



Prove su terre stabilizzate utilizzate per la costruzione di rilevati stradali

MISCELE TERRA-CALCE: ALCUNE ESPERIENZE DI STUDIO

Materiali & Inerti

Ugo Sergio Orazi*
Michele Orazi*

In questo articolo vengono brevemente presentate alcune esperienze nello studio delle miscele terra-calce utilizzate per la costruzione di rilevati stradali. Si tratta sostanzialmente di risultati sperimentali riferiti a prove di laboratorio e a prove di carico su piastra, selezionate tra quelle eseguite negli ultimi anni dal Laboratorio Geomeccanico Orazi.

La stabilizzazione dei terreni argillosi con calce aerea è una tecnica che trova frequente applicazione in ambito stradale. Consiste sostanzialmente nel miscelare la terra da trattare con acqua e calce, in quantità tali da migliorarne in maniera rilevante, dopo le fasi di compattazione e stagionatura, le caratteristiche meccaniche e di diminuirne la sensibilità nei confronti dell'acqua (Figura 1).

Attraverso il trattamento con calce è possibile rendere idonee all'utilizzo per la costruzione di rilevati stradali terre dalle scadenti caratteristiche tecniche, limitando fortemente l'impiego di inerti.

I principali processi chimico-fisici che si manifestano nei trattamenti con calce (CaO) sono:

- ◆ l'idratazione della calce;
- ◆ lo scambio ionico tra gli ioni presenti sulla superficie delle particelle di argilla e quelli derivanti dalla dissociazione della calce (reazioni a breve termine);
- ◆ la formazione di composti stabili dotati di forti proprietà leganti (reazioni a lungo termine).

Di fatto si ottengono strati cementati che mostrano, in genere, una portanza molto elevata e poco dipendente da quella del sottofondo.

La stabilizzazione con calce incrementa la resistenza e la rigidità dei terreni argillosi e ne modifica in maniera sostanziale la risposta meccanica. Questo ultimo aspetto è particolarmente evidente nel



Figura 1 - Un terreno stabilizzato (a sinistra) e un terreno naturale (a destra) immersi in acqua

caso di terreni che presentano un'umidità superiore all'ottimale [1]. La calce provoca infatti la significativa riduzione del contenuto in acqua del materiale e la traslazione, verso umidità più elevate, dell'intera curva di compattazione. Pertanto il terreno passa da un contenuto in acqua non adeguato alla sua messa in opera, a condizioni prossime a quelle ottimali.



Figura 2 - La prova di carico su piastra

La sperimentazione

L'attitudine di una terra ad essere stabilizzata deve essere accertata attraverso uno studio preliminare di laboratorio.

Generalmente si considerano adatti al trattamento terreni con indice di plasticità maggiore del 10%. Lo studio della miscela di progetto viene solitamente sviluppato seguendo le indicazioni della Norma tecnica CNR BU N36 [2], la quale prevede l'esecuzione di prove di compressione e di penetrazione CBR. In fase di campo prova, per verificare la portanza di uno strato, si ricorre alla prova di carico su piastra (Figura 2). I parametri che si ottengono costituiscono una misura convenzionale della capacità portante del materiale, valutandone complessivamente il comportamento elasto-plastico sotto l'azione di carichi sostanzialmente statici.



D'altra parte tale attività sperimentale necessita spesso di un'ulteriore sviluppo. Per esempio, nel caso di rilevati di dimensioni significative è raccomandabile determinare le caratteristiche meccaniche delle miscele terra-calce attraverso prove di taglio diretto, prove edometriche e prove triassiali.

Un altro esempio può essere rappresentato dalla necessità di valutare l'effetto dell'azione dell'acqua e/o del gelo sulla prestazione del materiale.

