	17.25	14.52	2.73
55	16.35	13.06	3.29
60	15.01	11.29	3.73
65	13.52	10.12	3.40
70	12.07	9.38	2.69
75	11.00	7.59	3.41
80	9.77	6.66	3.11
85	8.46	5.39	3.07
90	6.85	3.74	3.11
95	4.95	1.54	3.41
100	3.88	0.00	3.88
105	3.26	0.00	3.26
110	3.12	0.00	3.12
115	3.12	0.00	3.12
120	3.00	0.00	3.00
125	3.06	0.00	3.06
130	2.98	0.00	2.98
135	3.07	0.00	3.07
140	3.18	0.00	3.18
145	3.17	0.00	3.17
150	3.11	0.00	3.11
155	3.08	0.00	3.08
160	3.10	0.00	3.10
165	3.26	0.00	3.26
170	3.31	0.00	3.31
175	3.45	0.00	3.45
180	3.59	0.00	3.59
185	3.71	0.00	3.71
190	3.82	0.00	3.82
195	4.26	0.00	4.26
200	4.35	0.00	4.35

Prova n°	31	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8	1.206
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	12.05	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	1.25	
portata superiore Q _c (l/s)	10.80	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	26	26.55	27.3
30	22.65	23.3	24
45	18.35	19.6	20.05
60	14.65	15.6	16.4
80	9.6	11.3	11.65
95	5.6	6.45	6.8
320	4.7	4.7	4.7
350	4.6	4.6	4.6

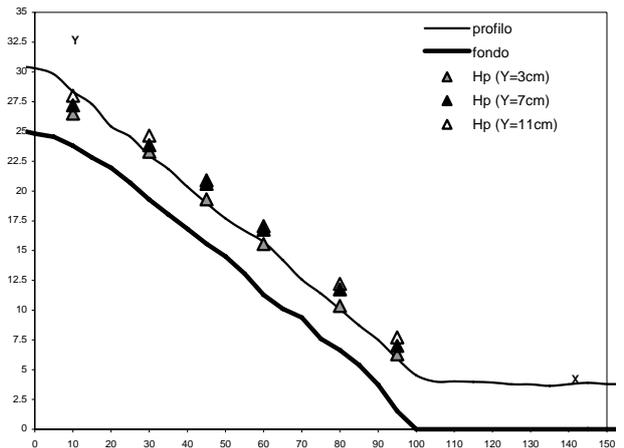


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	34.40	25.20	9.20
-35	34.34	25.20	9.14
-30	33.75	25.20	8.55
-25	32.68	25.20	7.48
-20	31.37	25.20	6.17
-15	31.40	25.20	6.20
-10	30.76	25.20	5.56
-5	30.51	25.20	5.31
0	30.31	24.82	5.49
5	29.81	24.56	5.25
10	28.35	23.80	4.55
15	27.28	22.81	4.47
20	25.43	21.96	3.47
25	24.57	20.69	3.88
30	22.99	19.29	3.70
35	21.85	18.05	3.80
40	20.35	16.81	3.54
45	18.99	15.57	3.42
50	17.70	14.52	3.18
55	16.67	13.06	3.61
60	15.72	11.29	4.43
65	14.21	10.12	4.09
70	12.57	9.38	3.19
75	11.39	7.59	3.80
80	10.09	6.66	3.43
85	8.72	5.39	3.33
90	7.50	3.74	3.76
95	5.94	1.54	4.40
100	4.54	0.00	4.54
105	4.01	0.00	4.01
110	4.02	0.00	4.02
115	3.99	0.00	3.99
120	3.93	0.00	3.93
125	3.78	0.00	3.78
130	3.77	0.00	3.77
135	3.65	0.00	3.65
140	3.78	0.00	3.78
145	3.90	0.00	3.90
150	3.79	0.00	3.79
155	3.81	0.00	3.81
160	3.82	0.00	3.82
165	3.77	0.00	3.77
170	4.16	0.00	4.16
175	4.20	0.00	4.20
180	4.30	0.00	4.30
185	4.52	0.00	4.52
190	4.93	0.00	4.93
195	4.99	0.00	4.99
200	5.06	0.00	5.06

Prova n°		32	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8	1.206	
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			15.02
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			0.98
portata superiore Q _u (l/s)			14.04

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	26.5	27.2	28
30	23.3	23.85	24.65
45	19.3	20.6	20.9
60	15.55	16.75	17.05
80	10.35	11.75	12.2
95	6.3	7	7.7
320	5.8	5.8	5.8
350	5.7	5.7	5.7

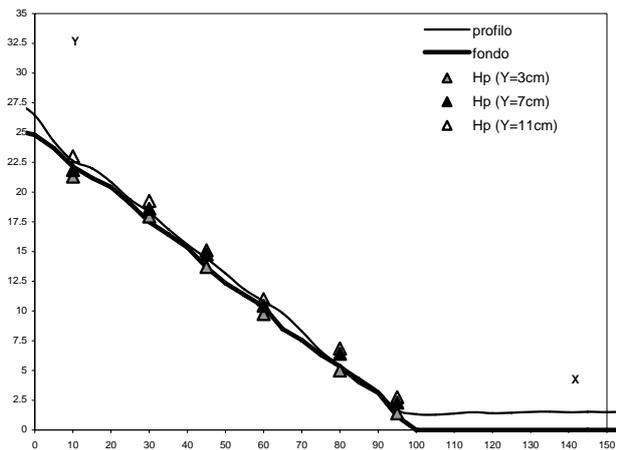


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.70	25.20	2.50
-35	27.69	25.20	2.49
-30	27.53	25.20	2.33
-25	27.48	25.20	2.28
-20	27.49	25.20	2.29
-15	27.40	25.20	2.20
-10	27.39	25.20	2.19
-5	27.45	25.20	2.25
0	26.45	24.79	1.66
5	24.26	23.68	0.58
10	22.61	22.14	0.47
15	22.00	21.18	0.82
20	20.83	20.41	0.42
25	19.38	19.04	0.34
30	18.31	17.48	0.83
35	16.87	16.44	0.43
40	15.58	15.34	0.24
45	14.43	13.67	0.76
50	13.16	12.33	0.83
55	11.81	11.36	0.45
60	10.82	10.38	0.44
65	9.81	8.48	1.33
70	8.29	7.56	0.73
75	6.62	6.31	0.31
80	5.42	5.35	0.07
85	4.36	4.02	0.34
90	3.26	3.12	0.14
95	1.67	1.16	0.51
100	1.33	0.00	1.33
105	1.29	0.00	1.29
110	1.39	0.00	1.39
115	1.49	0.00	1.49
120	1.41	0.00	1.41
125	1.45	0.00	1.45
130	1.52	0.00	1.52
135	1.54	0.00	1.54
140	1.49	0.00	1.49
145	1.53	0.00	1.53
150	1.51	0.00	1.51
155	1.53	0.00	1.53
160	1.52	0.00	1.52
165	1.60	0.00	1.60
170	1.63	0.00	1.63
175	1.59	0.00	1.59
180	1.60	0.00	1.60
185	1.65	0.00	1.65
190	1.64	0.00	1.64
195	1.65	0.00	1.65
200	1.64	0.00	1.64

Prova n°	33	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.184
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.184
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8	1.206
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	3.51	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	1.52	
portata superiore Q _c (l/s)	1.99	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	21.3	21.85	23
30	17.95	18.6	19.25
45	13.7	14.75	15.1
60	9.75	10.45	11
80	5	6.4	6.85
95	1.4	2.3	2.75
320	0.1	0.1	0.1
350	0.2	0.2	0.2

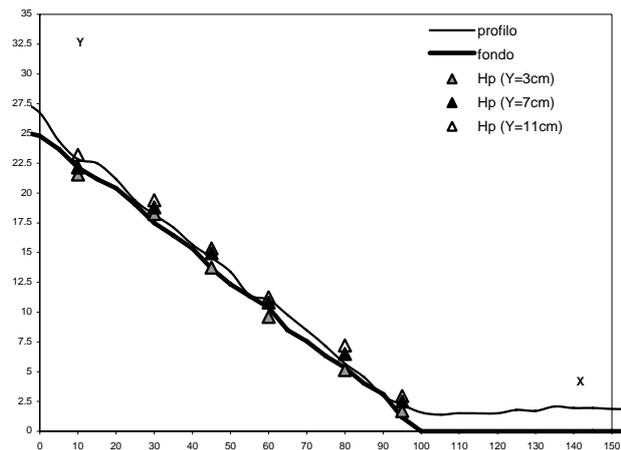


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.90	25.20	2.70
-35	27.86	25.20	2.66
-30	27.66	25.20	2.46
-25	27.57	25.20	2.37
-20	27.59	25.20	2.39
-15	27.60	25.20	2.40
-10	27.59	25.20	2.39
-5	27.58	25.20	2.38
0	26.73	24.79	1.94
5	24.37	23.68	0.70
10	22.83	22.14	0.69
15	22.50	21.18	1.33
20	21.17	20.41	0.76
25	19.37	19.04	0.33
30	18.18	17.48	0.70
35	17.11	16.44	0.67
40	15.68	15.34	0.34
45	14.57	13.67	0.90
50	13.39	12.33	1.06
55	11.44	11.36	0.08
60	11.04	10.38	0.66
65	9.75	8.48	1.27
70	8.47	7.56	0.91
75	7.13	6.31	0.82
80	5.68	5.35	0.33
85	4.55	4.02	0.53
90	2.97	3.12	-0.15
95	2.22	1.16	1.06
100	1.58	0.00	1.58
105	1.40	0.00	1.40
110	1.52	0.00	1.52
115	1.50	0.00	1.50
120	1.51	0.00	1.51
125	1.79	0.00	1.79
130	1.71	0.00	1.71
135	2.08	0.00	2.08
140	1.95	0.00	1.95
145	1.95	0.00	1.95
150	1.88	0.00	1.88
155	1.87	0.00	1.87
160	1.96	0.00	1.96
165	1.93	0.00	1.93
170	2.09	0.00	2.09
175	2.11	0.00	2.11
180	2.01	0.00	2.01
185	2.21	0.00	2.21
190	2.25	0.00	2.25
195	2.18	0.00	2.18
200	2.20	0.00	2.20

Prova n°	34
pendenza rampa (-)	0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8
spessore stato filtrante (cm)	14
portata totale Q _m (l/s)	4.01
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.46
portata superiore Q _u (l/s)	2.55

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	21.55	22.15	23.2
30	18.25	18.8	19.4
45	13.75	14.95	15.35
60	9.6	10.8	11.25
80	5.15	6.5	7.2
95	1.7	2.5	2.95
320	0.55	0.55	0.55
350	0.6	0.6	0.6

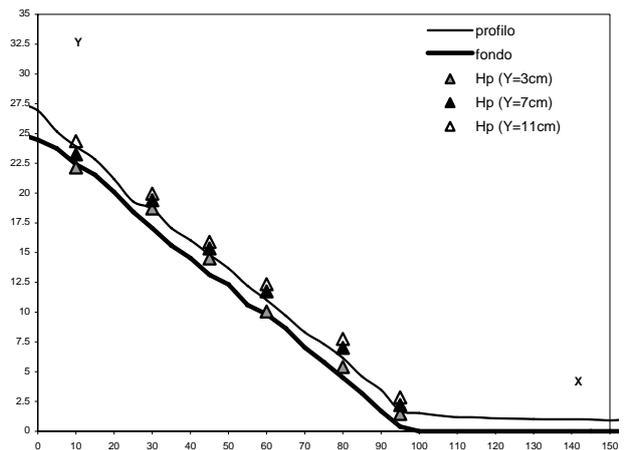


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.69	25.00	2.69
-35	27.62	25.00	2.62
-30	27.41	25.00	2.41
-25	27.42	25.00	2.42
-20	27.48	25.00	2.48
-15	27.53	25.00	2.53
-10	27.59	25.00	2.59
-5	27.47	25.00	2.47
0	26.92	24.47	2.45
5	25.16	23.73	1.44
10	23.91	22.43	1.48
15	22.82	21.53	1.30
20	21.17	20.09	1.08
25	19.29	18.42	0.87
30	18.69	17.07	1.62
35	17.06	15.61	1.45
40	16.05	14.54	1.51
45	14.82	13.13	1.70
50	13.68	12.33	1.36
55	12.20	10.61	1.59
60	11.03	9.82	1.20
65	9.70	8.64	1.06
70	8.31	7.02	1.29
75	7.32	5.80	1.52
80	6.15	4.49	1.66
85	4.60	3.19	1.41
90	3.47	1.68	1.79
95	1.73	0.39	1.34
100	1.53	0.00	1.53
105	1.33	0.00	1.33
110	1.18	0.00	1.18
115	1.16	0.00	1.16
120	1.09	0.00	1.09
125	1.07	0.00	1.07
130	1.02	0.00	1.02
135	1.00	0.00	1.00
140	1.00	0.00	1.00
145	0.99	0.00	0.99
150	0.91	0.00	0.91
155	1.00	0.00	1.00
160	0.98	0.00	0.98
165	0.98	0.00	0.98
170	0.95	0.00	0.95
175	1.05	0.00	1.05
180	0.93	0.00	0.93
185	0.99	0.00	0.99
190	0.90	0.00	0.90
195	0.86	0.00	0.86
200	0.97	0.00	0.97

Prova n°		35	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			4.08
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			0.98
portata superiore Q _u (l/s)			3.10

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	22.15	23.25	24.35
30	18.7	19.4	19.95
45	14.5	15.35	15.9
60	10.05	11.75	12.35
80	5.4	7	7.75
95	1.45	2.2	2.85
320	-0.2	-0.2	-0.2
350	-0.1	-0.1	-0.1



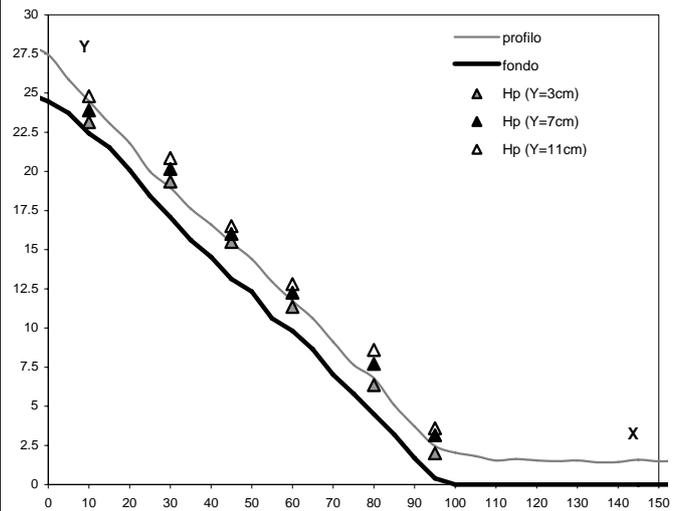
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	29.06	25.00	4.06
-35	28.98	25.00	3.98
-30	28.30	25.00	3.30
-25	28.08	25.00	3.08
-20	28.12	25.00	3.12
-15	28.04	25.00	3.04
-10	27.92	25.00	2.92
-5	27.96	25.00	2.96
0	27.45	24.47	2.98
5	25.86	23.73	2.14
10	24.49	22.43	2.07
15	23.07	21.53	1.55
20	21.81	20.09	1.72
25	19.99	18.42	1.57
30	18.96	17.07	1.89
35	17.61	15.61	2.00
40	16.60	14.54	2.06
45	15.45	13.13	2.33
50	14.40	12.33	2.08
55	12.96	10.61	2.35
60	11.73	9.82	1.91
65	10.61	8.64	1.97
70	9.11	7.02	2.09
75	7.64	5.80	1.84
80	6.79	4.49	2.30
85	5.06	3.19	1.87
90	3.71	1.68	2.03
95	2.46	0.39	2.07
100	2.03	0.00	2.03
105	1.82	0.00	1.82
110	1.54	0.00	1.54
115	1.63	0.00	1.63
120	1.54	0.00	1.54
125	1.49	0.00	1.49
130	1.54	0.00	1.54
135	1.42	0.00	1.42
140	1.44	0.00	1.44
145	1.58	0.00	1.58
150	1.48	0.00	1.48
155	1.50	0.00	1.50
160	1.43	0.00	1.43
165	1.46	0.00	1.46
170	1.46	0.00	1.46
175	1.46	0.00	1.46
180	1.51	0.00	1.51
185	1.44	0.00	1.44
190	1.42	0.00	1.42
195	1.36	0.00	1.36
200	1.44	0.00	1.44

sezioni rampa

Prova n°	36	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	6.01	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.03	
portata superiore Q _s (l/s)	4.98	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.15	23.9	24.8
30	19.35	20.15	20.85
45	15.5	16	16.5
60	11.35	12.25	12.8
80	6.35	7.7	8.6
95	2	3.15	3.6
320	0.85	0.85	0.85
350	0.7	0.7	0.7



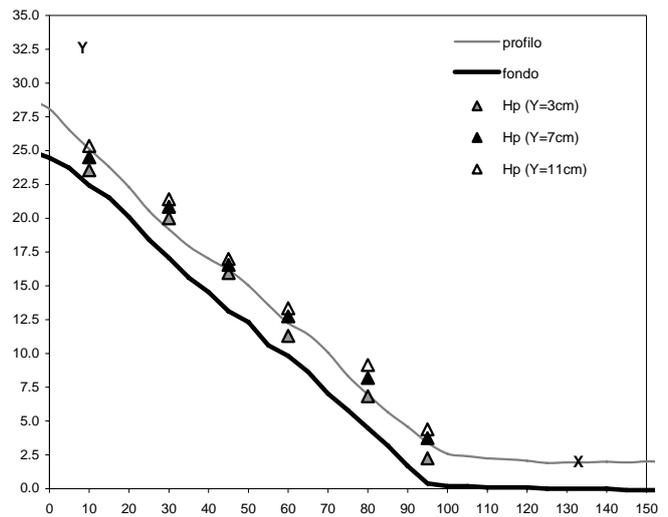
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	30.26	25.00	5.26
-35	30.16	25.00	5.16
-30	29.12	25.00	4.12
-25	28.87	25.00	3.87
-20	28.74	25.00	3.74
-15	28.76	25.00	3.76
-10	28.76	25.00	3.76
-5	28.67	25.00	3.67
0	28.08	24.47	3.61
5	26.53	23.73	2.81
10	25.12	22.43	2.70
15	23.79	21.53	2.27
20	22.29	20.09	2.20
25	20.57	18.42	2.15
30	19.18	17.07	2.11
35	17.94	15.61	2.33
40	17.02	14.54	2.48
45	16.18	13.13	3.06
50	15.03	12.33	2.71
55	13.59	10.61	2.98
60	12.25	9.82	2.43
65	11.41	8.64	2.77
70	10.07	7.02	3.05
75	8.33	5.80	2.53
80	6.97	4.49	2.48
85	5.67	3.19	2.48
90	4.58	1.68	2.90
95	3.42	0.39	3.03
100	2.58	0.20	2.38
105	2.42	0.20	2.22
110	2.25	0.10	2.15
115	2.18	0.10	2.08
120	2.07	0.10	1.97
125	1.91	0.00	1.91
130	1.95	0.00	1.95
135	1.96	0.00	1.96
140	2.00	0.00	2.00
145	1.95	-0.10	2.05
150	2.02	-0.10	2.12
155	2.00	-0.10	2.10
160	1.99	-0.10	2.09
165	2.03	-0.10	2.13
170	2.05	-0.10	2.15
175	2.09	-0.10	2.19
180	2.02	-0.10	2.12
185	2.03	-0.20	2.23
190	2.01	-0.20	2.21
195	2.02	-0.20	2.22
200	2.13	-0.20	2.33

sezioni rampa

Prova n°	37	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	8.03	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	0.76	
portata superiore Q _s (l/s)	7.27	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.55	24.5	25.35
30	20	20.85	21.4
45	15.95	16.55	17
60	11.3	12.75	13.35
80	6.85	8.2	9.15
95	2.25	3.75	4.4
320	1.45	1.45	1.45
350	1.35	1.35	1.35



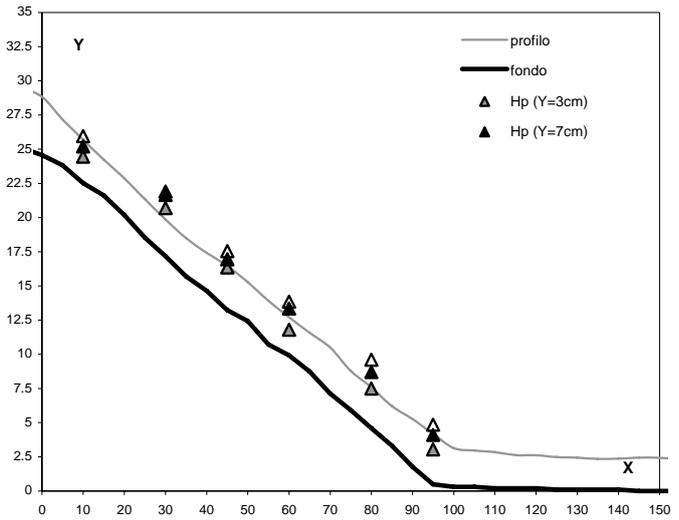
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y ₀ (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.56	25.10	6.46
-35	31.48	25.10	6.38
-30	30.28	25.10	5.18
-25	29.40	25.10	4.30
-20	29.39	25.10	4.29
-15	29.39	25.10	4.29
-10	29.40	25.10	4.30
-5	29.41	25.10	4.31
0	28.83	24.57	4.26
5	27.17	23.83	3.35
10	25.70	22.53	3.18
15	24.24	21.63	2.62
20	22.87	20.19	2.68
25	21.35	18.52	2.83
30	19.86	17.17	2.69
35	18.50	15.71	2.79
40	17.42	14.64	2.78
45	16.46	13.23	3.24
50	15.28	12.43	2.86
55	13.91	10.71	3.20
60	12.71	9.92	2.79
65	11.58	8.74	2.84
70	10.49	7.12	3.37
75	8.78	5.90	2.88
80	7.59	4.59	3.00
85	6.21	3.29	2.92
90	5.27	1.78	3.49
95	4.18	0.49	3.69
100	3.14	0.30	2.84
105	2.96	0.30	2.66
110	2.85	0.20	2.65
115	2.63	0.20	2.43
120	2.62	0.20	2.42
125	2.48	0.10	2.38
130	2.44	0.10	2.34
135	2.35	0.10	2.25
140	2.37	0.10	2.27
145	2.44	0.00	2.44
150	2.43	0.00	2.43
155	2.32	0.00	2.32
160	2.36	0.00	2.36
165	2.37	0.00	2.37
170	2.37	0.00	2.37
175	2.42	0.00	2.42
180	2.42	0.00	2.42
185	2.42	-0.10	2.52
190	2.42	-0.10	2.52
195	2.42	-0.10	2.52
200	2.42	-0.10	2.52

sezioni rampa

Prova n°		38
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _{tot} (l/s)		9.9955
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		0.71
portata superiore Q _{sup} (l/s)		12.1

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.45	25.2	25.95
30	20.7	21.65	21.9
45	16.35	16.95	17.55
60	11.8	13.35	13.85
80	7.5	8.7	9.6
95	3.05	4.1	4.85
320	2.2	2.2	2.2
350	2.1	2.1	2.1



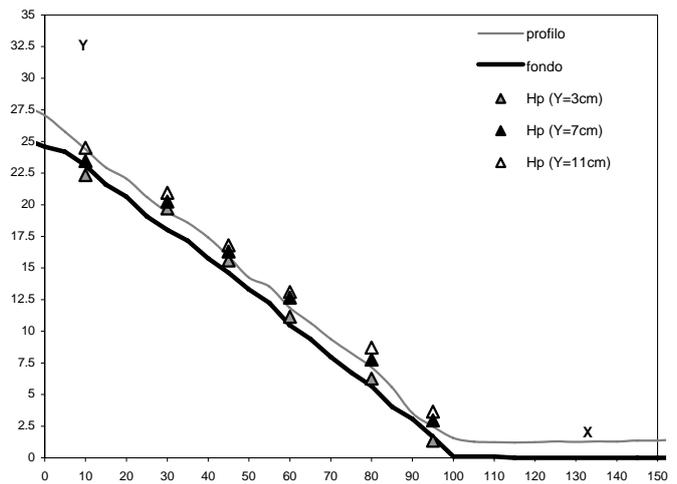
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.00	25.20	2.80
-35	27.98	25.20	2.78
-30	27.64	25.20	2.44
-25	27.62	25.20	2.42
-20	27.68	25.20	2.48
-15	27.75	25.20	2.55
-10	27.76	25.20	2.56
-5	27.73	25.20	2.53
0	27.07	24.59	2.48
5	25.76	24.18	1.59
10	24.39	23.11	1.28
15	22.95	21.60	1.35
20	22.05	20.64	1.41
25	20.61	19.08	1.53
30	19.43	18.02	1.41
35	18.57	17.15	1.42
40	17.41	15.76	1.65
45	15.93	14.63	1.30
50	14.24	13.31	0.93
55	13.53	12.25	1.28
60	11.85	10.48	1.37
65	10.68	9.39	1.29
70	9.39	7.96	1.43
75	8.27	6.73	1.54
80	7.16	5.67	1.49
85	5.57	4.03	1.55
90	3.54	3.08	0.46
95	2.47	1.65	0.82
100	1.57	0.10	1.47
105	1.28	0.10	1.18
110	1.23	0.10	1.13
115	1.21	0.00	1.21
120	1.23	0.00	1.23
125	1.30	0.00	1.30
130	1.25	0.00	1.25
135	1.30	0.00	1.30
140	1.29	0.00	1.29
145	1.37	0.00	1.37
150	1.36	0.00	1.36
155	1.46	0.00	1.46
160	1.44	0.00	1.44
165	1.48	0.00	1.48
170	1.43	0.00	1.43
175	1.43	0.00	1.43
180	1.43	0.00	1.43
185	1.43	0.00	1.43
190	1.43	0.00	1.43
195	1.43	0.00	1.43
200	1.43	0.00	1.43

sezioni rampa

Prova n°	39	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M8	0.552
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	4.0085	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	0.81	
portata superiore Q _s (l/s)	3.19	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	22.35	23.45	24.5
30	19.7	20.25	20.95
45	15.6	16.3	16.8
60	11.15	12.65	13.1
80	6.25	7.75	8.7
95	1.35	2.95	3.65
320	0.15	0.15	0.15
350	0.1	0.1	0.1

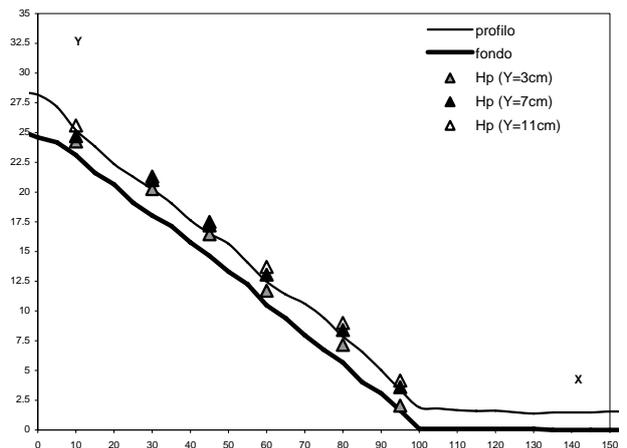


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	29.28	25.20	4.08
-35	29.16	25.20	3.96
-30	28.40	25.20	3.20
-25	28.40	25.20	3.20
-20	28.40	25.20	3.20
-15	28.37	25.20	3.17
-10	28.39	25.20	3.19
-5	28.37	25.20	3.17
0	28.17	24.59	3.58
5	27.16	24.18	2.99
10	25.20	23.11	2.09
15	23.82	21.60	2.22
20	22.35	20.64	1.71
25	21.28	19.08	2.20
30	20.24	18.02	2.22
35	19.06	17.15	1.91
40	17.62	15.76	1.86
45	16.51	14.63	1.88
50	15.65	13.31	2.34
55	14.07	12.25	1.82
60	12.48	10.48	2.00
65	11.39	9.39	2.00
70	10.61	7.96	2.65
75	9.42	6.73	2.69
80	7.86	5.67	2.19
85	6.58	4.03	2.56
90	5.03	3.08	1.95
95	3.38	1.65	1.73
100	1.90	0.10	1.80
105	1.81	0.10	1.71
110	1.66	0.10	1.56
115	1.60	0.10	1.50
120	1.63	0.10	1.53
125	1.49	0.10	1.39
130	1.39	0.10	1.29
135	1.47	0.00	1.47
140	1.47	0.00	1.47
145	1.47	0.00	1.47
150	1.55	0.00	1.55
155	1.55	0.00	1.55
160	1.55	0.00	1.55
165	1.55	0.00	1.55
170	1.55	0.00	1.55
175	1.55	0.00	1.55
180	1.55	0.00	1.55
185	1.55	0.00	1.55
190	1.55	0.00	1.55
195	1.55	0.00	1.55
200	1.55	0.00	1.55

Prova n°		40	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552	
spessore stato filtrante (cm)		14	
portata totale Q _m (l/s)		5.99	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)		1.09	
portata superiore Q _c (l/s)		4.90	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.25	24.7	25.6
30	20.25	21	21.3
45	16.45	17.2	17.5
60	11.7	13.05	13.7
80	7.15	8.4	9
95	2.05	3.6	4.15
320	0.8	0.8	0.8
350	0.7	0.7	0.7

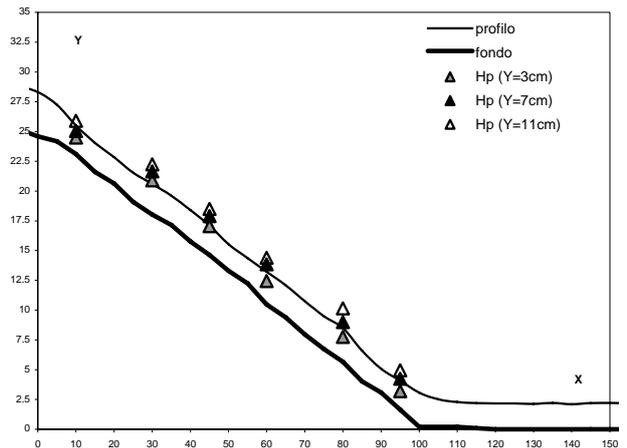


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	30.53	25.20	5.33
-35	30.48	25.20	5.28
-30	29.54	25.20	4.34
-25	28.99	25.20	3.79
-20	29.00	25.20	3.80
-15	28.96	25.20	3.76
-10	29.01	25.20	3.81
-5	28.79	25.20	3.59
0	28.30	24.59	3.71
5	27.25	24.18	3.08
10	25.50	23.11	2.39
15	24.03	21.60	2.43
20	22.84	20.64	2.20
25	21.54	19.08	2.46
30	20.59	18.02	2.57
35	19.61	17.15	2.46
40	18.40	15.76	2.64
45	17.10	14.63	2.47
50	15.54	13.31	2.23
55	14.37	12.25	2.12
60	13.23	10.48	2.75
65	12.09	9.39	2.70
70	10.75	7.96	2.79
75	9.49	6.73	2.76
80	8.49	5.67	2.82
85	6.61	4.03	2.59
90	5.09	3.08	2.01
95	4.08	1.65	2.43
100	3.08	0.20	2.88
105	2.51	0.20	2.31
110	2.28	0.20	2.08
115	2.20	0.10	2.10
120	2.16	0.00	2.16
125	2.17	0.00	2.17
130	2.13	0.00	2.13
135	2.21	0.00	2.21
140	2.10	0.00	2.10
145	2.20	0.00	2.20
150	2.21	0.00	2.21
155	2.19	0.00	2.19
160	2.12	0.00	2.12
165	2.20	0.00	2.20
170	2.25	0.00	2.25
175	2.25	0.00	2.25
180	2.25	0.00	2.25
185	2.25	0.00	2.25
190	2.25	0.00	2.25
195	2.25	0.00	2.25
200	2.25	0.00	2.25

Prova n°		41	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			8.01
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			0.81
portata superiore Q _u (l/s)			7.20

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.5	25.05	25.9
30	20.9	21.65	22.25
45	17.05	17.9	18.5
60	12.45	13.85	14.4
80	7.75	9	10.15
95	3.2	4.25	4.95
320	1.7	1.7	1.7
350	1.6	1.6	1.6

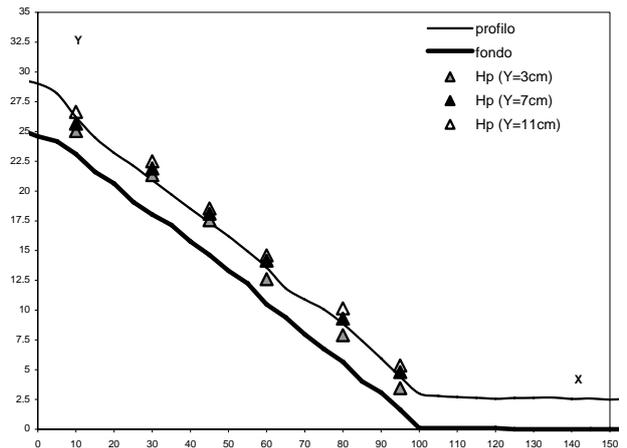


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.51	25.20	6.31
-35	31.46	25.20	6.26
-30	30.12	25.20	4.92
-25	29.62	25.20	4.42
-20	29.33	25.20	4.13
-15	29.39	25.20	4.19
-10	29.32	25.20	4.12
-5	29.30	25.20	4.10
0	29.02	24.59	4.43
5	28.19	24.18	4.02
10	26.21	23.11	3.10
15	24.48	21.60	2.88
20	23.20	20.64	2.56
25	22.13	19.08	3.05
30	20.92	18.02	2.90
35	19.71	17.15	2.56
40	18.51	15.76	2.75
45	17.35	14.63	2.72
50	16.21	13.31	2.90
55	14.94	12.25	2.69
60	13.59	10.48	3.11
65	11.83	9.39	2.44
70	10.89	7.96	2.93
75	10.06	6.73	3.33
80	8.86	5.67	3.19
85	7.44	4.03	3.42
90	5.95	3.08	2.87
95	4.42	1.65	2.77
100	3.00	0.10	2.90
105	2.80	0.10	2.70
110	2.71	0.10	2.61
115	2.65	0.10	2.55
120	2.56	0.10	2.46
125	2.62	0.00	2.62
130	2.64	0.00	2.64
135	2.67	0.00	2.67
140	2.55	0.00	2.55
145	2.58	0.00	2.58
150	2.49	0.00	2.49
155	2.56	0.00	2.56
160	2.58	0.00	2.58
165	2.57	0.00	2.57
170	2.64	0.00	2.64
175	2.64	0.00	2.64
180	2.64	0.00	2.64
185	2.64	0.00	2.64
190	2.64	0.00	2.64
195	2.64	0.00	2.64
200	2.64	0.00	2.64

Prova n°	42	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	9.98	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	0.76	
portata superiore Q _u (l/s)	9.22	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	25.05	25.65	26.65
30	21.35	21.9	22.5
45	17.55	18.1	18.55
60	12.6	14.15	14.6
80	7.9	9.3	10.15
95	3.45	4.8	5.35
320	2.45	2.45	2.45
350	2.35	2.35	2.35

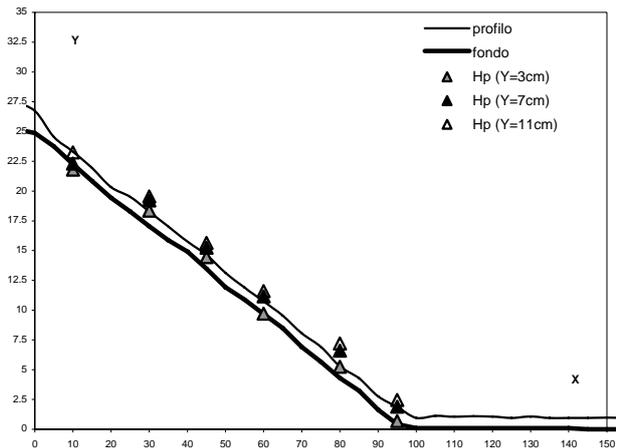


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.44	25.20	2.24
-35	27.36	25.20	2.16
-30	27.60	25.20	2.40
-25	27.86	25.20	2.66
-20	27.37	25.20	2.17
-15	27.39	25.20	2.19
-10	27.46	25.20	2.26
-5	27.37	25.20	2.17
0	26.73	24.88	1.85
5	24.54	23.76	0.78
10	23.31	22.26	1.05
15	21.93	20.85	1.08
20	20.33	19.43	0.90
25	19.52	18.29	1.23
30	18.27	17.05	1.22
35	17.02	15.87	1.15
40	15.76	14.91	0.85
45	14.63	13.48	1.15
50	13.14	11.93	1.22
55	11.89	10.88	1.02
60	10.73	9.68	1.05
65	9.54	8.50	1.04
70	8.05	6.91	1.14
75	6.92	5.68	1.25
80	5.29	4.31	0.98
85	4.28	3.24	1.04
90	2.76	1.64	1.12
95	1.88	0.43	1.46
100	0.96	0.10	0.86
105	1.13	0.10	1.03
110	1.05	0.10	0.95
115	1.10	0.10	1.00
120	1.06	0.10	0.96
125	0.96	0.10	0.86
130	1.06	0.10	0.96
135	0.95	0.10	0.85
140	0.94	0.10	0.84
145	0.96	0.00	0.96
150	0.98	0.00	0.98
155	0.94	0.00	0.94
160	0.89	0.00	0.89
165	0.95	0.00	0.95
170	0.91	0.00	0.91
175	0.94	0.00	0.94
180	0.89	0.00	0.89
185	0.91	0.00	0.91
190	0.94	0.00	0.94
195	0.98	0.00	0.98
200	0.82	0.00	0.82

Prova n°		43	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.18	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.18	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552	
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			3.00
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			0.81
portata superiore Q _u (l/s)			2.19

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	21.8	22.3	23.25
30	18.35	19.2	19.55
45	14.45	15.25	15.65
60	9.7	11.15	11.6
80	5.25	6.6	7.2
95	0.7	1.9	2.45
320	-0.25	-0.25	-0.25
350	-0.4	-0.4	-0.4

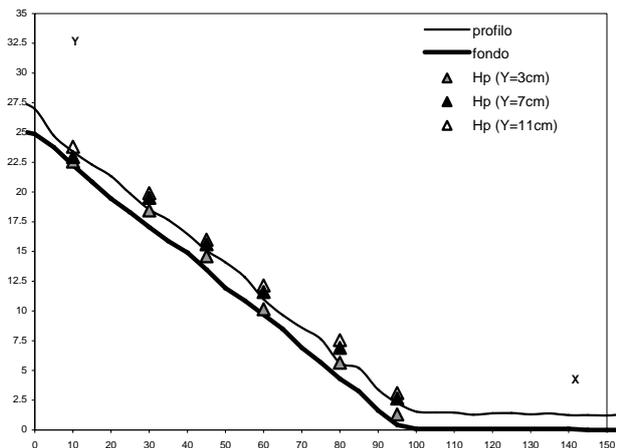


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.97	25.20	2.77
-35	27.89	25.20	2.69
-30	27.79	25.20	2.59
-25	28.33	25.20	3.13
-20	28.51	25.20	3.31
-15	27.68	25.20	2.48
-10	27.70	25.20	2.50
-5	27.58	25.20	2.38
0	26.97	24.88	2.09
5	24.72	23.76	0.96
10	23.39	22.26	1.13
15	22.29	20.85	1.44
20	21.33	19.43	1.90
25	19.86	18.29	1.57
30	18.53	17.05	1.48
35	17.65	15.87	1.78
40	16.46	14.91	1.55
45	15.09	13.48	1.61
50	14.08	11.93	2.16
55	12.86	10.88	1.99
60	10.98	9.68	1.30
65	9.66	8.50	1.16
70	8.59	6.91	1.68
75	7.63	5.68	1.96
80	5.63	4.31	1.32
85	5.19	3.24	1.95
90	3.40	1.64	1.76
95	2.27	0.43	1.85
100	1.54	0.10	1.44
105	1.47	0.10	1.37
110	1.46	0.10	1.36
115	1.28	0.10	1.18
120	1.40	0.10	1.30
125	1.42	0.10	1.32
130	1.32	0.10	1.22
135	1.39	0.10	1.29
140	1.24	0.10	1.14
145	1.24	0.00	1.24
150	1.22	0.00	1.22
155	1.30	0.00	1.30
160	1.28	0.00	1.28
165	1.26	0.00	1.26
170	1.27	0.00	1.27
175	1.27	0.00	1.27
180	1.34	0.00	1.34
185	1.39	0.00	1.39
190	1.33	0.00	1.33
195	1.29	0.00	1.29
200	1.20	0.00	1.20

