

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



Corso di Laurea Triennale in

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

SINTESI DELL'ELABORATO DI LAUREA

INDAGINE SPERIMENTALE SU RESISTENZA E PERMEABILITÀ DI CALCESTRUZZI AERATI

Relatore

Ch.mo Prof. Ing. **G. Urciuoli**

Candidati

Gianluigi **Ciasullo** 518/540

Rolando **Marchetti** 518/704

Correlatore

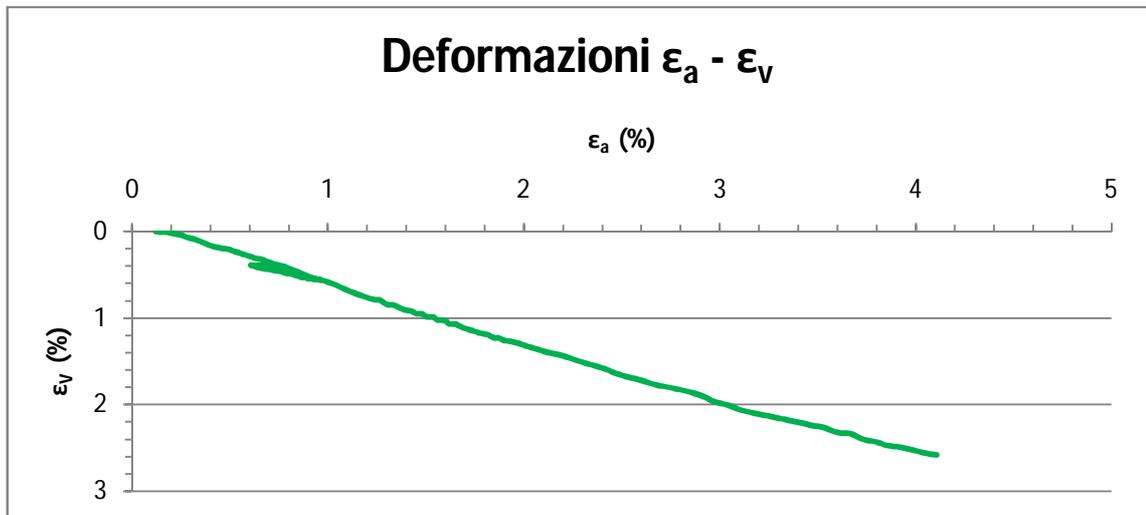
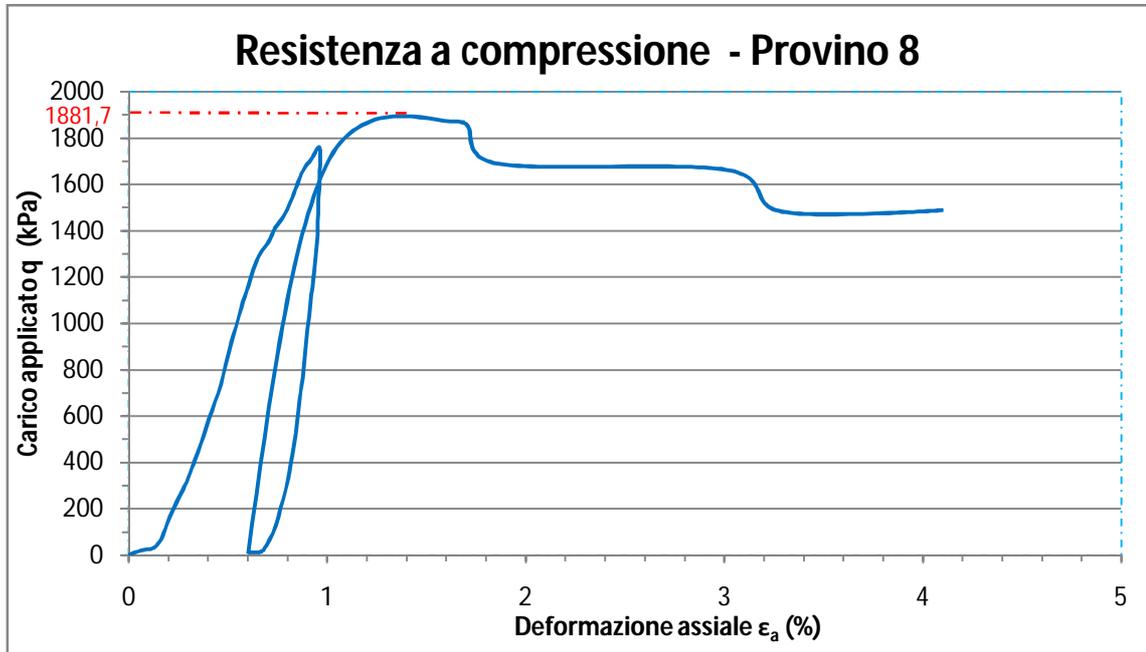
Dott. Ing. **R. Papa**