I risultati sperimentali

I risultati sperimentali presentati in seguito sono riferiti a limi argillosi di media plasticità, stabilizzati con percentuali variabili tra il 2% e il 4% in peso di CaO e, per quanto concerne l'attività di laboratorio, a provini compattati al contenuto in acqua ottimale con energia "Modificata" e stagionati, se non diversamente specificato, in ambiente controllato per sette o 28 giorni. È importante precisare che con l'energia "Modificata", alla quale fa riferimento la CNR BU N36, si ottengono densità molto superiori a quelle ottenute in cantiere, e quindi è necessario tenere presente che le prestazioni dei materiali possono risultare sovrastimate.

La deformabilità

Le miscele terra-calce sono, in linea di massima, materiali poco deformabili.

La Figura 3 mostra alcuni valori del modulo di deformazione (Md) ottenuti da prove di carico su piastra, in funzione del contenuto in acqua (w), per limi argillosi naturali e stabilizzati. I dati sperimentali, tutti relativi a prove superficiali, si presentano piuttosto dispersi sia perché si riferiscono a materiali diversi, sia perché il valore di Md è fortemente condizionato anche da altri fattori, in particolare nel caso dei terreni trattati. Inoltre i risultati possono essere significativamente influenzati dalla portanza degli strati inferiori. Tuttavia risulta evidente l'effetto del trattamento sulla portanza dei terreni argillosi e le elevate prestazioni delle terre stabilizzate.

In laboratorio la compressibilità delle miscele terra-calce viene valutata attraverso prove edometriche. Come mostra la Figura 4, nella quale sono riportati alcuni andamenti del modulo edometrico (M) in funzione del carico verticale, queste presentano una compressibilità molto ridotta. Inoltre la risposta del materiale risulta sensibilmente condizionata, almeno a carichi non troppo elevati, dal tempo di stagionatura e dal quantitativo di legante.

La resistenza al taglio

La Figura 5 mostra i risultati di una prova di taglio diretto. Per i carichi verticali comunemente

presi in considerazione nei problemi applicativi, le curve sforzo di taglio-spostamento orizzontale sono caratterizzate da un picco ben definito, raggiunto il quale lo sforzo si riduce drasticamente con l'aumentare dello scorrimento, fino a raggiungere un valore stazionario (condizione di stato ultimo). I provini manifestano un comportamento marcatamente dilatante, più pronunciato a bassi carichi verticali, anche ad elevati scorrimenti quando lo sforzo di taglio si è ormai stabilizzato. Al termine della prova le superfici di taglio risultano scabre (Figura 6).

Per i risultati di una prova triassiale CID si può fare riferimento alla Figura 7. Analogamente a quanto precedentemente osservato, il punto di collasso del materiale risulta evidente, così come il comportamento dilatante.