Prova n°	44
pendenza rampa (-)	0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3
spessore stato filtrante (cm)	14
portata totale Q _m (l/s)	4.05
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	0.87
portata superiore Q _u (l/s)	3.18

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	22.55	22.95	23.8
30	18.45	19.5	19.9
45	14.6	15.6	16
60	10.15	11.6	12.15
80	5.65	6.9	7.55
95	1.3	2.65	3.1
320	0.25	0.25	0.25
350	0.15	0.15	0.15

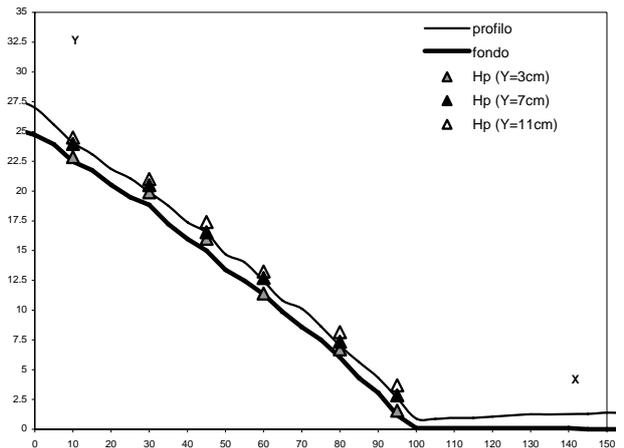


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.97	25.20	2.77
-35	27.92	25.20	2.72
-30	27.63	25.20	2.43
-25	27.54	25.20	2.34
-20	27.63	25.20	2.43
-15	27.56	25.20	2.36
-10	27.68	25.20	2.48
-5	27.59	25.20	2.39
0	26.99	24.71	2.28
5	25.57	23.92	1.65
10	24.06	22.47	1.59
15	23.09	21.76	1.33
20	21.86	20.53	1.34
25	21.07	19.48	1.59
30	19.91	18.85	1.06
35	18.76	17.22	1.54
40	17.39	15.97	1.42
45	16.50	14.99	1.51
50	14.71	13.39	1.32
55	14.01	12.47	1.54
60	12.44	11.35	1.09
65	10.80	9.84	0.96
70	10.12	8.58	1.54
75	8.64	7.51	1.13
80	7.02	6.04	0.98
85	5.65	4.29	1.36
90	4.33	3.08	1.26
95	2.61	1.17	1.44
100	0.90	0.10	0.80
105	0.87	0.10	0.77
110	0.96	0.10	0.86
115	0.96	0.10	0.86
120	1.07	0.10	0.97
125	1.16	0.10	1.06
130	1.26	0.10	1.16
135	1.24	0.10	1.14
140	1.27	0.10	1.17
145	1.29	0.00	1.29
150	1.39	0.00	1.39
155	1.37	0.00	1.37
160	1.36	0.00	1.36
165	1.37	0.00	1.37
170	1.44	0.00	1.44
175	1.40	0.00	1.40
180	1.33	0.00	1.33
185	1.39	0.00	1.39
190	1.38	0.00	1.38
195	1.31	0.00	1.31
200	1.25	0.00	1.25

Prova n°	45	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	3.99	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.84	
portata superiore Q _u (l/s)	2.15	

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	22.85	23.95	24.5
30	19.9	20.5	21
45	16	16.55	17.4
60	11.4	12.7	13.25
80	6.7	7.35	8.15
95	1.55	2.85	3.7
320	0.5	0.5	0.5
350	0.45	0.45	0.45

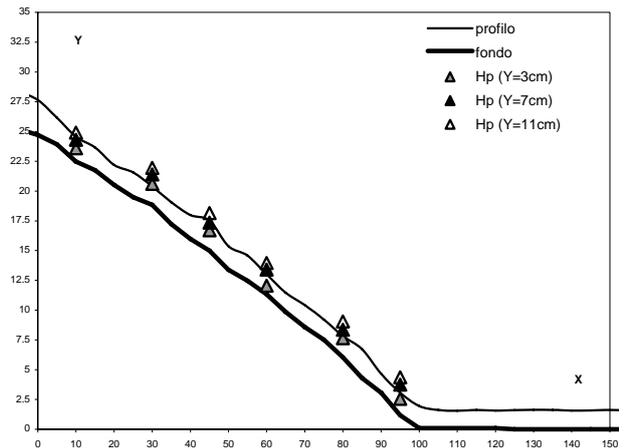


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	29.22	25.20	4.02
-35	29.21	25.20	4.01
-30	28.29	25.20	3.09
-25	28.31	25.20	3.11
-20	28.33	25.20	3.13
-15	28.32	25.20	3.12
-10	28.35	25.20	3.15
-5	28.28	25.20	3.08
0	27.64	24.71	2.93
5	26.16	23.92	2.24
10	24.56	22.47	2.09
15	23.66	21.76	1.90
20	22.20	20.53	1.68
25	21.56	19.48	2.08
30	20.39	18.85	1.54
35	19.06	17.22	1.84
40	17.98	15.97	2.01
45	17.52	14.99	2.53
50	15.38	13.39	1.99
55	14.57	12.47	2.10
60	13.00	11.35	1.66
65	11.46	9.84	1.62
70	10.42	8.58	1.84
75	9.20	7.51	1.69
80	7.84	6.04	1.80
85	6.73	4.29	2.44
90	4.67	3.08	1.60
95	3.07	1.17	1.90
100	1.95	0.10	1.85
105	1.62	0.10	1.52
110	1.56	0.10	1.46
115	1.62	0.10	1.52
120	1.57	0.10	1.47
125	1.60	0.00	1.60
130	1.64	0.00	1.64
135	1.63	0.00	1.63
140	1.57	0.00	1.57
145	1.58	0.00	1.58
150	1.61	0.00	1.61
155	1.59	0.00	1.59
160	1.58	0.00	1.58
165	1.66	0.00	1.66
170	1.62	0.00	1.62
175	1.59	0.00	1.59
180	1.66	0.00	1.66
185	1.62	0.00	1.62
190	1.60	0.00	1.60
195	1.59	0.00	1.59
200	1.66	0.00	1.66

Prova n°		46	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			6.00
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.73
portata superiore Q _u (l/s)			4.26

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.6	24.3	24.9
30	20.6	21.4	21.95
45	16.7	17.35	18.15
60	12.05	13.4	13.95
80	7.65	8.35	9.05
95	2.55	3.75	4.35
320	1	1	1
350	0.95	0.95	0.95



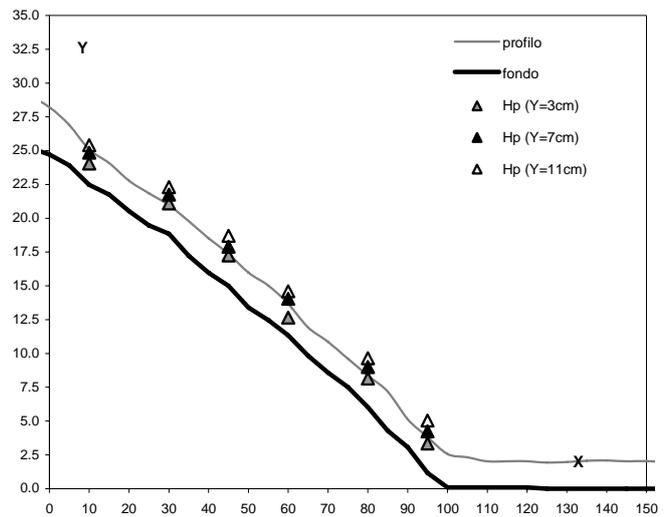
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	30.38	25.20	5.18
-35	30.35	25.20	5.15
-30	29.42	25.20	4.22
-25	29.03	25.20	3.83
-20	29.09	25.20	3.89
-15	29.07	25.20	3.87
-10	29.02	25.20	3.82
-5	28.97	25.20	3.77
0	28.21	24.71	3.50
5	26.90	23.92	2.98
10	25.09	22.47	2.62
15	24.08	21.76	2.32
20	22.78	20.53	2.26
25	21.85	19.48	2.37
30	20.98	18.85	2.13
35	19.78	17.22	2.56
40	18.53	15.97	2.56
45	17.36	14.99	2.37
50	15.98	13.39	2.59
55	15.02	12.47	2.55
60	13.68	11.35	2.34
65	11.92	9.84	2.08
70	10.86	8.58	2.28
75	9.61	7.51	2.10
80	8.37	6.04	2.33
85	7.18	4.29	2.89
90	5.14	3.08	2.07
95	3.83	1.17	2.66
100	2.57	0.10	2.47
105	2.32	0.10	2.22
110	2.03	0.10	1.93
115	2.03	0.10	1.93
120	2.03	0.10	1.93
125	1.94	0.00	1.94
130	1.98	0.00	1.98
135	2.07	0.00	2.07
140	2.09	0.00	2.09
145	2.03	0.00	2.03
150	2.04	0.00	2.04
155	1.98	0.00	1.98
160	1.98	0.00	1.98
165	2.04	0.00	2.04
170	2.01	0.00	2.01
175	1.96	0.00	1.96
180	1.96	0.00	1.96
185	1.96	0.00	1.96
190	1.96	0.00	1.96
195	1.96	0.00	1.96
200	1.96	0.00	1.96

sezioni rampa

Prova n°	47	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	7.98	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.68	
portata superiore Q _s (l/s)	6.30	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.05	24.85	25.4
30	21.1	21.75	22.3
45	17.25	17.9	18.7
60	12.65	14.05	14.6
80	8.15	9	9.65
95	3.35	4.25	5.05
320	1.95	1.95	1.95
350	1.9	1.9	1.9



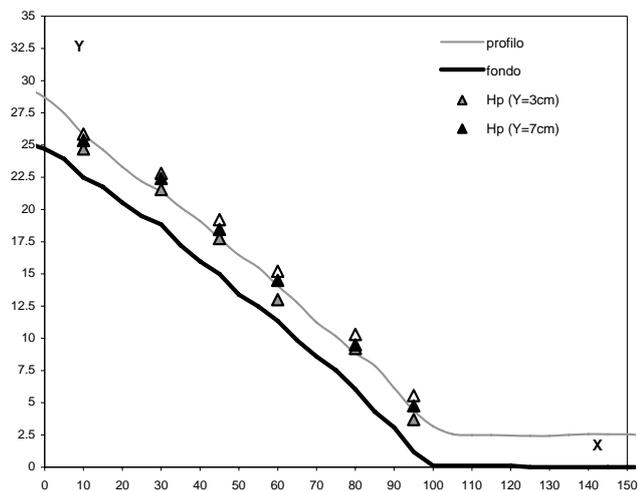
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.51	25.20	6.31
-35	31.47	25.20	6.27
-30	30.79	25.20	5.59
-25	29.63	25.20	4.43
-20	29.60	25.20	4.40
-15	29.42	25.20	4.22
-10	29.41	25.20	4.21
-5	29.42	25.20	4.22
0	28.70	24.71	3.99
5	27.46	23.92	3.54
10	25.82	22.47	3.35
15	24.64	21.76	2.88
20	23.31	20.53	2.79
25	22.17	19.48	2.69
30	21.37	18.85	2.52
35	20.16	17.22	2.94
40	19.11	15.97	3.14
45	17.75	14.99	2.76
50	16.46	13.39	3.07
55	15.49	12.47	3.02
60	14.07	11.35	2.73
65	12.77	9.84	2.93
70	11.23	8.58	2.65
75	10.14	7.51	2.63
80	8.84	6.04	2.80
85	7.86	4.29	3.57
90	6.15	3.08	3.08
95	4.39	1.17	3.22
100	3.17	0.10	3.07
105	2.56	0.10	2.46
110	2.48	0.10	2.38
115	2.48	0.10	2.38
120	2.45	0.10	2.35
125	2.42	0.00	2.42
130	2.42	0.00	2.42
135	2.50	0.00	2.50
140	2.55	0.00	2.55
145	2.54	0.00	2.54
150	2.54	0.00	2.54
155	2.47	0.00	2.47
160	2.50	0.00	2.50
165	2.56	0.00	2.56
170	2.53	0.00	2.53
175	2.52	0.00	2.52
180	2.52	0.00	2.52
185	2.52	0.00	2.52
190	2.52	0.00	2.52
195	2.52	0.00	2.52
200	2.52	0.00	2.52

sezioni rampa

Prova n°	48	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₂₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₂₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _{tot} (l/s)	10.06	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.63	
portata superiore Q _s (l/s)	12.1	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.7	25.35	25.85
30	21.55	22.4	22.8
45	17.75	18.45	19.2
60	13	14.5	15.2
80	9.2	9.5	10.3
95	3.7	4.75	5.55
320	2.2	2.2	2.2
350	2.15	2.15	2.15



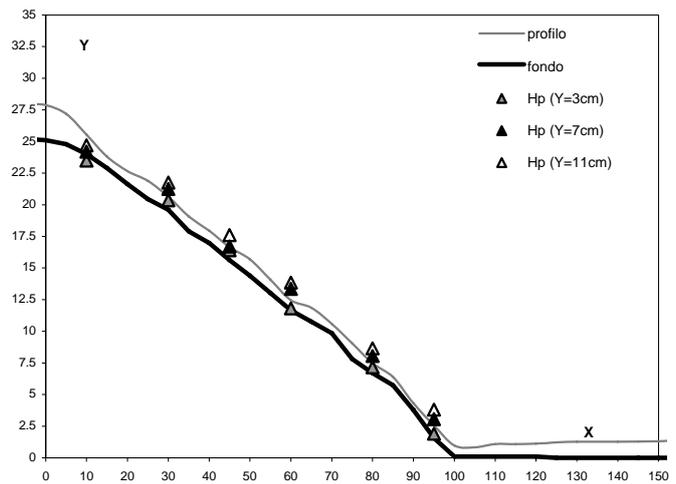
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.00	25.20	2.80
-35	27.92	25.20	2.72
-30	28.02	25.20	2.82
-25	28.55	25.20	3.35
-20	27.94	25.20	2.74
-15	28.00	25.20	2.80
-10	28.13	25.20	2.93
-5	27.96	25.20	2.76
0	27.87	25.11	2.76
5	27.18	24.79	2.39
10	25.55	24.00	1.55
15	23.81	22.90	0.91
20	22.66	21.63	1.03
25	21.89	20.44	1.45
30	20.63	19.60	1.03
35	19.08	17.91	1.17
40	17.95	16.97	0.98
45	16.65	15.63	1.02
50	15.69	14.39	1.30
55	14.09	13.03	1.06
60	12.46	11.65	0.81
65	11.86	10.77	1.09
70	10.58	9.85	0.73
75	9.04	7.81	1.23
80	7.47	6.69	0.78
85	6.39	5.74	0.65
90	4.32	3.78	0.54
95	2.55	1.56	0.99
100	0.97	0.10	0.87
105	0.83	0.10	0.73
110	1.09	0.10	0.99
115	1.09	0.10	0.99
120	1.12	0.10	1.02
125	1.22	0.00	1.22
130	1.27	0.00	1.27
135	1.28	0.00	1.28
140	1.28	0.00	1.28
145	1.29	0.00	1.29
150	1.31	0.00	1.31
155	1.37	0.00	1.37
160	1.30	0.00	1.30
165	1.35	0.00	1.35
170	1.31	0.00	1.31
175	1.34	0.00	1.34
180	1.33	0.00	1.33
185	1.31	0.00	1.31
190	1.30	0.00	1.30
195	1.31	0.00	1.31
200	1.25	0.00	1.25

sezioni rampa

Prova n°	49	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	4.00	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.84	
portata superiore Q _s (l/s)	2.16	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.5	24.2	24.7
30	20.35	21.25	21.75
45	16.4	16.7	17.6
60	11.8	13.35	13.85
80	7.15	8.05	8.65
95	1.9	3.05	3.8
320	0.2	0.2	0.2
350	0.25	0.25	0.25

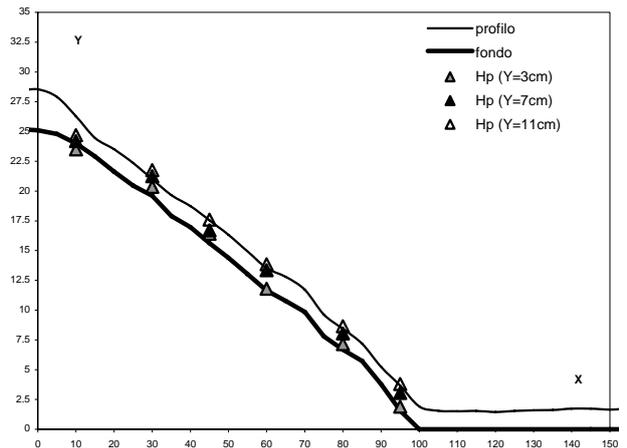


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.99	25.20	3.79
-35	28.98	25.20	3.78
-30	28.48	25.20	3.28
-25	28.43	25.20	3.23
-20	28.41	25.20	3.21
-15	28.39	25.20	3.19
-10	28.49	25.20	3.29
-5	28.42	25.20	3.22
0	28.54	25.11	3.43
5	27.91	24.79	3.12
10	26.28	24.00	2.28
15	24.45	22.90	1.55
20	23.51	21.63	1.88
25	22.35	20.44	1.91
30	21.00	19.60	1.40
35	19.66	17.91	1.75
40	18.74	16.97	1.77
45	17.54	15.63	1.91
50	16.32	14.39	1.93
55	14.93	13.03	1.90
60	13.54	11.65	1.89
65	12.79	10.77	2.02
70	11.72	9.85	1.87
75	9.62	7.81	1.81
80	8.44	6.69	1.75
85	7.19	5.74	1.45
90	5.24	3.78	1.46
95	3.67	1.56	2.11
100	1.92	0.00	1.92
105	1.55	0.00	1.55
110	1.52	0.00	1.52
115	1.54	0.00	1.54
120	1.45	0.00	1.45
125	1.54	0.00	1.54
130	1.59	0.00	1.59
135	1.62	0.00	1.62
140	1.74	0.00	1.74
145	1.73	0.00	1.73
150	1.65	0.00	1.65
155	1.73	0.00	1.73
160	1.75	0.00	1.75
165	1.69	0.00	1.69
170	1.69	0.00	1.69
175	1.64	0.00	1.64
180	1.70	0.00	1.70
185	1.70	0.00	1.70
190	1.71	0.00	1.71
195	1.62	0.00	1.62
200	1.68	0.00	1.68

Prova n°	50		
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480	
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			6.02
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.79
portata superiore Q _u (l/s)			4.23

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.5	24.2	24.7
30	20.35	21.25	21.75
45	16.4	16.7	17.6
60	11.8	13.35	13.85
80	7.15	8.05	8.65
95	1.9	3.05	3.8
320	0.2	0.2	0.2
350	0.25	0.25	0.25

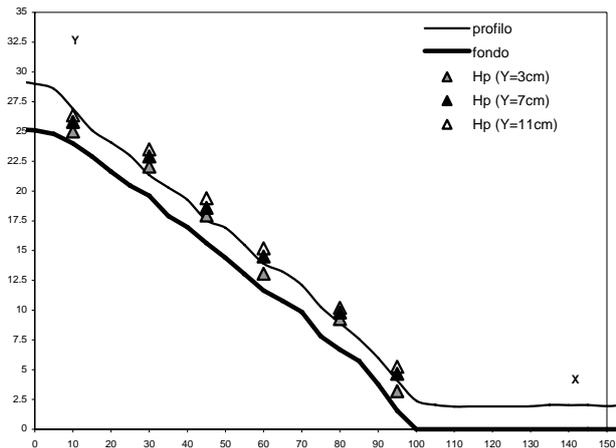


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	30.42	25.20	5.22
-35	30.38	25.20	5.18
-30	29.39	25.20	4.19
-25	29.26	25.20	4.06
-20	29.01	25.20	3.81
-15	28.96	25.20	3.76
-10	29.09	25.20	3.89
-5	29.21	25.20	4.01
0	29.01	25.11	3.90
5	28.57	24.79	3.78
10	26.91	24.00	2.91
15	25.11	22.90	2.21
20	24.08	21.63	2.45
25	22.96	20.44	2.52
30	21.35	19.60	1.75
35	20.29	17.91	2.38
40	19.25	16.97	2.28
45	17.54	15.63	1.91
50	16.91	14.39	2.52
55	15.47	13.03	2.44
60	13.91	11.65	2.26
65	13.22	10.77	2.45
70	12.10	9.85	2.25
75	10.27	7.81	2.46
80	8.91	6.69	2.22
85	7.59	5.74	1.85
90	6.00	3.78	2.22
95	4.11	1.56	2.55
100	2.40	0.00	2.40
105	2.05	0.00	2.05
110	1.90	0.00	1.90
115	1.91	0.00	1.91
120	1.92	0.00	1.92
125	1.92	0.00	1.92
130	1.93	0.00	1.93
135	2.05	0.00	2.05
140	2.02	0.00	2.02
145	2.03	0.00	2.03
150	1.94	0.00	1.94
155	2.05	0.00	2.05
160	1.99	0.00	1.99
165	2.02	0.00	2.02
170	1.97	0.00	1.97
175	2.04	0.00	2.04
180	2.06	0.00	2.06
185	2.10	0.00	2.10
190	2.07	0.00	2.07
195	2.18	0.00	2.18
200	2.13	0.00	2.13

Prova n°		51
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _m (l/s)		8.04
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		1.73
portata superiore Q _u (l/s)		6.31

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	25	25.8	26.35
30	22.05	22.9	23.5
45	17.95	18.6	19.4
60	13.05	14.5	15.2
80	9.25	9.8	10.2
95	3.2	4.65	5.25
320	1.6	1.6	1.6
350	1.5	1.5	1.5

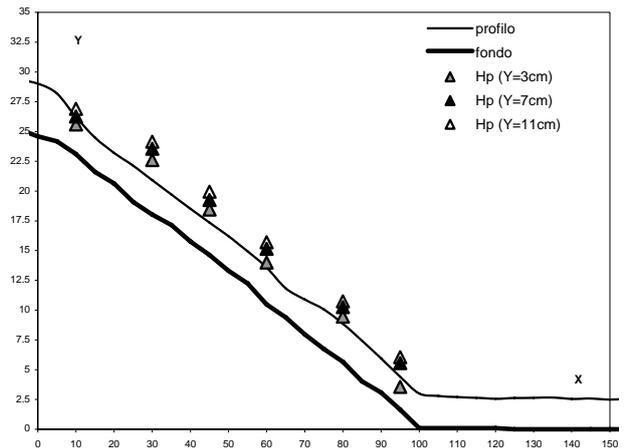


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.51	25.20	6.31
-35	31.46	25.20	6.26
-30	30.12	25.20	4.92
-25	29.62	25.20	4.42
-20	29.33	25.20	4.13
-15	29.39	25.20	4.19
-10	29.32	25.20	4.12
-5	29.30	25.20	4.10
0	29.02	24.59	4.43
5	28.19	24.18	4.02
10	26.21	23.11	3.10
15	24.48	21.60	2.88
20	23.20	20.64	2.56
25	22.13	19.08	3.05
30	20.92	18.02	2.90
35	19.71	17.15	2.56
40	18.51	15.76	2.75
45	17.35	14.63	2.72
50	16.21	13.31	2.90
55	14.94	12.25	2.69
60	13.59	10.48	3.11
65	11.83	9.39	2.44
70	10.89	7.96	2.93
75	10.06	6.73	3.33
80	8.86	5.67	3.19
85	7.44	4.03	3.42
90	5.95	3.08	2.87
95	4.42	1.65	2.77
100	3.00	0.10	2.90
105	2.80	0.10	2.70
110	2.71	0.10	2.61
115	2.65	0.10	2.55
120	2.56	0.10	2.46
125	2.62	0.00	2.62
130	2.64	0.00	2.64
135	2.67	0.00	2.67
140	2.55	0.00	2.55
145	2.58	0.00	2.58
150	2.49	0.00	2.49
155	2.56	0.00	2.56
160	2.58	0.00	2.58
165	2.57	0.00	2.57
170	2.64	0.00	2.64
175	2.64	0.00	2.64
180	2.64	0.00	2.64
185	2.64	0.00	2.64
190	2.64	0.00	2.64
195	2.64	0.00	2.64
200	2.64	0.00	2.64

Prova n°		52	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			10.03
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.63
portata superiore Q _u (l/s)			8.40

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	25.6	26.25	26.9
30	22.6	23.55	24.15
45	18.45	19.25	19.95
60	14	15.15	15.7
80	9.45	10.25	10.75
95	3.55	5.55	6.05
320	3.1	3.1	3.1
350	3	3	3

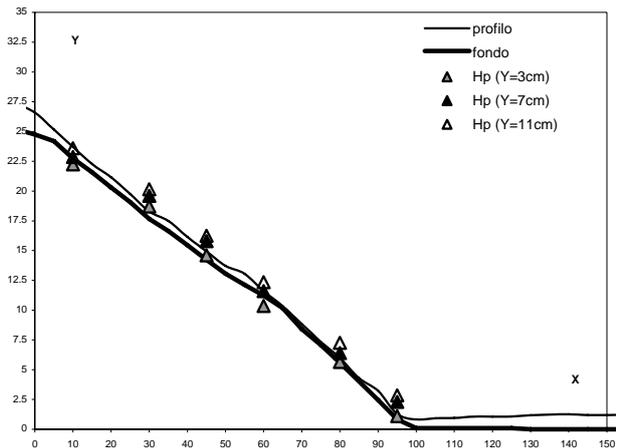


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.45	25.20	2.25
-35	27.38	25.20	2.18
-30	27.65	25.20	2.45
-25	27.72	25.20	2.52
-20	27.34	25.20	2.14
-15	27.28	25.20	2.08
-10	27.44	25.20	2.24
-5	27.28	25.20	2.08
0	26.59	24.75	1.84
5	25.17	24.18	0.99
10	23.70	22.73	0.97
15	22.27	21.58	0.70
20	21.15	20.31	0.84
25	19.76	19.07	0.69
30	18.28	17.66	0.62
35	17.49	16.64	0.85
40	16.14	15.44	0.70
45	14.93	14.23	0.70
50	13.73	13.06	0.67
55	13.05	12.14	0.91
60	11.59	11.23	0.36
65	10.34	10.17	0.17
70	8.83	8.40	0.43
75	7.33	7.08	0.25
80	6.00	5.59	0.41
85	4.30	4.03	0.28
90	3.23	2.46	0.77
95	1.28	0.83	0.45
100	0.83	0.10	0.73
105	0.92	0.10	0.82
110	0.95	0.10	0.85
115	1.06	0.10	0.96
120	1.06	0.10	0.96
125	1.08	0.10	0.98
130	1.17	0.00	1.17
135	1.23	0.00	1.23
140	1.26	0.00	1.26
145	1.20	0.00	1.20
150	1.20	0.00	1.20
155	1.21	0.00	1.21
160	1.21	0.00	1.21
165	1.18	0.00	1.18
170	1.20	0.00	1.20
175	1.20	0.00	1.20
180	1.23	0.00	1.23
185	1.16	0.00	1.16
190	1.19	0.00	1.19
195	1.15	0.00	1.15
200	1.14	0.00	1.14

Prova n°		53
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.18
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.18
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _m (l/s)		3.04
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		1.84
portata superiore Q _u (l/s)		1.20

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	22.25	22.85	23.6
30	18.7	19.6	20.15
45	14.6	15.8	16.25
60	10.35	11.6	12.35
80	5.65	6.4	7.25
95	1.1	2.3	2.85
320	-0.3	-0.3	-0.3
350	-0.25	-0.25	-0.25

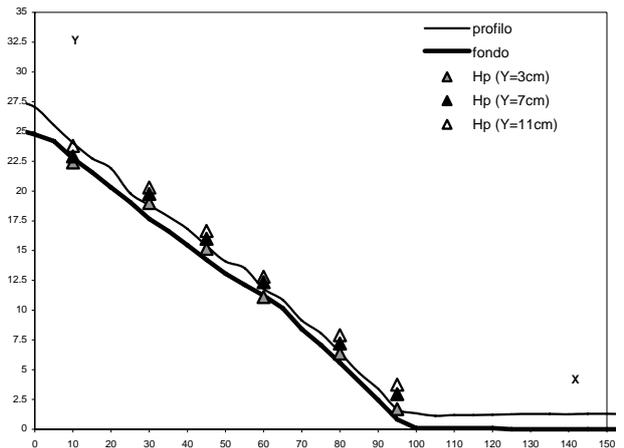


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.96	25.20	2.76
-35	27.87	25.20	2.67
-30	27.56	25.20	2.36
-25	28.08	25.20	2.88
-20	28.33	25.20	3.13
-15	27.83	25.20	2.63
-10	27.65	25.20	2.45
-5	27.52	25.20	2.32
0	27.04	24.75	2.29
5	25.53	24.18	1.35
10	24.04	22.73	1.31
15	22.75	21.58	1.18
20	21.90	20.31	1.59
25	19.82	19.07	0.75
30	18.81	17.66	1.15
35	17.86	16.64	1.22
40	16.82	15.44	1.38
45	15.39	14.23	1.16
50	14.10	13.06	1.04
55	13.53	12.14	1.39
60	11.79	11.23	0.56
65	10.87	10.17	0.70
70	9.13	8.40	0.73
75	8.06	7.08	0.98
80	6.44	5.59	0.85
85	4.74	4.03	0.72
90	3.40	2.46	0.94
95	1.69	0.83	0.86
100	1.34	0.10	1.24
105	1.13	0.10	1.03
110	1.20	0.10	1.10
115	1.20	0.10	1.10
120	1.22	0.10	1.12
125	1.26	0.00	1.26
130	1.29	0.00	1.29
135	1.28	0.00	1.28
140	1.26	0.00	1.26
145	1.31	0.00	1.31
150	1.30	0.00	1.30
155	1.27	0.00	1.27
160	1.26	0.00	1.26
165	1.29	0.00	1.29
170	1.30	0.00	1.30
175	1.29	0.00	1.29
180	1.29	0.00	1.29
185	1.27	0.00	1.27
190	1.26	0.00	1.26
195	1.31	0.00	1.31
200	1.14	0.00	1.14

Prova n°	54
pendenza rampa (-)	0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1
spessore stato filtrante (cm)	14
portata totale Q _m (l/s)	4.08
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.73
portata superiore Q _u (l/s)	2.34

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	22.4	22.9	23.8
30	19	19.75	20.3
45	15.15	16	16.65
60	11.1	12.35	12.8
80	6.35	7.2	7.9
95	1.7	2.95	3.75
320	0.3	0.3	0.3
350	0.35	0.35	0.35

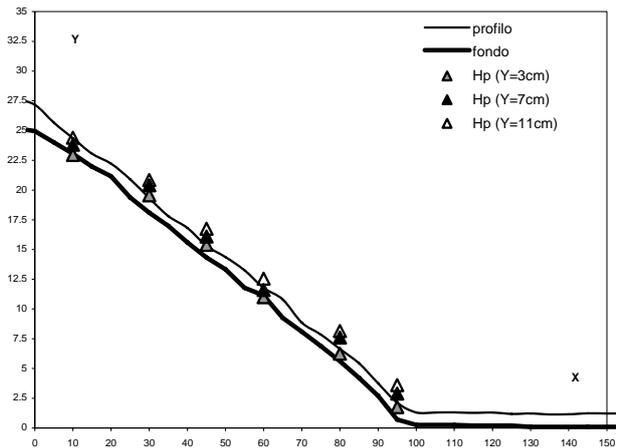


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.03	25.20	2.83
-35	27.98	25.20	2.78
-30	27.79	25.20	2.59
-25	27.73	25.20	2.53
-20	27.70	25.20	2.50
-15	27.73	25.20	2.53
-10	27.73	25.20	2.53
-5	27.61	25.20	2.41
0	27.16	24.94	2.22
5	25.67	24.01	1.66
10	24.35	23.05	1.30
15	23.05	21.96	1.09
20	22.22	21.16	1.06
25	20.90	19.37	1.53
30	19.32	18.10	1.22
35	17.80	16.99	0.81
40	16.81	15.59	1.22
45	15.30	14.34	0.96
50	14.37	13.34	1.03
55	13.26	11.78	1.49
60	11.78	11.15	0.63
65	10.81	9.26	1.55
70	8.85	8.09	0.76
75	7.85	6.88	0.98
80	6.64	5.63	1.02
85	5.45	4.21	1.24
90	3.76	2.69	1.07
95	2.13	0.72	1.41
100	1.31	0.25	1.06
105	1.30	0.25	1.05
110	1.32	0.25	1.07
115	1.28	0.20	1.08
120	1.30	0.20	1.10
125	1.19	0.20	0.99
130	1.22	0.10	1.12
135	1.14	0.10	1.04
140	1.16	0.10	1.06
145	1.23	0.10	1.13
150	1.22	0.10	1.12
155	1.22	0.10	1.12
160	1.18	0.10	1.08
165	1.24	0.00	1.24
170	1.25	0.00	1.25
175	1.19	0.00	1.19
180	1.29	0.00	1.29
185	1.27	0.00	1.27
190	1.26	0.00	1.26
195	1.26	0.00	1.26
200	1.14	0.00	1.14

Prova n°	55		
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656	
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			4.02
portata filtrante Q _{thr} (l/s)			1.36
portata superiore Q _c (l/s)			2.67

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	22.95	23.8	24.4
30	19.55	20.4	20.85
45	15.4	16.1	16.75
60	11	11.6	12.55
80	6.25	7.6	8.15
95	1.75	2.9	3.6
320	0.15	0.15	0.15
350	0.05	0.05	0.05

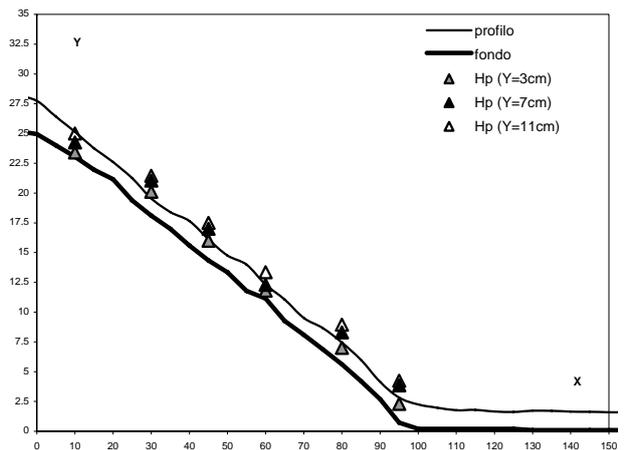


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	29.48	25.20	4.28
-35	29.42	25.20	4.22
-30	28.21	25.20	3.01
-25	28.29	25.20	3.09
-20	28.26	25.20	3.06
-15	28.27	25.20	3.07
-10	28.26	25.20	3.06
-5	28.17	25.20	2.97
0	27.74	24.94	2.80
5	26.42	24.01	2.41
10	25.14	23.05	2.09
15	23.75	21.96	1.79
20	22.60	21.16	1.44
25	21.25	19.37	1.88
30	19.55	18.10	1.45
35	18.40	16.99	1.41
40	17.65	15.59	2.06
45	16.12	14.34	1.78
50	14.75	13.34	1.41
55	13.99	11.78	2.22
60	12.31	11.15	1.16
65	11.06	9.26	1.80
70	9.51	8.09	1.42
75	8.65	6.88	1.78
80	7.45	5.63	1.83
85	5.99	4.21	1.78
90	4.15	2.69	1.46
95	2.82	0.72	2.10
100	2.25	0.20	2.05
105	1.97	0.20	1.77
110	1.77	0.20	1.57
115	1.79	0.20	1.59
120	1.66	0.20	1.46
125	1.63	0.20	1.43
130	1.72	0.10	1.62
135	1.71	0.10	1.61
140	1.65	0.10	1.55
145	1.64	0.10	1.54
150	1.59	0.10	1.49
155	1.60	0.10	1.50
160	1.60	0.10	1.50
165	1.60	0.00	1.60
170	1.60	0.00	1.60
175	1.60	0.00	1.60
180	1.60	0.00	1.60
185	1.60	0.00	1.60
190	1.60	0.00	1.60
195	1.60	0.00	1.60
200	1.60	0.00	1.60

Prova n°		56	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656	
spessore stato filtrante (cm)		14	
portata totale Q _m (l/s)		6.03	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		1.30	
portata superiore Q _u (l/s)		4.73	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.4	24.25	25
30	20.1	21.05	21.45
45	16	17	17.5
60	11.8	12.3	13.35
80	7	8.3	8.95
95	2.3	3.85	4.25
320	1.1	1.1	1.1
350	1	1	1



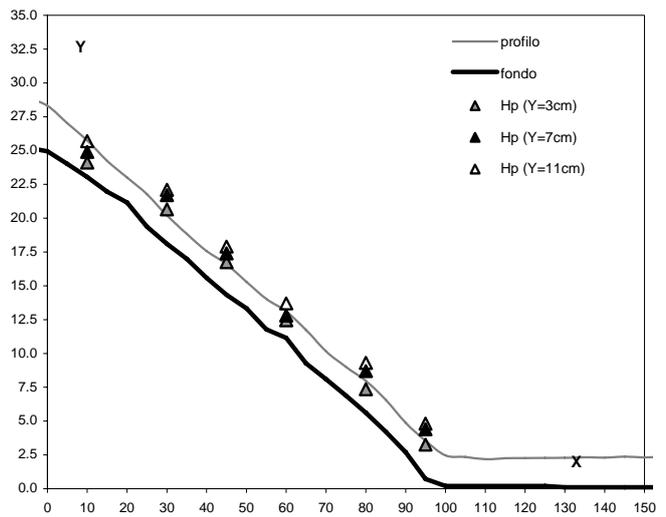
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	30.57	25.20	5.37
-35	30.44	25.20	5.24
-30	29.32	25.20	4.12
-25	29.21	25.20	4.01
-20	29.22	25.20	4.02
-15	29.16	25.20	3.96
-10	29.08	25.20	3.88
-5	28.86	25.20	3.66
0	28.31	24.94	3.37
5	27.02	24.01	3.01
10	25.75	23.05	2.70
15	24.24	21.96	2.28
20	23.01	21.16	1.85
25	21.78	19.37	2.41
30	20.20	18.10	2.10
35	18.84	16.99	1.85
40	17.57	15.59	1.98
45	16.60	14.34	2.26
50	15.29	13.34	1.95
55	14.02	11.78	2.25
60	13.11	11.15	1.96
65	11.72	9.26	2.46
70	10.15	8.09	2.06
75	9.00	6.88	2.13
80	7.97	5.63	2.35
85	6.57	4.21	2.36
90	4.87	2.69	2.18
95	3.55	0.72	2.83
100	2.46	0.20	2.26
105	2.34	0.20	2.14
110	2.18	0.20	1.98
115	2.25	0.20	2.05
120	2.26	0.20	2.06
125	2.27	0.20	2.07
130	2.28	0.10	2.18
135	2.32	0.10	2.22
140	2.30	0.10	2.20
145	2.37	0.10	2.27
150	2.31	0.10	2.21
155	2.36	0.10	2.26
160	2.33	0.10	2.23
165	2.33	0.00	2.33
170	2.33	0.00	2.33
175	2.33	0.00	2.33
180	2.33	0.00	2.33
185	2.33	0.00	2.33
190	2.33	0.00	2.33
195	2.33	0.00	2.33
200	2.33	0.00	2.33

sezioni rampa

Prova n°	57	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	8.01	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.25	
portata superiore Q _s (l/s)	6.77	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.1	24.9	25.7
30	20.65	21.7	22.1
45	16.75	17.4	17.9
60	12.45	12.8	13.7
80	7.35	8.7	9.3
95	3.25	4.4	4.8
320	1.85	1.85	1.85
350	1.8	1.8	1.8



