

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Corso di Laurea Triennale in
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

TESI DI LAUREA

COMPORAMENTO MECCANICO DELLE MISCELE TERRA-CEMENTO-SCHIUMA

Relatore

Ch.mo Prof.

Ing. Gianfranco Urciuoli

Correlatore

Ing. Domenico De Sarno

Candidato

Noemi Santangelo

Matr. N49/610

ANNO ACCADEMICO

2017/2018

Le miscele terra-cemento-schiuma, meglio note come terre trattate e alleggerite (LWTS), sono materiali innovativi prodotti artificialmente attraverso la miscelazione di terreni argillosi e/o limosi ad alto contenuto di acqua, leganti idraulici ed agenti schiumogeni. Sono materiali la cui resistenza meccanica e peso dell'unità di volume possono essere definite in base alle esigenze di progetto.

Il metodo delle terre trattate e alleggerite permette il riutilizzo del materiale di scarto che, altrimenti, sarebbe destinato a smaltimento in apposite discariche. Ciò comporta l'abbattimento dei costi sia di smaltimento del terreno di scarto sia di approvvigionamento del materiale da cava, con ovvi vantaggi economici. Le miscele terra-cemento-schiuma potrebbero trovare ampio impiego per le costruzioni di terra (soprattutto in siti in frana e su argille molli) e come materiale da riempimento. Infatti, il basso peso dell'unità di volume, le rende particolarmente adatte a questi scopi.

La preparazione delle terre trattate e alleggerite avviene attraverso una modalità di miscelazione "classica" ottenuta mescolando il fango (prodotto lavorando acqua distillata e caolino) boiaccia (ottenuta da cemento e acqua distillata) e schiuma. I parametri da definire nella progettazione delle miscele risultano molteplici e, in particolare:

- il contenuto di acqua del fango w_{slurry} ,
- il rapporto in peso tra cemento e solido, c/s ,
- il rapporto in peso tra acqua e cemento, w_c/c , relativo alla boiaccia,
- il rapporto tra il volume di schiuma V_f e il volume totale della miscela V_{tot} espresso dal parametro n_f .

Lo scopo della sperimentazione è di valutare l'effetto della riduzione del contenuto di acqua del fango, sulle caratteristiche meccaniche delle miscele terra-cemento-schiuma. In particolare, a causa della riduzione del contenuto di acqua, il fango che si ottiene risulta essere caratterizzato da una maggiore viscosità che non permette ai vari elementi della miscela di amalgamarsi omogeneamente. A tal fine è stata proposta una modalità di miscelazione "alternativa", che prevede l'aggiunta al fango, dapprima della schiuma, in modo da rendere più fluida la miscela, ed infine della

boiaccia. Per tale ragione, è stato necessario valutare l'effetto della modifica della tecnica di preparazione sulle caratteristiche meccaniche delle terre trattate e alleggerite.

I materiali scelti per la sperimentazione, finalizzata alla determinazione delle caratteristiche meccaniche delle miscele terra-cemento-schiuma, sono:

- terreno: caolino Speswhite;
- legante idraulico: cemento Portland al calcare (Buzzi Unicem Tipo II/A- LL 42.5R);
- agente schiumogeno: Tensioattivo (ISOCEM - S/L EST).

L'agente schiumogeno permette la formazione di bolle d'aria all'interno della miscela che rendono il materiale particolarmente leggero. Il cemento, crea un legame tra i diversi elementi della miscela e stabilizza, inglobandole in un reticolo cristallino, le bolle d'aria create dall'agente schiumogeno.

Sono stati quindi prodotti 4 differenti mix le cui caratteristiche sono:

- mix 0 caratterizzato da $w_{slurry}=140\%$, $n_f=40\%$, $c/s=40\%$ modalità di miscelazione classica,
- mix 1 caratterizzato da $w_{slurry}=140\%$, $n_f=40\%$, $c/s=40\%$ modalità di miscelazione alternativa,
- mix 2 caratterizzato da $w_{slurry}=100\%$, $n_f=74\%$, $c/s=40\%$ modalità di miscelazione alternativa; in particolare lo stesso peso di acqua sottratta al fango è stato sostituito con un peso analogo di schiuma,
- m
- ix 3 caratterizzato da $w_{slurry}=100\%$, $n_f=51\%$, $c/s=40\%$ modalità di miscelazione alternativa; in particolare lo stesso volume di acqua sottratta al fango è stata sostituita con un volume analogo di schiuma.