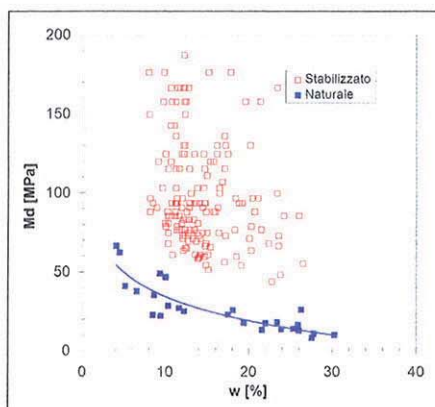


Figura 3 - I moduli di deformazione da prove di carico su piastra

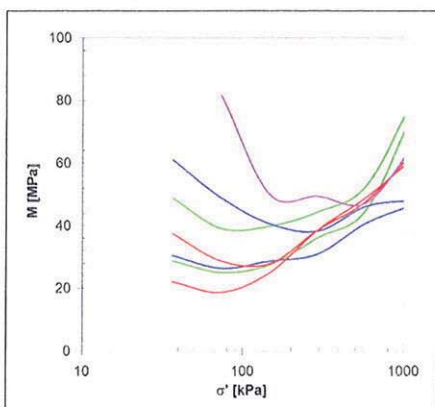


Figura 4 - I risultati di prove edometriche

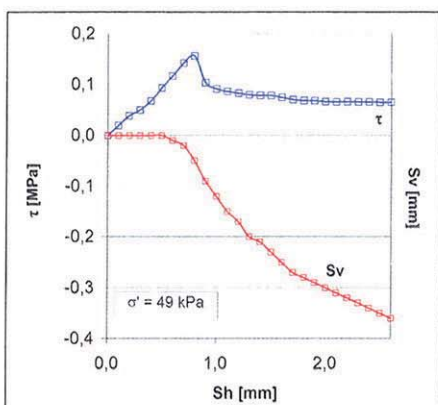


Figura 5 - I risultati di una prova di taglio diretto

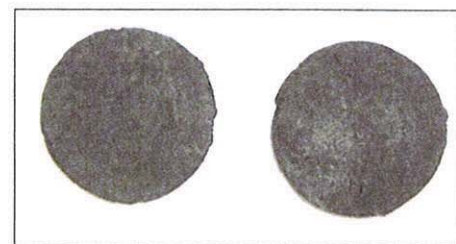


Figura 6 - Una superficie di taglio (prova di taglio diretto)

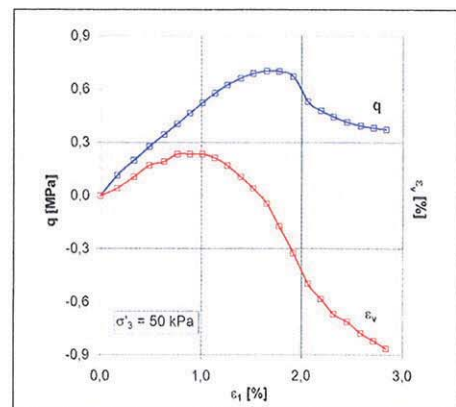


Figura 7 - I risultati di una prova triassiale CID

Al termine della fase di taglio i provini presentano discontinuità ben definite; a basse pressioni di consolidazione questo fenomeno è particolarmente evidente, con provini che presentano un netto piano di rottura che li separa in due blocchi che scorrono rigidamente uno sull'altro (Figura 8), mentre a pressioni di consolidazione più elevate tendono a formarsi più superfici di discontinuità meno nette.

I terreni stabilizzati presentano resistenze al taglio molto elevate che testimoniano l'efficacia del trattamento con calce.



Figura 8 - Un provino a fine prova (prova triassiale)

La Figura 9 mostra i valori dei parametri di resistenza al taglio di picco (coesione ed angolo di resistenza al taglio) per alcune miscele terra-calce, relativi a carichi di consolidazione non superiori a 300 kPa.

Tali parametri, ottenuti attraverso prove di taglio diretto o prove triassiali, si riferiscono a involuppi di rottura curvilinei, opportunamente "linearizzati" per convenienza pratica (Figura 10).

E' importante sottolineare che la resistenza al taglio delle terre stabilizzate risulta sensibilmente condizionata, a parità di altre condizioni, dal quantitativo di calce e dal tempo di stagionatura [3], all'aumentare dei quali l'effetto legante diventa più evidente (Figura 11). Inoltre, anche l'involuppo di rottura relativo alla condizione di stato ultimo si presenta marcatamente non lineare e risulta caratterizzato da resistenze al taglio significativamente più elevate rispetto a quelle del materiale naturale [4].

La resistenza all'azione dell'acqua

La stabilizzazione con calce diminuisce fortemente la sensibilità dei terreni argillosi nei confronti dell'acqua. Un esempio immediato ed intuitivo è dato dalla Figura 1.

Generalmente, per valutare la resistenza all'azione dell'acqua delle miscele terra-calce, si confronta la resistenza a compressione (R_c), a parità di tempo di stagionatura (t), tra il materiale immerso in acqua (Figura 12) e quello stagionato in maniera tradizionale. Dai risultati sperimentali di Figura 13 si può osservare la riduzione di resistenza per effetto dell'imbibizione in acqua.