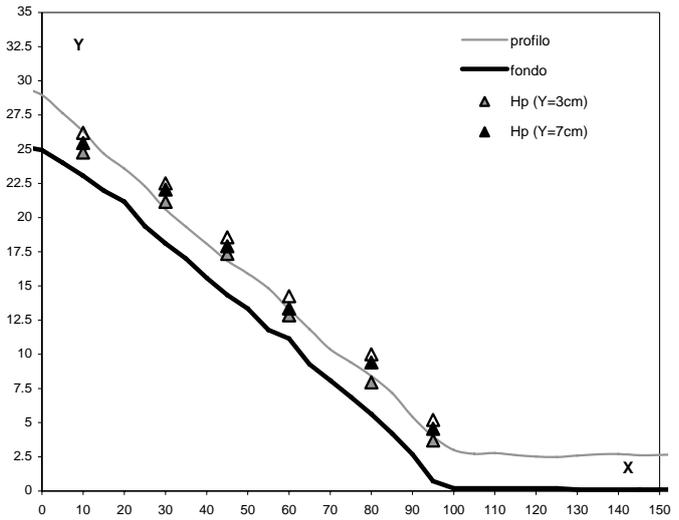
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y ₀ (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.69	25.20	6.49
-35	31.62	25.20	6.42
-30	30.37	25.20	5.17
-25	29.65	25.20	4.45
-20	29.66	25.20	4.46
-15	29.61	25.20	4.41
-10	29.54	25.20	4.34
-5	29.46	25.20	4.26
0	28.96	24.94	4.02
5	27.64	24.01	3.63
10	26.31	23.05	3.26
15	24.68	21.96	2.72
20	23.58	21.16	2.42
25	22.29	19.37	2.92
30	20.60	18.10	2.50
35	19.33	16.99	2.34
40	18.08	15.59	2.49
45	16.84	14.34	2.50
50	15.90	13.34	2.56
55	14.82	11.78	3.05
60	13.30	11.15	2.15
65	11.84	9.26	2.58
70	10.37	8.09	2.28
75	9.41	6.88	2.54
80	8.41	5.63	2.79
85	7.18	4.21	2.97
90	5.43	2.69	2.74
95	3.98	0.72	3.26
100	3.00	0.20	2.80
105	2.72	0.20	2.52
110	2.77	0.20	2.57
115	2.63	0.20	2.43
120	2.52	0.20	2.32
125	2.48	0.20	2.28
130	2.60	0.10	2.50
135	2.68	0.10	2.58
140	2.71	0.10	2.61
145	2.62	0.10	2.52
150	2.64	0.10	2.54
155	2.67	0.10	2.57
160	2.69	0.10	2.59
165	2.69	0.00	2.69
170	2.69	0.00	2.69
175	2.69	0.00	2.69
180	2.69	0.00	2.69
185	2.69	0.00	2.69
190	2.69	0.00	2.69
195	2.69	0.00	2.69
200	2.69	0.00	2.69

sezioni rampa

Prova n°	58	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	40.92
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _{tot} (l/s)	10.03	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.14	
portata superiore Q _{sup} (l/s)	12.1	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.75	25.45	26.2
30	21.15	22.05	22.5
45	17.35	17.9	18.55
60	12.85	13.35	14.25
80	7.95	9.4	10
95	3.7	4.55	5.2
320	2.8	2.8	2.8
350	2.7	2.7	2.7



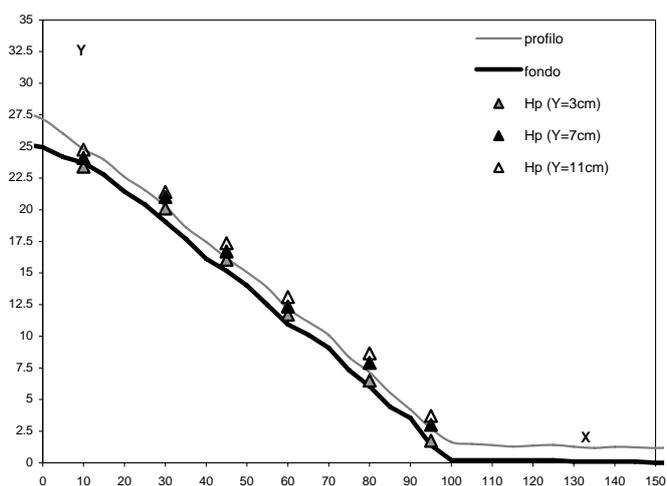
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.01	25.20	2.81
-35	27.94	25.20	2.74
-30	27.55	25.20	2.35
-25	27.58	25.20	2.38
-20	28.40	25.20	3.20
-15	27.96	25.20	2.76
-10	27.65	25.20	2.45
-5	27.66	25.20	2.46
0	27.16	24.94	2.22
5	26.02	24.17	1.85
10	24.78	23.72	1.06
15	23.96	22.78	1.19
20	22.59	21.43	1.16
25	21.55	20.41	1.14
30	20.29	19.04	1.25
35	18.62	17.71	0.91
40	17.45	16.13	1.33
45	16.19	15.18	1.02
50	15.06	14.01	1.05
55	13.84	12.49	1.35
60	12.18	10.93	1.25
65	11.13	10.12	1.01
70	10.08	9.09	0.99
75	8.34	7.31	1.03
80	7.15	6.05	1.10
85	5.55	4.43	1.12
90	4.21	3.54	0.67
95	2.71	1.39	1.32
100	1.63	0.20	1.43
105	1.49	0.20	1.29
110	1.40	0.20	1.20
115	1.29	0.20	1.09
120	1.35	0.20	1.15
125	1.41	0.20	1.21
130	1.27	0.10	1.17
135	1.17	0.10	1.07
140	1.26	0.10	1.16
145	1.22	0.10	1.12
150	1.17	0.00	1.17
155	1.22	0.00	1.22
160	1.26	0.00	1.26
165	1.26	0.00	1.26
170	1.31	0.00	1.31
175	1.24	0.00	1.24
180	1.25	0.00	1.25
185	1.21	0.00	1.21
190	1.28	0.00	1.28
195	1.26	0.00	1.26
200	1.14	0.00	1.14

sezioni rampa

Prova n°	59	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	4.03	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.36	
portata superiore Q _s (l/s)	2.68	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.4	24.1	24.75
30	20.1	21	21.4
45	16.05	16.7	17.35
60	11.7	12.35	13.1
80	6.5	7.9	8.65
95	1.75	3	3.7
320	0.15	0.15	0.15
350	0.1	0.1	0.1

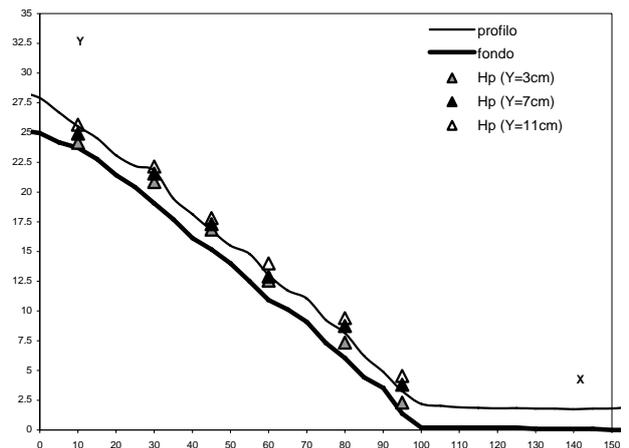


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	29.25	25.20	4.05
-35	29.18	25.20	3.98
-30	28.41	25.20	3.21
-25	28.39	25.20	3.19
-20	28.40	25.20	3.20
-15	28.42	25.20	3.22
-10	28.41	25.20	3.21
-5	28.34	25.20	3.14
0	27.90	24.94	2.96
5	26.70	24.17	2.53
10	25.51	23.72	1.79
15	24.52	22.78	1.75
20	23.09	21.43	1.66
25	22.19	20.41	1.78
30	21.80	19.04	2.76
35	19.46	17.71	1.75
40	18.14	16.13	2.02
45	16.77	15.18	1.60
50	15.49	14.01	1.48
55	14.80	12.49	2.31
60	13.03	10.93	2.10
65	11.73	10.12	1.61
70	11.04	9.09	1.95
75	9.25	7.31	1.94
80	8.15	6.05	2.10
85	6.24	4.43	1.81
90	4.89	3.54	1.35
95	3.28	1.39	1.89
100	2.20	0.20	2.00
105	2.04	0.20	1.84
110	1.90	0.20	1.70
115	1.87	0.20	1.67
120	1.82	0.20	1.62
125	1.84	0.20	1.64
130	1.79	0.10	1.69
135	1.79	0.10	1.69
140	1.75	0.10	1.65
145	1.79	0.10	1.69
150	1.81	0.00	1.81
155	1.92	0.00	1.92
160	1.82	0.00	1.82
165	1.91	0.00	1.91
170	1.93	0.00	1.93
175	1.93	0.00	1.93
180	1.93	0.00	1.93
185	1.93	0.00	1.93
190	1.93	0.00	1.93
195	1.93	0.00	1.93
200	1.93	0.00	1.93

Prova n°	60	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	6.02	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	1.30	
portata superiore Q _c (l/s)	4.71	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.15	24.9	25.65
30	20.85	21.55	22.15
45	16.85	17.3	17.8
60	12.55	12.9	14
80	7.35	8.75	9.4
95	2.3	3.8	4.55
320	1.1	1.1	1.1
350	1	1	1

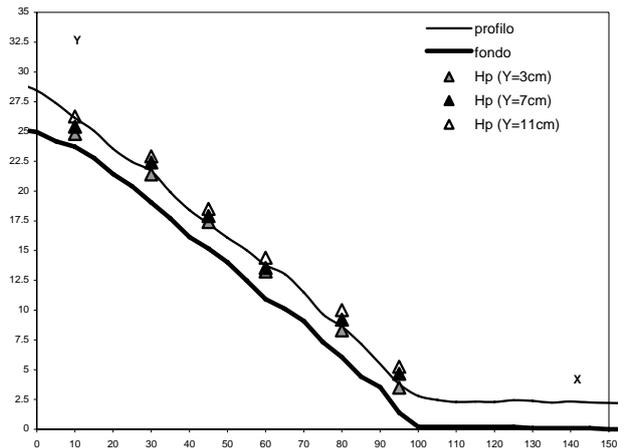


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	30.52	25.20	5.32
-35	30.45	25.20	5.25
-30	29.43	25.20	4.23
-25	29.16	25.20	3.96
-20	29.20	25.20	4.00
-15	29.11	25.20	3.91
-10	29.00	25.20	3.80
-5	29.00	25.20	3.80
0	28.43	24.94	3.49
5	27.38	24.17	3.21
10	26.13	23.72	2.41
15	25.05	22.78	2.28
20	23.55	21.43	2.12
25	22.45	20.41	2.04
30	21.67	19.04	2.63
35	19.91	17.71	2.20
40	18.40	16.13	2.28
45	17.25	15.18	2.08
50	16.08	14.01	2.07
55	15.04	12.49	2.55
60	13.79	10.93	2.86
65	13.03	10.12	2.91
70	11.49	9.09	2.40
75	9.66	7.31	2.35
80	8.61	6.05	2.56
85	7.18	4.43	2.75
90	5.48	3.54	1.94
95	3.81	1.39	2.42
100	2.80	0.20	2.60
105	2.47	0.20	2.27
110	2.29	0.20	2.09
115	2.32	0.20	2.12
120	2.30	0.20	2.10
125	2.44	0.20	2.24
130	2.38	0.10	2.28
135	2.24	0.10	2.14
140	2.33	0.10	2.23
145	2.25	0.10	2.15
150	2.21	0.00	2.21
155	2.18	0.00	2.18
160	2.10	0.00	2.10
165	2.23	0.00	2.23
170	2.21	0.00	2.21
175	2.21	0.00	2.21
180	2.21	0.00	2.21
185	2.21	0.00	2.21
190	2.21	0.00	2.21
195	2.21	0.00	2.21
200	2.21	0.00	2.21

Prova n°		61	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	49.60
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			8.02
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.19
portata superiore Q ₁ (l/s)			6.82

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.8	25.4	26.25
30	21.4	22.4	22.9
45	17.4	17.9	18.5
60	13.25	13.55	14.4
80	8.3	9.2	10
95	3.5	4.65	5.25
320	2.05	2.05	2.05
350	2	2	2

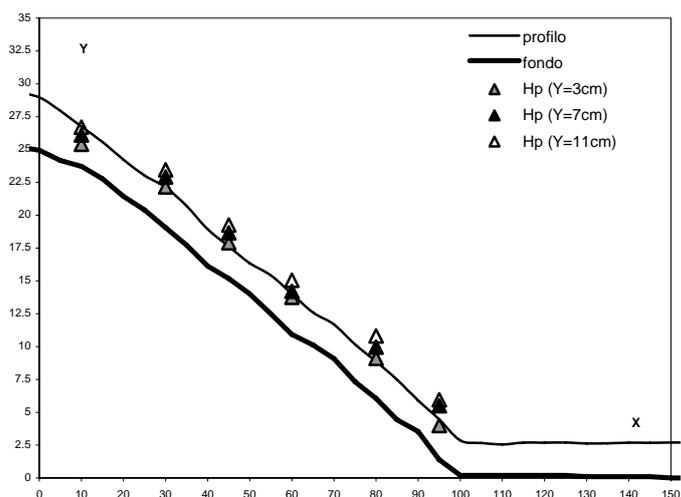


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.89	25.20	6.69
-35	31.74	25.20	6.54
-30	30.57	25.20	5.37
-25	29.75	25.20	4.55
-20	29.59	25.20	4.39
-15	29.29	25.20	4.09
-10	29.30	25.20	4.10
-5	29.31	25.20	4.11
0	28.97	24.94	4.03
5	27.94	24.17	3.77
10	26.74	23.72	3.02
15	25.57	22.78	2.80
20	24.23	21.43	2.80
25	23.02	20.41	2.61
30	22.12	19.04	3.08
35	20.70	17.71	2.99
40	18.93	16.13	2.81
45	17.62	15.18	2.45
50	16.34	14.01	2.33
55	15.42	12.49	2.93
60	14.01	10.93	3.09
65	12.60	10.12	2.48
70	11.68	9.09	2.59
75	10.16	7.31	2.85
80	8.87	6.05	2.82
85	7.48	4.43	3.05
90	5.90	3.54	2.36
95	4.45	1.39	3.06
100	2.86	0.20	2.66
105	2.67	0.20	2.47
110	2.56	0.20	2.36
115	2.69	0.20	2.49
120	2.69	0.20	2.49
125	2.71	0.20	2.51
130	2.63	0.10	2.53
135	2.64	0.10	2.54
140	2.69	0.10	2.59
145	2.68	0.10	2.58
150	2.71	0.00	2.71
155	2.71	0.00	2.71
160	2.71	0.00	2.71
165	2.71	0.00	2.71
170	2.71	0.00	2.71
175	2.71	0.00	2.71
180	2.71	0.00	2.71
185	2.71	0.00	2.71
190	2.71	0.00	2.71
195	2.71	0.00	2.71
200	2.71	0.00	2.71

Prova n°		62	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	49.60	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656	
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			10.06
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.19
portata superiore Q _s (l/s)			8.87

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	25.4	26.1	26.7
30	22.15	22.9	23.45
45	17.9	18.65	19.25
60	13.75	14.2	15.05
80	9.1	9.95	10.8
95	4	5.5	5.95
320	3	3	3
350	2.9	2.9	2.9

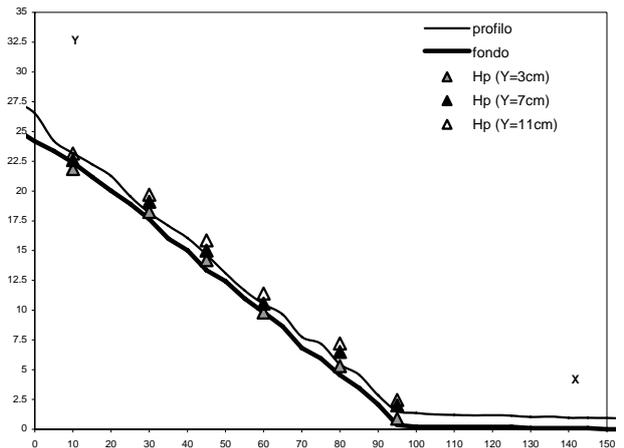


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.50	25.20	2.30
-35	27.44	25.20	2.24
-30	27.69	25.20	2.49
-25	27.78	25.20	2.58
-20	27.46	25.20	2.26
-15	27.45	25.20	2.25
-10	27.44	25.20	2.24
-5	27.36	25.20	2.16
0	26.52	24.18	2.35
5	24.21	23.36	0.85
10	23.18	22.39	0.79
15	22.25	21.19	1.06
20	21.26	20.02	1.24
25	19.56	18.91	0.65
30	18.17	17.64	0.53
35	17.09	15.99	1.10
40	16.06	15.01	1.05
45	14.66	13.34	1.32
50	13.10	12.44	0.66
55	11.66	10.98	0.68
60	10.51	9.83	0.68
65	9.63	8.63	1.01
70	7.75	6.83	0.93
75	7.18	5.95	1.23
80	5.47	4.56	0.91
85	4.58	3.47	1.11
90	2.85	2.08	0.77
95	1.53	0.36	1.17
100	1.36	0.20	1.16
105	1.24	0.20	1.04
110	1.21	0.20	1.01
115	1.16	0.20	0.96
120	1.18	0.20	0.98
125	1.14	0.20	0.94
130	1.03	0.10	0.93
135	1.07	0.10	0.97
140	0.97	0.10	0.87
145	0.97	0.10	0.87
150	0.95	0.00	0.95
155	0.91	0.00	0.91
160	0.92	0.00	0.92
165	0.90	0.00	0.90
170	1.00	0.00	1.00
175	0.95	0.00	0.95
180	0.96	0.00	0.96
185	0.97	0.00	0.97
190	0.97	0.00	0.97
195	0.94	0.00	0.94
200	0.88	0.00	0.88

Prova n°		63
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.18
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.18
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _m (l/s)		3.00
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		1.14
portata superiore Q _u (l/s)		1.86

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	21.85	22.6	23.15
30	18.25	19.1	19.7
45	14.2	15	15.85
60	9.8	10.55	11.4
80	5.3	6.5	7.2
95	0.9	2	2.45
320	-0.35	-0.35	-0.35
350	-0.5	-0.5	-0.5

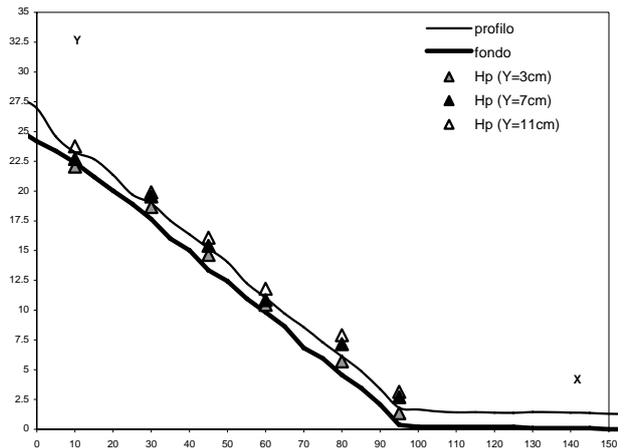


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.02	25.20	2.82
-35	27.94	25.20	2.74
-30	27.88	25.20	2.68
-25	28.26	25.20	3.06
-20	28.49	25.20	3.29
-15	28.00	25.20	2.80
-10	27.74	25.20	2.54
-5	27.73	25.20	2.53
0	26.95	24.18	2.78
5	24.57	23.36	1.21
10	23.26	22.39	0.87
15	22.67	21.19	1.48
20	21.35	20.02	1.33
25	19.71	18.91	0.80
30	18.97	17.64	1.33
35	17.52	15.99	1.53
40	16.36	15.01	1.35
45	15.19	13.34	1.85
50	14.03	12.44	1.59
55	12.28	10.98	1.31
60	11.04	9.83	1.21
65	9.71	8.63	1.09
70	8.57	6.83	1.75
75	7.29	5.95	1.34
80	6.12	4.56	1.56
85	4.91	3.47	1.44
90	3.38	2.08	1.30
95	1.81	0.36	1.45
100	1.66	0.20	1.46
105	1.50	0.20	1.30
110	1.42	0.20	1.22
115	1.43	0.20	1.23
120	1.40	0.20	1.20
125	1.38	0.20	1.18
130	1.45	0.10	1.35
135	1.43	0.10	1.33
140	1.40	0.10	1.30
145	1.36	0.10	1.26
150	1.30	0.00	1.30
155	1.30	0.00	1.30
160	1.40	0.00	1.40
165	1.42	0.00	1.42
170	1.45	0.00	1.45
175	1.38	0.00	1.38
180	1.44	0.00	1.44
185	1.39	0.00	1.39
190	1.46	0.00	1.46
195	1.36	0.00	1.36
200	1.33	0.00	1.33

Prova n°		64	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.184	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.184	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656	
spessore stato filtrante (cm)		14	
portata totale Q _m (l/s)		4.03	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)		1.09	
portata superiore Q _u (l/s)		2.94	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	22.05	22.7	23.75
30	18.65	19.55	19.9
45	14.65	15.4	16.1
60	10.45	10.85	11.8
80	5.7	7.15	7.9
95	1.35	2.7	3.15
320	0.4	0.4	0.4
350	0.45	0.45	0.45

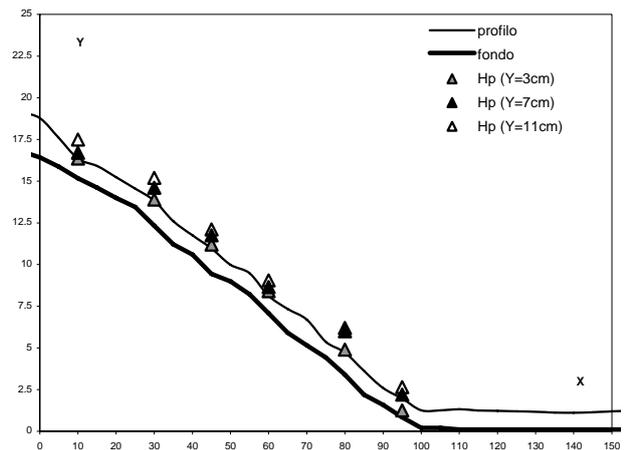


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.65	16.80	2.85
-35	19.46	16.80	2.66
-30	19.08	16.80	2.28
-25	19.01	16.80	2.21
-20	19.02	16.80	2.22
-15	19.04	16.80	2.24
-10	18.94	16.80	2.14
-5	19.08	16.80	2.28
0	18.78	16.43	2.36
5	17.58	15.86	1.72
10	16.35	15.18	1.18
15	15.91	14.61	1.30
20	15.24	13.99	1.25
25	14.55	13.44	1.11
30	13.83	12.33	1.50
35	12.60	11.21	1.39
40	11.75	10.60	1.15
45	10.96	9.44	1.52
50	9.98	8.99	0.99
55	9.48	8.21	1.27
60	8.12	7.08	1.05
65	7.33	5.91	1.42
70	6.69	5.14	1.55
75	5.36	4.42	0.94
80	4.73	3.40	1.33
85	3.62	2.19	1.43
90	2.59	1.58	1.01
95	1.97	0.85	1.12
100	1.26	0.20	1.06
105	1.26	0.20	1.06
110	1.32	0.10	1.22
115	1.25	0.10	1.15
120	1.22	0.10	1.12
125	1.20	0.10	1.10
130	1.17	0.10	1.07
135	1.12	0.10	1.02
140	1.11	0.10	1.01
145	1.14	0.10	1.04
150	1.20	0.10	1.10
155	1.22	0.10	1.12
160	1.18	0.10	1.08
165	1.24	0.10	1.14
170	1.25	0.10	1.15
175	1.19	0.10	1.09
180	1.29	0.00	1.29
185	1.27	0.00	1.27
190	1.26	0.00	1.26
195	1.26	0.00	1.26
200	1.14	0.00	1.14

Prova n°		65	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B4	4.72
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			3.98
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.25
portata superiore Q ₁ (l/s)			2.74

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	16.35	16.7	17.5
30	13.9	14.6	15.2
45	11.2	11.75	12.1
60	8.4	8.65	9.05
80	4.9	6	6.2
95	1.25	2.2	2.65
320	0	0	0
350	-0.05	-0.05	-0.05

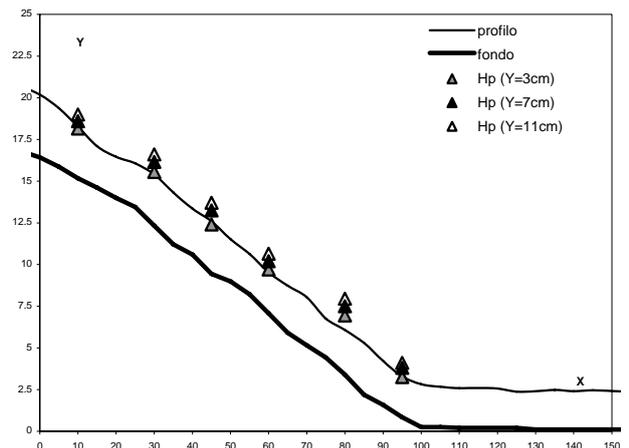


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.01	16.80	6.21
-35	22.87	16.80	6.07
-30	21.21	16.80	4.41
-25	20.71	16.80	3.91
-20	20.80	16.80	4.00
-15	20.65	16.80	3.85
-10	20.62	16.80	3.82
-5	20.64	16.80	3.84
0	20.19	16.43	3.77
5	19.38	15.86	3.52
10	18.26	15.18	3.09
15	17.09	14.61	2.48
20	16.46	13.99	2.47
25	16.07	13.44	2.63
30	15.40	12.33	3.07
35	14.32	11.21	3.11
40	13.35	10.60	2.75
45	12.59	9.44	3.15
50	11.52	8.99	2.53
55	10.63	8.21	2.42
60	9.53	7.08	2.46
65	8.73	5.91	2.82
70	8.03	5.14	2.89
75	6.75	4.42	2.33
80	6.08	3.40	2.68
85	5.30	2.19	3.11
90	4.22	1.58	2.64
95	3.29	0.85	2.44
100	2.82	0.25	2.57
105	2.67	0.25	2.42
110	2.58	0.20	2.38
115	2.60	0.20	2.40
120	2.56	0.20	2.36
125	2.38	0.20	2.18
130	2.40	0.10	2.30
135	2.48	0.10	2.38
140	2.40	0.10	2.30
145	2.46	0.10	2.36
150	2.41	0.10	2.31
155	2.39	0.10	2.29
160	2.52	0.10	2.42
165	2.49	0.10	2.39
170	2.49	0.10	2.39
175	2.53	0.10	2.43
180	2.50	0.00	2.50
185	2.48	0.00	2.48
190	2.56	0.00	2.56
195	2.46	0.00	2.46
200	2.59	0.00	2.59

Prova n°		66	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B4	4.72	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656	
spessore stato filtrante (cm)		14	
portata totale Q _m (l/s)		9.01	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		1.25	
portata superiore Q _u (l/s)		7.76	

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	18.15	18.6	19
30	15.55	16.15	16.6
45	12.4	13.25	13.7
60	9.7	10.2	10.65
80	6.95	7.5	7.95
95	3.25	3.8	4.1
320	1.8	1.8	1.8
350	1.85	1.85	1.85



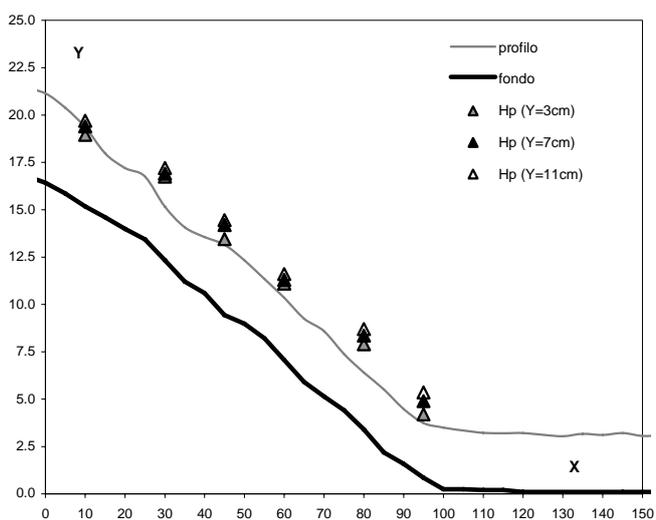
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	25.16	16.80	8.36
-35	24.81	16.80	8.01
-30	23.04	16.80	6.24
-25	21.44	16.80	4.64
-20	21.54	16.80	4.74
-15	21.30	16.80	4.50
-10	21.33	16.80	4.53
-5	21.39	16.80	4.59
0	21.14	16.43	4.72
5	20.39	15.86	4.53
10	19.36	15.18	4.19
15	17.98	14.61	3.37
20	17.20	13.99	3.21
25	16.76	13.44	3.32
30	15.16	12.33	2.83
35	14.08	11.21	2.87
40	13.56	10.60	2.96
45	13.15	9.44	3.71
50	12.33	8.99	3.34
55	11.35	8.21	3.14
60	10.35	7.08	3.28
65	9.25	5.91	3.34
70	8.59	5.14	3.45
75	7.38	4.42	2.96
80	6.41	3.40	3.01
85	5.52	2.19	3.33
90	4.48	1.58	2.90
95	3.74	0.85	2.89
100	3.50	0.25	3.25
105	3.34	0.25	3.09
110	3.22	0.20	3.02
115	3.20	0.20	3.00
120	3.21	0.10	3.11
125	3.12	0.10	3.02
130	3.04	0.10	2.94
135	3.17	0.10	3.07
140	3.11	0.10	3.01
145	3.21	0.10	3.11
150	3.06	0.10	2.96
155	3.09	0.10	2.99
160	3.03	0.10	2.93
165	3.02	0.10	2.92
170	3.11	0.10	3.01
175	3.06	0.10	2.96
180	3.12	-0.10	3.22
185	3.02	-0.10	3.12
190	3.12	-0.10	3.22
195	3.08	-0.10	3.18
200	3.16	-0.10	3.26

sezioni rampa

Prova n°	67
pendenza rampa (-)	0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B4
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2
spessore stato filtrante (cm)	14
portata totale Q _m (l/s)	8.01
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.25
portata superiore Q _s (l/s)	6.77

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	18.95	19.4	19.7
30	16.75	16.9	17.2
45	13.45	14.2	14.45
60	11.1	11.3	11.6
80	7.9	8.35	8.7
95	4.2	4.9	5.35
320	2.9	2.9	2.9
350	2.95	2.95	2.95



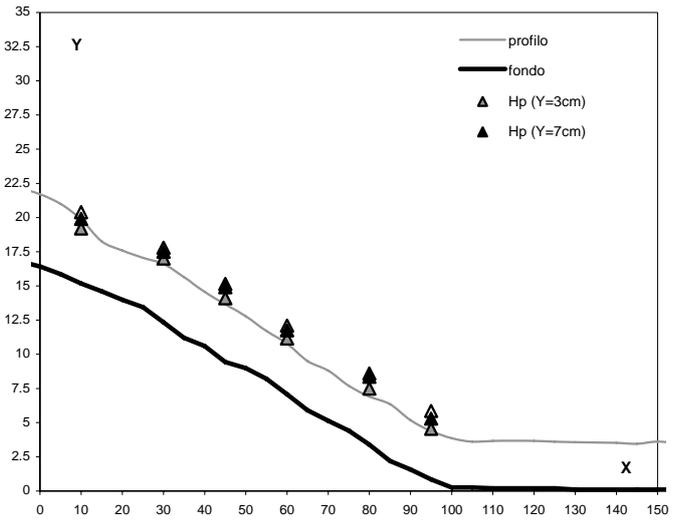
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y ₀ (cm)	quota fondo Y ₁ (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	26.36	16.80	9.56
-35	26.25	16.80	9.45
-30	25.11	16.80	8.31
-25	23.08	16.80	6.28
-20	22.85	16.80	6.05
-15	22.53	16.80	5.73
-10	22.39	16.80	5.59
-5	22.14	16.80	5.34
0	21.70	16.43	5.28
5	21.00	15.86	5.14
10	19.87	15.18	4.70
15	18.26	14.61	3.65
20	17.59	13.99	3.60
25	17.06	13.44	3.62
30	16.60	12.33	4.27
35	15.64	11.21	4.43
40	14.56	10.60	3.96
45	13.65	9.44	4.21
50	12.78	8.99	3.79
55	11.71	8.21	3.50
60	10.78	7.08	3.70
65	9.51	5.91	3.60
70	8.81	5.14	3.67
75	7.69	4.42	3.27
80	6.91	3.40	3.51
85	6.35	2.19	4.16
90	5.18	1.58	3.60
95	4.39	0.85	3.54
100	3.86	0.25	3.61
105	3.61	0.25	3.36
110	3.66	0.20	3.46
115	3.67	0.20	3.47
120	3.66	0.20	3.46
125	3.61	0.20	3.41
130	3.57	0.10	3.47
135	3.55	0.10	3.45
140	3.53	0.10	3.43
145	3.46	0.10	3.36
150	3.61	0.10	3.51
155	3.50	0.10	3.40
160	3.61	0.10	3.51
165	3.51	0.10	3.41
170	3.69	0.10	3.59
175	3.58	0.10	3.48
180	3.65	0.00	3.65
185	3.70	0.00	3.70
190	3.64	-0.10	3.74
195	3.68	-0.10	3.78
200	3.66	-0.10	3.76

sezioni rampa

Prova n°	68	
pendenza rampa (-)	0.1667	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B4	4.72
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _{tot} (l/s)	14.07	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.36	
portata superiore Q _{sup} (l/s)	12.1	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	19.2	19.9	20.4
30	17	17.5	17.8
45	14.1	14.9	15.15
60	11.15	11.75	12.1
80	7.5	8.35	8.6
95	4.55	5.3	5.85
320	3.35	3.35	3.35
350	3.3	3.3	3.3



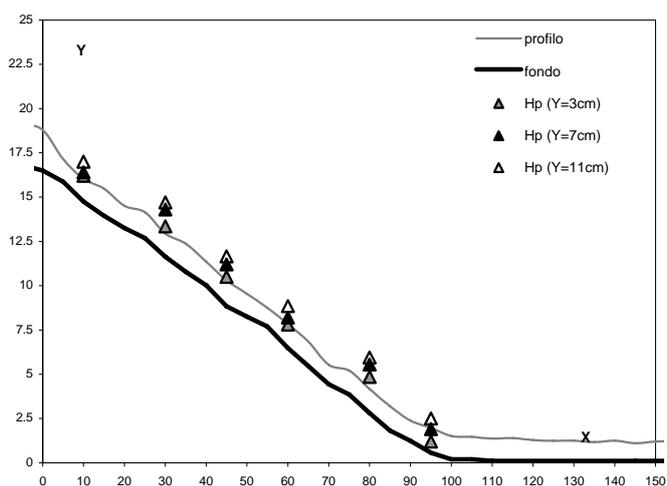
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.57	16.80	2.77
-35	19.45	16.80	2.65
-30	19.08	16.80	2.28
-25	19.01	16.80	2.21
-20	19.02	16.80	2.22
-15	19.04	16.80	2.24
-10	18.94	16.80	2.14
-5	19.08	16.80	2.28
0	18.79	16.49	2.30
5	17.14	15.87	1.27
10	16.03	14.75	1.28
15	15.48	13.95	1.53
20	14.51	13.25	1.26
25	14.15	12.68	1.47
30	12.94	11.63	1.32
35	12.37	10.78	1.59
40	11.35	10.02	1.33
45	10.30	8.84	1.46
50	9.54	8.26	1.28
55	8.75	7.69	1.06
60	7.84	6.48	1.36
65	6.83	5.46	1.37
70	5.53	4.44	1.09
75	5.20	3.85	1.35
80	4.17	2.81	1.36
85	3.20	1.83	1.38
90	2.39	1.24	1.15
95	1.97	0.57	1.40
100	1.51	0.20	1.31
105	1.46	0.20	1.26
110	1.37	0.10	1.27
115	1.39	0.10	1.29
120	1.29	0.10	1.19
125	1.24	0.10	1.14
130	1.25	0.10	1.15
135	1.17	0.10	1.07
140	1.25	0.10	1.15
145	1.10	0.10	1.00
150	1.20	0.10	1.10
155	1.22	0.10	1.12
160	1.16	0.00	1.16
165	1.18	0.00	1.18
170	1.18	0.00	1.18
175	1.19	0.00	1.19
180	1.15	-0.10	1.25
185	1.18	-0.10	1.28
190	1.20	-0.10	1.30
195	1.19	-0.10	1.29
200	1.14	-0.10	1.24

sezioni rampa

Prova n°	69	
pendenza rampa (-)	0.1667	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	4.09
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	4.04	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.25	
portata superiore Q _s (l/s)	2.79	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	16.2	16.4	17
30	13.35	14.3	14.7
45	10.5	11.2	11.65
60	7.8	8.2	8.85
80	4.85	5.55	5.95
95	1.2	1.9	2.5
320	0.1	0.1	0.1
350	0.05	0.05	0.05

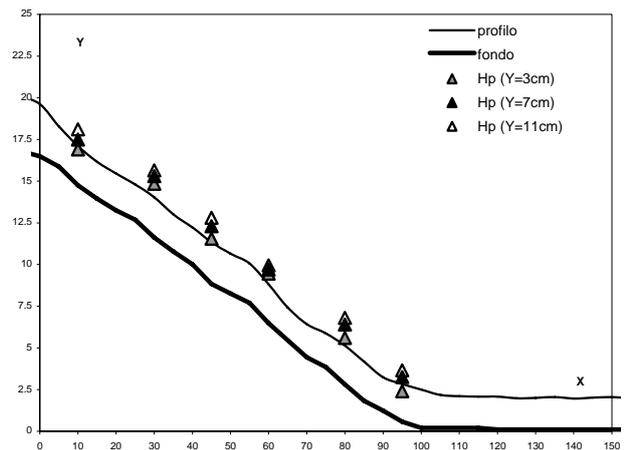


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	21.64	16.80	4.84
-35	21.33	16.80	4.53
-30	20.18	16.80	3.38
-25	20.11	16.80	3.31
-20	20.14	16.80	3.34
-15	20.19	16.80	3.39
-10	20.23	16.80	3.43
-5	20.04	16.80	3.24
0	19.62	16.49	3.13
5	18.28	15.87	2.41
10	17.10	14.75	2.35
15	16.15	13.95	2.20
20	15.46	13.25	2.21
25	14.80	12.68	2.12
30	14.03	11.63	2.41
35	13.01	10.78	2.23
40	12.22	10.02	2.20
45	11.34	8.84	2.50
50	10.65	8.26	2.39
55	10.06	7.69	2.37
60	8.81	6.48	2.34
65	7.42	5.46	1.96
70	6.43	4.44	1.99
75	5.86	3.85	2.01
80	5.14	2.81	2.33
85	4.18	1.83	2.36
90	3.24	1.24	2.00
95	2.84	0.57	2.27
100	2.50	0.20	2.30
105	2.18	0.20	1.98
110	2.10	0.20	1.90
115	2.08	0.20	1.88
120	2.08	0.10	1.98
125	1.98	0.10	1.88
130	2.00	0.10	1.90
135	2.05	0.10	1.95
140	1.97	0.10	1.87
145	2.02	0.10	1.92
150	2.05	0.10	1.95
155	2.00	0.10	1.90
160	2.11	0.00	2.11
165	2.01	0.00	2.01
170	2.07	0.00	2.07
175	2.05	0.00	2.05
180	2.03	-0.10	2.13
185	2.05	-0.10	2.15
190	2.02	-0.10	2.12
195	2.05	-0.10	2.15
200	1.95	-0.10	2.05