Anno Accademico 2012/2013

ABSTRACT

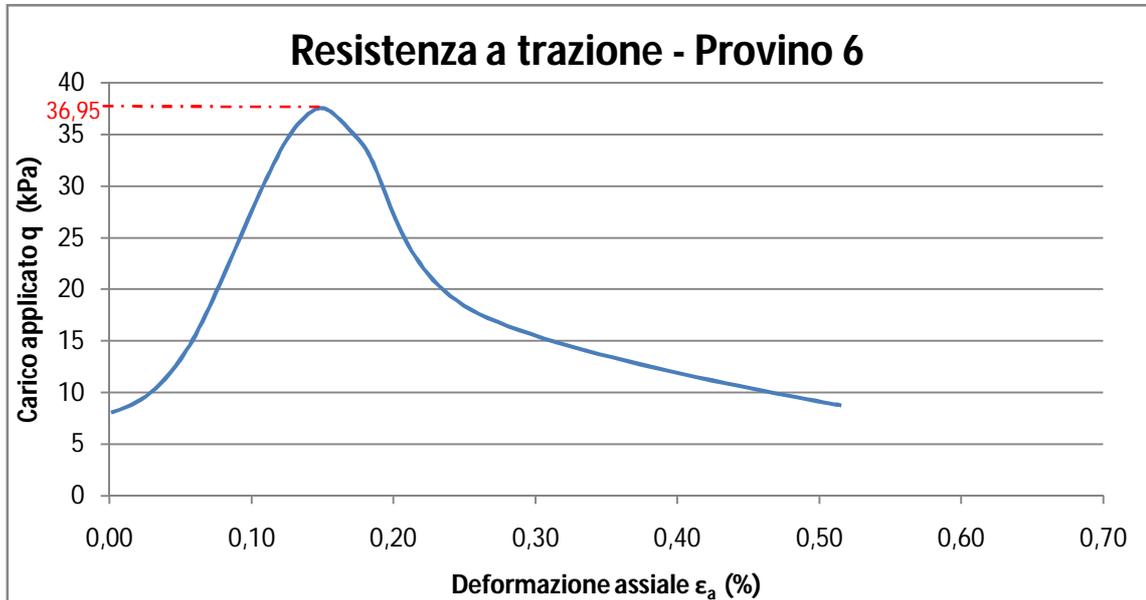
Il presente lavoro di tesi si pone l'obiettivo di indagare sperimentalmente i valori di resistenza e permeabilità di alcuni calcestruzzi aerati. Tale indagine è stata effettuata al fine di valutare l'impiego dei calcestruzzi aerati come possibile alternativa ai materiali di riempimento attualmente utilizzati nei sistemi di drenaggio profondi quali trincee drenanti, pali, paratie e pozzi drenanti. Per calcestruzzi aerati si intende quella gamma di calcestruzzi nella cui massa sono presenti piccole bolle di aria che conferiscono al materiale elevata leggerezza e praticità di utilizzo. Gli attuali impieghi dei calcestruzzi aerati sono molteplici, nell'edilizia sono utilizzati principalmente come isolanti termici e acustici e per compiti strutturali o semi-strutturali. L'eventuale impiego dei calcestruzzi aerati nella realizzazione dei sistemi di drenaggio comporterebbe notevoli vantaggi da un punto di vista economico e realizzativo, dato che i materiali attualmente in uso presentano problematiche relative ai costi di reperimento ed alla messa in opera. Nell'ambito della sperimentazione effettuata sono state create appositamente tre diverse miscele di calcestruzzo aerato, che si differenziano per i valori di peso dell'unità di volume, con l'obiettivo di determinarne le caratteristiche idrauliche e meccaniche. L'elemento caratterizzante i calcestruzzi aerati è l'aggiunta, alla miscela che li costituisce, di una schiuma realizzata a partire da un agente schiumogeno preformato; la schiuma determina la presenza di pori pieni d'aria nella struttura di tale materiale e ne costituisce la porosità caratterizzando, quindi, il peso dell'unità di volume delle diverse miscele. A partire da queste ultime sono stati realizzati nove provini di calcestruzzo aerato, tre per ogni tipologia di miscela, sui quali sono state effettuate prove di permeabilità a carico costante e prove di resistenza a compressione e a trazione. Al fine di valutare la resistenza a compressione dei provini realizzati sono state effettuate prove consolidate isotropicamente drenate su sei dei nove provini prodotti; tali prove sono state condotte utilizzando una cella di compressione triassiale. Mediante tale apparecchiatura è stato possibile realizzare prove di compressione a differenti valori di tensione di confinamento misurando i volumi di acqua espulsi durante la fase di carico. I dati forniti dalla strumentazione di misura consentono di strutturare un diagramma nel quale si rappresenta la curva caratteristica tensione-deformazione e un diagramma nel quale si rappresenta l'andamento della deformazione assiale in relazione

a quello della deformazione volumetrica. Si riporta l'andamento della curva caratteristica tensione-deformazione relativa alla prova di compressione effettuata sul provino 8:



Le prove per la misura della resistenza a trazione sono state effettuate utilizzando una pressa in grado di applicare sforzi assiali di trazione impostando il moto del pistone diretto dall'alto verso il basso; tali prove sono state realizzate su tre dei nove provini prodotti.