E' significativo osservare che il tempo di immersione, quattro o otto giorni dopo una fase di stagionatura tradizionale di almeno sette giorni, sembra avere un effetto trascurabile sulla resistenza a compressione. Inoltre la prestazione del materiale soddisfa comunque quanto prescritto dalla CNR BU N36. Pertanto emerge chiaramente l'efficacia e la stabilità dell'effetto legante della calce.

La valutazione dell'effetto dell'imbibizione in acqua sulla portanza delle miscele terra-calce può risultare molto utile anche in fase di controllo in corso d'opera. Per controllare la portanza degli strati dei rilevati si ricorre, di norma, a prove di carico su piastra eseguite sulla superficie dello strato da testare. Parallelamente alla classica attività di controllo può risultare conveniente eseguire prove di carico anche sul terreno imbibito (Figura 14).

Le Figure 15A e 15B mostrano il confronto tra i risultati di prove tradizionali e di prove su terreno imbibito, eseguite nelle immediate vicinanze delle prime. In entrambi i casi, i moduli di deformazione ottenuti con la procedura tradizionale sono risultati superiori al valore limite del capitolato di riferimento.

Tuttavia, si osserva una sensibilità nei confronti dell'acqua molto diversa; nel caso di Figura 15A l'effetto dell'imbibizione risulta poco rilevante, mentre nel caso di Figura 15B si osserva una marcata riduzione di portanza. Il confronto tra le due condizioni è quindi risultato uno strumento prezioso per valutare la qualità del materiale e per localizzare zone da risanare.

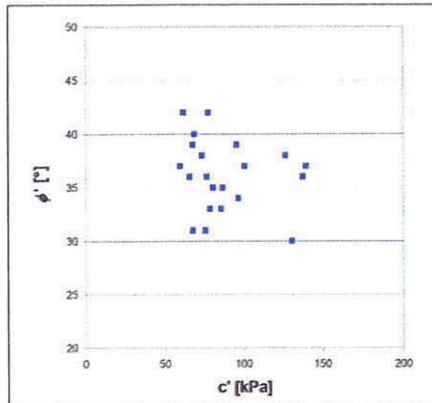


Figura 9 - I parametri di resistenza al taglio

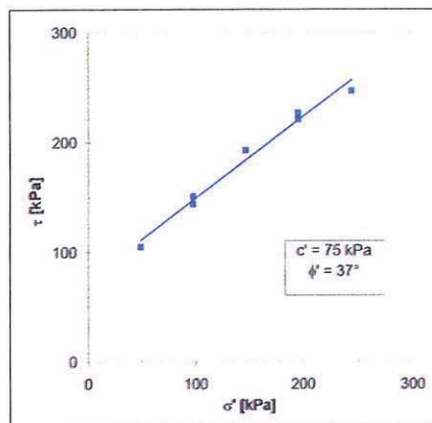


Figura 10 - Un esempio di involuppo di rottura

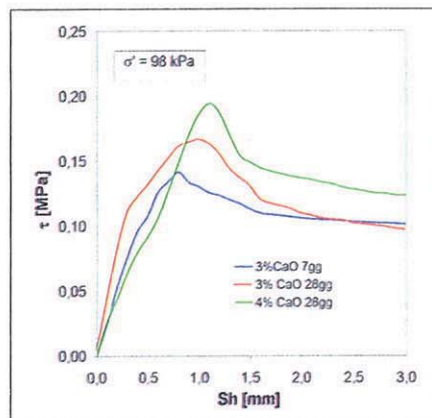


Figura 11 - L'effetto del quantitativo di calce e del tempo di stagionatura sulla resistenza al taglio