Prova n°		70	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	4.09	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656	
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			7.05
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.30
portata superiore Q _u (l/s)			5.75

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	16.9	17.5	18.1
30	14.85	15.3	15.65
45	11.55	12.3	12.8
60	9.45	9.7	9.95
80	5.6	6.4	6.8
95	2.4	3.25	3.65
320	1.4	1.4	1.4
350	1.3	1.3	1.3

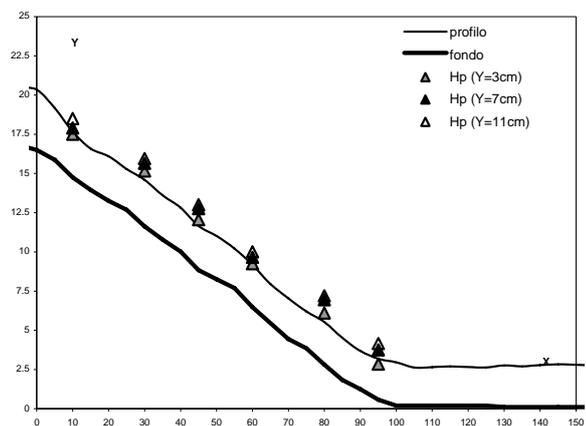


Appendice

sez. longitudinale	quota pelo libero	quota fondo	spessore idrico
X (cm)	Y _p (cm)	Y _f (cm)	h(cm)
-40	23.60	16.80	6.80
-35	23.11	16.80	6.31
-30	21.24	16.80	4.44
-25	20.96	16.80	4.16
-20	20.59	16.80	3.79
-15	20.66	16.80	3.86
-10	20.66	16.80	3.86
-5	20.46	16.80	3.66
0	20.34	16.49	3.85
5	19.17	15.87	3.30
10	17.66	14.75	2.91
15	16.58	13.95	2.63
20	16.09	13.25	2.84
25	15.28	12.68	2.60
30	14.59	11.63	2.97
35	13.61	10.78	2.83
40	12.81	10.02	2.79
45	11.65	8.84	2.81
50	11.02	8.26	2.76
55	10.21	7.69	2.52
60	9.16	6.48	2.69
65	7.95	5.46	2.49
70	7.03	4.44	2.59
75	6.20	3.85	2.35
80	5.53	2.81	2.72
85	4.52	1.83	2.70
90	3.68	1.24	2.44
95	3.19	0.57	2.62
100	2.96	0.20	2.76
105	2.62	0.20	2.42
110	2.65	0.20	2.45
115	2.70	0.20	2.50
120	2.66	0.20	2.46
125	2.63	0.20	2.43
130	2.76	0.10	2.66
135	2.70	0.10	2.60
140	2.78	0.10	2.68
145	2.83	0.10	2.73
150	2.80	0.10	2.70
155	2.74	0.10	2.64
160	2.71	0.00	2.71
165	2.76	0.00	2.76
170	2.70	0.00	2.70
175	2.80	0.00	2.80
180	2.72	-0.10	2.82
185	2.73	-0.10	2.83
190	2.75	-0.10	2.85
195	2.77	-0.10	2.87
200	2.72	-0.10	2.82

Prova n°		71
pendenza rampa (-)		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B5	4.09
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _m (l/s)		8.97
portata filtrante Q _{fil} (l/s)		1.19
portata superiore Q _s (l/s)		7.78

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	17.5	17.9	18.5
30	15.15	15.65	15.95
45	12.05	12.75	13
60	9.25	9.65	10
80	6.1	6.95	7.2
95	2.85	3.75	4.15
320	2	2	2
350	1.9	1.9	1.9

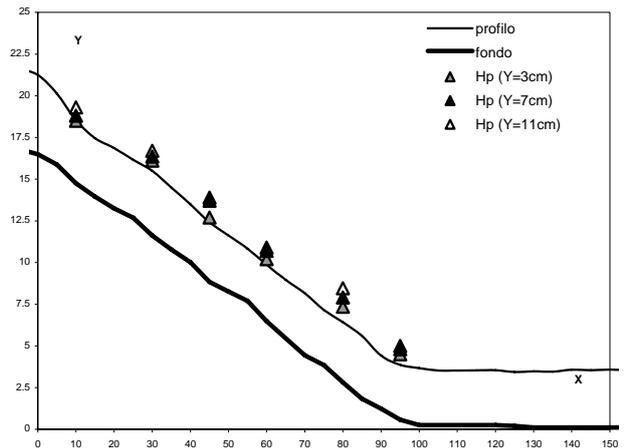


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	24.61	16.80	7.81
-35	24.48	16.80	7.68
-30	23.53	16.80	6.73
-25	22.14	16.80	5.34
-20	21.62	16.80	4.82
-15	21.61	16.80	4.81
-10	21.60	16.80	4.80
-5	21.57	16.80	4.77
0	21.25	16.49	4.76
5	20.13	15.87	4.26
10	18.52	14.75	3.77
15	17.45	13.95	3.50
20	16.86	13.25	3.61
25	16.16	12.68	3.48
30	15.50	11.63	3.88
35	14.50	10.78	3.72
40	13.49	10.02	3.47
45	12.41	8.84	3.57
50	11.62	8.26	3.36
55	10.83	7.69	3.14
60	9.87	6.48	3.40
65	8.96	5.46	3.50
70	8.15	4.44	3.71
75	7.15	3.85	3.30
80	6.42	2.81	3.61
85	5.60	1.83	3.78
90	4.42	1.24	3.18
95	3.86	0.57	3.29
100	3.67	0.25	3.42
105	3.52	0.25	3.27
110	3.52	0.25	3.27
115	3.53	0.25	3.28
120	3.54	0.25	3.29
125	3.44	0.20	3.24
130	3.47	0.10	3.37
135	3.45	0.10	3.35
140	3.57	0.10	3.47
145	3.54	0.10	3.44
150	3.58	0.10	3.48
155	3.54	0.10	3.44
160	3.56	0.00	3.56
165	3.55	0.00	3.55
170	3.59	0.00	3.59
175	3.52	0.00	3.52
180	3.56	-0.10	3.66
185	3.57	-0.10	3.67
190	3.61	-0.10	3.71
195	3.57	-0.10	3.67
200	3.58	-0.10	3.68

Prova n°		72
pendenza rampa (-)		
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B5
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _m (l/s)		12.07
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		1.14
portata superiore Q ₁ (l/s)		10.93

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	18.5	18.8	19.3
30	16.1	16.35	16.7
45	12.7	13.7	13.9
60	10.2	10.7	10.9
80	7.35	7.9	8.45
95	4.5	4.8	5
320	3.8	3.8	3.8
350	3.7	3.7	3.7

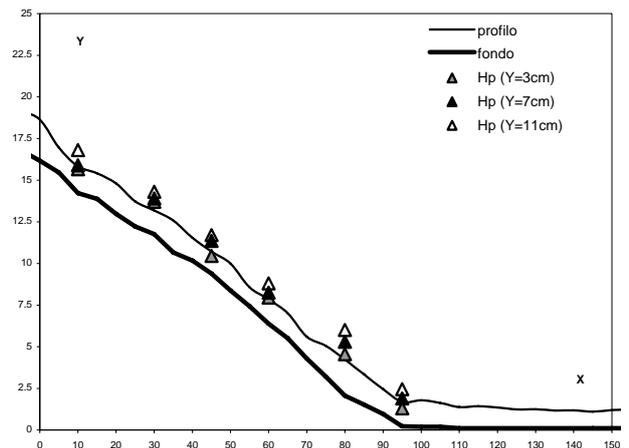


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.56	16.80	2.76
-35	19.45	16.80	2.65
-30	19.08	16.80	2.28
-25	19.01	16.80	2.21
-20	19.02	16.80	2.22
-15	19.04	16.80	2.24
-10	18.94	16.80	2.14
-5	19.08	16.80	2.28
0	18.63	16.16	2.47
5	16.95	15.45	1.50
10	15.83	14.22	1.61
15	15.41	13.87	1.54
20	14.80	12.98	1.83
25	13.73	12.21	1.52
30	13.18	11.76	1.42
35	12.57	10.66	1.91
40	11.54	10.17	1.37
45	10.71	9.39	1.32
50	9.99	8.38	1.62
55	8.56	7.43	1.13
60	7.85	6.39	1.46
65	7.01	5.51	1.50
70	5.60	4.28	1.32
75	5.05	3.21	1.84
80	4.23	2.06	2.17
85	3.34	1.53	1.82
90	2.45	0.96	1.49
95	1.68	0.23	1.46
100	1.79	0.20	1.59
105	1.62	0.20	1.42
110	1.38	0.10	1.28
115	1.43	0.10	1.33
120	1.35	0.10	1.25
125	1.24	0.10	1.14
130	1.25	0.10	1.15
135	1.17	0.10	1.07
140	1.18	0.10	1.08
145	1.10	0.10	1.00
150	1.20	0.10	1.10
155	1.22	0.10	1.12
160	1.16	0.00	1.16
165	1.18	0.00	1.18
170	1.18	0.00	1.18
175	1.19	0.00	1.19
180	1.15	-0.10	1.25
185	1.18	-0.10	1.28
190	1.20	-0.10	1.30
195	1.19	-0.10	1.29
200	1.14	-0.10	1.24

Prova n°		73	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.18	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B2	3.18	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656	
spessore stato filtrante (cm)		14	
portata totale Q _m (l/s)		3.97	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)		1.19	
portata superiore Q _c (l/s)		2.78	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	15.65	15.9	16.8
30	13.7	13.9	14.3
45	10.45	11.35	11.7
60	7.95	8.25	8.8
80	4.55	5.3	6
95	1.3	1.9	2.45
320	0.1	0.1	0.1
350	0.05	0.05	0.05

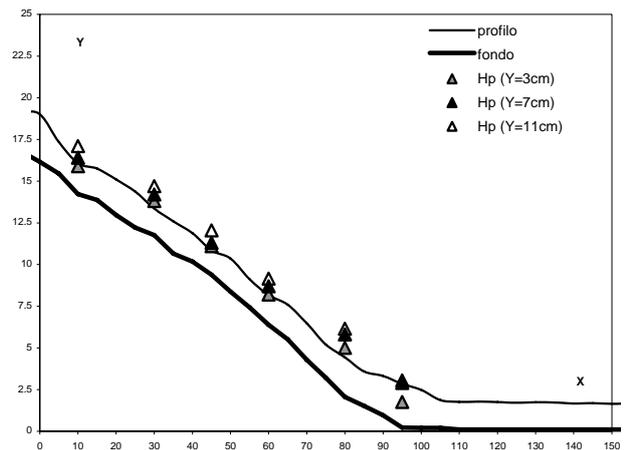


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	20.29	16.80	3.49
-35	20.12	16.80	3.32
-30	19.08	16.80	2.28
-25	19.28	16.80	2.48
-20	19.19	16.80	2.39
-15	19.28	16.80	2.48
-10	19.28	16.80	2.48
-5	19.15	16.80	2.35
0	19.01	16.16	2.85
5	17.34	15.45	1.89
10	16.07	14.22	1.85
15	15.75	13.87	1.88
20	15.10	12.98	2.13
25	14.38	12.21	2.17
30	13.36	11.76	1.60
35	12.59	10.66	1.93
40	11.88	10.17	1.71
45	10.85	9.39	1.46
50	10.36	8.38	1.99
55	9.12	7.43	1.69
60	8.16	6.39	1.78
65	7.59	5.51	2.08
70	6.47	4.28	2.19
75	5.20	3.21	1.99
80	4.44	2.06	2.38
85	3.59	1.53	2.07
90	3.32	0.96	2.36
95	2.85	0.23	2.63
100	2.48	0.20	2.28
105	1.87	0.20	1.67
110	1.76	0.10	1.66
115	1.78	0.10	1.68
120	1.75	0.10	1.65
125	1.71	0.10	1.61
130	1.74	0.10	1.64
135	1.73	0.10	1.63
140	1.67	0.10	1.57
145	1.68	0.10	1.58
150	1.65	0.10	1.55
155	1.67	0.10	1.57
160	1.65	0.00	1.65
165	1.63	0.00	1.63
170	1.66	0.00	1.66
175	1.59	0.00	1.59
180	1.57	-0.10	1.67
185	1.58	-0.10	1.68
190	1.58	-0.10	1.68
195	1.62	-0.10	1.72
200	1.64	-0.10	1.74

Prova n°		74	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B2	3.184
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B2	3.184
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			5.00
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.19
portata superiore Q ₁ (l/s)			3.81

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	15.9	16.4	17.1
30	13.8	14.2	14.7
45	11.1	11.3	12.05
60	8.2	8.7	9.15
80	5	5.8	6.15
95	1.75	2.9	3.05
320	0.7	0.7	0.7
350	0.65	0.65	0.65

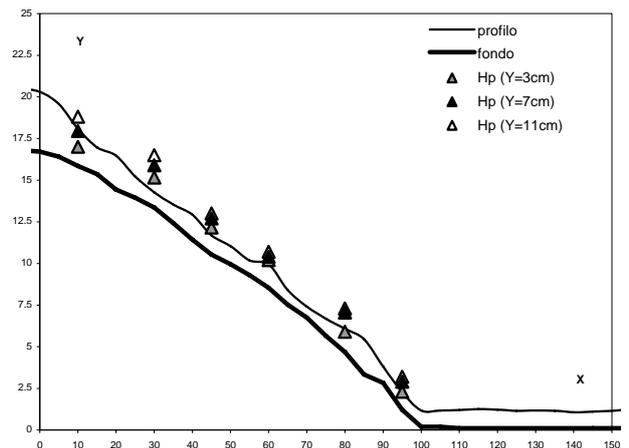


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.94	16.80	3.14
-35	19.94	16.80	3.14
-30	20.59	16.80	3.79
-25	20.40	16.80	3.60
-20	20.49	16.80	3.69
-15	20.59	16.80	3.79
-10	20.38	16.80	3.58
-5	20.46	16.80	3.66
0	20.30	16.71	3.59
5	19.56	16.41	3.15
10	18.08	15.85	2.23
15	16.97	15.36	1.61
20	16.47	14.43	2.05
25	15.22	13.94	1.28
30	14.27	13.36	0.91
35	13.53	12.42	1.11
40	12.92	11.43	1.50
45	11.68	10.53	1.15
50	11.04	9.96	1.08
55	10.18	9.30	0.88
60	9.95	8.54	1.41
65	8.40	7.53	0.88
70	7.41	6.74	0.67
75	6.68	5.65	1.03
80	6.08	4.68	1.40
85	5.45	3.33	2.12
90	3.81	2.83	0.98
95	2.27	1.23	1.05
100	1.17	0.20	0.97
105	1.17	0.20	0.97
110	1.20	0.10	1.10
115	1.26	0.10	1.16
120	1.22	0.10	1.12
125	1.15	0.10	1.05
130	1.17	0.10	1.07
135	1.15	0.10	1.05
140	1.07	0.10	0.97
145	1.10	0.10	1.00
150	1.15	0.10	1.05
155	1.22	0.10	1.12
160	1.16	0.00	1.16
165	1.18	0.00	1.18
170	1.18	0.00	1.18
175	1.08	0.00	1.08
180	1.04	-0.10	1.14
185	1.06	-0.10	1.16
190	1.09	-0.10	1.19
195	1.08	-0.10	1.18
200	1.03	-0.10	1.13

Prova n°	75	
pendenza rampa (-)	0.1667	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	3.90	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	1.79	
portata superiore Q _c (l/s)	2.11	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	17	17.95	18.8
30	15.15	15.9	16.5
45	12.15	12.7	13
60	10.2	10.4	10.7
80	5.9	7.05	7.3
95	2.3	2.9	3.2
320	0.3	0.3	0.3
350	0.35	0.35	0.35

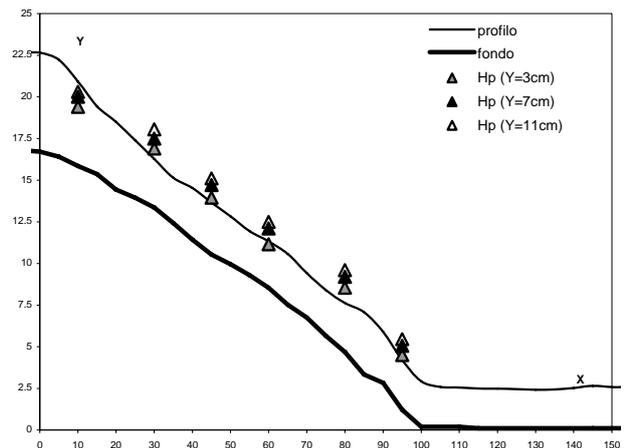


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.15	16.80	6.35
-35	23.08	16.80	6.28
-30	21.97	16.80	5.17
-25	21.91	16.80	5.11
-20	22.51	16.80	5.71
-15	22.98	16.80	6.18
-10	23.07	16.80	6.27
-5	22.69	16.80	5.89
0	22.65	16.71	5.94
5	22.22	16.41	5.81
10	20.92	15.85	5.07
15	19.43	15.36	4.07
20	18.50	14.43	4.08
25	17.39	13.94	3.45
30	16.27	13.36	2.91
35	15.14	12.42	2.72
40	14.53	11.43	3.11
45	13.65	10.53	3.12
50	12.83	9.96	2.87
55	11.94	9.30	2.64
60	11.33	8.54	2.79
65	10.57	7.53	3.05
70	9.42	6.74	2.68
75	8.39	5.65	2.74
80	7.62	4.68	2.94
85	7.08	3.33	3.75
90	5.90	2.83	3.07
95	4.20	1.23	2.98
100	2.92	0.20	2.72
105	2.59	0.20	2.39
110	2.55	0.20	2.35
115	2.50	0.10	2.40
120	2.49	0.10	2.39
125	2.45	0.10	2.35
130	2.42	0.10	2.32
135	2.44	0.10	2.34
140	2.52	0.10	2.42
145	2.65	0.10	2.55
150	2.58	0.10	2.48
155	2.58	0.10	2.48
160	2.58	0.00	2.58
165	2.59	0.00	2.59
170	2.63	0.00	2.63
175	2.58	0.00	2.58
180	2.61	-0.10	2.71
185	2.60	-0.10	2.70
190	2.62	-0.10	2.72
195	2.62	-0.10	2.72
200	2.56	-0.10	2.66

Prova n°		76	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480	
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			10.01
portata filtrante Q _{thr} (l/s)			1.90
portata superiore Q _c (l/s)			8.12

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	19.4	20	20.3
30	16.9	17.5	18.05
45	13.95	14.7	15.1
60	11.15	12.1	12.5
80	8.55	9.2	9.6
95	4.5	5.05	5.45
320	2.1	2.1	2.1
350	2.05	2.05	2.05



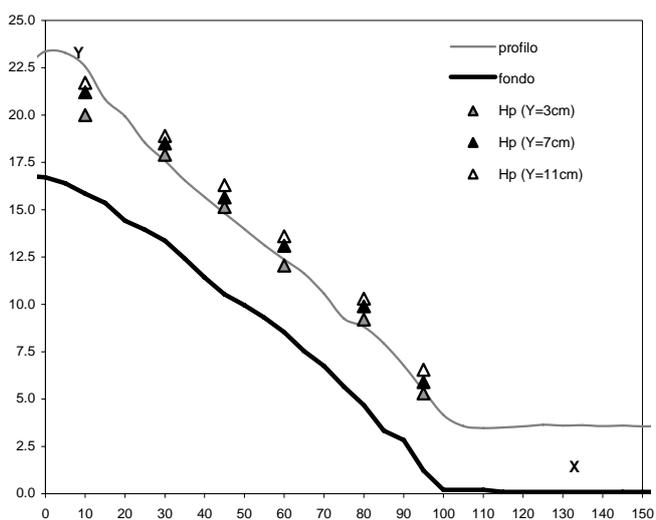
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	26.48	16.80	9.68
-35	26.25	16.80	9.45
-30	24.50	16.80	7.70
-25	23.20	16.80	6.40
-20	23.17	16.80	6.37
-15	22.98	16.80	6.18
-10	23.07	16.80	6.27
-5	22.69	16.80	5.89
0	23.36	16.71	6.65
5	23.29	16.41	6.88
10	22.56	15.85	6.71
15	20.83	15.36	5.47
20	19.93	14.43	5.51
25	18.54	13.94	4.60
30	17.58	13.36	4.22
35	16.55	12.42	4.13
40	15.68	11.43	4.26
45	14.82	10.53	4.29
50	13.98	9.96	4.02
55	13.13	9.30	3.83
60	12.37	8.54	3.83
65	11.63	7.53	4.11
70	10.56	6.74	3.82
75	9.25	5.65	3.60
80	8.82	4.68	4.14
85	7.95	3.33	4.62
90	6.77	2.83	3.94
95	5.46	1.23	4.24
100	4.16	0.20	3.96
105	3.57	0.20	3.37
110	3.47	0.20	3.27
115	3.50	0.10	3.40
120	3.56	0.10	3.46
125	3.64	0.10	3.54
130	3.60	0.10	3.50
135	3.62	0.10	3.52
140	3.57	0.10	3.47
145	3.60	0.10	3.50
150	3.56	0.10	3.46
155	3.58	0.10	3.48
160	3.54	0.00	3.54
165	3.68	0.00	3.68
170	3.75	0.00	3.75
175	3.71	0.00	3.71
180	3.78	-0.10	3.88
185	3.77	-0.10	3.87
190	3.63	-0.10	3.73
195	3.87	-0.10	3.97
200	3.78	-0.10	3.88

sezioni rampa

Prova n°	77
pendenza rampa (-)	0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1
spessore stato filtrante (cm)	14
portata totale Q _m (l/s)	15.01
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	1.84
portata superiore Q _s (l/s)	13.17

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	20	21.2	21.7
30	17.9	18.5	18.9
45	15.15	15.65	16.3
60	12.05	13.1	13.6
80	9.2	9.9	10.3
95	5.3	5.9	6.55
320	3.4	3.4	3.4
350	3.45	3.45	3.45



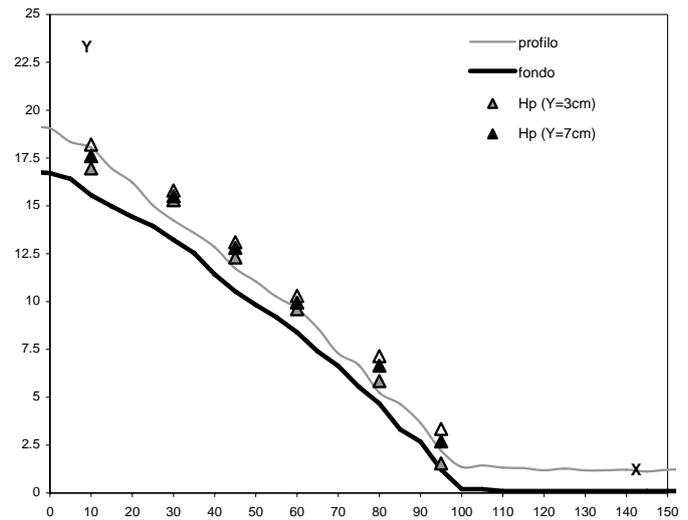
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.68	16.80	2.88
-35	19.75	16.80	2.95
-30	19.19	16.80	2.39
-25	19.20	16.80	2.40
-20	19.07	16.80	2.27
-15	19.06	16.80	2.26
-10	19.03	16.80	2.23
-5	19.06	16.80	2.26
0	19.05	16.71	2.34
5	18.34	16.41	1.93
10	18.04	15.56	2.48
15	16.95	14.98	1.97
20	16.22	14.43	1.80
25	15.03	13.94	1.09
30	14.24	13.22	1.02
35	13.59	12.54	1.05
40	12.84	11.43	1.42
45	11.73	10.53	1.20
50	11.05	9.84	1.21
55	10.25	9.18	1.07
60	9.63	8.40	1.24
65	8.62	7.41	1.21
70	7.29	6.63	0.66
75	6.68	5.54	1.14
80	5.24	4.68	0.56
85	4.65	3.33	1.32
90	3.66	2.69	0.97
95	2.21	1.23	0.98
100	1.36	0.20	1.16
105	1.44	0.20	1.24
110	1.32	0.10	1.22
115	1.30	0.10	1.20
120	1.19	0.10	1.09
125	1.28	0.10	1.18
130	1.18	0.10	1.08
135	1.19	0.10	1.09
140	1.22	0.10	1.12
145	1.13	0.10	1.03
150	1.22	0.10	1.12
155	1.22	0.10	1.12
160	1.16	0.00	1.16
165	1.18	0.00	1.18
170	1.18	0.00	1.18
175	1.16	0.00	1.16
180	1.11	-0.10	1.21
185	1.14	-0.10	1.24
190	1.16	-0.10	1.26
195	1.12	-0.10	1.22
200	1.08	-0.10	1.18

sezioni rampa

Prova n°		78
pendenza rampa (-)		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _{tot} (l/s)		3.96
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		0.87
portata superiore Q _{sup} (l/s)		12.1

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	16.95	17.6	18.2
30	15.3	15.5	15.8
45	12.3	12.8	13.1
60	9.6	9.95	10.3
80	5.85	6.65	7.15
95	1.55	2.7	3.35
320	0.3	0.3	0.3
350	0.3	0.3	0.3



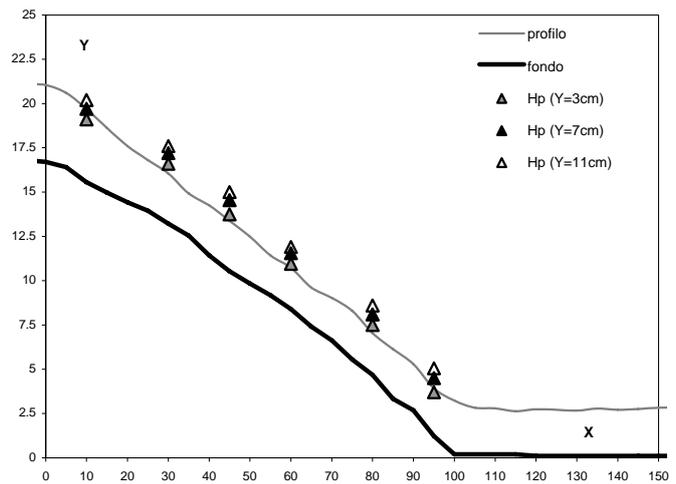
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.38	16.80	6.58
-35	23.27	16.80	6.47
-30	21.89	16.80	5.09
-25	21.46	16.80	4.66
-20	21.19	16.80	4.39
-15	21.18	16.80	4.38
-10	21.21	16.80	4.41
-5	21.08	16.80	4.28
0	21.04	16.71	4.33
5	20.60	16.41	4.19
10	19.69	15.56	4.13
15	18.62	14.98	3.64
20	17.60	14.43	3.18
25	16.81	13.94	2.87
30	16.05	13.22	2.83
35	14.92	12.54	2.38
40	14.25	11.43	2.83
45	13.38	10.53	2.85
50	12.49	9.84	2.65
55	11.43	9.18	2.25
60	10.73	8.40	2.33
65	9.61	7.41	2.20
70	9.03	6.63	2.40
75	8.30	5.54	2.76
80	7.04	4.68	2.36
85	6.14	3.33	2.81
90	5.29	2.69	2.60
95	3.92	1.23	2.70
100	3.23	0.20	3.03
105	2.83	0.20	2.63
110	2.79	0.20	2.59
115	2.63	0.20	2.43
120	2.74	0.10	2.64
125	2.71	0.10	2.61
130	2.66	0.10	2.56
135	2.78	0.10	2.68
140	2.71	0.10	2.61
145	2.76	0.10	2.66
150	2.83	0.10	2.73
155	2.84	0.10	2.74
160	2.80	0.00	2.80
165	2.76	0.00	2.76
170	2.81	0.00	2.81
175	2.82	0.00	2.82
180	2.89	-0.10	2.99
185	2.82	-0.10	2.92
190	2.89	-0.10	2.99
195	2.81	-0.10	2.91
200	2.79	-0.10	2.89

sezioni rampa

Prova n°	79	
pendenza rampa (-)	0.1667	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	10.01	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	0.92	
portata superiore Q _s (l/s)	9.08	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	19.1	19.7	20.2
30	16.6	17.2	17.6
45	13.75	14.55	15
60	10.95	11.55	11.9
80	7.5	8.1	8.6
95	3.7	4.5	5.05
320	2.15	2.15	2.15
350	2.1	2.1	2.1

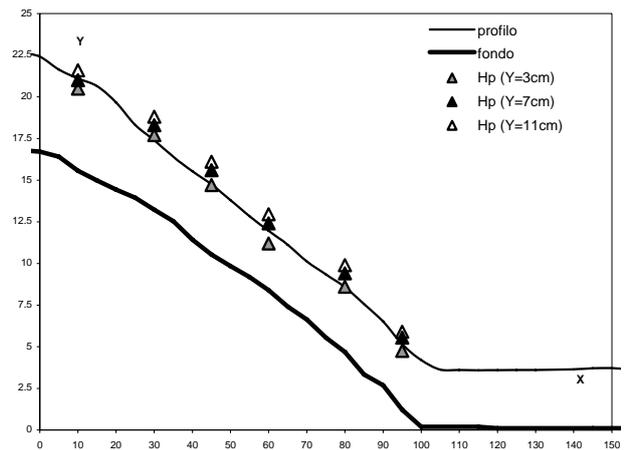


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	26.48	16.80	9.68
-35	26.25	16.80	9.45
-30	24.50	16.80	7.70
-25	23.20	16.80	6.40
-20	23.17	16.80	6.37
-15	22.98	16.80	6.18
-10	23.07	16.80	6.27
-5	22.69	16.80	5.89
0	22.41	16.71	5.70
5	21.64	16.41	5.23
10	21.10	15.56	5.54
15	20.64	14.98	5.66
20	19.67	14.43	5.25
25	18.32	13.94	4.38
30	17.39	13.22	4.17
35	16.40	12.54	3.86
40	15.53	11.43	4.11
45	14.74	10.53	4.21
50	13.80	9.84	3.96
55	12.83	9.18	3.65
60	11.96	8.40	3.56
65	11.12	7.41	3.71
70	10.12	6.63	3.49
75	9.34	5.54	3.80
80	8.58	4.68	3.90
85	7.56	3.33	4.23
90	6.51	2.69	3.82
95	5.15	1.23	3.93
100	4.20	0.20	4.00
105	3.62	0.20	3.42
110	3.61	0.20	3.41
115	3.58	0.20	3.38
120	3.60	0.10	3.50
125	3.61	0.10	3.51
130	3.61	0.10	3.51
135	3.62	0.10	3.52
140	3.64	0.10	3.54
145	3.71	0.10	3.61
150	3.72	0.10	3.62
155	3.65	0.10	3.55
160	3.72	0.00	3.72
165	3.88	0.00	3.88
170	3.79	0.00	3.79
175	3.79	0.00	3.79
180	3.68	-0.10	3.78
185	3.84	-0.10	3.94
190	3.83	-0.10	3.93
195	3.80	-0.10	3.90
200	3.82	-0.10	3.92

Prova n°	80	
pendenza rampa (-)	0.1667	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)	14	
portata totale Q _m (l/s)	15.05	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	0.98	
portata superiore Q _c (l/s)	14.07	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	20.5	21	21.6
30	17.7	18.3	18.8
45	14.7	15.6	16.1
60	11.2	12.4	12.95
80	8.6	9.4	9.9
95	4.75	5.55	5.9
320	3.35	3.35	3.35
350	3.4	3.4	3.4

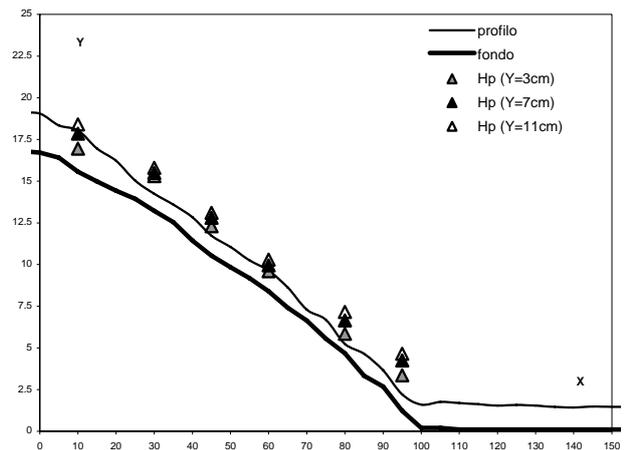


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.68	16.80	2.88
-35	19.75	16.80	2.95
-30	19.19	16.80	2.39
-25	19.20	16.80	2.40
-20	19.07	16.80	2.27
-15	19.06	16.80	2.26
-10	19.03	16.80	2.23
-5	19.06	16.80	2.26
0	19.05	16.71	2.34
5	18.34	16.41	1.93
10	18.04	15.56	2.48
15	16.95	14.98	1.97
20	16.22	14.43	1.80
25	15.03	13.94	1.09
30	14.24	13.22	1.02
35	13.59	12.54	1.05
40	12.84	11.43	1.42
45	11.73	10.53	1.20
50	11.05	9.84	1.21
55	10.25	9.18	1.07
60	9.63	8.40	1.24
65	8.62	7.41	1.21
70	7.29	6.63	0.66
75	6.68	5.54	1.14
80	5.24	4.68	0.56
85	4.65	3.33	1.32
90	3.66	2.69	0.97
95	2.21	1.23	0.98
100	1.60	0.20	1.40
105	1.76	0.20	1.56
110	1.69	0.10	1.59
115	1.62	0.10	1.52
120	1.54	0.10	1.44
125	1.58	0.10	1.48
130	1.54	0.10	1.44
135	1.46	0.10	1.36
140	1.43	0.10	1.33
145	1.49	0.10	1.39
150	1.46	0.10	1.36
155	1.46	0.10	1.36
160	1.39	0.00	1.39
165	1.46	0.00	1.46
170	1.46	0.00	1.46
175	1.16	0.00	1.16
180	1.11	-0.10	1.21
185	1.14	-0.10	1.24
190	1.16	-0.10	1.26
195	1.12	-0.10	1.22
200	1.08	-0.10	1.18

Prova n°		81
pendenza rampa (-)		
		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _m (l/s)		4.00
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		0.11
portata superiore Q _u (l/s)		3.89

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	16.95	17.85	18.4
30	15.3	15.5	15.8
45	12.3	12.8	13.1
60	9.6	9.95	10.3
80	5.85	6.65	7.15
95	3.35	4.25	4.65
320	3.4	3.4	3.4
350	3.4	3.4	3.4

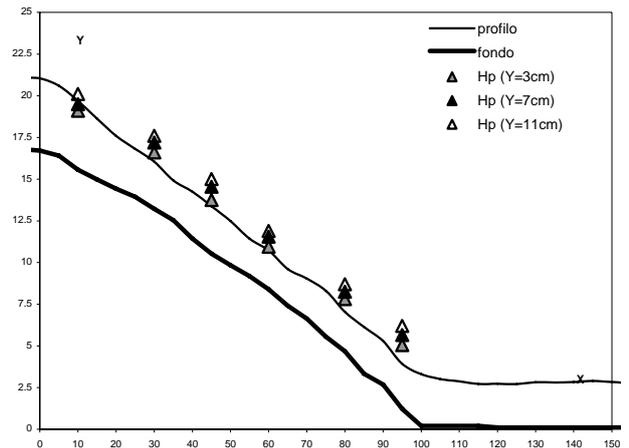


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.38	16.80	6.58
-35	23.27	16.80	6.47
-30	21.89	16.80	5.09
-25	21.46	16.80	4.66
-20	21.19	16.80	4.39
-15	21.18	16.80	4.38
-10	21.21	16.80	4.41
-5	21.08	16.80	4.28
0	21.04	16.71	4.33
5	20.60	16.41	4.19
10	19.69	15.56	4.13
15	18.62	14.98	3.64
20	17.60	14.43	3.18
25	16.81	13.94	2.87
30	16.05	13.22	2.83
35	14.92	12.54	2.38
40	14.25	11.43	2.83
45	13.38	10.53	2.85
50	12.49	9.84	2.65
55	11.43	9.18	2.25
60	10.73	8.40	2.33
65	9.61	7.41	2.20
70	9.03	6.63	2.40
75	8.30	5.54	2.76
80	7.04	4.68	2.36
85	6.14	3.33	2.81
90	5.29	2.69	2.60
95	3.92	1.23	2.70
100	3.31	0.20	3.11
105	3.01	0.20	2.81
110	2.87	0.20	2.67
115	2.72	0.20	2.52
120	2.73	0.10	2.63
125	2.71	0.10	2.61
130	2.82	0.10	2.72
135	2.80	0.10	2.70
140	2.83	0.10	2.73
145	2.90	0.10	2.80
150	2.84	0.10	2.74
155	2.77	0.10	2.67
160	2.80	0.00	2.80
165	2.87	0.00	2.87
170	2.81	0.00	2.81
175	2.89	0.00	2.89
180	2.89	-0.10	2.99
185	2.82	-0.10	2.92
190	2.98	-0.10	3.08
195	2.87	-0.10	2.97
200	2.79	-0.10	2.89

Prova n°	82	
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _m (l/s)		10.04
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		0.44
portata superiore Q _u (l/s)		9.61

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	19.1	19.5	20.1
30	16.6	17.2	17.6
45	13.75	14.55	15
60	10.95	11.55	11.9
80	7.8	8.25	8.7
95	5.05	5.65	6.2
320	4.55	4.55	4.55
350	4.5	4.5	4.5

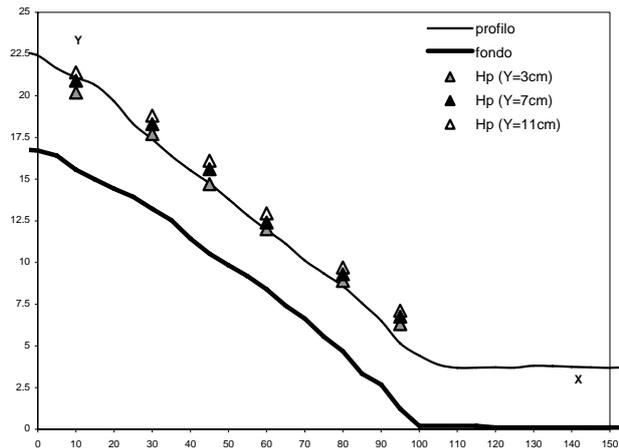


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	26.48	16.80	9.68
-35	26.25	16.80	9.45
-30	24.50	16.80	7.70
-25	23.20	16.80	6.40
-20	23.17	16.80	6.37
-15	22.98	16.80	6.18
-10	23.07	16.80	6.27
-5	22.69	16.80	5.89
0	22.41	16.71	5.70
5	21.64	16.41	5.23
10	21.10	15.56	5.54
15	20.64	14.98	5.66
20	19.67	14.43	5.25
25	18.32	13.94	4.38
30	17.39	13.22	4.17
35	16.40	12.54	3.86
40	15.53	11.43	4.11
45	14.74	10.53	4.21
50	13.80	9.84	3.96
55	12.83	9.18	3.65
60	11.96	8.40	3.56
65	11.12	7.41	3.71
70	10.12	6.63	3.49
75	9.34	5.54	3.80
80	8.58	4.68	3.90
85	7.56	3.33	4.23
90	6.51	2.69	3.82
95	5.15	1.23	3.93
100	4.42	0.20	4.22
105	3.88	0.20	3.68
110	3.68	0.20	3.48
115	3.69	0.20	3.49
120	3.71	0.10	3.61
125	3.69	0.10	3.59
130	3.81	0.10	3.71
135	3.79	0.10	3.69
140	3.74	0.10	3.64
145	3.71	0.10	3.61
150	3.68	0.10	3.58
155	3.73	0.10	3.63
160	3.72	0.00	3.72
165	3.88	0.00	3.88
170	3.79	0.00	3.79
175	3.79	0.00	3.79
180	3.68	-0.10	3.78
185	3.84	-0.10	3.94
190	3.83	-0.10	3.93
195	3.80	-0.10	3.90
200	3.82	-0.10	3.92