Per valutare le caratteristiche meccaniche delle varie miscele, i provini prodotti, sono stati sottoposti a prove ad espansione laterale libera (ELL) a diversi tempi di maturazione e, in particolare, a 7, 14 e 28 giorni. Fanno

eccezione i provini prodotti con il mix 2 i quali, a causa dell'alto contenuto di schiuma con il quale sono stati prodotti, mostrano una bassissima consistenza, tale da renderli inutilizzabili.

Al fine di valutare in modo più corretto i risultati ottenuti dalle prove a espansione laterale libera (ELL), è stato necessario calcolare e il peso dell'unità di volume e la porosità di ciascun provino sottoposto a prova; di seguito si riportano i valori determinati:

	Tempi [gg]	w [-]	γ [kN/m ³]	n [-]	qu [kPa]
Mix 0	7	105%	9.9	81%	83.34
	14	106%	9.5	82%	95.29
	28	103%	10.9	79%	185.46
Mix 1	7	110%	8.8	84%	47.86
	14	108%	7.8	86%	57.66
	28	105%	9.5	82%	98.08
Mix 3	7	78%	10.8	77%	155.98
	14	84%	11.3	76%	254.51
	28	78%	9.6	79%	243.04

Tabella 1- Caratteristiche meccaniche dei mix

I risultati delle prove sono stati diagrammati nel piano tensione - deformazione per ciascun mix al variare dei tempi di maturazione.

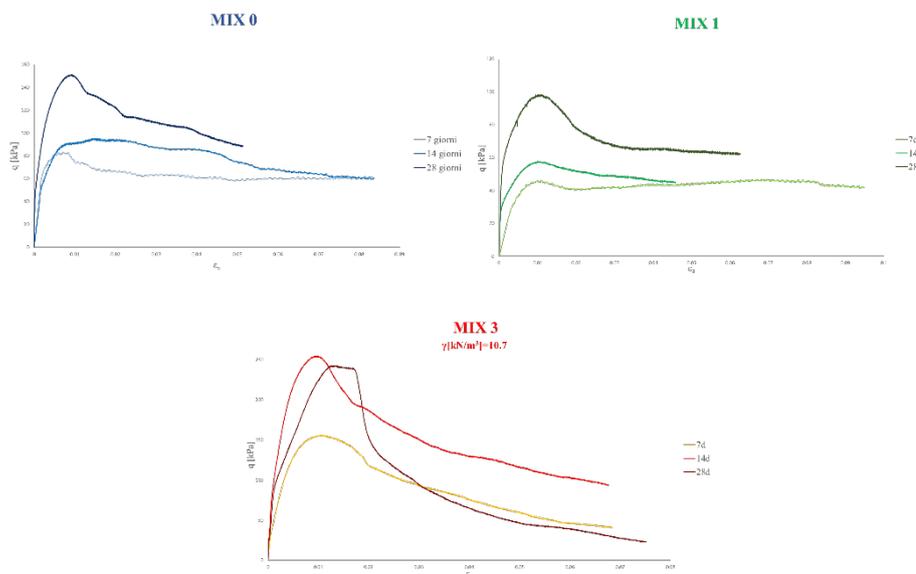


Figura 1- Risultati delle prove effettuate sui mix a diversi giorni di maturazione; a destra i risultati delle prove ELL sul mix 0; a sinistra i risultati delle prove effettuate sul mix 1; in basso i risultati delle prove ELL svolte sul mix 3

Il mix 0 e il mix 1 differiscono solo per metodo di preparazione, mentre le quantità utilizzate per produrli sono le stesse. Il peso dell'unità di volume dei provini del mix 1, riportato in tabella 1, presenta una maggiore variabilità rispetto al mix 0, che si riflette sulla maggiore dispersione della porosità. Dal confronto delle curve al variare del tempo di maturazione, è però possibile osservare che la resistenza cresce nel tempo, per lo sviluppo delle reazioni di idratazione e che tale incremento si ha in entrambi i mix. La diversa metodologia di preparazione non sembra frenare lo sviluppo delle reazioni di idratazione.