A titolo di esempio si riporta la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dalla prova effettuata sul provino 6:



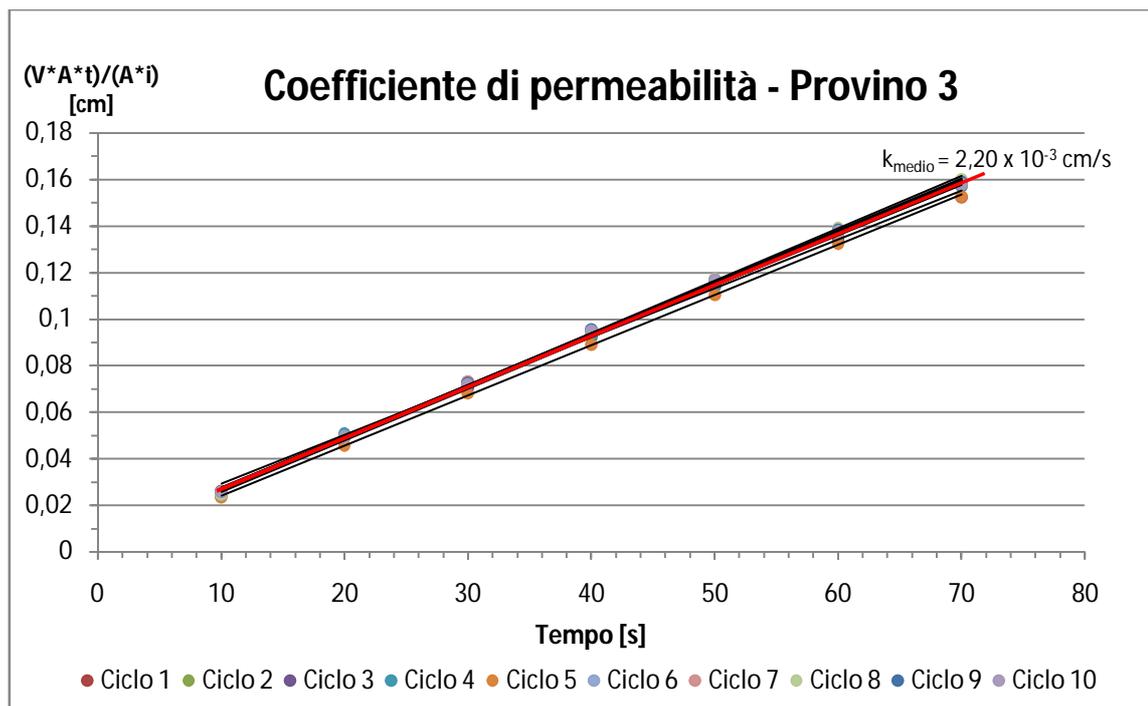
Al fine di valutare la permeabilità di tutti i provini in calcestruzzo aerato realizzati è stata effettuata una prova di permeabilità a carico costante utilizzando una cella di compressione triassiale; la scelta di tale apparecchiatura è legata ai numerosi vantaggi che essa offre:

- saturazione del provino mediante back pressure,
- controllo delle condizioni al contorno,
- possibilità di effettuare la prova su qualsiasi materiale in qualsiasi condizione,
- controllo delle condizioni di flusso,
- maggiore accuratezza e precisione della misura effettuata.

Installato il provino all'interno della cella e verificata la sua saturazione, si procede alla determinazione sperimentale del coefficiente di permeabilità K avvalendosi della relazione di Darcy secondo la quale la velocità di filtrazione V è direttamente proporzionale al gradiente idraulico j mediante il coefficiente di permeabilità K :

$$V = K * j$$

Al fine di determinare il coefficiente K sono stati effettuati otto cicli di permeabilità per ogni provino testato; al termine di ogni ciclo è stato composto un diagramma nel quale vengono riportati i punti le cui coordinate sono: in ascissa i valori degli istanti di tempo t in corrispondenza dei quali sono stati misurati i volumi di acqua in ingresso e in uscita dal provino; in ordinata i volumi di acqua permeati attraverso il materiale rapportati alla sezione del provino e al gradiente idraulico, funzione del carico idraulico applicato. Il coefficiente angolare della retta interpolante i punti ottenuti da tali valori definisce il coefficiente di permeabilità K del ciclo. L'insieme delle rette ottenute dai singoli cicli di permeabilità, relativi a ogni provino, vengono riportate in un unico diagramma riassuntivo nel quale è rappresentato il coefficiente di permeabilità k_{medio} caratteristico del provino in esame. A titolo di esempio si riporta la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dalla prova di permeabilità effettuata sul provino 3:



I risultati della sperimentazione effettuata sono riportati nella seguente tabella riassuntiva:

PROVINO	P_s (g)	γ_d (kN/m ³)	k (m/s)	p' (kPa)	q (kPa)
1	274,4	4,286	1×10^{-6}	50	1074,6
2	275	4,152	1×10^{-6}	100	933,5
3	289,2	4,396	$2,2 \times 10^{-5}$	-	- 28,77
4	326,2	4,828	$8,1 \times 10^{-6}$	50	1145,3
5	320,1	4,833	$5,8 \times 10^{-6}$	50	1400,2
6	314,2	4,776	$1,3 \times 10^{-5}$	-	- 36,94
7	404,2	6,102	$1,2 \times 10^{-5}$	100	1778
8	396,2	5,982	$5,6 \times 10^{-6}$	50	1881,7
9	417,1	6,297	$6,9 \times 10^{-6}$	-	-

Alla luce dei risultati ottenuti dalle prove, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- i valori dei coefficienti di permeabilità registrati oscillano da un minimo di $5,6 \times 10^{-6}$ m/s, ad un massimo di $2,2 \times 10^{-5}$ m/s; si può affermare, quindi, che la permeabilità dei calcestruzzi aerati testati può essere assimilata a quella di una sabbia, materiale drenante caratterizzato da valori di permeabilità nell'ordine di 1×10^{-5} m/s. Le permeabilità maggiori sono state registrate testando i provini realizzati con la miscela di calcestruzzo aerato caratterizzata da minore peso dell'unità di volume, tale risultato ha confermato le previsioni secondo le quali ci si aspettava valori di permeabilità maggiori per i campioni caratterizzati da un maggiore volume dei pori. I valori di permeabilità dei calcestruzzi aerati attualmente impiegati nella realizzazione di opere geotecniche, variano da 1×10^{-7} m/s a 1×10^{-8} m/s, si può affermare, quindi, che i calcestruzzi aerati testati sono caratterizzati da valori di permeabilità di circa due ordini di grandezza maggiori;

- i valori di resistenza a compressione registrati, a parità di tensione di confinamento, oscillano da un minimo di 1074,6 kPa ad un massimo di 1881,7 kPa; tali valori sono stati registrati applicando ai provini una tensione di confinamento pari a 50 kPa. Alla luce di tali risultati si può affermare che i materiali testati presentano valori di resistenza a compressione assimilabili a quelli di una roccia lapidea tenera, ossia valori superiori a 1000 kPa. I valori minimi di resistenza a compressione, in accordo con le previsioni, sono stati registrati sui provini caratterizzati da un minore peso dell'unità di volume; viceversa, i valori massimi di resistenza a compressione sono stati ottenuti testando provini caratterizzati da un peso dell'unità di volume maggiore;
- le prove a trazione effettuate hanno fornito un valore di resistenza massimo pari a 36,94 kPa; si può affermare quindi che tali materiali presentano, come prevedibile, una modesta resistenza a trazione che può essere incrementata additivando fibre di vetro alla boiaccia cementizia ottenendo una miscela di calcestruzzo aerato fibrorinforzata.

Alla luce degli elevati valori di permeabilità ottenuti, i calcestruzzi aerati oggetto di indagine presentano un'ottima attitudine ad essere impiegati come materiale di riempimento nei sistemi di drenaggio superficiali e profondi (tincee, pozzi, paratie e pali drenanti). La caratteristica drenante di tale materiale lo renderebbe particolarmente adatto a costituire barriere capillari, opere nelle quali si richiede la presenza di materiale di elevata permeabilità onde evitare la risalita di acqua.

Le buone caratteristiche di resistenza a compressione dimostrate, unite al modesto peso, rendono i calcestruzzi aerati realizzati particolarmente adatti ad essere impiegati come materiali costituenti i rilevati alleggeriti e come materiali di riempimento per cavità e scavi per la posa in opera di condotte idriche. Le caratteristiche di resistenza riscontrate avvalorano l'ipotesi di impiegare tali materiali nell'ambito dei sistemi di drenaggio profondi, dato che in tale campo di applicazione essi dovranno essere in grado di sostenere sollecitazioni non trascurabili.