Prova n°		83	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552	
spessore stato filtrante (cm)		14	
portata totale Q _m (l/s)		15.07	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		0.27	
portata superiore Q _u (l/s)		14.80	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	20.2	20.9	21.4
30	17.7	18.3	18.8
45	14.7	15.6	16.1
60	12	12.4	12.95
80	8.9	9.3	9.7
95	6.3	6.75	7.1
320	6.1	6.1	6.1
350	6.1	6.1	6.1

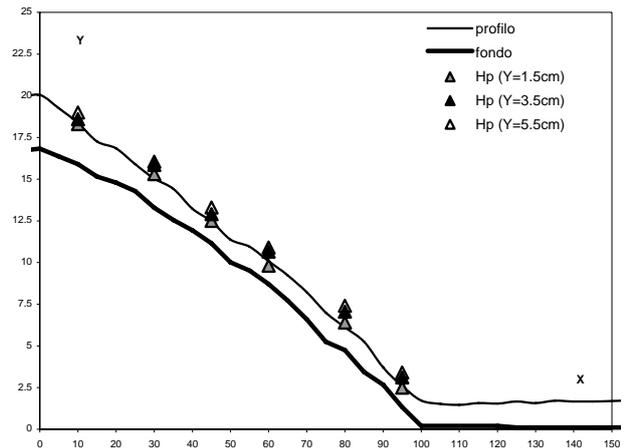


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.64	16.70	2.94
-35	19.57	16.70	2.87
-30	20.18	16.70	3.48
-25	19.91	16.70	3.21
-20	19.93	16.70	3.23
-15	19.91	16.70	3.21
-10	19.93	16.70	3.23
-5	19.88	16.70	3.18
0	20.05	16.83	3.22
5	19.25	16.36	2.89
10	18.37	15.89	2.48
15	17.26	15.15	2.11
20	16.85	14.79	2.06
25	15.90	14.28	1.62
30	15.03	13.29	1.74
35	14.42	12.55	1.87
40	13.22	11.93	1.30
45	12.46	11.16	1.30
50	11.38	10.02	1.36
55	10.95	9.51	1.44
60	10.08	8.71	1.37
65	9.23	7.72	1.51
70	8.21	6.59	1.62
75	6.99	5.25	1.74
80	6.11	4.76	1.35
85	5.26	3.44	1.82
90	3.71	2.66	1.05
95	2.59	1.34	1.25
100	1.73	0.20	1.53
105	1.52	0.20	1.32
110	1.46	0.20	1.26
115	1.57	0.20	1.37
120	1.54	0.20	1.34
125	1.67	0.10	1.57
130	1.57	0.10	1.47
135	1.71	0.10	1.61
140	1.67	0.10	1.57
145	1.67	0.10	1.57
150	1.69	0.10	1.59
155	1.71	0.10	1.61
160	1.64	0.00	1.64
165	1.71	0.00	1.71
170	1.73	0.00	1.73
175	1.78	0.00	1.78
180	1.79	0.00	1.79
185	1.73	0.00	1.73
190	1.79	0.00	1.79
195	1.77	0.00	1.77
200	1.79	0.00	1.79

Prova n°		84	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			3.97
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			0.44
portata superiore Q _u (l/s)			3.53

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	18.3	18.6	19
30	15.3	15.85	16.05
45	12.5	12.9	13.3
60	9.8	10.65	10.9
80	6.4	7.05	7.4
95	2.5	3.1	3.4
320	1.45	1.45	1.45
350	1.45	1.45	1.45

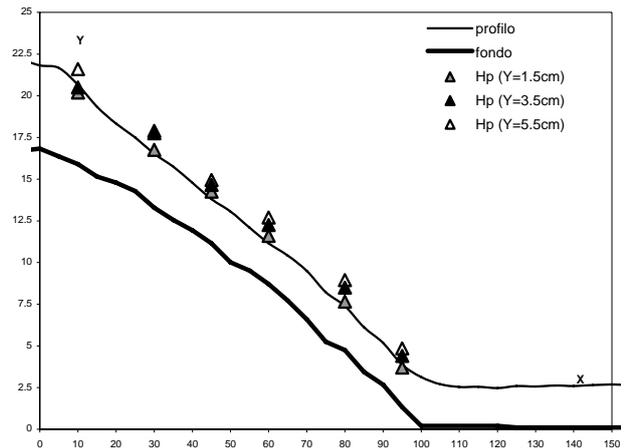


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.20	16.70	6.50
-35	23.17	16.70	6.47
-30	21.45	16.70	4.75
-25	21.30	16.70	4.60
-20	21.83	16.70	5.13
-15	22.32	16.70	5.62
-10	22.22	16.70	5.52
-5	22.16	16.70	5.46
0	21.82	16.83	4.99
5	21.67	16.36	5.31
10	20.65	15.89	4.76
15	19.33	15.15	4.18
20	18.33	14.79	3.54
25	17.50	14.28	3.22
30	16.52	13.29	3.23
35	15.74	12.55	3.19
40	14.78	11.93	2.86
45	13.80	11.16	2.64
50	13.06	10.02	3.04
55	12.09	9.51	2.58
60	11.16	8.71	2.45
65	10.42	7.72	2.70
70	9.50	6.59	2.91
75	8.21	5.25	2.96
80	7.39	4.76	2.63
85	6.12	3.44	2.68
90	5.18	2.66	2.52
95	3.87	1.34	2.53
100	3.13	0.20	2.93
105	2.70	0.20	2.50
110	2.54	0.20	2.34
115	2.55	0.20	2.35
120	2.47	0.20	2.27
125	2.59	0.10	2.49
130	2.56	0.10	2.46
135	2.62	0.10	2.52
140	2.60	0.10	2.50
145	2.65	0.10	2.55
150	2.69	0.10	2.59
155	2.65	0.10	2.55
160	2.73	0.00	2.73
165	2.71	0.00	2.71
170	2.78	0.00	2.78
175	2.80	0.00	2.80
180	2.80	0.00	2.80
185	2.83	0.00	2.83
190	2.82	0.00	2.82
195	2.84	0.00	2.84
200	2.88	0.00	2.88

Prova n°		85	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			8.99
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			0.60
portata superiore Q _u (l/s)			8.39

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	20.2	20.5	21.6
30	16.75	17.75	17.9
45	14.25	14.65	14.95
60	11.6	12.25	12.7
80	7.65	8.5	8.95
95	3.7	4.4	4.85
320	2.5	2.5	2.5
350	2.55	2.55	2.55



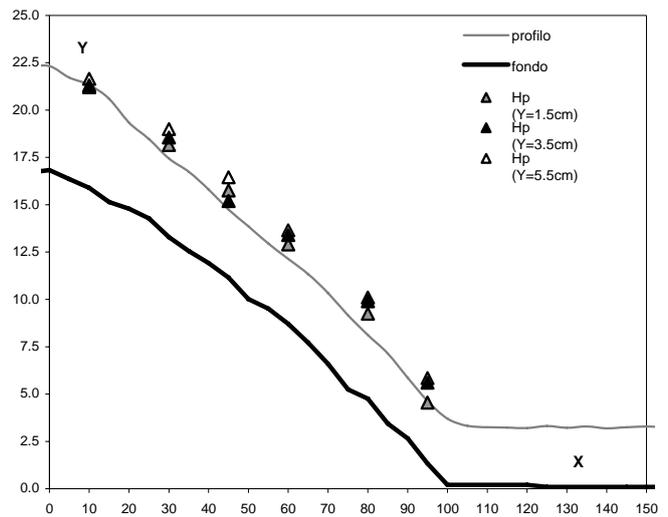
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	25.11	16.70	8.41
-35	25.07	16.70	8.37
-30	23.85	16.70	7.15
-25	22.26	16.70	5.56
-20	22.19	16.70	5.49
-15	22.25	16.70	5.55
-10	22.34	16.70	5.64
-5	22.29	16.70	5.59
0	22.32	16.83	5.49
5	21.72	16.36	5.36
10	21.33	15.89	5.44
15	20.60	15.15	5.45
20	19.33	14.79	4.54
25	18.47	14.28	4.19
30	17.44	13.29	4.15
35	16.74	12.55	4.19
40	15.81	11.93	3.89
45	14.75	11.16	3.59
50	13.86	10.02	3.84
55	12.95	9.51	3.44
60	12.14	8.71	3.43
65	11.33	7.72	3.61
70	10.34	6.59	3.75
75	9.16	5.25	3.91
80	8.12	4.76	3.36
85	7.15	3.44	3.71
90	5.86	2.66	3.20
95	4.64	1.34	3.30
100	3.70	0.20	3.50
105	3.33	0.20	3.13
110	3.25	0.20	3.05
115	3.23	0.20	3.03
120	3.21	0.20	3.01
125	3.31	0.10	3.21
130	3.22	0.10	3.12
135	3.29	0.10	3.19
140	3.19	0.10	3.09
145	3.25	0.10	3.15
150	3.29	0.10	3.19
155	3.26	0.10	3.16
160	3.28	0.00	3.28
165	3.29	0.00	3.29
170	3.36	0.00	3.36
175	3.43	0.00	3.43
180	3.39	0.00	3.39
185	3.39	0.00	3.39
190	3.36	0.00	3.36
195	3.41	0.00	3.41
200	3.27	0.00	3.27

sezioni rampa

Prova n°	86	
pendenza rampa (-)	0.1667	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	13.03	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	0.54	
portata superiore Q _s (l/s)	12.49	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	21.2	21.3	21.65
30	18.15	18.55	19
45	15.75	15.2	16.45
60	12.9	13.4	13.65
80	9.25	9.9	10.1
95	4.55	5.6	5.85
320	3.1	3.1	3.1
350	3.1	3.1	3.1



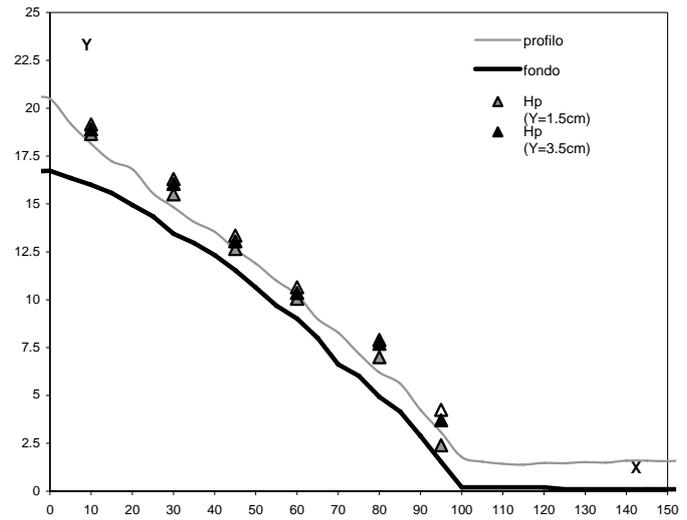
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y ₀ (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	20.15	16.70	3.45
-35	20.17	16.70	3.47
-30	20.66	16.70	3.96
-25	20.52	16.70	3.82
-20	20.74	16.70	4.04
-15	20.52	16.70	3.82
-10	20.58	16.70	3.88
-5	20.53	16.70	3.83
0	20.49	16.73	3.76
5	19.20	16.36	2.84
10	18.15	15.99	2.16
15	17.23	15.57	1.66
20	16.82	14.95	1.87
25	15.56	14.36	1.20
30	14.83	13.44	1.39
35	14.07	12.96	1.11
40	13.54	12.33	1.21
45	12.62	11.54	1.08
50	11.89	10.63	1.26
55	10.99	9.68	1.31
60	10.26	9.01	1.25
65	9.00	8.01	0.99
70	8.28	6.62	1.66
75	7.18	6.02	1.16
80	6.20	4.93	1.28
85	5.62	4.16	1.46
90	4.25	2.88	1.37
95	3.07	1.53	1.54
100	1.78	0.20	1.58
105	1.54	0.20	1.34
110	1.43	0.20	1.23
115	1.38	0.20	1.18
120	1.47	0.20	1.27
125	1.46	0.10	1.36
130	1.52	0.10	1.42
135	1.49	0.10	1.39
140	1.59	0.10	1.49
145	1.59	0.10	1.49
150	1.56	0.10	1.46
155	1.63	0.10	1.53
160	1.59	0.00	1.59
165	1.58	0.00	1.58
170	1.60	0.00	1.60
175	1.53	0.00	1.53
180	1.54	0.00	1.54
185	1.57	0.00	1.57
190	1.61	0.00	1.61
195	1.61	0.00	1.61
200	1.53	0.00	1.53

sezioni rampa

Prova n°		87
pendenza rampa (-)		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _{tot} (l/s)		4.05
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		0.98
portata superiore Q _{sup} (l/s)		12.1

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	18.65	18.9	19.15
30	15.5	16.05	16.3
45	12.65	13.05	13.35
60	10.05	10.35	10.65
80	7	7.7	7.9
95	2.4	3.7	4.25
320	1.35	1.35	1.35
350	1.4	1.4	1.4



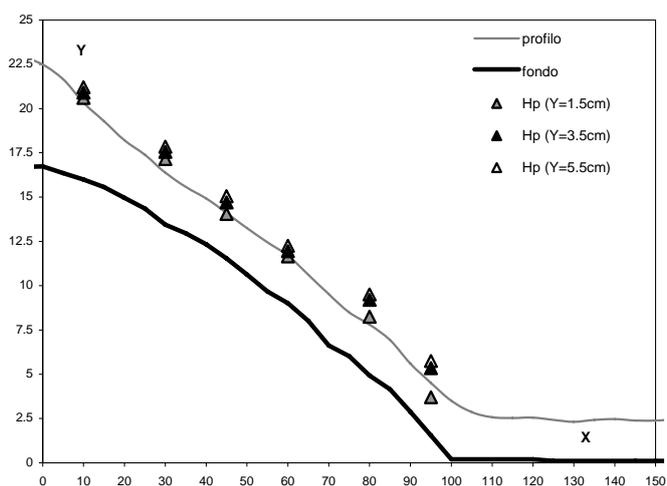
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.66	16.70	6.96
-35	23.52	16.70	6.82
-30	22.17	16.70	5.47
-25	22.36	16.70	5.66
-20	23.06	16.70	6.36
-15	22.88	16.70	6.18
-10	22.95	16.70	6.25
-5	22.90	16.70	6.20
0	22.48	16.73	5.75
5	21.65	16.36	5.29
10	20.33	15.99	4.34
15	19.29	15.57	3.72
20	18.21	14.95	3.26
25	17.39	14.36	3.03
30	16.38	13.44	2.94
35	15.58	12.96	2.62
40	14.92	12.33	2.59
45	14.11	11.54	2.57
50	13.25	10.63	2.62
55	12.45	9.68	2.77
60	11.70	9.01	2.69
65	10.61	8.01	2.60
70	9.52	6.62	2.90
75	8.49	6.02	2.47
80	7.80	4.93	2.88
85	6.94	4.16	2.78
90	5.60	2.88	2.72
95	4.51	1.53	2.98
100	3.50	0.20	3.30
105	2.86	0.20	2.66
110	2.57	0.20	2.37
115	2.53	0.20	2.33
120	2.55	0.20	2.35
125	2.42	0.10	2.32
130	2.32	0.10	2.22
135	2.42	0.10	2.32
140	2.47	0.10	2.37
145	2.39	0.10	2.29
150	2.38	0.10	2.28
155	2.46	0.10	2.36
160	2.44	0.00	2.44
165	2.57	0.00	2.57
170	2.44	0.00	2.44
175	2.56	0.00	2.56
180	2.68	0.00	2.68
185	2.60	0.00	2.60
190	2.59	0.00	2.59
195	2.62	0.00	2.62
200	2.65	0.00	2.65

sezioni rampa

Prova n°	88	
pendenza rampa (-)	0.1667	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	9.03	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.03	
portata superiore Q _s (l/s)	7.99	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	20.6	20.9	21.2
30	17.15	17.55	17.85
45	14.05	14.7	15.05
60	11.65	11.95	12.25
80	8.25	9.2	9.5
95	3.7	5.35	5.75
320	2.7	2.7	2.7
350	2.7	2.7	2.7

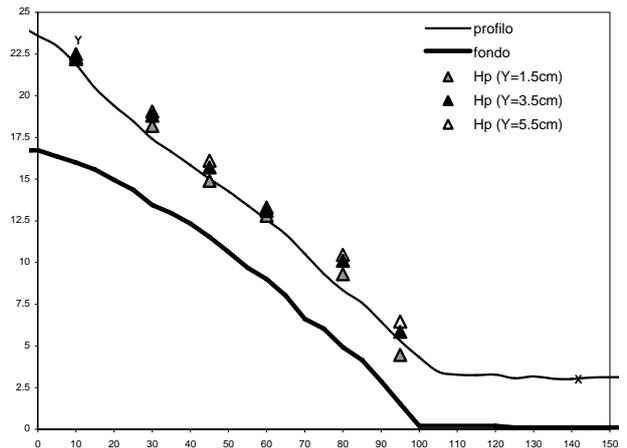


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	26.16	16.70	9.46
-35	26.12	16.70	9.42
-30	24.57	16.70	7.87
-25	23.02	16.70	6.32
-20	23.06	16.70	6.36
-15	24.56	16.70	7.86
-10	24.57	16.70	7.87
-5	24.21	16.70	7.51
0	23.60	16.73	6.87
5	22.98	16.36	6.62
10	21.88	15.99	5.89
15	20.46	15.57	4.89
20	19.40	14.95	4.45
25	18.47	14.36	4.11
30	17.41	13.44	3.97
35	16.64	12.96	3.68
40	15.83	12.33	3.50
45	15.02	11.54	3.48
50	14.27	10.63	3.64
55	13.43	9.68	3.75
60	12.57	9.01	3.56
65	11.69	8.01	3.68
70	10.52	6.62	3.90
75	9.32	6.02	3.30
80	8.33	4.93	3.41
85	7.58	4.16	3.42
90	6.45	2.88	3.57
95	5.31	1.53	3.78
100	4.32	0.20	4.12
105	3.45	0.20	3.25
110	3.27	0.20	3.07
115	3.25	0.20	3.05
120	3.27	0.20	3.07
125	3.06	0.10	2.96
130	3.17	0.10	3.07
135	3.03	0.10	2.93
140	3.02	0.10	2.92
145	3.10	0.10	3.00
150	3.12	0.10	3.02
155	3.13	0.10	3.03
160	3.13	0.00	3.13
165	3.17	0.00	3.17
170	3.15	0.00	3.15
175	3.15	0.00	3.15
180	3.18	0.00	3.18
185	3.13	0.00	3.13
190	3.19	0.00	3.19
195	3.16	0.00	3.16
200	3.21	0.00	3.21

Prova n°		89
pendenza rampa (-)		
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M1
spessore stato filtrante (cm)		
portata totale Q _m (l/s)		13.03
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		0.92
portata superiore Q ₁ (l/s)		12.10

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	22.2	22.3	22.5
30	18.2	18.8	19.05
45	14.9	15.7	16.1
60	12.8	13.1	13.3
80	9.3	10.1	10.45
95	4.45	5.85	6.45
320	3.4	3.4	3.4
350	3.4	3.4	3.4

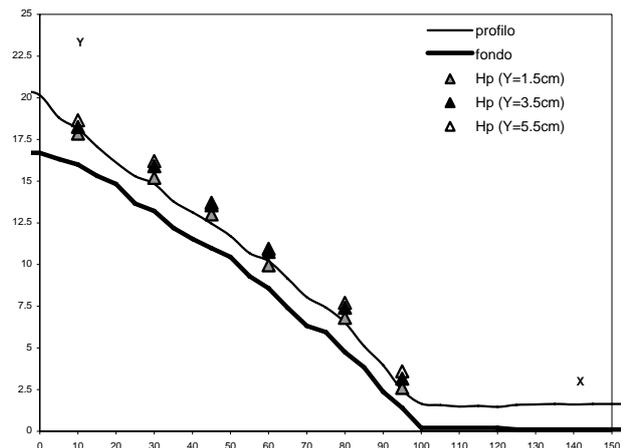


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	20.15	16.70	3.45
-35	20.17	16.70	3.47
-30	20.66	16.70	3.96
-25	20.52	16.70	3.82
-20	20.74	16.70	4.04
-15	20.52	16.70	3.82
-10	20.58	16.70	3.88
-5	20.41	16.70	3.71
0	20.15	16.69	3.46
5	18.81	16.31	2.50
10	18.13	15.99	2.14
15	17.07	15.32	1.75
20	16.12	14.83	1.30
25	15.30	13.65	1.65
30	14.84	13.21	1.63
35	13.79	12.19	1.60
40	13.14	11.53	1.61
45	12.45	10.98	1.47
50	11.71	10.45	1.26
55	10.68	9.29	1.39
60	10.21	8.58	1.63
65	9.15	7.40	1.75
70	8.04	6.32	1.72
75	7.42	5.95	1.47
80	6.52	4.75	1.77
85	5.11	3.84	1.27
90	3.97	2.37	1.60
95	2.48	1.41	1.07
100	1.66	0.20	1.46
105	1.57	0.20	1.37
110	1.49	0.20	1.29
115	1.52	0.20	1.32
120	1.46	0.20	1.26
125	1.58	0.10	1.48
130	1.61	0.10	1.51
135	1.63	0.10	1.53
140	1.61	0.10	1.51
145	1.63	0.10	1.53
150	1.64	0.10	1.54
155	1.63	0.10	1.53
160	1.62	0.00	1.62
165	1.61	0.00	1.61
170	1.64	0.00	1.64
175	1.60	0.00	1.60
180	1.60	0.00	1.60
185	1.68	0.00	1.68
190	1.65	0.00	1.65
195	1.66	0.00	1.66
200	1.62	0.00	1.62

Prova n°		90
pendenza rampa (-)		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.650
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		4.02
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		0.76
portata superiore Q _u (l/s)		3.26

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	17.85	18.25	18.65
30	15.2	15.9	16.2
45	13	13.55	13.7
60	9.95	10.75	10.95
80	6.8	7.4	7.7
95	2.6	3.15	3.6
320	1.3	1.3	1.3
350	1.35	1.35	1.35

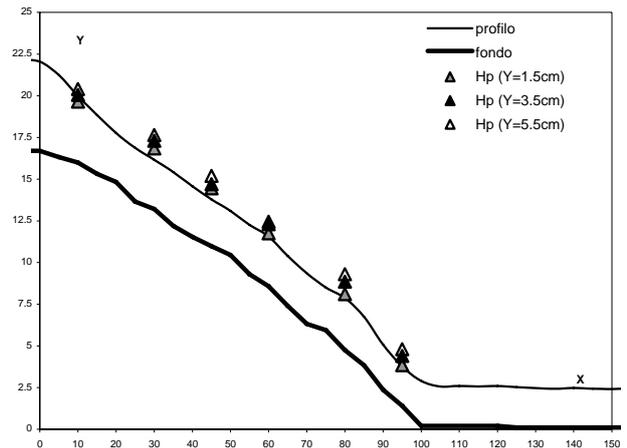


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	22.77	16.70	6.07
-35	22.66	16.70	5.96
-30	21.30	16.70	4.60
-25	21.32	16.70	4.62
-20	22.42	16.70	5.72
-15	22.48	16.70	5.78
-10	22.11	16.70	5.41
-5	22.14	16.70	5.44
0	22.04	16.69	5.35
5	21.24	16.31	4.93
10	19.98	15.99	3.99
15	18.84	15.32	3.52
20	17.77	14.83	2.95
25	16.87	13.65	3.22
30	16.16	13.21	2.95
35	15.42	12.19	3.23
40	14.57	11.53	3.04
45	13.79	10.98	2.81
50	13.09	10.45	2.64
55	12.26	9.29	2.97
60	11.56	8.58	2.98
65	10.39	7.40	2.99
70	9.35	6.32	3.03
75	8.50	5.95	2.55
80	7.87	4.75	3.12
85	6.75	3.84	2.91
90	5.08	2.37	2.71
95	3.77	1.41	2.36
100	2.90	0.20	2.70
105	2.56	0.20	2.36
110	2.60	0.20	2.40
115	2.56	0.20	2.36
120	2.59	0.20	2.39
125	2.53	0.10	2.43
130	2.47	0.10	2.37
135	2.43	0.10	2.33
140	2.48	0.10	2.38
145	2.44	0.10	2.34
150	2.41	0.10	2.31
155	2.46	0.10	2.36
160	2.56	0.00	2.56
165	2.42	0.00	2.42
170	2.46	0.00	2.46
175	2.55	0.00	2.55
180	2.67	0.00	2.67
185	2.52	0.00	2.52
190	2.52	0.00	2.52
195	2.58	0.00	2.58
200	2.55	0.00	2.55

Prova n°		91	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			9.01
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			0.81
portata superiore Q _u (l/s)			8.19

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	19.65	20.05	20.4
30	16.85	17.3	17.65
45	14.45	14.7	15.2
60	11.75	12.3	12.45
80	8.1	8.85	9.3
95	3.85	4.4	4.8
320	2.2	2.2	2.2
350	2.3	2.3	2.3

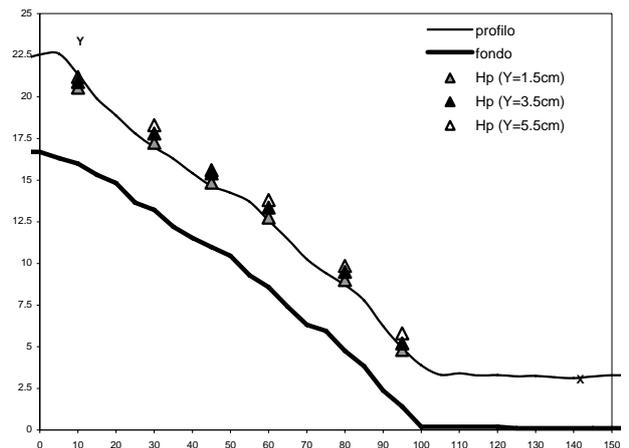


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	25.54	16.70	8.84
-35	25.36	16.70	8.66
-30	23.95	16.70	7.25
-25	22.63	16.70	5.93
-20	22.22	16.70	5.52
-15	22.07	16.70	5.37
-10	22.22	16.70	5.52
-5	22.23	16.70	5.53
0	22.54	16.69	5.85
5	22.59	16.31	6.28
10	21.35	15.99	5.36
15	19.89	15.32	4.57
20	18.88	14.83	4.06
25	17.80	13.65	4.15
30	16.98	13.21	3.77
35	16.28	12.19	4.09
40	15.42	11.53	3.89
45	14.65	10.98	3.67
50	14.24	10.45	3.79
55	13.70	9.29	4.41
60	12.58	8.58	4.00
65	11.46	7.40	4.06
70	10.26	6.32	3.94
75	9.42	5.95	3.47
80	8.71	4.75	3.96
85	7.79	3.84	3.95
90	6.24	2.37	3.87
95	4.93	1.41	3.52
100	3.89	0.20	3.69
105	3.32	0.20	3.12
110	3.40	0.20	3.20
115	3.27	0.20	3.07
120	3.30	0.20	3.10
125	3.22	0.10	3.12
130	3.25	0.10	3.15
135	3.16	0.10	3.06
140	3.11	0.10	3.01
145	3.21	0.10	3.11
150	3.29	0.10	3.19
155	3.28	0.10	3.18
160	3.29	0.00	3.29
165	3.26	0.00	3.26
170	3.25	0.00	3.25
175	3.31	0.00	3.31
180	3.29	0.00	3.29
185	3.29	0.00	3.29
190	3.36	0.00	3.36
195	3.29	0.00	3.29
200	3.33	0.00	3.33

Prova n°	92	
pendenza rampa (-)	0.1667	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	13.06	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	0.71	
portata superiore Q _c (l/s)	12.36	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	20.55	20.9	21.2
30	17.25	17.8	18.3
45	14.85	15.4	15.6
60	12.75	13.35	13.8
80	9	9.5	9.85
95	4.8	5.2	5.8
320	3.1	3.1	3.1
350	3.05	3.05	3.05

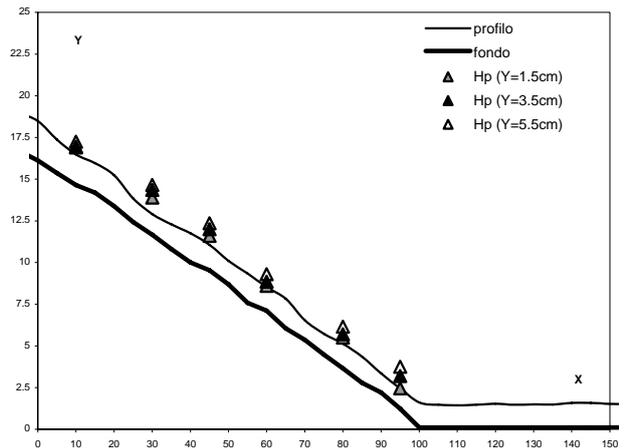


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.31	16.70	2.61
-35	19.25	16.70	2.55
-30	18.80	16.70	2.10
-25	19.42	16.70	2.72
-20	19.52	16.70	2.82
-15	19.19	16.70	2.49
-10	19.26	16.70	2.56
-5	18.96	16.70	2.26
0	18.49	16.12	2.37
5	17.38	15.37	2.01
10	16.48	14.64	1.84
15	15.96	14.19	1.77
20	15.24	13.39	1.85
25	13.85	12.43	1.42
30	12.91	11.66	1.25
35	12.29	10.81	1.48
40	11.75	10.00	1.75
45	11.06	9.53	1.53
50	10.10	8.69	1.41
55	9.34	7.58	1.76
60	8.53	7.11	1.42
65	7.83	6.05	1.78
70	6.54	5.36	1.18
75	5.73	4.48	1.26
80	5.13	3.66	1.47
85	4.36	2.79	1.57
90	3.35	2.21	1.14
95	2.45	1.23	1.22
100	1.61	0.10	1.51
105	1.47	0.10	1.37
110	1.44	0.10	1.34
115	1.47	0.10	1.37
120	1.53	0.10	1.43
125	1.47	0.10	1.37
130	1.50	0.10	1.40
135	1.49	0.10	1.39
140	1.58	0.10	1.48
145	1.58	0.10	1.48
150	1.52	0.10	1.42
155	1.52	0.10	1.42
160	1.55	0.00	1.55
165	1.53	0.00	1.53
170	1.54	0.00	1.54
175	1.53	0.00	1.53
180	1.59	0.00	1.59
185	1.60	0.00	1.60
190	1.59	0.00	1.59
195	1.65	0.00	1.65
200	1.62	0.00	1.62

Prova n°		93	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2	3.184	
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			4.04
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			1.19
portata superiore Q _u (l/s)			2.85

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	16.9	16.95	17.25
30	13.9	14.35	14.65
45	11.6	12	12.35
60	8.6	8.85	9.3
80	5.5	5.7	6.15
95	2.45	3.2	3.75
320	0.8	0.8	0.8
350	0.85	0.85	0.85

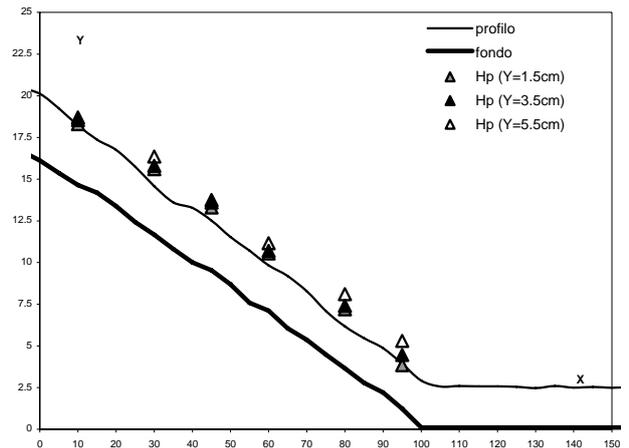


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	22.64	16.70	5.94
-35	22.46	16.70	5.76
-30	21.36	16.70	4.66
-25	20.64	16.70	3.94
-20	20.43	16.70	3.73
-15	20.52	16.70	3.82
-10	20.57	16.70	3.87
-5	20.45	16.70	3.75
0	20.12	16.12	4.00
5	19.24	15.37	3.87
10	18.22	14.64	3.58
15	17.37	14.19	3.18
20	16.75	13.39	3.36
25	15.74	12.43	3.31
30	14.58	11.66	2.92
35	13.61	10.81	2.80
40	13.27	10.00	3.27
45	12.51	9.53	2.98
50	11.53	8.69	2.84
55	10.71	7.58	3.13
60	9.83	7.11	2.71
65	9.19	6.05	3.14
70	8.27	5.36	2.91
75	7.09	4.48	2.62
80	6.17	3.66	2.51
85	5.47	2.79	2.68
90	4.86	2.21	2.65
95	3.93	1.23	2.70
100	2.92	0.10	2.82
105	2.56	0.10	2.46
110	2.59	0.10	2.49
115	2.57	0.10	2.47
120	2.57	0.10	2.47
125	2.55	0.10	2.45
130	2.47	0.10	2.37
135	2.59	0.10	2.49
140	2.50	0.10	2.40
145	2.54	0.10	2.44
150	2.49	0.10	2.39
155	2.53	0.10	2.43
160	2.54	0.00	2.54
165	2.48	0.00	2.48
170	2.50	0.00	2.50
175	2.61	0.00	2.61
180	2.70	0.00	2.70
185	2.66	0.00	2.66
190	2.59	0.00	2.59
195	2.59	0.00	2.59
200	2.67	0.00	2.67

Prova n°		94
pendenza rampa (-)		
		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2	3.184
spessore stato filtrante (cm)		
		7
portata totale Q _m (l/s)		
		9.01
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		
		1.25
portata superiore Q _u (l/s)		
		7.76

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	18.3	18.55	18.7
30	15.6	15.8	16.35
45	13.3	13.6	13.75
60	10.55	10.7	11.15
80	7.2	7.4	8.1
95	3.85	4.45	5.3
320	2.35	2.35	2.35
350	2.4	2.4	2.4

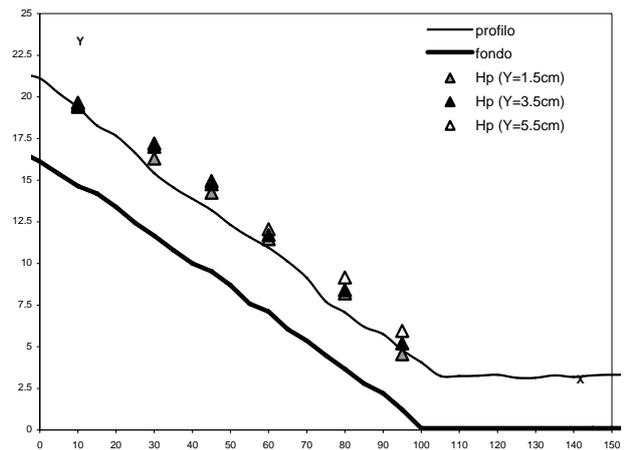


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	25.30	16.70	8.60
-35	24.74	16.70	8.04
-30	23.82	16.70	7.12
-25	21.89	16.70	5.19
-20	20.85	16.70	4.15
-15	21.26	16.70	4.56
-10	21.47	16.70	4.77
-5	21.34	16.70	4.64
0	21.11	16.12	4.99
5	20.21	15.37	4.84
10	19.36	14.64	4.72
15	18.27	14.19	4.08
20	17.66	13.39	4.27
25	16.62	12.43	4.19
30	15.42	11.66	3.76
35	14.56	10.81	3.75
40	13.87	10.00	3.87
45	13.20	9.53	3.67
50	12.32	8.69	3.63
55	11.58	7.58	4.00
60	10.94	7.11	3.83
65	10.11	6.05	4.06
70	9.13	5.36	3.77
75	7.71	4.48	3.24
80	7.06	3.66	3.40
85	6.20	2.79	3.41
90	5.75	2.21	3.54
95	4.80	1.23	3.57
100	4.06	0.10	3.96
105	3.25	0.10	3.15
110	3.24	0.10	3.14
115	3.26	0.10	3.16
120	3.32	0.10	3.22
125	3.14	0.10	3.04
130	3.14	0.10	3.04
135	3.28	0.10	3.18
140	3.18	0.10	3.08
145	3.28	0.10	3.18
150	3.32	0.10	3.22
155	3.32	0.10	3.22
160	3.35	0.00	3.35
165	3.32	0.00	3.32
170	3.38	0.00	3.38
175	3.45	0.00	3.45
180	3.47	0.00	3.47
185	3.43	0.00	3.43
190	3.44	0.00	3.44
195	3.44	0.00	3.44
200	3.55	0.00	3.55

Prova n°	95	
pendenza rampa (-)		
		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2	3.184
spessore stato filtrante (cm)		
		7
portata totale Q _m (l/s)		
		13.03
portata filtrante Q _{thr} (l/s)		
		1.25
portata superiore Q _c (l/s)		
		11.78

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	19.4	19.5	19.65
30	16.3	17	17.2
45	14.25	14.75	14.95
60	11.45	11.7	12.05
80	8.2	8.4	9.15
95	4.55	5.2	5.95
320	3	3	3
350	3.05	3.05	3.05

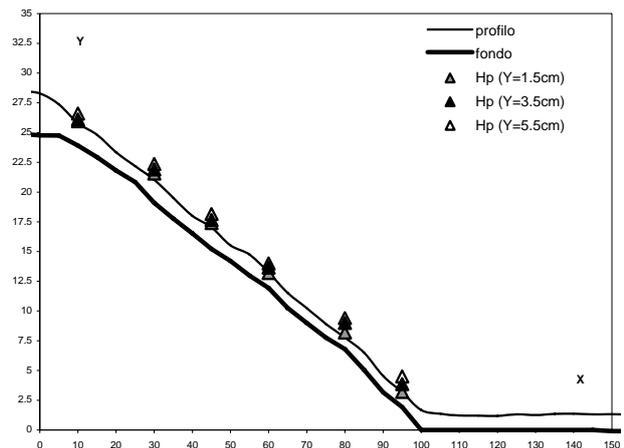


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.77	24.90	3.87
-35	28.73	24.90	3.83
-30	28.60	24.90	3.70
-25	28.60	24.90	3.70
-20	28.55	24.90	3.65
-15	28.59	24.90	3.69
-10	28.53	24.90	3.63
-5	28.47	24.90	3.57
0	28.29	24.78	3.52
5	27.37	24.76	2.61
10	25.79	23.91	1.88
15	24.80	22.93	1.87
20	23.35	21.81	1.54
25	22.17	20.83	1.34
30	21.04	19.09	1.95
35	19.50	17.77	1.73
40	18.00	16.51	1.49
45	17.03	15.22	1.81
50	15.52	14.20	1.32
55	14.74	12.97	1.77
60	13.25	11.95	1.30
65	11.52	10.25	1.27
70	10.24	8.99	1.25
75	8.91	7.76	1.15
80	7.77	6.81	0.96
85	6.51	5.06	1.45
90	4.55	3.17	1.38
95	3.18	1.93	1.26
100	1.67	0.00	1.67
105	1.37	0.00	1.37
110	1.22	0.00	1.22
115	1.21	0.00	1.21
120	1.18	0.00	1.18
125	1.32	0.00	1.32
130	1.26	0.00	1.26
135	1.35	0.00	1.35
140	1.36	0.00	1.36
145	1.32	0.00	1.32
150	1.33	-0.10	1.43
155	1.29	-0.10	1.39
160	1.29	-0.10	1.39
165	1.22	-0.10	1.32
170	1.28	-0.10	1.38
175	1.26	-0.10	1.36
180	1.27	-0.10	1.37
185	1.20	-0.10	1.30
190	1.24	-0.10	1.34
195	1.25	-0.10	1.35
200	1.22	-0.10	1.32