Figura 12 - Un provino immerso in acqua

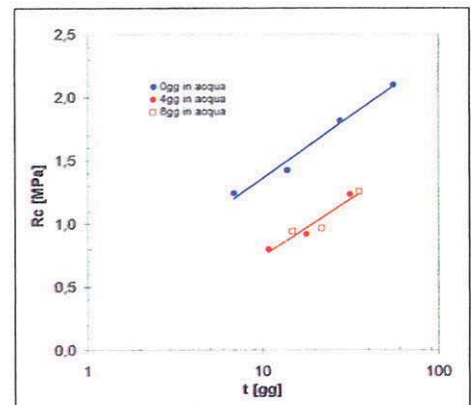


Figura 13 - L'effetto dell'immersione in acqua sulla resistenza a compressione



Figura 14 - La fase di imbibizione precedente alla prova di carico su piastra



Conclusioni

Grazie alla stabilizzazione con calce è possibile utilizzare terre argillose per la costruzione di rilevati stradali e ottenere strati dalle ottime caratteristiche meccaniche, che risultano molto portanti anche sotto l'azione più o meno prolungata dell'acqua.

L'elevata resistenza al taglio, l'elevata rigidità e la bassa sensibilità nei confronti dell'acqua rappresentano certamente le principali caratteristiche delle miscele terra-calce.

Dal punto di vista operativo, il trattamento con calce risulta particolarmente vantaggioso nel caso di terreni ad elevata umidità, in quanto migliora significativamente le condizioni di compattazione, facilitando notevolmente le operazioni di cantiere.

Ovviamente assume particolare importanza uno studio preliminare, finalizzato sia a verificare l'applicabilità della stabilizzazione con calce alle terre che si intendono trattare sia a valutare la quantità ottimale di calce ed acqua da utilizzare, in funzione anche delle condizioni del materiale al momento della lavorazione in cantiere. ■

* Laboratorio Geomeccanico Orazi

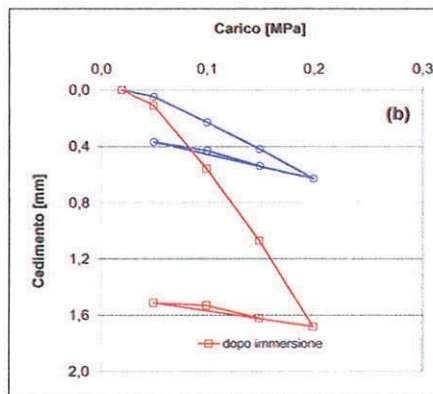
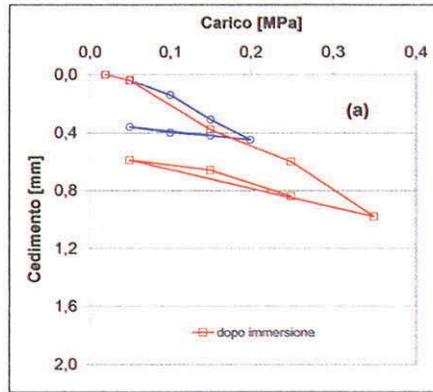


Figure 15A e 15B - La valutazione dell'effetto dell'imbibizione in acqua attraverso prove di carico su piastra

BIBLIOGRAFIA

- [1]. M. Orazi, U.S. Orazi - "Effetto della stabilizzazione con calce sul comportamento meccanico di un terreno argilloso", Atti VIII Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori di Geologia Applicata, Università degli Studi di Perugia, Facoltà di Ingegneria, 138-141, 2010.
- [2]. CNR BU N36 - "Stabilizzazione delle terre con calce", Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1973.
- [3]. M. Orazi, U.S. Orazi - "Miscele terra-calce per rilevati stradali: effetto del tempo di maturazione sulle caratteristiche meccaniche", Atti del 3° Congresso Nazionale AIGA, Centro di Geotecnologie, Università degli Studi di Siena, 352-353, 2009.
- [4]. D. Lo Presti, L. Tordella, F. Froio, V. Peisino - "Indagini di laboratorio e in sito su un limo stabilizzato con calce e cemento: un caso reale", Rivista Italiana di Geotecnica, anno XXXVII, 4, 58-79, 2003.