Il mix 3 differisce dal mix 1 sia per la riduzione del contenuto d'acqua sia per l'incremento di quantità di schiuma. Anche in questo caso la resistenza cresce col tempo di maturazione tra 7 e 14 giorni. Il trend sembra interrompersi a 28 giorni. Nel mix 3 il picco di resistenza a 28 giorni è più basso del picco osservato a 14 giorni. Questo risultato può, però, essere spiegato tenendo conto che il provino testato a 28 giorni presenta un peso dell'unità di volume più basso e di conseguenza una porosità più alta del provino testato a 14 giorni. La porosità, inoltre, mostra che la quantità di schiuma aggiunta non è stata sufficiente a conferire la stessa porosità degli altri mix, per quanto la differenza non sia eccessiva.

Seguono i confronti tra le prove svolte sui diversi mix allo stesso tempo di maturazione.

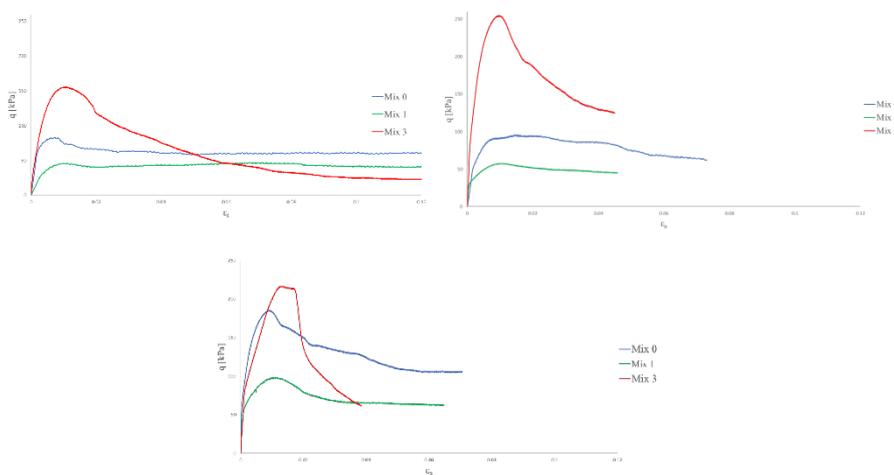


Figura 2- Risultati delle prove effettuate sui diversi mix a parità di giorni di maturazione; a sinistra i risultati delle prove a 7 giorni; a destra l'esito delle prove effettuate a 14 giorni; in basso i risultati delle prove a 28 giorni.

Dal confronto delle prove svolte a 7 giorni di maturazione sui tre mix, si osserva una notevole variazione di resistenza. In particolare la resistenza si dimezza passando dal mix 0 al mix 1. Allo stesso tempo, la resistenza osservata nel mix 3 è quasi il doppio di quella osservata nel mix 0. La resistenza sembra crescere con il peso dell'unità di volume e diminuire con la porosità.

I risultati delle prove svolte a 14 giorni di maturazione sono mostrati in figura 2. In questo caso la differenza tra il mix 3 e gli altri mix risulta ancora più marcata, ma si osservano gli stessi trend. Il mix 1 presenta ancora una volta una resistenza più bassa di quella osservata nel mix 0, ed il mix 3 una resistenza più alta del mix 0. Inoltre, la resistenza cresce con l'aumentare del peso dell'unità di volume e con il ridursi della porosità.

Si presentano infine i risultati ottenuti dalle prove svolte a 28 giorni di maturazione. La resistenza più alta è osservata nel mix 3, mentre la più bassa nel mix 1. La porosità del mix 1 è sempre maggiore.

Sulla base di quanto esposto non è possibile affermare con certezza che la modifica del metodo di miscelazione non influenzi in alcun modo il comportamento meccanico del materiale. Per quanto ci sia una riduzione considerevole della resistenza, tale peggioramento delle prestazioni meccaniche può essere spiegato dalla maggiore porosità. La maggiore resistenza meccanica osservata nel mix 3 (preparato con la stessa modalità di miscelazione del mix 1) conferma l'ipotesi che la modifica del metodo di miscelazione può non essere un fattore determinante.

In conclusione, grazie ai risultati ottenuti, si evince che il mix 3, ottenuto riducendo il contenuto di acqua del fango ed alterando la sequenza di miscelazione, è quello che raggiunge valori di resistenza superiori agli altri mix, nei diversi tempi di maturazione presi in considerazione, nonostante la porosità comunque confrontabile.