Prova n°	96	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	4.05	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	0.71	
portata superiore Q _c (l/s)	3.35	

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	25.95	26.1	26.6
30	21.55	21.9	22.35
45	17.4	17.65	18.15
60	13.2	13.65	14
80	8.2	9	9.4
95	3.2	3.85	4.5
320	1.3	1.3	1.3
350	1.4	1.4	1.4

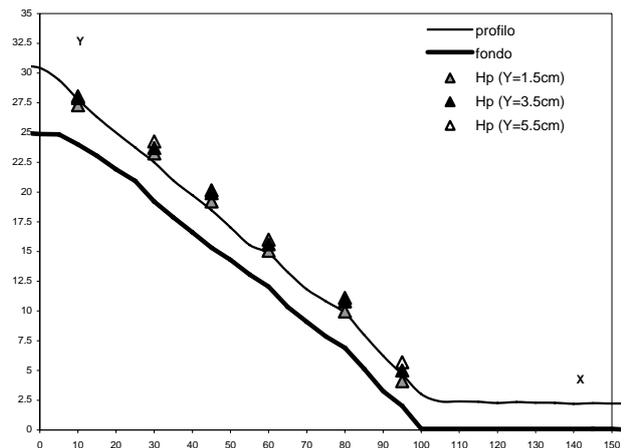


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.03	25.00	6.03
-35	31.01	25.00	6.01
-30	29.94	25.00	4.94
-25	30.78	25.00	5.78
-20	30.82	25.00	5.82
-15	30.67	25.00	5.67
-10	30.46	25.00	5.46
-5	30.56	25.00	5.56
0	30.43	24.88	5.56
5	29.42	24.86	4.56
10	27.78	24.01	3.77
15	26.29	23.03	3.26
20	25.00	21.91	3.09
25	23.74	20.93	2.81
30	22.49	19.19	3.30
35	20.97	17.87	3.10
40	19.73	16.61	3.12
45	18.47	15.32	3.15
50	17.03	14.30	2.73
55	15.56	13.07	2.49
60	14.85	12.05	2.80
65	13.27	10.35	2.92
70	11.82	9.09	2.73
75	10.82	7.86	2.96
80	9.83	6.91	2.92
85	8.01	5.16	2.85
90	6.23	3.27	2.96
95	4.67	2.03	2.65
100	3.02	0.10	2.92
105	2.41	0.10	2.31
110	2.40	0.10	2.30
115	2.37	0.10	2.27
120	2.27	0.10	2.17
125	2.34	0.10	2.24
130	2.30	0.10	2.20
135	2.28	0.10	2.18
140	2.20	0.10	2.10
145	2.25	0.10	2.15
150	2.22	0.10	2.12
155	2.24	0.00	2.24
160	2.24	0.00	2.24
165	2.27	0.00	2.27
170	2.28	0.00	2.28
175	2.33	0.00	2.33
180	2.34	0.00	2.34
185	2.37	0.00	2.37
190	2.34	0.00	2.34
195	2.36	0.00	2.36
200	2.28	0.00	2.28

Prova n°	97	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	9.02	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	0.65	
portata superiore Q _c (l/s)	8.37	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	27.3	27.9	28.05
30	23.25	23.7	24.25
45	19.2	19.9	20.15
60	15.05	15.6	16
80	9.95	10.8	11.1
95	4.1	5	5.7
320	2.3	2.3	2.3
350	2.4	2.4	2.4



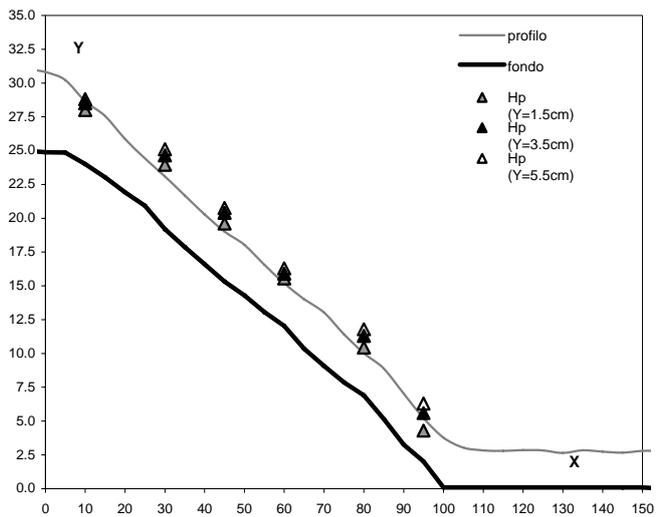
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	32.91	25.00	7.91
-35	32.71	25.00	7.71
-30	31.74	25.00	6.74
-25	30.68	25.00	5.68
-20	31.67	25.00	6.67
-15	31.82	25.00	6.82
-10	31.63	25.00	6.63
-5	31.05	25.00	6.05
0	30.81	24.88	5.94
5	30.22	24.86	5.36
10	28.65	24.01	4.64
15	27.56	23.03	4.53
20	25.86	21.91	3.95
25	24.43	20.93	3.50
30	23.09	19.19	3.90
35	21.69	17.87	3.82
40	20.29	16.61	3.68
45	19.02	15.32	3.70
50	18.03	14.30	3.73
55	16.56	13.07	3.49
60	15.20	12.05	3.15
65	14.01	10.35	3.66
70	13.03	9.09	3.94
75	11.42	7.86	3.56
80	10.03	6.91	3.12
85	8.89	5.16	3.73
90	7.03	3.27	3.76
95	5.22	2.03	3.20
100	3.78	0.10	3.68
105	3.05	0.10	2.95
110	2.84	0.10	2.74
115	2.80	0.10	2.70
120	2.86	0.10	2.76
125	2.84	0.10	2.74
130	2.65	0.10	2.55
135	2.85	0.10	2.75
140	2.74	0.10	2.64
145	2.67	0.10	2.57
150	2.81	0.10	2.71
155	2.78	0.00	2.78
160	2.73	0.00	2.73
165	2.82	0.00	2.82
170	2.78	0.00	2.78
175	2.87	0.00	2.87
180	2.77	0.00	2.77
185	2.79	0.00	2.79
190	2.82	0.00	2.82
195	2.80	0.00	2.80
200	2.95	0.00	2.95

sezioni rampa

Prova n°	98	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	12.08	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	0.65	
portata superiore Q _s (l/s)	11.43	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	28	28.5	28.8
30	23.95	24.65	25.1
45	19.6	20.4	20.75
60	15.55	15.9	16.3
80	10.45	11.3	11.8
95	4.3	5.6	6.3
320	2.8	2.8	2.8
350	2.9	2.9	2.9



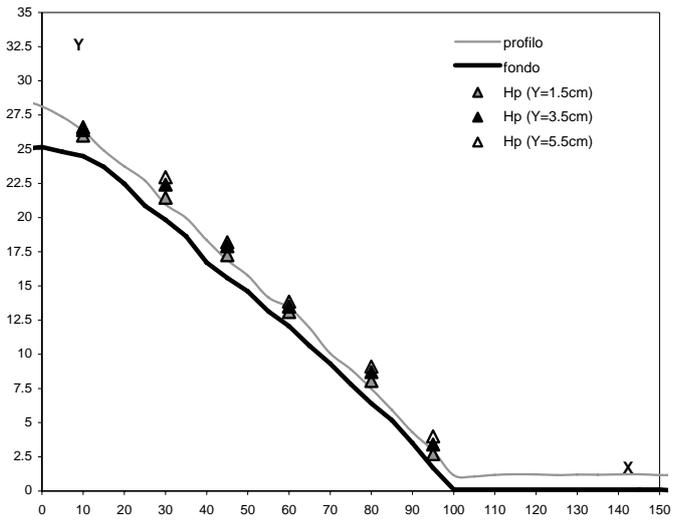
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.87	25.00	3.87
-35	28.83	25.00	3.83
-30	28.70	25.00	3.70
-25	28.70	25.00	3.70
-20	28.65	25.00	3.65
-15	28.69	25.00	3.69
-10	28.63	25.00	3.63
-5	28.57	25.00	3.57
0	28.12	25.16	2.96
5	27.35	24.80	2.55
10	26.34	24.49	1.85
15	24.91	23.70	1.21
20	23.74	22.47	1.27
25	22.71	20.87	1.84
30	20.97	19.83	1.14
35	19.98	18.64	1.34
40	18.35	16.71	1.64
45	16.89	15.58	1.32
50	15.76	14.60	1.16
55	14.15	13.13	1.02
60	13.41	12.06	1.35
65	11.92	10.63	1.30
70	10.06	9.32	0.74
75	8.90	7.81	1.09
80	7.48	6.41	1.07
85	5.92	5.18	0.74
90	4.29	3.51	0.78
95	2.95	1.70	1.25
100	1.15	0.10	1.05
105	1.07	0.10	0.97
110	1.18	0.10	1.08
115	1.23	0.10	1.13
120	1.21	0.10	1.11
125	1.17	0.10	1.07
130	1.20	0.10	1.10
135	1.19	0.10	1.09
140	1.21	0.10	1.11
145	1.22	0.10	1.12
150	1.17	0.10	1.07
155	1.17	0.00	1.17
160	1.13	0.00	1.13
165	1.18	0.00	1.18
170	1.21	0.00	1.21
175	1.17	0.00	1.17
180	1.19	0.00	1.19
185	1.15	0.00	1.15
190	1.19	0.00	1.19
195	1.18	0.00	1.18
200	1.21	0.00	1.21

sezioni rampa

Prova n°		99
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _{tot} (l/s)		3.98
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		1.14
portata superiore Q _{sup} (l/s)		2.8

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	26	26.4	26.6
30	21.45	22.4	22.95
45	17.25	17.9	18.2
60	13.1	13.5	13.85
80	8.05	8.7	9.1
95	2.7	3.4	4
320	0.8	0.8	0.8
350	0.9	0.9	0.9



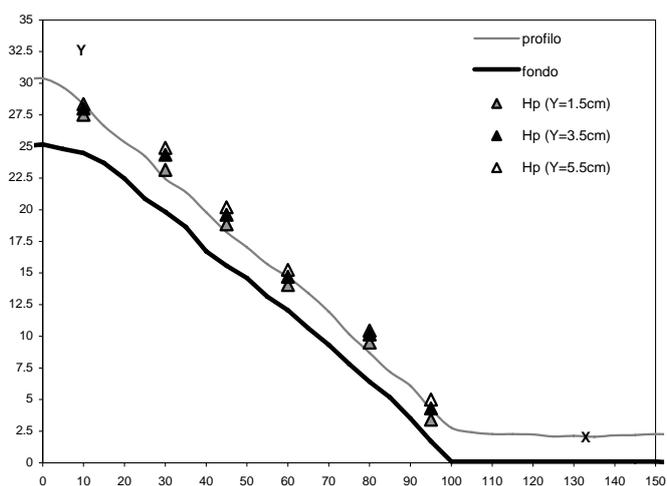
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.00	25.00	6.00
-35	30.98	25.00	5.98
-30	29.72	25.00	4.72
-25	30.38	25.00	5.38
-20	31.00	25.00	6.00
-15	30.40	25.00	5.40
-10	30.29	25.00	5.29
-5	30.25	25.00	5.25
0	30.38	25.16	5.22
5	29.67	24.80	4.87
10	28.34	24.49	3.85
15	26.63	23.70	2.93
20	25.34	22.47	2.87
25	24.24	20.87	3.37
30	22.45	19.83	2.62
35	21.39	18.64	2.75
40	19.80	16.71	3.09
45	18.24	15.58	2.67
50	17.04	14.60	2.44
55	15.70	13.13	2.57
60	14.67	12.06	2.61
65	13.41	10.63	2.79
70	11.95	9.32	2.63
75	10.17	7.81	2.36
80	8.69	6.41	2.28
85	7.18	5.18	2.01
90	6.09	3.51	2.58
95	4.23	1.70	2.53
100	2.77	0.10	2.67
105	2.42	0.10	2.32
110	2.27	0.10	2.17
115	2.27	0.10	2.17
120	2.24	0.10	2.14
125	2.08	0.10	1.98
130	2.13	0.10	2.03
135	2.06	0.10	1.96
140	2.17	0.10	2.07
145	2.19	0.10	2.09
150	2.27	0.10	2.17
155	2.24	0.00	2.24
160	2.25	0.00	2.25
165	2.21	0.00	2.21
170	2.24	0.00	2.24
175	2.29	0.00	2.29
180	2.28	0.00	2.28
185	2.22	0.00	2.22
190	2.20	0.00	2.20
195	2.28	0.00	2.28
200	2.32	0.00	2.32

sezioni rampa

Prova n°	100	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	9.05	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.09	
portata superiore Q _s (l/s)	7.97	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	27.5	28	28.35
30	23.15	24.35	24.9
45	18.85	19.6	20.2
60	14.05	14.7	15.25
80	9.5	10.15	10.45
95	3.4	4.3	5
320	1.8	1.8	1.8
350	1.85	1.85	1.85

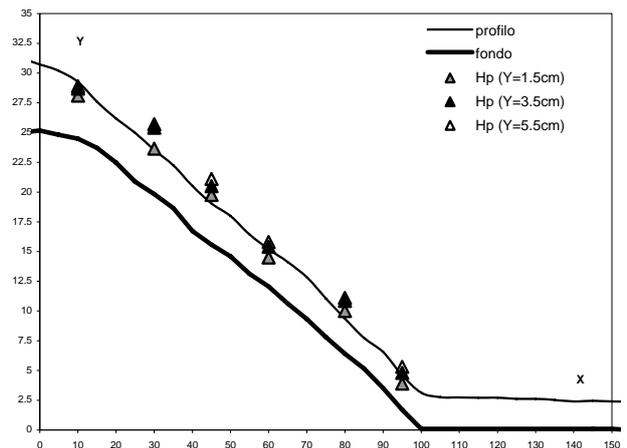


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	32.82	25.00	7.82
-35	32.74	25.00	7.74
-30	31.38	25.00	6.38
-25	30.64	25.00	5.64
-20	30.91	25.00	5.91
-15	31.81	25.00	6.81
-10	30.70	25.00	5.70
-5	31.15	25.00	6.15
0	30.73	25.16	5.57
5	30.18	24.80	5.38
10	29.26	24.49	4.77
15	27.58	23.70	3.88
20	26.18	22.47	3.71
25	24.97	20.87	4.10
30	23.54	19.83	3.71
35	22.25	18.64	3.61
40	20.51	16.71	3.80
45	19.04	15.58	3.47
50	17.98	14.60	3.38
55	16.43	13.13	3.30
60	15.21	12.06	3.15
65	14.12	10.63	3.50
70	12.84	9.32	3.52
75	11.06	7.81	3.25
80	9.37	6.41	2.96
85	7.74	5.18	2.57
90	6.56	3.51	3.05
95	4.61	1.70	2.91
100	3.14	0.10	3.04
105	2.76	0.10	2.66
110	2.74	0.10	2.64
115	2.72	0.10	2.62
120	2.72	0.10	2.62
125	2.62	0.10	2.52
130	2.62	0.10	2.52
135	2.53	0.10	2.43
140	2.40	0.10	2.30
145	2.45	0.10	2.35
150	2.41	0.10	2.31
155	2.39	0.00	2.39
160	2.40	0.00	2.40
165	2.37	0.00	2.37
170	2.48	0.00	2.48
175	2.50	0.00	2.50
180	2.60	0.00	2.60
185	2.48	0.00	2.48
190	2.54	0.00	2.54
195	2.54	0.00	2.54
200	2.64	0.00	2.64

Prova n°	101	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	12.05	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	1.09	
portata superiore Q _c (l/s)	10.96	

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	28.1	28.7	28.9
30	23.65	25.4	25.7
45	19.75	20.5	21.1
60	14.5	15.4	15.8
80	10	10.85	11.1
95	3.9	4.8	5.3
320	2.1	2.1	2.1
350	2.2	2.2	2.2

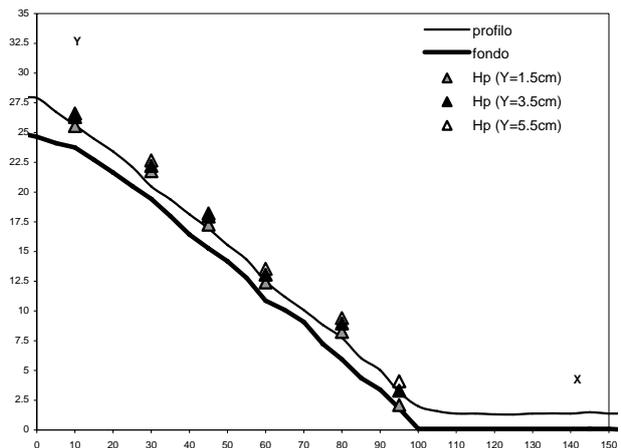


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.57	25.00	2.57
-35	27.56	25.00	2.56
-30	28.24	25.00	3.24
-25	28.29	25.00	3.29
-20	28.14	25.00	3.14
-15	28.23	25.00	3.23
-10	28.15	25.00	3.15
-5	27.89	25.00	2.89
0	27.90	24.64	3.26
5	26.73	24.11	2.62
10	25.61	23.74	1.87
15	24.47	22.69	1.78
20	23.40	21.64	1.76
25	22.11	20.50	1.61
30	20.47	19.43	1.04
35	19.38	17.97	1.41
40	18.13	16.41	1.72
45	16.93	15.26	1.67
50	15.56	14.18	1.39
55	14.32	12.78	1.55
60	12.51	10.87	1.64
65	11.20	10.08	1.12
70	10.07	9.08	0.99
75	8.83	7.23	1.60
80	7.75	5.94	1.81
85	6.06	4.38	1.68
90	5.02	3.39	1.63
95	3.19	1.83	1.37
100	2.00	0.10	1.90
105	1.58	0.10	1.48
110	1.38	0.10	1.28
115	1.38	0.10	1.28
120	1.32	0.10	1.22
125	1.30	0.10	1.20
130	1.38	0.10	1.28
135	1.40	0.10	1.30
140	1.38	0.10	1.28
145	1.48	0.10	1.38
150	1.39	0.10	1.29
155	1.39	0.00	1.39
160	1.42	0.00	1.42
165	1.42	0.00	1.42
170	1.41	0.00	1.41
175	1.38	0.00	1.38
180	1.37	0.00	1.37
185	1.44	0.00	1.44
190	1.44	0.00	1.44
195	1.37	0.00	1.37
200	1.43	0.00	1.43

Prova n°	102	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	4.06	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)	0.49	
portata superiore Q _c (l/s)	3.57	

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	25.55	26.3	26.6
30	21.75	22.2	22.65
45	17.25	17.95	18.2
60	12.4	13.05	13.55
80	8.25	8.95	9.4
95	2.1	3.3	4.1
320	1	1	1
350	1.1	1.1	1.1

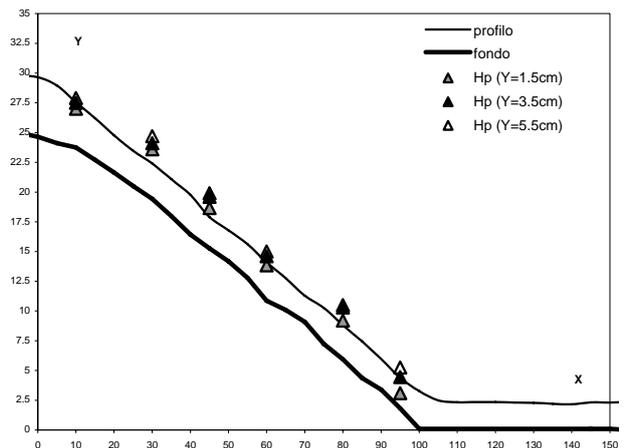


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.12	25.00	6.12
-35	31.10	25.00	6.10
-30	29.62	25.00	4.62
-25	29.68	25.00	4.68
-20	30.61	25.00	5.61
-15	30.64	25.00	5.64
-10	29.93	25.00	4.93
-5	29.79	25.00	4.79
0	29.65	24.64	5.01
5	28.96	24.11	4.85
10	27.54	23.74	3.80
15	26.21	22.69	3.52
20	24.77	21.64	3.13
25	23.47	20.50	2.97
30	22.40	19.43	2.97
35	21.08	17.97	3.11
40	19.76	16.41	3.35
45	17.90	15.26	2.64
50	16.79	14.18	2.62
55	15.62	12.78	2.85
60	14.09	10.87	3.22
65	12.76	10.08	2.68
70	11.28	9.08	2.20
75	10.26	7.23	3.03
80	8.82	5.94	2.88
85	7.46	4.38	3.08
90	5.97	3.39	2.58
95	4.39	1.83	2.57
100	3.28	0.10	3.18
105	2.49	0.10	2.39
110	2.33	0.10	2.23
115	2.34	0.10	2.24
120	2.34	0.10	2.24
125	2.31	0.10	2.21
130	2.28	0.10	2.18
135	2.20	0.10	2.10
140	2.16	0.10	2.06
145	2.32	0.10	2.22
150	2.31	0.10	2.21
155	2.35	0.00	2.35
160	2.31	0.00	2.31
165	2.31	0.00	2.31
170	2.35	0.00	2.35
175	2.34	0.00	2.34
180	2.37	0.00	2.37
185	2.34	0.00	2.34
190	2.43	0.00	2.43
195	2.38	0.00	2.38
200	2.44	0.00	2.44

Prova n°		103	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₃₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₃₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			9.03
portata filtrante Q _{thr} (l/s)			0.60
portata superiore Q _c (l/s)			8.43

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	27	27.5	27.9
30	23.6	24.1	24.7
45	18.65	19.6	19.9
60	13.85	14.6	15
80	9.2	10.3	10.5
95	3.1	4.45	5.25
320	1.8	1.8	1.8
350	1.9	1.9	1.9

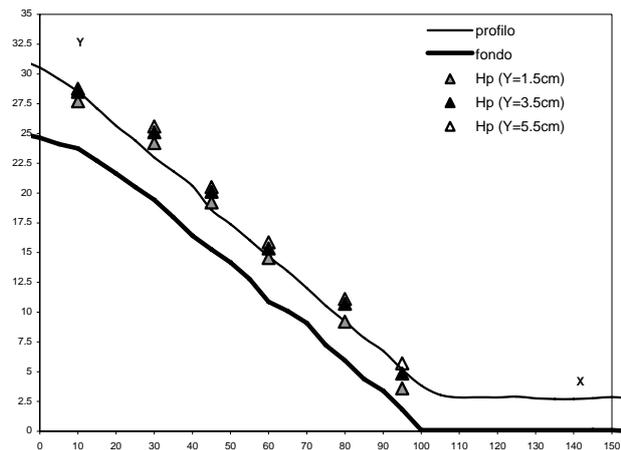


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	32.77	25.00	7.77
-35	32.72	25.00	7.72
-30	31.52	25.00	6.52
-25	30.53	25.00	5.53
-20	30.95	25.00	5.95
-15	31.73	25.00	6.73
-10	31.59	25.00	6.59
-5	31.15	25.00	6.15
0	30.53	24.64	5.89
5	29.57	24.11	5.46
10	28.52	23.74	4.78
15	27.10	22.69	4.41
20	25.65	21.64	4.01
25	24.41	20.50	3.91
30	22.99	19.43	3.56
35	21.83	17.97	3.86
40	20.59	16.41	4.18
45	18.58	15.26	3.32
50	17.40	14.18	3.23
55	16.06	12.78	3.29
60	14.67	10.87	3.80
65	13.43	10.08	3.35
70	12.02	9.08	2.94
75	10.53	7.23	3.30
80	9.23	5.94	3.29
85	7.85	4.38	3.47
90	6.75	3.39	3.36
95	5.19	1.83	3.37
100	3.84	0.10	3.74
105	3.05	0.10	2.95
110	2.83	0.10	2.73
115	2.86	0.10	2.76
120	2.83	0.10	2.73
125	2.91	0.10	2.81
130	2.77	0.10	2.67
135	2.71	0.10	2.61
140	2.71	0.10	2.61
145	2.78	0.10	2.68
150	2.87	0.10	2.77
155	2.78	0.00	2.78
160	2.82	0.00	2.82
165	2.84	0.00	2.84
170	2.81	0.00	2.81
175	2.86	0.00	2.86
180	2.82	0.00	2.82
185	2.79	0.00	2.79
190	2.86	0.00	2.86
195	2.80	0.00	2.80
200	2.83	0.00	2.83

Prova n°	104	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	12.07	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	0.49	
portata superiore Q _u (l/s)	11.58	

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	27.7	28.5	28.75
30	24.2	25.1	25.6
45	19.2	20.1	20.5
60	14.55	15.35	15.85
80	9.2	10.7	11.1
95	3.6	4.85	5.7
320	2.3	2.3	2.3
350	2.35	2.35	2.35

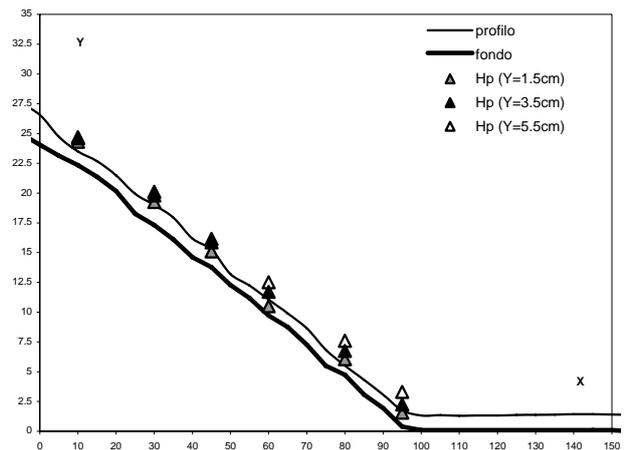


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.45	25.00	2.45
-35	27.45	25.00	2.45
-30	28.30	25.00	3.30
-25	27.73	25.00	2.73
-20	27.83	25.00	2.83
-15	27.77	25.00	2.77
-10	27.54	25.00	2.54
-5	27.44	25.00	2.44
0	26.57	24.06	2.51
5	24.72	23.13	1.59
10	23.49	22.34	1.15
15	22.68	21.36	1.32
20	21.48	20.16	1.32
25	19.93	18.25	1.68
30	19.00	17.32	1.68
35	17.94	16.11	1.83
40	16.18	14.61	1.57
45	15.25	13.77	1.48
50	13.20	12.28	0.93
55	12.23	11.18	1.05
60	11.06	9.72	1.34
65	9.90	8.74	1.16
70	8.64	7.27	1.37
75	6.83	5.49	1.34
80	5.52	4.76	0.76
85	4.32	3.08	1.24
90	3.08	1.94	1.14
95	1.76	0.39	1.37
100	1.33	0.10	1.23
105	1.35	0.10	1.25
110	1.31	0.10	1.21
115	1.33	0.10	1.23
120	1.33	0.10	1.23
125	1.37	0.10	1.27
130	1.38	0.10	1.28
135	1.40	0.10	1.30
140	1.43	0.10	1.33
145	1.44	0.10	1.34
150	1.41	0.10	1.31
155	1.39	0.00	1.39
160	1.41	0.00	1.41
165	1.40	0.00	1.40
170	1.39	0.00	1.39
175	1.38	0.00	1.38
180	1.39	0.00	1.39
185	1.40	0.00	1.40
190	1.41	0.00	1.41
195	1.41	0.00	1.41
200	1.45	0.00	1.45

Prova n°	105
pendenza rampa (-)	0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2
spessore stato filtrante (cm)	7
portata totale Q _m (l/s)	4.01
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.25
portata superiore Q _u (l/s)	2.77

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	24.3	24.6	24.7
30	19.25	19.8	20.1
45	15.1	15.85	16.15
60	10.5	11.7	12.5
80	6.05	6.75	7.6
95	1.55	2.25	3.3
320	0.7	0.7	0.7
350	0.75	0.75	0.75

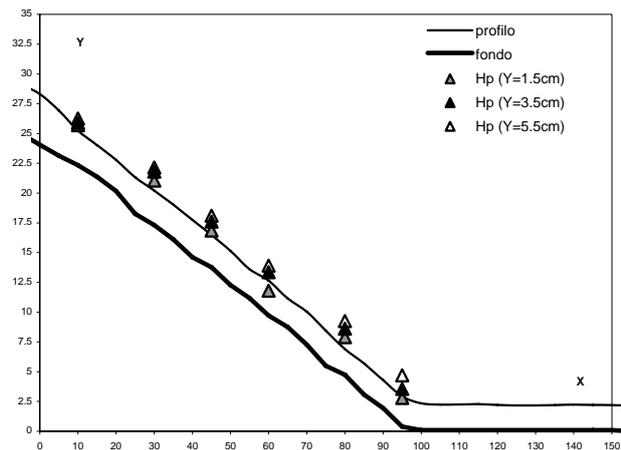


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	30.60	25.00	5.60
-35	30.60	25.00	5.60
-30	29.27	25.00	4.27
-25	29.25	25.00	4.25
-20	30.58	25.00	5.58
-15	30.22	25.00	5.22
-10	29.61	25.00	4.61
-5	29.10	25.00	4.10
0	28.31	24.06	4.25
5	26.92	23.13	3.79
10	25.24	22.34	2.90
15	24.02	21.36	2.66
20	22.78	20.16	2.62
25	21.32	18.25	3.07
30	20.21	17.32	2.89
35	19.02	16.11	2.91
40	17.74	14.61	3.13
45	16.48	13.77	2.71
50	15.15	12.28	2.88
55	13.61	11.18	2.43
60	12.65	9.72	2.93
65	11.15	8.74	2.41
70	10.04	7.27	2.77
75	8.44	5.49	2.95
80	6.91	4.76	2.15
85	5.70	3.08	2.62
90	4.29	1.94	2.35
95	2.93	0.39	2.54
100	2.34	0.10	2.24
105	2.24	0.10	2.14
110	2.25	0.10	2.15
115	2.27	0.10	2.17
120	2.21	0.10	2.11
125	2.16	0.10	2.06
130	2.16	0.10	2.06
135	2.20	0.10	2.10
140	2.24	0.10	2.14
145	2.21	0.10	2.11
150	2.20	0.10	2.10
155	2.15	0.00	2.15
160	2.20	0.00	2.20
165	2.20	0.00	2.20
170	2.25	0.00	2.25
175	2.21	0.00	2.21
180	2.19	0.00	2.19
185	2.25	0.00	2.25
190	2.28	0.00	2.28
195	2.25	0.00	2.25
200	2.29	0.00	2.29

Prova n°	106
pendenza rampa (-)	0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2
spessore stato filtrante (cm)	7
portata totale Q _m (l/s)	9.06
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.36
portata superiore Q _u (l/s)	7.70

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	25.7	25.9	26.25
30	21.05	21.8	22.15
45	16.85	17.6	18.1
60	11.8	13.35	13.9
80	7.9	8.6	9.25
95	2.8	3.55	4.7
320	2.1	2.1	2.1
350	2.2	2.2	2.2

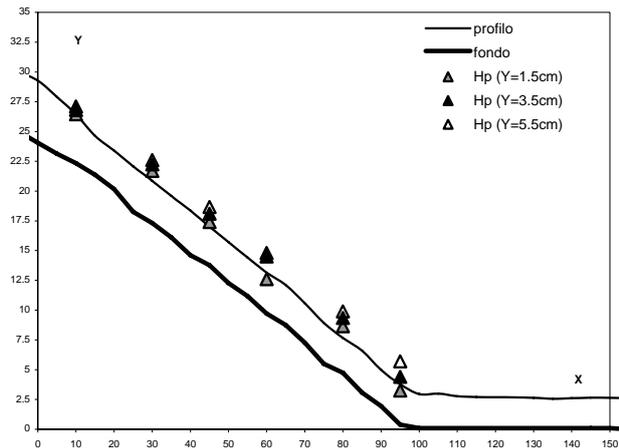


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	32.41	25.00	7.41
-35	32.17	25.00	7.17
-30	31.00	25.00	6.00
-25	29.75	25.00	4.75
-20	29.83	25.00	4.83
-15	29.68	25.00	4.68
-10	29.93	25.00	4.93
-5	29.90	25.00	4.90
0	29.27	24.06	5.21
5	27.91	23.13	4.78
10	26.43	22.34	4.09
15	24.62	21.36	3.26
20	23.39	20.16	3.23
25	22.08	18.25	3.83
30	20.86	17.32	3.54
35	19.59	16.11	3.48
40	18.35	14.61	3.74
45	17.00	13.77	3.23
50	15.72	12.28	3.45
55	14.42	11.18	3.24
60	13.15	9.72	3.43
65	12.11	8.74	3.37
70	10.58	7.27	3.31
75	8.93	5.49	3.44
80	7.67	4.76	2.91
85	6.60	3.08	3.52
90	4.99	1.94	3.05
95	3.78	0.39	3.39
100	2.95	0.10	2.85
105	2.99	0.10	2.89
110	2.78	0.10	2.68
115	2.70	0.10	2.60
120	2.69	0.10	2.59
125	2.68	0.10	2.58
130	2.64	0.10	2.54
135	2.56	0.10	2.46
140	2.61	0.10	2.51
145	2.66	0.10	2.56
150	2.64	0.10	2.54
155	2.61	0.00	2.61
160	2.66	0.00	2.66
165	2.64	0.00	2.64
170	2.68	0.00	2.68
175	2.69	0.00	2.69
180	2.69	0.00	2.69
185	2.65	0.00	2.65
190	2.65	0.00	2.65
195	2.71	0.00	2.71
200	2.72	0.00	2.72

Prova n°	107
pendenza rampa (-)	0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2
spessore stato filtrante (cm)	7
portata totale Q _m (l/s)	12.06
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	1.30
portata superiore Q _u (l/s)	10.76

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	26.45	26.8	27.1
30	21.7	22.25	22.6
45	17.4	18.1	18.65
60	12.6	14.5	14.8
80	8.65	9.35	9.9
95	3.25	4.4	5.7
320	2.6	2.6	2.6
350	2.7	2.7	2.7

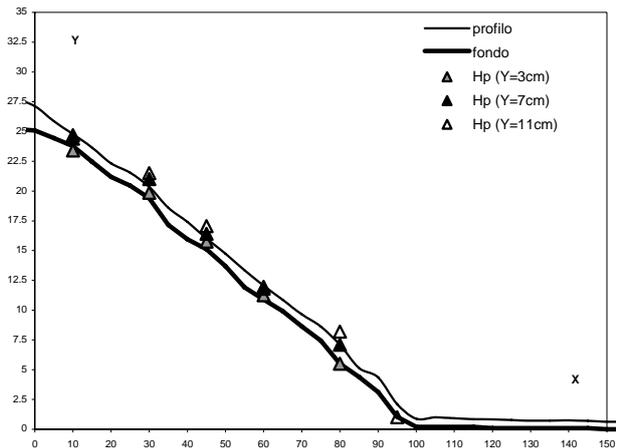


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	28.00	25.20	2.80
-35	27.95	25.20	2.75
-30	27.53	25.20	2.33
-25	27.58	25.20	2.38
-20	28.40	25.20	3.20
-15	27.96	25.20	2.76
-10	27.65	25.20	2.45
-5	27.66	25.20	2.46
0	27.13	25.08	2.05
5	25.86	24.44	1.42
10	24.78	23.78	1.01
15	23.65	22.46	1.19
20	22.33	21.19	1.14
25	21.54	20.44	1.10
30	20.34	19.41	0.93
35	18.59	17.16	1.43
40	17.41	15.95	1.46
45	16.02	15.11	0.91
50	14.74	13.70	1.04
55	13.35	11.91	1.44
60	12.06	10.90	1.16
65	10.87	9.93	0.95
70	9.64	8.63	1.02
75	8.62	7.43	1.20
80	7.09	5.50	1.59
85	5.15	4.39	0.76
90	4.36	3.12	1.24
95	2.11	1.04	1.07
100	0.89	0.20	0.69
105	1.01	0.20	0.81
110	0.92	0.20	0.72
115	0.85	0.20	0.65
120	0.82	0.10	0.72
125	0.78	0.10	0.68
130	0.72	0.10	0.62
135	0.73	0.10	0.63
140	0.75	0.10	0.65
145	0.71	0.10	0.61
150	0.64	0.00	0.64
155	0.65	0.00	0.65
160	0.65	0.00	0.65
165	0.62	0.00	0.62
170	0.64	0.00	0.64
175	0.64	0.00	0.64
180	0.64	0.00	0.64
185	0.74	0.00	0.74
190	0.62	0.00	0.62
195	0.58	0.00	0.58
200	0.65	0.00	0.65

Prova n°		5 pr0	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			4.04
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			3.14
portata superiore Q _s (l/s)			0.90

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	23.4	24.4	24.7
30	19.85	21	21.5
45	15.75	16.4	17.05
60	11.25	11.95	11.8
80	5.5	7.1	8.2
95	-4.1	-0.3	1
320	-8.3	-8.3	-8.3
350	-8.3	-8.3	-8.3

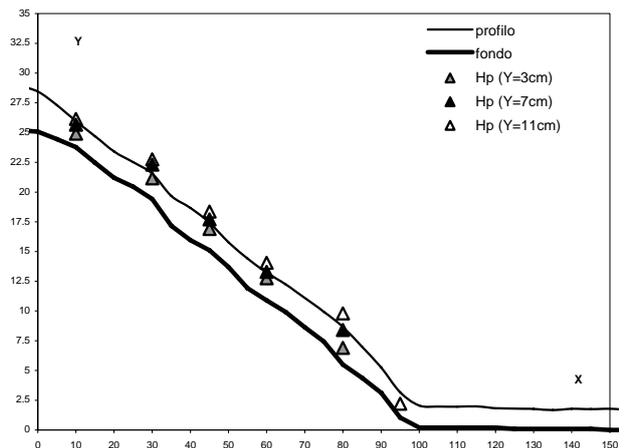


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	30.40	25.20	5.20
-35	30.25	25.20	5.05
-30	29.30	25.20	4.10
-25	28.91	25.20	3.71
-20	28.87	25.20	3.67
-15	28.86	25.20	3.66
-10	28.99	25.20	3.79
-5	28.90	25.20	3.70
0	28.44	25.08	3.36
5	27.31	24.44	2.87
10	25.95	23.78	2.18
15	24.68	22.46	2.22
20	23.41	21.19	2.22
25	22.51	20.44	2.07
30	21.55	19.41	2.14
35	19.67	17.16	2.51
40	18.67	15.95	2.72
45	17.41	15.11	2.30
50	15.78	13.70	2.08
55	14.41	11.91	2.50
60	13.23	10.90	2.33
65	12.24	9.93	2.32
70	11.09	8.63	2.47
75	9.93	7.43	2.51
80	8.66	5.50	3.16
85	7.00	4.39	2.61
90	5.27	3.12	2.15
95	3.17	1.04	2.13
100	2.06	0.20	1.86
105	1.97	0.20	1.77
110	1.96	0.20	1.76
115	1.99	0.20	1.79
120	1.83	0.20	1.63
125	1.79	0.10	1.69
130	1.77	0.10	1.67
135	1.67	0.10	1.57
140	1.78	0.10	1.68
145	1.76	0.10	1.66
150	1.78	0.00	1.78
155	1.72	0.00	1.72
160	1.87	0.00	1.87
165	1.87	0.00	1.87
170	1.87	0.00	1.87
175	1.87	0.00	1.87
180	1.87	0.00	1.87
185	1.87	0.00	1.87
190	1.87	0.00	1.87
195	1.87	0.00	1.87
200	1.87	0.00	1.87

Prova n°		6 pr0	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			8.04
portata filtrante Q _{thr} (l/s)			3.19
portata superiore Q _c (l/s)			4.84

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	24.9	25.65	26.15
30	21.15	22.3	22.75
45	16.9	17.7	18.35
60	12.75	13.3	14.05
80	6.9	8.4	9.8
95	-2.3	-0.8	2.2
320	-8.3	-8.3	-8.3
350	-8.3	-8.3	-8.3



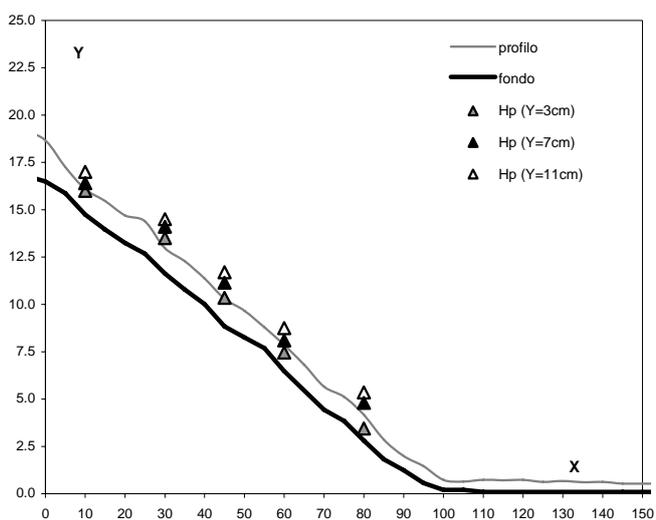
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.57	16.80	2.77
-35	19.45	16.80	2.65
-30	19.08	16.80	2.28
-25	19.01	16.80	2.21
-20	19.02	16.80	2.22
-15	19.04	16.80	2.24
-10	18.94	16.80	2.14
-5	19.08	16.80	2.28
0	18.66	16.49	2.17
5	17.26	15.87	1.39
10	16.09	14.75	1.34
15	15.46	13.95	1.51
20	14.70	13.25	1.45
25	14.39	12.68	1.71
30	12.97	11.63	1.35
35	12.28	10.78	1.50
40	11.37	10.02	1.35
45	10.30	8.84	1.46
50	9.67	8.26	1.41
55	8.79	7.69	1.10
60	7.86	6.48	1.39
65	6.81	5.46	1.35
70	5.66	4.44	1.22
75	5.12	3.85	1.27
80	4.17	2.81	1.36
85	2.86	1.83	1.04
90	1.99	1.24	0.75
95	1.46	0.57	0.89
100	0.73	0.20	0.53
105	0.64	0.20	0.44
110	0.74	0.10	0.64
115	0.71	0.10	0.61
120	0.73	0.10	0.63
125	0.63	0.10	0.53
130	0.67	0.10	0.57
135	0.61	0.10	0.51
140	0.63	0.10	0.53
145	0.54	0.10	0.44
150	0.54	0.10	0.44
155	0.53	0.10	0.43
160	0.53	0.00	0.53
165	0.54	0.00	0.54
170	0.56	0.00	0.56
175	0.59	0.00	0.59
180	0.50	-0.10	0.60
185	0.55	-0.10	0.65
190	0.52	-0.10	0.62
195	0.53	-0.10	0.63
200	0.52	-0.10	0.62

sezioni rampa

Prova n°	7 pr0	
pendenza rampa (-)		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _m (l/s)		3.99
portata filtrante Q _{fil} (l/s)		3.03
portata superiore Q _s (l/s)		0.96

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	16	16.4	17
30	13.5	14.1	14.5
45	10.35	11.15	11.7
60	7.45	8.1	8.75
80	3.45	4.8	5.35
95	-6.3	-3.3	-0.8
320	-13.3	-13.3	-13.3
350	-13.3	-13.3	-13.3



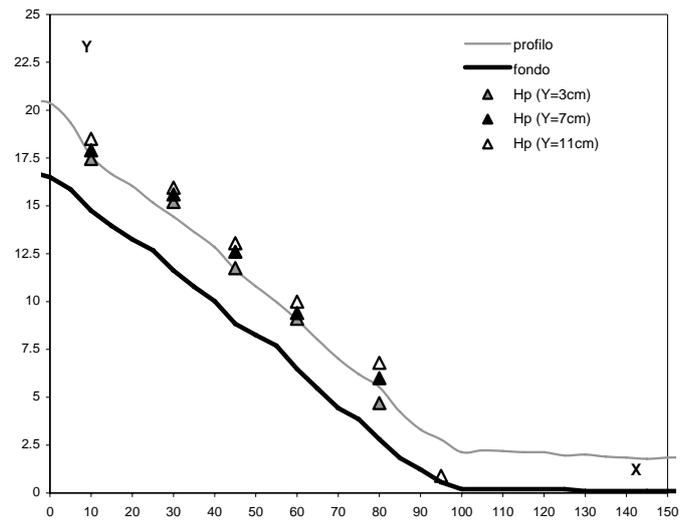
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y ₀ (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.60	16.80	6.80
-35	23.11	16.80	6.31
-30	21.24	16.80	4.44
-25	20.96	16.80	4.16
-20	20.59	16.80	3.79
-15	20.66	16.80	3.86
-10	20.66	16.80	3.86
-5	20.46	16.80	3.66
0	20.37	16.49	3.88
5	19.35	15.87	3.48
10	17.61	14.75	2.86
15	16.66	13.95	2.71
20	16.03	13.25	2.78
25	15.17	12.68	2.49
30	14.43	11.63	2.81
35	13.64	10.78	2.86
40	12.84	10.02	2.82
45	11.67	8.84	2.83
50	10.80	8.26	2.54
55	9.98	7.69	2.29
60	9.05	6.48	2.58
65	8.02	5.46	2.56
70	7.02	4.44	2.58
75	6.20	3.85	2.35
80	5.53	2.81	2.72
85	4.24	1.83	2.42
90	3.32	1.24	2.08
95	2.79	0.57	2.22
100	2.13	0.20	1.93
105	2.23	0.20	2.03
110	2.19	0.20	1.99
115	2.13	0.20	1.93
120	2.13	0.20	1.93
125	1.96	0.20	1.76
130	2.01	0.10	1.91
135	1.90	0.10	1.80
140	1.85	0.10	1.75
145	1.79	0.10	1.69
150	1.85	0.10	1.75
155	1.87	0.10	1.77
160	1.85	0.00	1.85
165	1.82	0.00	1.82
170	1.93	0.00	1.93
175	1.86	0.00	1.86
180	1.93	-0.10	2.03
185	1.92	-0.10	2.02
190	1.88	-0.10	1.98
195	1.95	-0.10	2.05
200	1.99	-0.10	2.09

sezioni rampa

Prova n°	8 pro	
pendenza rampa (-)		
0.1667		
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)		
14		
portata totale Q _{tot} (l/s)		
3.98		
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		
1.14		
portata superiore Q _{sup} (l/s)		
2.8		

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	17.45	17.9	18.5
30	15.2	15.6	15.95
45	11.75	12.6	13.05
60	9.1	9.4	10
80	4.7	6	6.8
95	-5.3	-1.8	0.9
320	-13.3	-13.3	-13.3
350	-13.3	-13.3	-13.3



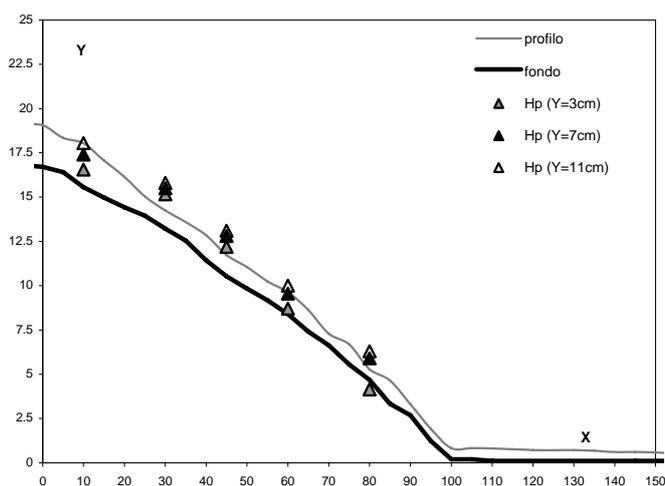
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.68	16.80	2.88
-35	19.75	16.80	2.95
-30	19.19	16.80	2.39
-25	19.20	16.80	2.40
-20	19.07	16.80	2.27
-15	19.06	16.80	2.26
-10	19.03	16.80	2.23
-5	19.06	16.80	2.26
0	19.05	16.71	2.34
5	18.34	16.41	1.93
10	18.04	15.56	2.48
15	17.07	14.98	2.09
20	16.14	14.43	1.72
25	15.03	13.94	1.09
30	14.24	13.22	1.02
35	13.59	12.54	1.05
40	12.84	11.43	1.42
45	11.73	10.53	1.20
50	11.05	9.84	1.21
55	10.25	9.18	1.07
60	9.63	8.40	1.24
65	8.62	7.41	1.21
70	7.29	6.63	0.66
75	6.68	5.54	1.14
80	5.28	4.68	0.60
85	4.65	3.33	1.32
90	3.31	2.69	0.62
95	1.91	1.23	0.68
100	0.82	0.20	0.62
105	0.83	0.20	0.63
110	0.81	0.10	0.71
115	0.77	0.10	0.67
120	0.72	0.10	0.62
125	0.71	0.10	0.61
130	0.72	0.10	0.62
135	0.68	0.10	0.58
140	0.61	0.10	0.51
145	0.61	0.10	0.51
150	0.58	0.10	0.48
155	0.54	0.10	0.44
160	0.53	0.00	0.53
165	0.52	0.00	0.52
170	0.50	0.00	0.50
175	0.45	0.00	0.45
180	0.47	-0.10	0.57
185	0.46	-0.10	0.56
190	0.45	-0.10	0.55
195	0.45	-0.10	0.55
200	0.45	-0.10	0.55

sezioni rampa

Prova n°	9 pr0	
pendenza rampa (-)		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)		14
portata totale Q _m (l/s)		3.95
portata filtrante Q _{fil} (l/s)		2.76
portata superiore Q _s (l/s)		1.19

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	16.55	17.4	18.05
30	15.15	15.5	15.8
45	12.2	12.8	13.1
60	8.7	9.55	10
80	4.15	5.9	6.3
95	-6.3	-4.3	-1.3
320	-13.3	-13.3	-13.3
350	-13.3	-13.3	-13.3

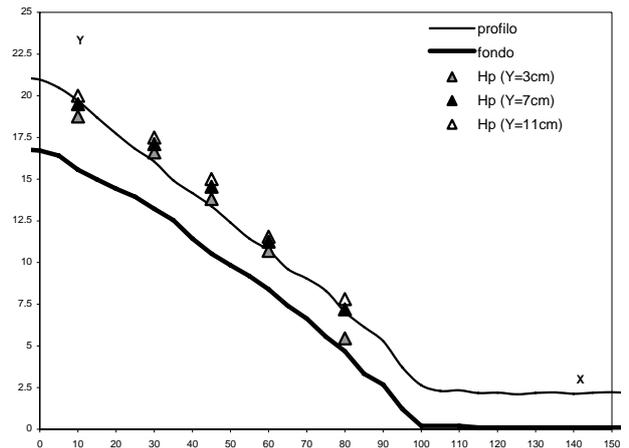


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.38	16.80	6.58
-35	23.27	16.80	6.47
-30	21.89	16.80	5.09
-25	21.46	16.80	4.66
-20	21.19	16.80	4.39
-15	21.18	16.80	4.38
-10	21.21	16.80	4.41
-5	21.08	16.80	4.28
0	20.97	16.71	4.26
5	20.48	16.41	4.07
10	19.69	15.56	4.13
15	18.69	14.98	3.71
20	17.73	14.43	3.31
25	16.81	13.94	2.87
30	16.05	13.22	2.83
35	14.92	12.54	2.38
40	14.16	11.43	2.74
45	13.38	10.53	2.85
50	12.39	9.84	2.55
55	11.43	9.18	2.25
60	10.73	8.40	2.33
65	9.61	7.41	2.20
70	9.03	6.63	2.40
75	8.30	5.54	2.76
80	7.04	4.68	2.36
85	6.14	3.33	2.81
90	5.29	2.69	2.60
95	3.73	1.23	2.51
100	2.64	0.20	2.44
105	2.30	0.20	2.10
110	2.33	0.20	2.13
115	2.17	0.10	2.07
120	2.20	0.10	2.10
125	2.09	0.10	1.99
130	2.18	0.10	2.08
135	2.21	0.10	2.11
140	2.13	0.10	2.03
145	2.19	0.10	2.09
150	2.22	0.10	2.12
155	2.19	0.10	2.09
160	2.18	0.00	2.18
165	2.27	0.00	2.27
170	2.08	0.00	2.08
175	2.12	0.00	2.12
180	2.00	-0.10	2.10
185	2.11	-0.10	2.21
190	2.01	-0.10	2.11
195	2.11	-0.10	2.21
200	2.01	-0.10	2.11

Prova n°		10 pr0	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)			14
portata totale Q _m (l/s)			10.00
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			2.87
portata superiore Q _u (l/s)			7.13

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=3cm	Y=7cm	Y=11cm
10	18.75	19.5	20
30	16.6	17.1	17.5
45	13.8	14.55	15
60	10.7	11.25	11.55
80	5.45	7.2	7.8
95	-7.3	-3.3	-0.3
320	-13.3	-13.3	-13.3
350	-13.3	-13.3	-13.3

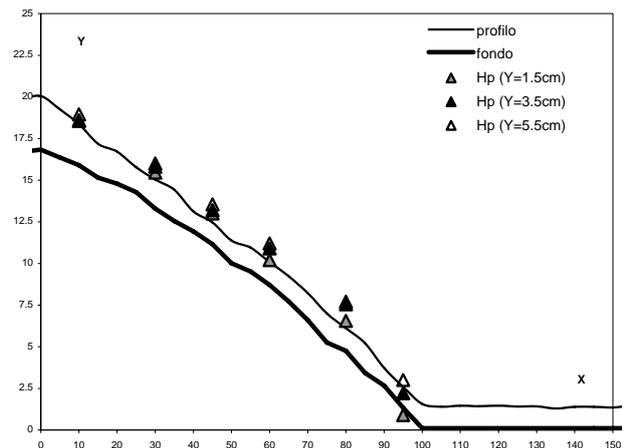


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.64	16.70	2.94
-35	19.57	16.70	2.87
-30	20.18	16.70	3.48
-25	19.91	16.70	3.21
-20	19.93	16.70	3.23
-15	19.91	16.70	3.21
-10	19.93	16.70	3.23
-5	19.88	16.70	3.18
0	20.05	16.83	3.22
5	19.25	16.36	2.89
10	18.37	15.89	2.48
15	17.18	15.15	2.03
20	16.71	14.79	1.92
25	15.78	14.28	1.50
30	15.03	13.29	1.74
35	14.42	12.55	1.87
40	13.12	11.93	1.20
45	12.46	11.16	1.30
50	11.38	10.02	1.36
55	10.95	9.51	1.44
60	10.08	8.71	1.37
65	9.23	7.72	1.51
70	8.21	6.59	1.62
75	6.99	5.25	1.74
80	6.11	4.76	1.35
85	5.21	3.44	1.77
90	3.73	2.66	1.07
95	2.59	1.34	1.25
100	1.56	0.10	1.46
105	1.40	0.10	1.30
110	1.45	0.10	1.35
115	1.43	0.10	1.33
120	1.46	0.10	1.36
125	1.41	0.10	1.31
130	1.42	0.10	1.32
135	1.29	0.10	1.19
140	1.39	0.10	1.29
145	1.39	0.10	1.29
150	1.35	0.10	1.25
155	1.46	0.10	1.36
160	1.41	0.00	1.41
165	1.41	0.00	1.41
170	1.73	0.00	1.73
175	1.78	0.00	1.78
180	1.79	0.00	1.79
185	1.73	0.00	1.73
190	1.79	0.00	1.79
195	1.77	0.00	1.77
200	1.79	0.00	1.79

Prova n°		11 pr0	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552	
spessore stato filtrante (cm)		7	
portata totale Q _m (l/s)		4.01	
portata filtrante Q _{thr} (l/s)		2.65	
portata superiore Q _c (l/s)		1.36	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	18.55	18.6	18.95
30	15.45	15.8	16
45	13	13.2	13.55
60	10.2	10.9	11.2
80	6.55	7.55	7.7
95	0.9	2.21	3
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

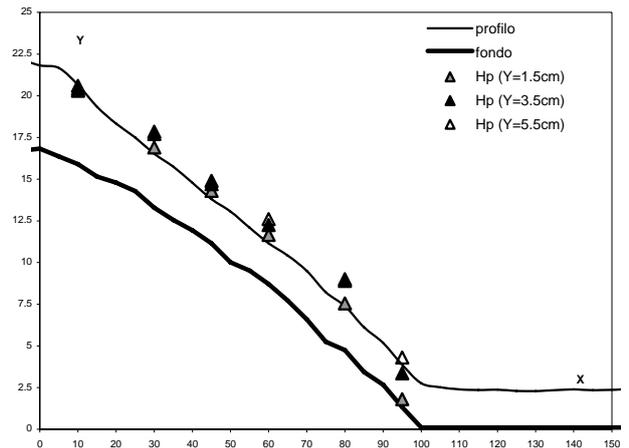


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.20	16.70	6.50
-35	23.17	16.70	6.47
-30	21.45	16.70	4.75
-25	21.30	16.70	4.60
-20	21.83	16.70	5.13
-15	22.32	16.70	5.62
-10	22.22	16.70	5.52
-5	22.16	16.70	5.46
0	21.82	16.83	4.99
5	21.67	16.36	5.31
10	20.65	15.89	4.76
15	19.33	15.15	4.18
20	18.33	14.79	3.54
25	17.50	14.28	3.22
30	16.52	13.29	3.23
35	15.74	12.55	3.19
40	14.78	11.93	2.86
45	13.80	11.16	2.64
50	13.06	10.02	3.04
55	12.09	9.51	2.58
60	11.16	8.71	2.45
65	10.42	7.72	2.70
70	9.50	6.59	2.91
75	8.21	5.25	2.96
80	7.39	4.76	2.63
85	6.12	3.44	2.68
90	5.18	2.66	2.52
95	3.87	1.34	2.53
100	2.76	0.10	2.66
105	2.52	0.10	2.42
110	2.39	0.10	2.29
115	2.36	0.10	2.26
120	2.38	0.10	2.28
125	2.30	0.10	2.20
130	2.29	0.10	2.19
135	2.34	0.10	2.24
140	2.39	0.10	2.29
145	2.34	0.10	2.24
150	2.37	0.10	2.27
155	2.40	0.10	2.30
160	2.34	0.00	2.34
165	2.29	0.00	2.29
170	2.37	0.00	2.37
175	2.34	0.00	2.34
180	2.37	0.00	2.37
185	2.41	0.00	2.41
190	2.34	0.00	2.34
195	2.28	0.00	2.28
200	2.30	0.00	2.30

Prova n°	12 pr0	
pendenza rampa (-)		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		8.97
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		2.76
portata superiore Q _u (l/s)		6.20

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	20.3	20.4	20.6
30	16.9	17.7	17.85
45	14.3	14.7	14.9
60	11.65	12.25	12.6
80	7.55	8.9	9
95	1.8	3.35	4.3
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

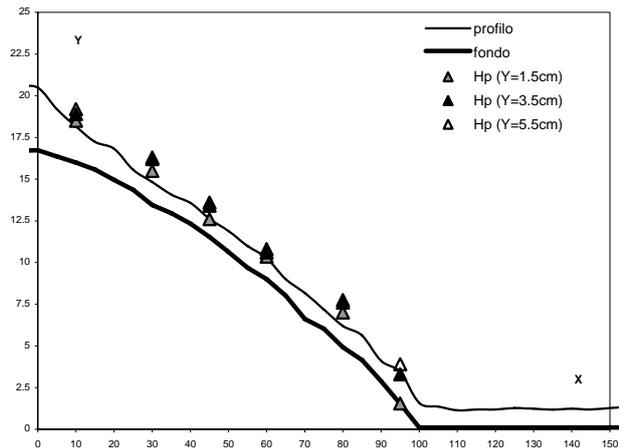


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	20.15	16.70	3.45
-35	20.17	16.70	3.47
-30	20.66	16.70	3.96
-25	20.52	16.70	3.82
-20	20.74	16.70	4.04
-15	20.52	16.70	3.82
-10	20.58	16.70	3.88
-5	20.53	16.70	3.83
0	20.49	16.73	3.76
5	19.20	16.36	2.84
10	18.15	15.99	2.16
15	17.23	15.57	1.66
20	16.82	14.95	1.87
25	15.56	14.36	1.20
30	14.83	13.44	1.39
35	14.07	12.96	1.11
40	13.57	12.33	1.24
45	12.62	11.54	1.08
50	11.89	10.63	1.26
55	10.99	9.68	1.31
60	10.26	9.01	1.25
65	9.00	8.01	0.99
70	8.17	6.62	1.55
75	7.18	6.02	1.16
80	6.20	4.93	1.28
85	5.62	4.16	1.46
90	4.10	2.88	1.22
95	3.44	1.53	1.91
100	1.58	0.10	1.48
105	1.36	0.10	1.26
110	1.14	0.10	1.04
115	1.19	0.10	1.09
120	1.19	0.10	1.09
125	1.27	0.10	1.17
130	1.23	0.10	1.13
135	1.18	0.10	1.08
140	1.23	0.10	1.13
145	1.19	0.10	1.09
150	1.27	0.10	1.17
155	1.32	0.10	1.22
160	1.25	0.00	1.25
165	1.29	0.00	1.29
170	1.31	0.00	1.31
175	1.29	0.00	1.29
180	1.22	0.00	1.22
185	1.27	0.00	1.27
190	1.26	0.00	1.26
195	1.29	0.00	1.29
200	1.21	0.00	1.21

Prova n°		13 pr0	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			4.00
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			2.87
portata superiore Q _u (l/s)			1.13

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	18.5	18.9	19.2
30	15.5	16.2	16.3
45	12.6	13.4	13.6
60	10.35	10.6	10.8
80	7	7.6	7.75
95	1.55	3.3	3.9
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

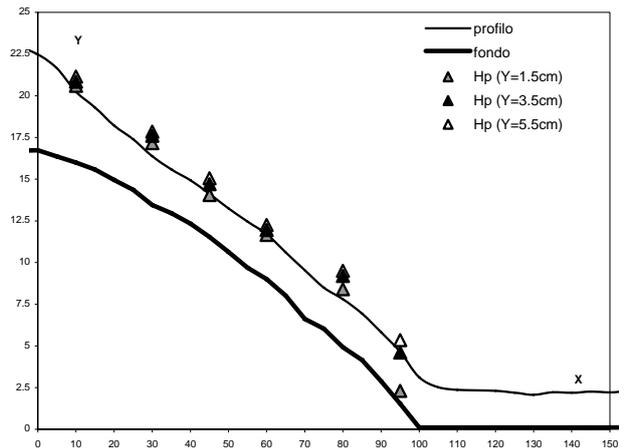


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	23.66	16.70	6.96
-35	23.52	16.70	6.82
-30	22.17	16.70	5.47
-25	22.36	16.70	5.66
-20	23.06	16.70	6.36
-15	22.88	16.70	6.18
-10	22.95	16.70	6.25
-5	22.90	16.70	6.20
0	22.48	16.73	5.75
5	21.65	16.36	5.29
10	20.24	15.99	4.25
15	19.29	15.57	3.72
20	18.21	14.95	3.26
25	17.39	14.36	3.03
30	16.38	13.44	2.94
35	15.58	12.96	2.62
40	14.93	12.33	2.60
45	14.11	11.54	2.57
50	13.25	10.63	2.62
55	12.45	9.68	2.77
60	11.70	9.01	2.69
65	10.61	8.01	2.60
70	9.54	6.62	2.92
75	8.49	6.02	2.47
80	7.80	4.93	2.88
85	6.94	4.16	2.78
90	5.82	2.88	2.94
95	4.64	1.53	3.11
100	3.11	0.10	3.01
105	2.52	0.10	2.42
110	2.37	0.10	2.27
115	2.33	0.10	2.23
120	2.31	0.10	2.21
125	2.20	0.10	2.10
130	2.07	0.10	1.97
135	2.22	0.10	2.12
140	2.19	0.10	2.09
145	2.26	0.10	2.16
150	2.21	0.10	2.11
155	2.28	0.10	2.18
160	2.25	0.00	2.25
165	2.20	0.00	2.20
170	2.22	0.00	2.22
175	2.21	0.00	2.21
180	2.22	0.00	2.22
185	2.22	0.00	2.22
190	2.22	0.00	2.22
195	2.30	0.00	2.30
200	2.22	0.00	2.22

Prova n°		14 pr0	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			9.02
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			2.98
portata superiore Q _u (l/s)			6.04

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	20.6	20.85	21.15
30	17.15	17.6	17.85
45	14.05	14.7	15.05
60	11.65	11.95	12.25
80	8.4	9.2	9.5
95	2.3	4.6	5.35
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

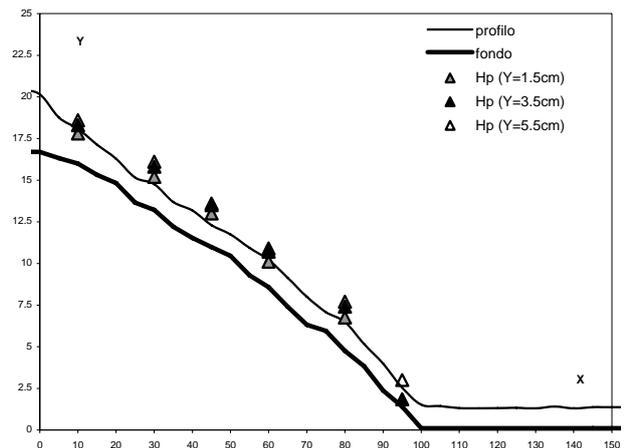


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	20.15	16.70	3.45
-35	20.17	16.70	3.47
-30	20.66	16.70	3.96
-25	20.52	16.70	3.82
-20	20.74	16.70	4.04
-15	20.52	16.70	3.82
-10	20.58	16.70	3.88
-5	20.41	16.70	3.71
0	20.15	16.69	3.46
5	18.76	16.31	2.45
10	18.08	15.99	2.09
15	17.13	15.32	1.81
20	16.28	14.83	1.46
25	15.15	13.65	1.50
30	14.76	13.21	1.55
35	13.68	12.19	1.49
40	13.18	11.53	1.65
45	12.30	10.98	1.32
50	11.74	10.45	1.29
55	10.93	9.29	1.64
60	10.21	8.58	1.63
65	9.14	7.40	1.74
70	8.00	6.32	1.68
75	7.08	5.95	1.13
80	6.49	4.75	1.74
85	5.17	3.84	1.33
90	3.98	2.37	1.61
95	2.54	1.41	1.13
100	1.52	0.10	1.42
105	1.44	0.10	1.34
110	1.32	0.10	1.22
115	1.31	0.10	1.21
120	1.32	0.10	1.22
125	1.33	0.10	1.23
130	1.30	0.10	1.20
135	1.41	0.10	1.31
140	1.30	0.10	1.20
145	1.37	0.10	1.27
150	1.37	0.10	1.27
155	1.38	0.10	1.28
160	1.45	0.00	1.45
165	1.36	0.00	1.36
170	1.42	0.00	1.42
175	1.34	0.00	1.34
180	1.30	0.00	1.30
185	1.30	0.00	1.30
190	1.26	0.00	1.26
195	1.27	0.00	1.27
200	1.22	0.00	1.22

Prova n°		15 pr0	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			4.01
portata filtrante Q _{thr} (l/s)			2.82
portata superiore Q _c (l/s)			1.20

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	17.8	18.3	18.6
30	15.2	15.8	16.1
45	13	13.5	13.6
60	10.1	10.7	10.9
80	6.75	7.4	7.7
95	-0.7	1.85	3
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

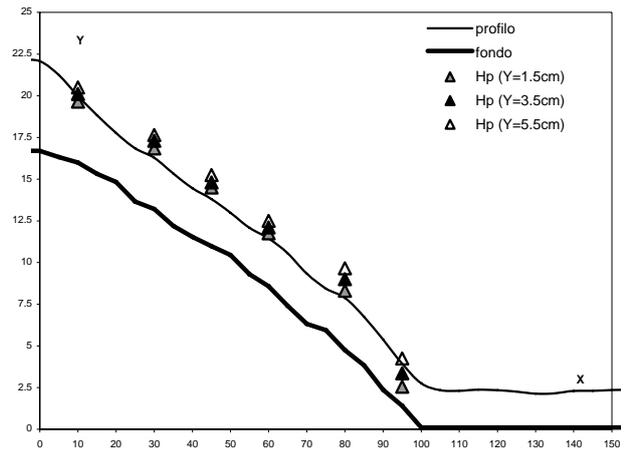


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	22.77	16.70	6.07
-35	22.66	16.70	5.96
-30	21.30	16.70	4.60
-25	21.32	16.70	4.62
-20	22.42	16.70	5.72
-15	22.48	16.70	5.78
-10	22.11	16.70	5.41
-5	22.14	16.70	5.44
0	22.08	16.69	5.39
5	21.24	16.31	4.93
10	19.98	15.99	3.99
15	18.83	15.32	3.51
20	17.77	14.83	2.95
25	16.85	13.65	3.20
30	16.28	13.21	3.07
35	15.33	12.19	3.14
40	14.45	11.53	2.92
45	13.80	10.98	2.82
50	12.98	10.45	2.53
55	12.08	9.29	2.79
60	11.44	8.58	2.86
65	10.55	7.40	3.15
70	9.33	6.32	3.01
75	8.44	5.95	2.49
80	7.88	4.75	3.13
85	6.75	3.84	2.91
90	5.38	2.37	3.01
95	3.93	1.41	2.52
100	2.75	0.10	2.65
105	2.34	0.10	2.24
110	2.31	0.10	2.21
115	2.38	0.10	2.28
120	2.34	0.10	2.24
125	2.26	0.10	2.16
130	2.14	0.10	2.04
135	2.15	0.10	2.05
140	2.30	0.10	2.20
145	2.31	0.10	2.21
150	2.35	0.10	2.25
155	2.38	0.10	2.28
160	2.42	0.00	2.42
165	2.33	0.00	2.33
170	2.38	0.00	2.38
175	2.37	0.00	2.37
180	2.33	0.00	2.33
185	2.39	0.00	2.39
190	2.44	0.00	2.44
195	2.36	0.00	2.36
200	2.37	0.00	2.37

Prova n°		16 pr0	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30	
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96	
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656	
spessore stato filtrante (cm)		7	
portata totale Q _m (l/s)		9.03	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		2.92	
portata superiore Q _u (l/s)		6.11	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	19.65	20.1	20.5
30	16.85	17.3	17.65
45	14.5	14.8	15.25
60	11.75	12.1	12.5
80	8.3	9	9.65
95	2.55	3.35	4.25
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

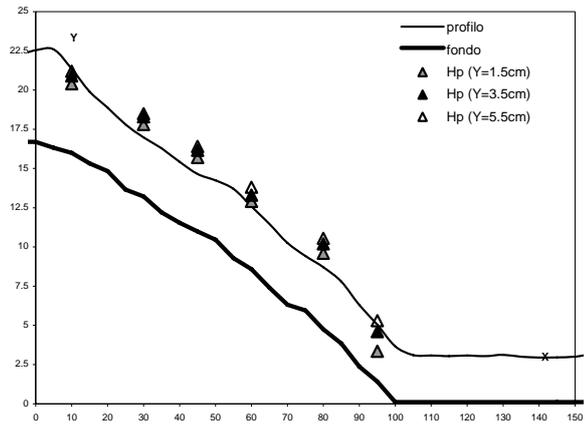


Appendice

sez. longitudinale	quota pelo libero	quota fondo	spessore idrico
X (cm)	Y _p (cm)	Y _f (cm)	h(cm)
-40	25.54	16.70	8.84
-35	25.36	16.70	8.66
-30	23.95	16.70	7.25
-25	22.63	16.70	5.93
-20	22.22	16.70	5.52
-15	22.07	16.70	5.37
-10	22.22	16.70	5.52
-5	22.23	16.70	5.53
0	22.54	16.69	5.85
5	22.59	16.31	6.28
10	21.35	15.99	5.36
15	19.89	15.32	4.57
20	18.88	14.83	4.06
25	17.80	13.65	4.15
30	16.98	13.21	3.77
35	16.28	12.19	4.09
40	15.42	11.53	3.89
45	14.65	10.98	3.67
50	14.24	10.45	3.79
55	13.70	9.29	4.41
60	12.58	8.58	4.00
65	11.46	7.40	4.06
70	10.26	6.32	3.94
75	9.42	5.95	3.47
80	8.71	4.75	3.96
85	7.79	3.84	3.95
90	6.30	2.37	3.93
95	5.04	1.41	3.63
100	3.66	0.10	3.56
105	3.10	0.10	3.00
110	3.08	0.10	2.98
115	3.04	0.10	2.94
120	3.08	0.10	2.98
125	3.03	0.10	2.93
130	3.12	0.10	3.02
135	3.00	0.10	2.90
140	2.95	0.10	2.85
145	2.96	0.10	2.86
150	3.00	0.10	2.90
155	3.16	0.10	3.06
160	3.12	0.00	3.12
165	3.13	0.00	3.13
170	3.17	0.00	3.17
175	3.06	0.00	3.06
180	3.15	0.00	3.15
185	3.12	0.00	3.12
190	3.12	0.00	3.12
195	3.10	0.00	3.10
200	3.09	0.00	3.09

Prova n°	17 pr0	
pendenza rampa (-)	0.1667	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _m (l/s)	13.05	
portata filtrante Q _{fil} (l/s)	3.03	
portata superiore Q _s (l/s)	10.02	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	20.4	20.9	21.2
30	17.8	18.3	18.5
45	15.7	16.15	16.4
60	12.9	13.3	13.8
80	9.6	10.2	10.55
95	3.35	4.6	5.3
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

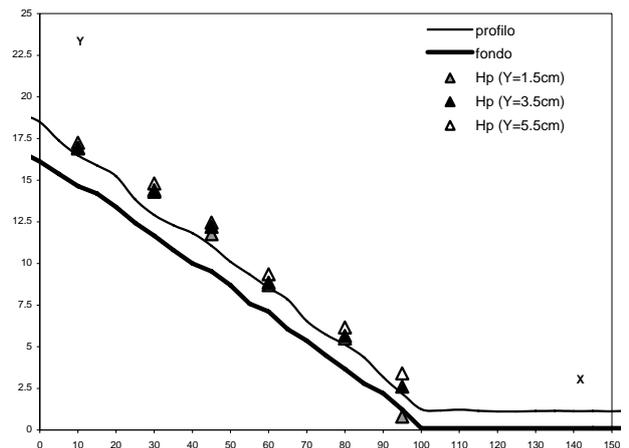


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	19.31	16.70	2.61
-35	19.25	16.70	2.55
-30	18.80	16.70	2.10
-25	19.42	16.70	2.72
-20	19.52	16.70	2.82
-15	19.19	16.70	2.49
-10	19.26	16.70	2.56
-5	18.96	16.70	2.26
0	18.49	16.12	2.37
5	17.38	15.37	2.01
10	16.48	14.64	1.84
15	15.88	14.19	1.69
20	15.24	13.39	1.85
25	13.85	12.43	1.42
30	12.91	11.66	1.25
35	12.29	10.81	1.48
40	11.82	10.00	1.82
45	11.06	9.53	1.53
50	10.10	8.69	1.41
55	9.34	7.58	1.76
60	8.54	7.11	1.43
65	7.83	6.05	1.78
70	6.54	5.36	1.18
75	5.73	4.48	1.26
80	5.13	3.66	1.47
85	4.36	2.79	1.57
90	3.18	2.21	0.97
95	2.19	1.23	0.96
100	1.25	0.10	1.15
105	1.17	0.10	1.07
110	1.22	0.10	1.12
115	1.15	0.10	1.05
120	1.11	0.10	1.01
125	1.11	0.10	1.01
130	1.14	0.10	1.04
135	1.15	0.10	1.05
140	1.13	0.10	1.03
145	1.14	0.10	1.04
150	1.12	0.10	1.02
155	1.15	0.10	1.05
160	1.13	0.00	1.13
165	1.17	0.00	1.17
170	1.20	0.00	1.20
175	1.17	0.00	1.17
180	1.17	0.00	1.17
185	1.20	0.00	1.20
190	1.15	0.00	1.15
195	1.19	0.00	1.19
200	1.12	0.00	1.12

Prova n°	18 pr0	
pendenza rampa (-)		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2	3.184
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		4.04
portata filtrante Q _{thr} (l/s)		2.98
portata superiore Q _c (l/s)		1.06

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	16.9	16.95	17.25
30	14.3	14.4	14.8
45	11.75	12.2	12.45
60	8.7	8.85	9.35
80	5.5	5.65	6.15
95	0.8	2.6	3.4
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

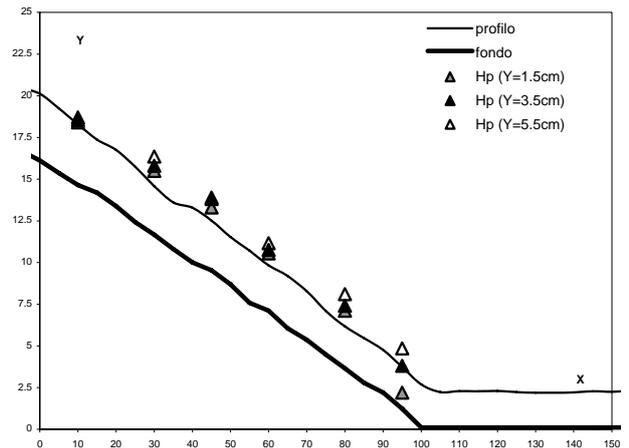


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	22.64	16.70	5.94
-35	22.46	16.70	5.76
-30	21.36	16.70	4.66
-25	20.64	16.70	3.94
-20	20.43	16.70	3.73
-15	20.52	16.70	3.82
-10	20.57	16.70	3.87
-5	20.45	16.70	3.75
0	20.12	16.12	4.00
5	19.24	15.37	3.87
10	18.28	14.64	3.64
15	17.37	14.19	3.18
20	16.75	13.39	3.36
25	15.74	12.43	3.31
30	14.58	11.66	2.92
35	13.61	10.81	2.80
40	13.28	10.00	3.28
45	12.51	9.53	2.98
50	11.53	8.69	2.84
55	10.71	7.58	3.13
60	9.83	7.11	2.71
65	9.19	6.05	3.14
70	8.27	5.36	2.91
75	7.09	4.48	2.62
80	6.17	3.66	2.51
85	5.47	2.79	2.68
90	4.76	2.21	2.55
95	3.74	1.23	2.51
100	2.69	0.10	2.59
105	2.23	0.10	2.13
110	2.29	0.10	2.19
115	2.28	0.10	2.18
120	2.30	0.10	2.20
125	2.23	0.10	2.13
130	2.19	0.10	2.09
135	2.19	0.10	2.09
140	2.21	0.10	2.11
145	2.27	0.10	2.17
150	2.25	0.10	2.15
155	2.31	0.10	2.21
160	2.33	0.00	2.33
165	2.24	0.00	2.24
170	2.30	0.00	2.30
175	2.27	0.00	2.27
180	2.25	0.00	2.25
185	2.28	0.00	2.28
190	2.31	0.00	2.31
195	2.34	0.00	2.34
200	2.36	0.00	2.36

Prova n°		19 pr0	
pendenza rampa (-)			0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		B2	3.184
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			9.02
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			3.03
portata superiore Q _u (l/s)			5.99

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	18.4	18.55	18.7
30	15.5	15.8	16.35
45	13.3	13.8	13.9
60	10.55	10.75	11.15
80	7.1	7.4	8.1
95	2.2	3.8	4.85
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8



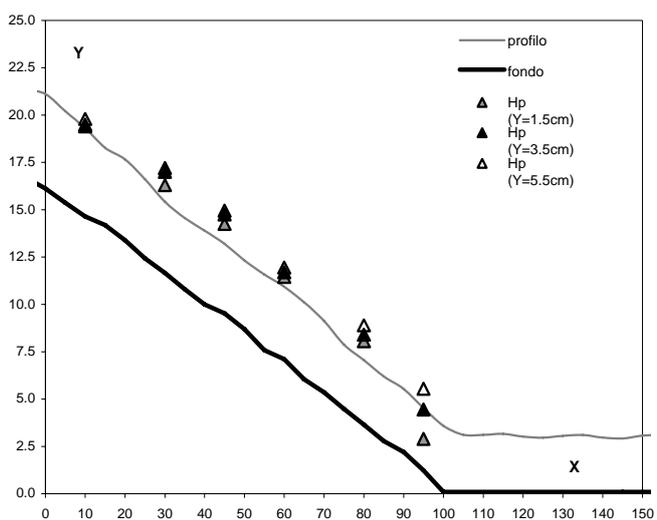
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	25.30	16.70	8.60
-35	24.74	16.70	8.04
-30	23.82	16.70	7.12
-25	21.89	16.70	5.19
-20	20.85	16.70	4.15
-15	21.26	16.70	4.56
-10	21.47	16.70	4.77
-5	21.34	16.70	4.64
0	21.11	16.12	4.99
5	20.21	15.37	4.84
10	19.30	14.64	4.66
15	18.27	14.19	4.08
20	17.66	13.39	4.27
25	16.62	12.43	4.19
30	15.42	11.66	3.76
35	14.56	10.81	3.75
40	13.90	10.00	3.90
45	13.20	9.53	3.67
50	12.32	8.69	3.63
55	11.58	7.58	4.00
60	10.94	7.11	3.83
65	10.11	6.05	4.06
70	9.13	5.36	3.77
75	7.87	4.48	3.40
80	7.06	3.66	3.40
85	6.20	2.79	3.41
90	5.53	2.21	3.32
95	4.53	1.23	3.30
100	3.59	0.10	3.49
105	3.12	0.10	3.02
110	3.11	0.10	3.01
115	3.16	0.10	3.06
120	3.02	0.10	2.92
125	2.96	0.10	2.86
130	3.06	0.10	2.96
135	3.10	0.10	3.00
140	2.97	0.10	2.87
145	2.92	0.10	2.82
150	3.07	0.10	2.97
155	3.11	0.10	3.01
160	3.11	0.00	3.11
165	3.16	0.00	3.16
170	3.15	0.00	3.15
175	3.20	0.00	3.20
180	3.12	0.00	3.12
185	3.14	0.00	3.14
190	3.16	0.00	3.16
195	3.17	0.00	3.17
200	3.29	0.00	3.29

sezioni rampa

Prova n°	20 pr0	
pendenza rampa (-)		0.1667
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2	3.184
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		13.04
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		3.14
portata superiore Q _s (l/s)		9.90

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	19.4	19.5	19.8
30	16.3	17	17.2
45	14.25	14.75	14.95
60	11.45	11.7	11.95
80	8.05	8.4	8.9
95	2.9	4.45	5.55
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8



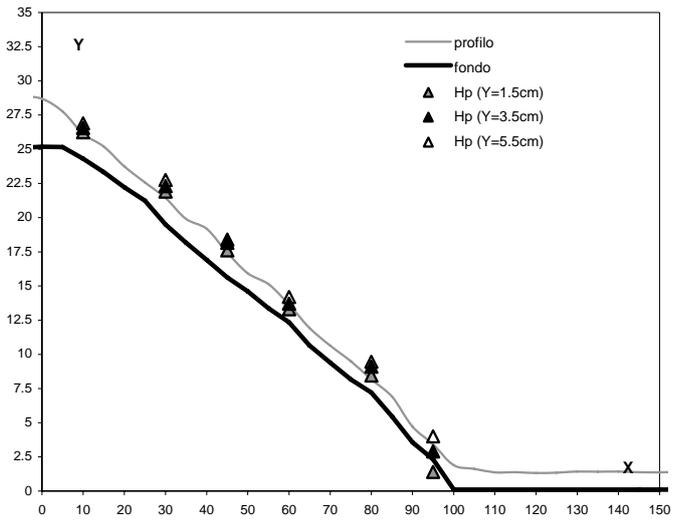
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	29.17	25.10	4.07
-35	29.13	25.10	4.03
-30	29.00	25.10	3.90
-25	29.00	25.10	3.90
-20	28.95	25.10	3.85
-15	28.99	25.10	3.89
-10	28.93	25.10	3.83
-5	28.87	25.10	3.77
0	28.69	25.18	3.52
5	27.77	25.16	2.61
10	26.13	24.31	1.82
15	25.20	23.33	1.87
20	23.75	22.21	1.54
25	22.57	21.23	1.34
30	21.44	19.49	1.95
35	19.90	18.17	1.73
40	19.18	16.91	2.27
45	17.43	15.62	1.81
50	15.92	14.60	1.32
55	15.14	13.37	1.77
60	13.65	12.35	1.30
65	11.92	10.65	1.27
70	10.64	9.39	1.25
75	9.50	8.16	1.34
80	8.17	7.21	0.96
85	6.91	5.46	1.45
90	4.72	3.57	1.15
95	3.41	2.33	1.09
100	1.90	0.10	1.80
105	1.63	0.10	1.53
110	1.37	0.10	1.27
115	1.38	0.10	1.28
120	1.33	0.10	1.23
125	1.35	0.10	1.25
130	1.42	0.10	1.32
135	1.41	0.10	1.31
140	1.42	0.10	1.32
145	1.38	0.10	1.28
150	1.37	0.10	1.27
155	1.42	0.10	1.32
160	1.46	0.00	1.46
165	1.43	0.00	1.43
170	1.37	0.00	1.37
175	1.44	0.00	1.44
180	1.30	0.00	1.30
185	1.46	0.00	1.46
190	1.32	0.00	1.32
195	1.35	0.00	1.35
200	1.35	0.00	1.35

sezioni rampa

Prova n°	21 pr0	
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _{tot} (l/s)		4.02
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		2.87
portata superiore Q _{sup} (l/s)		12.1

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	26.25	26.55	26.9
30	21.9	22.3	22.75
45	17.6	18.15	18.4
60	13.3	13.7	14.2
80	8.45	9.1	9.45
95	1.4	2.9	4
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8



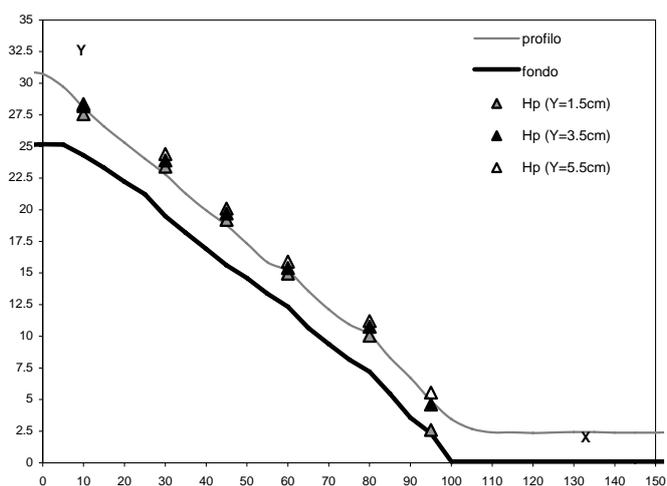
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.33	25.10	6.23
-35	31.31	25.10	6.21
-30	30.24	25.10	5.14
-25	31.08	25.10	5.98
-20	31.12	25.10	6.02
-15	30.97	25.10	5.87
-10	30.76	25.10	5.66
-5	30.86	25.10	5.76
0	30.73	25.18	5.56
5	29.72	25.16	4.56
10	28.08	24.31	3.77
15	26.60	23.33	3.27
20	25.30	22.21	3.09
25	24.04	21.23	2.81
30	22.79	19.49	3.30
35	21.27	18.17	3.10
40	19.95	16.91	3.04
45	18.77	15.62	3.15
50	17.33	14.60	2.73
55	15.86	13.37	2.49
60	15.15	12.35	2.80
65	13.57	10.65	2.92
70	12.12	9.39	2.73
75	10.93	8.16	2.77
80	10.13	7.21	2.92
85	8.31	5.46	2.85
90	6.73	3.57	3.16
95	4.91	2.33	2.59
100	3.46	0.10	3.36
105	2.69	0.10	2.59
110	2.41	0.10	2.31
115	2.41	0.10	2.31
120	2.36	0.10	2.26
125	2.40	0.10	2.30
130	2.43	0.10	2.33
135	2.43	0.10	2.33
140	2.38	0.10	2.28
145	2.38	0.10	2.28
150	2.38	0.10	2.28
155	2.44	0.10	2.34
160	2.46	0.00	2.46
165	2.37	0.00	2.37
170	2.39	0.00	2.39
175	2.34	0.00	2.34
180	2.35	0.00	2.35
185	2.33	0.00	2.33
190	2.35	0.00	2.35
195	2.38	0.00	2.38
200	2.38	0.00	2.38

sezioni rampa

Prova n°		22 pr0
pendenza rampa (-)		
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2
spessore stato filtrante (cm)		
portata totale Q _m (l/s)		9.05
portata filtrante Q _{fil} (l/s)		2.98
portata superiore Q _s (l/s)		6.08

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	27.55	28.2	28.35
30	23.4	23.9	24.4
45	19.2	19.7	20.1
60	14.95	15.4	15.9
80	10.05	10.75	11.2
95	2.6	4.6	5.55
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

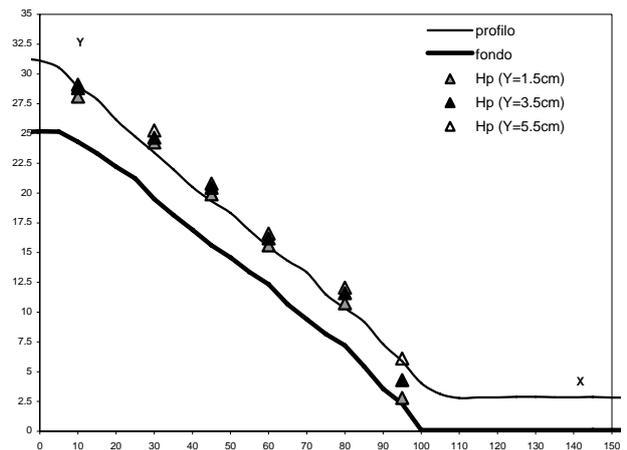


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	33.21	25.10	8.11
-35	33.01	25.10	7.91
-30	32.04	25.10	6.94
-25	30.98	25.10	5.88
-20	31.97	25.10	6.87
-15	32.12	25.10	7.02
-10	31.93	25.10	6.83
-5	31.35	25.10	6.25
0	31.11	25.18	5.94
5	30.52	25.16	5.36
10	28.95	24.31	4.64
15	27.86	23.33	4.53
20	26.16	22.21	3.95
25	24.73	21.23	3.50
30	23.39	19.49	3.90
35	21.99	18.17	3.82
40	20.51	16.91	3.60
45	19.32	15.62	3.70
50	18.33	14.60	3.73
55	16.86	13.37	3.49
60	15.50	12.35	3.15
65	14.31	10.65	3.66
70	13.33	9.39	3.94
75	11.49	8.16	3.33
80	10.33	7.21	3.12
85	9.19	5.46	3.73
90	7.31	3.57	3.74
95	5.86	2.33	3.54
100	4.05	0.10	3.95
105	3.12	0.10	3.02
110	2.79	0.10	2.69
115	2.84	0.10	2.74
120	2.84	0.10	2.74
125	2.90	0.10	2.80
130	2.90	0.10	2.80
135	2.86	0.10	2.76
140	2.85	0.10	2.75
145	2.88	0.10	2.78
150	2.82	0.10	2.72
155	2.83	0.10	2.73
160	2.91	0.00	2.91
165	2.89	0.00	2.89
170	2.86	0.00	2.86
175	2.89	0.00	2.89
180	2.85	0.00	2.85
185	2.86	0.00	2.86
190	2.92	0.00	2.92
195	2.87	0.00	2.87
200	2.86	0.00	2.86

Prova n°		23 pr0	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M2	0.656
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			12.07
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			3.03
portata superiore Q ₁ (l/s)			9.03

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	28.1	28.8	29.1
30	24.25	24.65	25.25
45	19.9	20.45	20.8
60	15.6	16.2	16.6
80	10.75	11.6	12.05
95	2.8	4.3	6.1
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

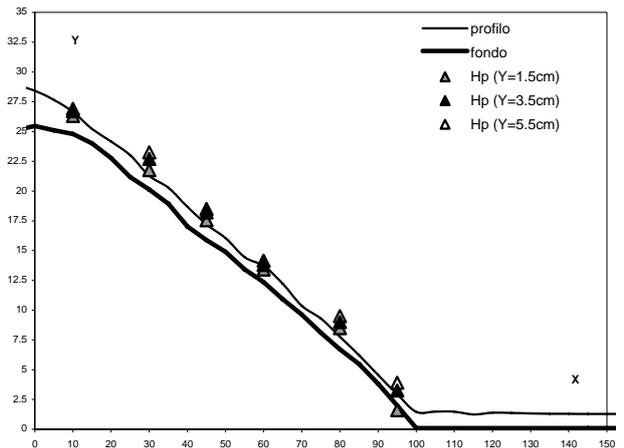


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	29.17	25.10	4.07
-35	29.13	25.10	4.03
-30	29.00	25.10	3.90
-25	29.00	25.10	3.90
-20	28.95	25.10	3.85
-15	28.99	25.10	3.89
-10	28.93	25.10	3.83
-5	28.87	25.10	3.77
0	28.42	25.46	2.96
5	27.65	25.10	2.55
10	26.64	24.79	1.85
15	25.21	24.00	1.21
20	24.16	22.77	1.39
25	23.01	21.17	1.84
30	21.27	20.13	1.14
35	20.28	18.94	1.34
40	18.68	17.01	1.67
45	17.19	15.88	1.32
50	16.06	14.90	1.16
55	14.45	13.43	1.02
60	13.71	12.36	1.35
65	12.22	10.93	1.30
70	10.36	9.62	0.74
75	9.30	8.11	1.19
80	7.78	6.71	1.07
85	6.22	5.48	0.74
90	4.56	3.81	0.75
95	2.95	2.00	0.95
100	1.46	0.10	1.36
105	1.48	0.10	1.38
110	1.47	0.10	1.37
115	1.25	0.10	1.15
120	1.39	0.10	1.29
125	1.36	0.10	1.26
130	1.33	0.10	1.23
135	1.30	0.10	1.20
140	1.30	0.10	1.20
145	1.28	0.10	1.18
150	1.28	0.10	1.18
155	1.29	0.10	1.19
160	1.18	0.00	1.18
165	1.23	0.00	1.23
170	1.22	0.00	1.22
175	1.16	0.00	1.16
180	1.12	0.00	1.12
185	1.15	0.00	1.15
190	1.21	0.00	1.21
195	1.17	0.00	1.17
200	1.08	0.00	1.08

Prova n°	24 pr0	
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		4.03
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		2.98
portata superiore Q _u (l/s)		1.05

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	26.3	26.7	26.9
30	21.75	22.7	23.25
45	17.55	18.2	18.5
60	13.4	13.8	14.15
80	8.5	9	9.5
95	1.6	3.25	3.9
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

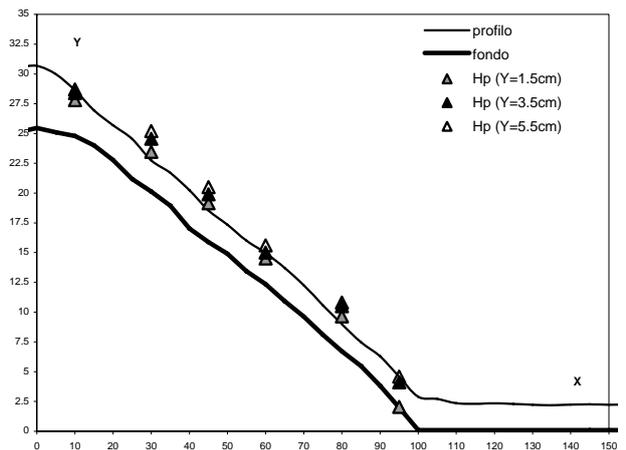


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.36	25.10	6.26
-35	31.28	25.10	6.18
-30	30.02	25.10	4.92
-25	30.68	25.10	5.58
-20	31.30	25.10	6.20
-15	30.70	25.10	5.60
-10	30.59	25.10	5.49
-5	30.55	25.10	5.45
0	30.68	25.46	5.22
5	29.97	25.10	4.87
10	28.64	24.79	3.85
15	26.93	24.00	2.93
20	25.69	22.77	2.92
25	24.54	21.17	3.37
30	22.75	20.13	2.62
35	21.69	18.94	2.75
40	20.24	17.01	3.23
45	18.54	15.88	2.67
50	17.34	14.90	2.44
55	16.00	13.43	2.57
60	14.97	12.36	2.61
65	13.71	10.93	2.79
70	12.25	9.62	2.63
75	10.58	8.11	2.47
80	8.99	6.71	2.28
85	7.48	5.48	2.01
90	6.30	3.81	2.49
95	4.58	2.00	2.58
100	2.89	0.10	2.79
105	2.72	0.10	2.62
110	2.36	0.10	2.26
115	2.31	0.10	2.21
120	2.34	0.10	2.24
125	2.30	0.10	2.20
130	2.23	0.10	2.13
135	2.19	0.10	2.09
140	2.24	0.10	2.14
145	2.26	0.10	2.16
150	2.23	0.10	2.13
155	2.25	0.10	2.15
160	2.27	0.00	2.27
165	2.28	0.00	2.28
170	2.33	0.00	2.33
175	2.25	0.00	2.25
180	2.24	0.00	2.24
185	2.28	0.00	2.28
190	2.25	0.00	2.25
195	2.17	0.00	2.17
200	2.12	0.00	2.12

Prova n°	25 pr0	
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		9.06
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		2.98
portata superiore Q _u (l/s)		6.08

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	27.8	28.4	28.7
30	23.45	24.55	25.2
45	19.15	19.9	20.5
60	14.5	15	15.6
80	9.65	10.5	10.8
95	2.05	4.1	4.6
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

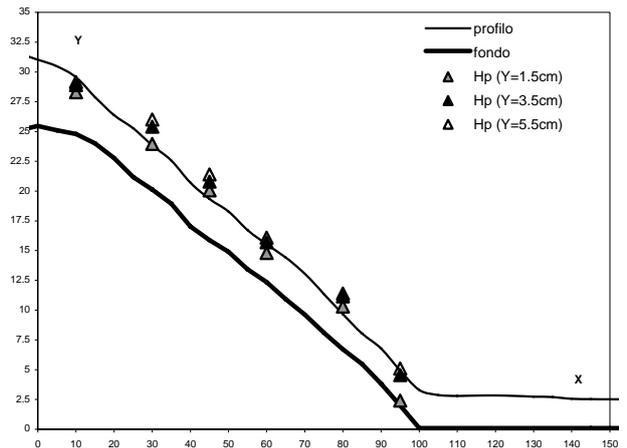


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	33.09	25.10	7.99
-35	33.04	25.10	7.94
-30	31.68	25.10	6.58
-25	30.94	25.10	5.84
-20	31.21	25.10	6.11
-15	32.11	25.10	7.01
-10	31.00	25.10	5.90
-5	31.45	25.10	6.35
0	31.03	25.46	5.57
5	30.48	25.10	5.38
10	29.56	24.79	4.77
15	27.88	24.00	3.88
20	26.37	22.77	3.60
25	25.27	21.17	4.10
30	23.84	20.13	3.71
35	22.55	18.94	3.61
40	20.70	17.01	3.69
45	19.34	15.88	3.47
50	18.28	14.90	3.38
55	16.73	13.43	3.30
60	15.51	12.36	3.15
65	14.42	10.93	3.50
70	13.06	9.62	3.44
75	11.36	8.11	3.25
80	9.67	6.71	2.96
85	8.04	5.48	2.57
90	6.79	3.81	2.98
95	4.93	2.00	2.93
100	3.30	0.10	3.20
105	2.87	0.10	2.77
110	2.80	0.10	2.70
115	2.82	0.10	2.72
120	2.83	0.10	2.73
125	2.80	0.10	2.70
130	2.74	0.10	2.64
135	2.71	0.10	2.61
140	2.56	0.10	2.46
145	2.54	0.10	2.44
150	2.51	0.10	2.41
155	2.54	0.10	2.44
160	2.56	0.00	2.56
165	2.47	0.00	2.47
170	2.53	0.00	2.53
175	2.59	0.00	2.59
180	2.61	0.00	2.61
185	2.54	0.00	2.54
190	2.59	0.00	2.59
195	2.59	0.00	2.59
200	2.52	0.00	2.52

Prova n°	26 pr0	
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M1	1.480
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		12.05
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		3.03
portata superiore Q _u (l/s)		9.02

sezione	valori piezometrici (cm)		
	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	28.3	28.9	29.15
30	23.95	25.4	26
45	20.05	20.8	21.4
60	14.8	15.7	16.1
80	10.3	11.15	11.4
95	2.4	4.55	5.1
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

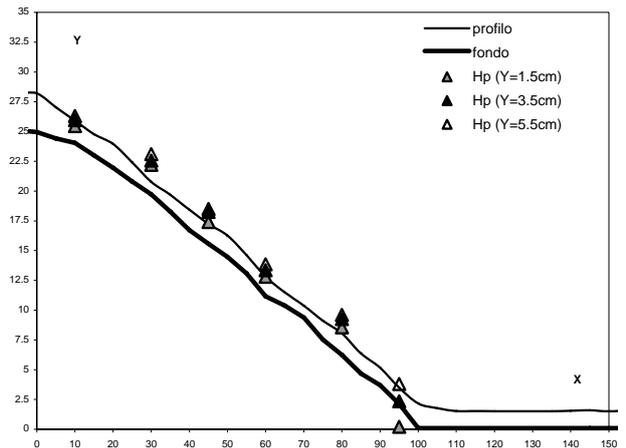


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.87	25.10	2.77
-35	27.86	25.10	2.76
-30	28.54	25.10	3.44
-25	28.59	25.10	3.49
-20	28.44	25.10	3.34
-15	28.53	25.10	3.43
-10	28.45	25.10	3.35
-5	28.19	25.10	3.09
0	28.20	24.94	3.26
5	27.03	24.41	2.62
10	25.91	24.04	1.87
15	24.77	22.99	1.78
20	23.96	21.94	2.02
25	22.41	20.80	1.61
30	20.77	19.73	1.04
35	19.68	18.27	1.41
40	18.43	16.71	1.72
45	17.23	15.56	1.67
50	16.26	14.48	1.79
55	14.62	13.08	1.55
60	12.81	11.17	1.64
65	11.50	10.38	1.12
70	10.37	9.38	0.99
75	9.11	7.53	1.58
80	8.05	6.24	1.81
85	6.36	4.68	1.68
90	5.17	3.69	1.48
95	3.49	2.13	1.37
100	2.16	0.10	2.06
105	1.77	0.10	1.67
110	1.53	0.10	1.43
115	1.53	0.10	1.43
120	1.52	0.10	1.42
125	1.52	0.10	1.42
130	1.51	0.10	1.41
135	1.52	0.10	1.42
140	1.56	0.10	1.46
145	1.59	0.10	1.49
150	1.51	0.10	1.41
155	1.58	0.10	1.48
160	1.52	0.00	1.52
165	1.54	0.00	1.54
170	1.58	0.00	1.58
175	1.56	0.00	1.56
180	1.55	0.00	1.55
185	1.54	0.00	1.54
190	1.60	0.00	1.60
195	1.52	0.00	1.52
200	1.50	0.00	1.50

Prova n°		27 pr0	
pendenza rampa (-)			0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)		B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)		B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)		M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)			7
portata totale Q _m (l/s)			4.04
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)			2.76
portata superiore Q _u (l/s)			1.28

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	25.45	25.95	26.3
30	22.2	22.55	23.1
45	17.4	18.25	18.5
60	12.8	13.35	13.85
80	8.55	9.25	9.6
95	0.2	2.35	3.8
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

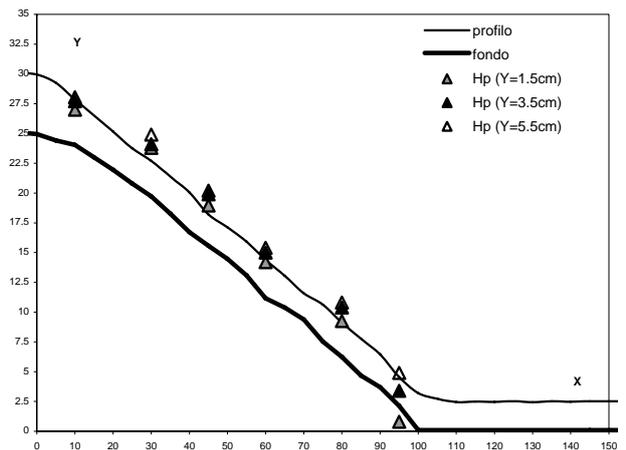


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	31.42	25.10	6.32
-35	31.40	25.10	6.30
-30	29.92	25.10	4.82
-25	29.98	25.10	4.88
-20	30.91	25.10	5.81
-15	30.94	25.10	5.84
-10	30.23	25.10	5.13
-5	30.09	25.10	4.99
0	29.95	24.94	5.01
5	29.26	24.41	4.85
10	27.84	24.04	3.80
15	26.51	22.99	3.52
20	25.16	21.94	3.22
25	23.77	20.80	2.97
30	22.70	19.73	2.97
35	21.38	18.27	3.11
40	20.06	16.71	3.35
45	18.20	15.56	2.64
50	17.12	14.48	2.65
55	15.92	13.08	2.85
60	14.39	11.17	3.22
65	13.06	10.38	2.68
70	11.58	9.38	2.20
75	10.62	7.53	3.09
80	9.12	6.24	2.88
85	7.76	4.68	3.08
90	6.46	3.69	2.77
95	4.55	2.13	2.43
100	3.21	0.10	3.11
105	2.73	0.10	2.63
110	2.45	0.10	2.35
115	2.49	0.10	2.39
120	2.46	0.10	2.36
125	2.53	0.10	2.43
130	2.44	0.10	2.34
135	2.51	0.10	2.41
140	2.48	0.10	2.38
145	2.53	0.10	2.43
150	2.53	0.10	2.43
155	2.52	0.10	2.42
160	2.49	0.00	2.49
165	2.50	0.00	2.50
170	2.52	0.00	2.52
175	2.46	0.00	2.46
180	2.49	0.00	2.49
185	2.39	0.00	2.39
190	2.52	0.00	2.52
195	2.45	0.00	2.45
200	2.43	0.00	2.43

Prova n°	28 pr0	
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		9.03
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		2.87
portata superiore Q _u (l/s)		6.17

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	27	27.7	28.05
30	23.8	24.1	24.9
45	18.95	19.9	20.2
60	14.2	15	15.4
80	9.25	10.4	10.8
95	0.8	3.4	4.9
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8



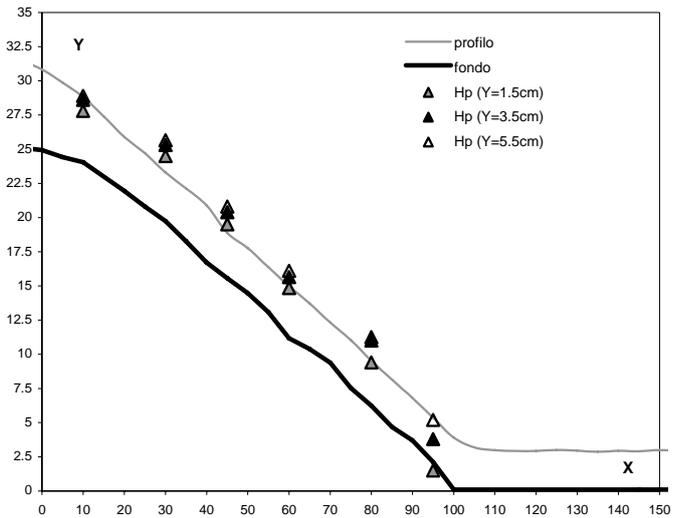
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y ₀ (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	33.07	25.10	7.97
-35	33.02	25.10	7.92
-30	31.82	25.10	6.72
-25	30.83	25.10	5.73
-20	31.25	25.10	6.15
-15	32.03	25.10	6.93
-10	31.89	25.10	6.79
-5	31.45	25.10	6.35
0	30.83	24.94	5.89
5	29.87	24.41	5.46
10	28.82	24.04	4.78
15	27.40	22.99	4.41
20	25.89	21.94	3.95
25	24.71	20.80	3.91
30	23.29	19.73	3.56
35	22.13	18.27	3.86
40	20.89	16.71	4.18
45	18.88	15.56	3.32
50	17.77	14.48	3.30
55	16.36	13.08	3.29
60	14.97	11.17	3.80
65	13.73	10.38	3.35
70	12.32	9.38	2.94
75	11.03	7.53	3.50
80	9.53	6.24	3.29
85	8.15	4.68	3.47
90	6.81	3.69	3.12
95	5.36	2.13	3.24
100	3.90	0.10	3.80
105	3.19	0.10	3.09
110	2.98	0.10	2.88
115	2.93	0.10	2.83
120	2.93	0.10	2.83
125	3.00	0.10	2.90
130	2.95	0.10	2.85
135	2.87	0.10	2.77
140	2.94	0.10	2.84
145	2.91	0.10	2.81
150	2.99	0.10	2.89
155	2.95	0.10	2.85
160	2.97	0.00	2.97
165	2.99	0.00	2.99
170	2.95	0.00	2.95
175	2.92	0.00	2.92
180	2.94	0.00	2.94
185	2.90	0.00	2.90
190	2.97	0.00	2.97
195	2.91	0.00	2.91
200	2.90	0.00	2.90

sezioni rampa

Prova n°	29 pr0	
pendenza rampa (-)	0.25	
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B1	4.30
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	M3	0.552
spessore stato filtrante (cm)	7	
portata totale Q _{tot} (l/s)	12.06	
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)	2.82	
portata superiore Q _{sup} (l/s)	12.1	

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	27.8	28.6	28.9
30	24.5	25.3	25.65
45	19.5	20.4	20.8
60	14.85	15.65	16.1
80	9.4	11	11.25
95	1.5	3.8	5.2
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8



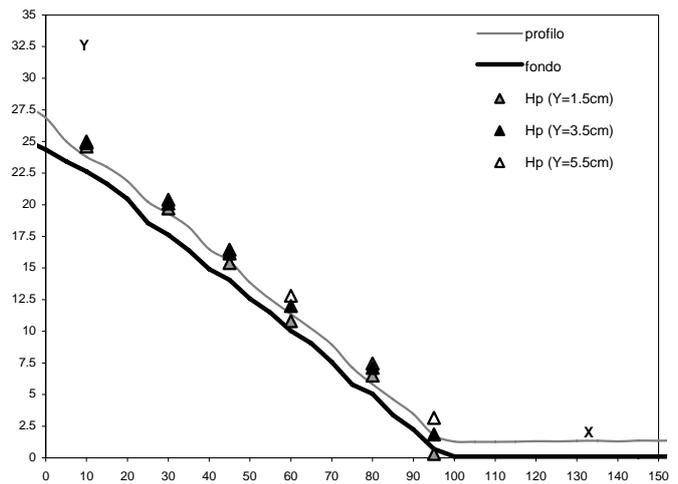
Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	27.75	25.10	2.65
-35	27.75	25.10	2.65
-30	28.60	25.10	3.50
-25	28.03	25.10	2.93
-20	28.13	25.10	3.03
-15	28.07	25.10	2.97
-10	27.84	25.10	2.74
-5	27.74	25.10	2.64
0	26.87	24.36	2.51
5	25.02	23.43	1.59
10	23.79	22.64	1.15
15	22.98	21.66	1.32
20	21.86	20.46	1.40
25	20.23	18.55	1.68
30	19.30	17.62	1.68
35	18.24	16.41	1.83
40	16.48	14.91	1.57
45	15.55	14.07	1.48
50	13.85	12.58	1.28
55	12.53	11.48	1.05
60	11.36	10.02	1.34
65	10.20	9.04	1.16
70	8.94	7.57	1.37
75	7.13	5.79	1.34
80	5.82	5.06	0.76
85	4.62	3.38	1.24
90	3.46	2.24	1.22
95	1.79	0.69	1.10
100	1.29	0.10	1.19
105	1.26	0.10	1.16
110	1.26	0.10	1.16
115	1.27	0.10	1.17
120	1.31	0.10	1.21
125	1.30	0.10	1.20
130	1.33	0.10	1.23
135	1.34	0.10	1.24
140	1.30	0.10	1.20
145	1.35	0.10	1.25
150	1.34	0.10	1.24
155	1.35	0.10	1.25
160	1.31	0.00	1.31
165	1.29	0.00	1.29
170	1.28	0.00	1.28
175	1.28	0.00	1.28
180	1.27	0.00	1.27
185	1.31	0.00	1.31
190	1.29	0.00	1.29
195	1.27	0.00	1.27
200	1.25	0.00	1.25

sezioni rampa

Prova n°	30 pr0	
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2	3.184
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		4.04
portata filtrante Q _{fil} (l/s)		3.03
portata superiore Q _s (l/s)		1.00

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	24.6	24.9	25
30	19.7	20.1	20.4
45	15.4	16.15	16.45
60	10.8	12	12.8
80	6.5	7.1	7.45
95	0.3	1.85	3.15
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

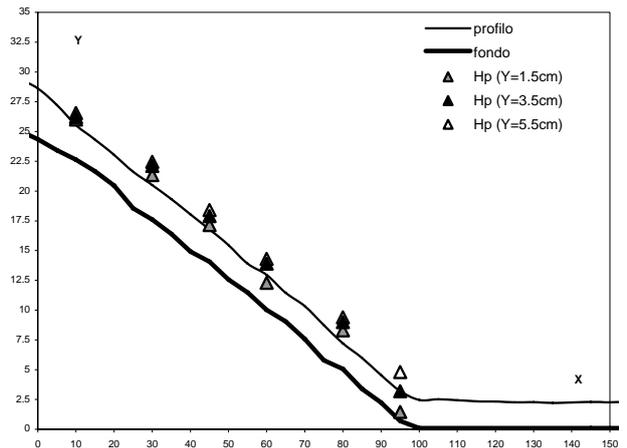


Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	30.90	25.10	5.80
-35	30.90	25.10	5.80
-30	29.57	25.10	4.47
-25	29.55	25.10	4.45
-20	30.88	25.10	5.78
-15	30.52	25.10	5.42
-10	29.91	25.10	4.81
-5	29.40	25.10	4.30
0	28.61	24.36	4.25
5	27.22	23.43	3.79
10	25.54	22.64	2.90
15	24.32	21.66	2.66
20	23.04	20.46	2.58
25	21.62	18.55	3.07
30	20.51	17.62	2.89
35	19.32	16.41	2.91
40	18.04	14.91	3.13
45	16.78	14.07	2.71
50	15.46	12.58	2.89
55	13.91	11.48	2.43
60	12.95	10.02	2.93
65	11.45	9.04	2.41
70	10.34	7.57	2.77
75	8.74	5.79	2.95
80	7.21	5.06	2.15
85	6.00	3.38	2.62
90	4.55	2.24	2.31
95	3.21	0.69	2.52
100	2.46	0.10	2.36
105	2.51	0.10	2.41
110	2.44	0.10	2.34
115	2.34	0.10	2.24
120	2.33	0.10	2.23
125	2.26	0.10	2.16
130	2.27	0.10	2.17
135	2.21	0.10	2.11
140	2.25	0.10	2.15
145	2.30	0.10	2.20
150	2.26	0.10	2.16
155	2.31	0.10	2.21
160	2.27	0.00	2.27
165	2.28	0.00	2.28
170	2.27	0.00	2.27
175	2.23	0.00	2.23
180	2.23	0.00	2.23
185	2.22	0.00	2.22
190	2.28	0.00	2.28
195	2.25	0.00	2.25
200	2.24	0.00	2.24

Prova n°	31 pr0	
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2	3.184
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		9.05
portata filtrante Q _{filtr} (l/s)		3.14
portata superiore Q _u (l/s)		5.91

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	26	26.2	26.55
30	21.35	22.1	22.45
45	17.15	17.9	18.4
60	12.3	13.9	14.3
80	8.3	9	9.4
95	1.45	3.2	4.8
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8



Appendice

sez. longitudinale X (cm)	quota pelo libero Y _p (cm)	quota fondo Y _f (cm)	spessore idrico h(cm)
-40	32.71	25.10	7.61
-35	32.47	25.10	7.37
-30	31.30	25.10	6.20
-25	30.05	25.10	4.95
-20	30.13	25.10	5.03
-15	29.98	25.10	4.88
-10	30.23	25.10	5.13
-5	30.20	25.10	5.10
0	29.57	24.36	5.21
5	28.21	23.43	4.78
10	26.73	22.64	4.09
15	24.92	21.66	3.26
20	23.77	20.46	3.31
25	22.38	18.55	3.83
30	21.16	17.62	3.54
35	19.89	16.41	3.48
40	18.65	14.91	3.74
45	17.30	14.07	3.23
50	16.03	12.58	3.46
55	14.72	11.48	3.24
60	13.45	10.02	3.43
65	12.41	9.04	3.37
70	10.88	7.57	3.31
75	9.25	5.79	3.46
80	7.97	5.06	2.91
85	6.90	3.38	3.52
90	5.03	2.24	2.79
95	3.78	0.69	3.09
100	2.95	0.10	2.85
105	2.94	0.10	2.84
110	2.90	0.10	2.80
115	2.77	0.10	2.67
120	2.82	0.10	2.72
125	2.63	0.10	2.53
130	2.63	0.10	2.53
135	2.67	0.10	2.57
140	2.63	0.10	2.53
145	2.64	0.10	2.54
150	2.62	0.10	2.52
155	2.63	0.10	2.53
160	2.63	0.00	2.63
165	2.65	0.00	2.65
170	2.69	0.00	2.69
175	2.66	0.00	2.66
180	2.65	0.00	2.65
185	2.68	0.00	2.68
190	2.67	0.00	2.67
195	2.62	0.00	2.62
200	2.64	0.00	2.64

Prova n°	32 pr0	
pendenza rampa (-)		0.25
1°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
2°strato sup. D ₅₀ (cm)	B6	4.96
strato filtrante d ₅₀ (cm)	B2	3.184
spessore stato filtrante (cm)		7
portata totale Q _m (l/s)		12.06
portata filtrante Q _{thr} (l/s)		3.19
portata superiore Q _c (l/s)		8.87

valori piezometrici (cm)			
sezione	Y=1.5cm	Y=3.5cm	Y=5.5cm
10	26.75	27.1	27.4
30	22	22.55	22.9
45	17.6	18.4	18.95
60	12.9	14.8	15.1
80	8.7	9.5	10
95	1.9	3.9	5.4
320	-5.8	-5.8	-5.8
350	-5.8	-5.8	-5.8

