

STABILIZZAZIONE DELLE ARGILLE CON CALCE IDRATA

F. H. SAKEB (*)

SOMMARIO: Le argille grasse sono dei terreni molto difficili da stabilizzare dati l'elevato contenuto di minerali argillosi e la attività superficiale.

Nella nota si tratta della stabilizzazione della "argilla di Londra", con calce idrata. Si è constatato che l'efficacia della stabilizzazione aumenta con l'aumentare del tempo di maturazione, a contenuto d'acqua costante. Percentuali di calce dell'ordine del 5% sono sufficienti per quadruplicare la resistenza alla compressione del materiale.

1 - Introduzione

Le argille sono i terreni più difficili da stabilizzare, data la grande abbondanza di minerali siallitici e data l'elevata attività superficiale.

Da tali caratteristiche dipende la loro grande affinità per l'acqua e di conseguenza la tendenza a rigonfiare e la scarsa resistenza meccanica. Questi terreni, una volta essiccati, presentano elevata resistenza [1 e 2] e se bene compattati al contenuto di acqua opportuno sono stabili. Appena in contatto con l'acqua essi perdono però la consistenza.

Un ricoprimento impermeabile superficiale può impedire l'ingresso di acque esterne, mentre il miscelamento del terreno con un agente impermeabilizzante può diminuire l'assorbimento di acqua dalla falda; in tali condizioni il terreno si mantiene stabile sotto i carichi.

Numerosi studi hanno avuto lo scopo di trovare un metodo economico per stabilizzare un'argilla del tipo di quella di Londra. Tali studi riguardavano lo impiego del cemento e dimostrarono che si potevano ottenere buoni risultati con l'impiego di percentuali di cemento fino al 15% [3].

Poiché la calce è abbondante in Gran Bretagna, con la presente ricerca si è mirato ad investigare sull'effetto della calce sulla resistenza e sulla capacità di assorbire acqua dell'argilla di Londra.

I risultati ottenuti sono piuttosto incoraggianti e tali da giustificare un approfondimento dello studio.

(*) Prof. F. H. SAKEB, B. Sc. Eng. (Cairo), D.B.C.T. (C.E.), B.B.C.T. (S.M.), Ph. D. (Londra), M. Inst. B.E., Professor Assistant dell'Università di Assiut (Egitto). L'A. ringrazia l'Ing. ESU per aver voluto curare la traduzione in italiano della nota.

2 - Indagini precedenti

I Romani furono i primi a rendersi conto dei vantaggi offerti dalla calce quale agente stabilizzante ed impiegarono miscele compattate di calce e terreno naturale per i sottofondi della Via Appia [4].

Le prime prove per determinare l'effetto del trattamento delle terre con calce furono iniziate dalla Università del Missouri e dal U.S. Bureau of Public Roads nell' Iowa e Sud Dakota [5] nel 1924. Successivamente altri studi furono eseguiti all'Università dell'Ohio e dal Winsconsin State Highway Dept. I risultati ottenuti non furono però molto promettenti [6].

Si trovò, tuttavia, che l'aggiunta di calce portava un sensibile miglioramento delle caratteristiche fisiche dei terreni a grana fine e delle argille [5, 7, 8, 9, 10, 11].

MO CHIH LI [12] sottopose ad 8 cicli di inumidimento ed essiccamento delle miscele di terra e cemento e terra e calce trovando che per percentuali dell'ordine del 3-6% il comportamento del cemento era più soddisfacente, mentre per percentuali più elevate si ottenevano migliori risultati con la calce.

WHITEHURST e YODER [13] dimostrarono che, per una data percentuale di calce, l'aumento della compattazione o dell'addensamento portavano ad una maggior resistenza al gelo e disgelo e che la stabilizzazione delle terre con percentuali di calce minori del 5% non dava risultati del tutto soddisfacenti.

Le indagini di WOODS e YODER [14] indicarono che il tempo di maturazione delle miscele calce-terra aveva importanza fondamentale. Infatti, la resistenza e la durezza di tali miscele continuavano ad aumentare ancora dopo 36 settimane.

3 - Indagini eseguite

Le indagini che formano oggetto della presente nota sono state eseguite su campioni polverizzati di argilla di Londra, cortesemente forniti dal *Road Research Laboratory*. Si è indagato in particolare sulla resistenza alla compressione e sulla capacità di assorbire acqua delle miscele calce argilla. In quanto segue si riportano le modalità degli esperimenti ed i risultati ottenuti.

4 - Analisi e caratteristiche dell'argilla di Londra

Il contenuto d'acqua del materiale trattato, essiccato all'aria, risulta compreso tra 4 e 7% (rispetto al peso del secco). In Tabella 1 sono riportate alcune delle caratteristiche del materiale ed in Fig. 1 sono

TABELLA 1

Caratteristiche chimiche e fisiche dell'argilla di Londra

Frazione argillosa	54%
Frazione limosa	37%
Frazione sabbiosa	9%
Limite di plasticità	28%
Limite di liquidità	72%
Indice di plasticità	44%
Peso specifico dei grani	2.827 gr/cm ³
Peso volume max. del secco	1.51 gr/cm ³
Umidità ottima	25%
Classifica sec. Casagrande	CH
Resistenza alla compressione	3.82 kg/cm ²
Ph	8
CO ₂	1.2%
CaCO ₃	2.7%

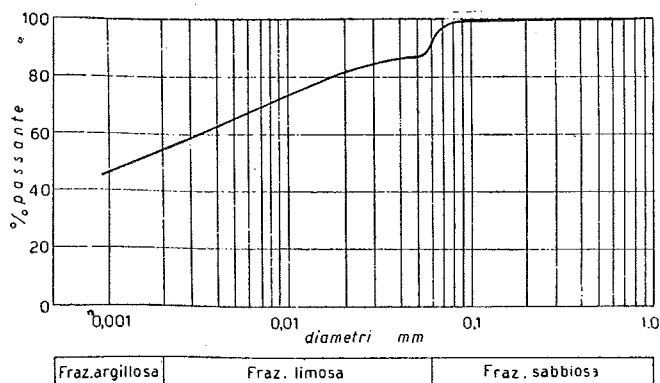


Fig. 1 - Analisi granulometrica dell'Argilla di Londra

riportati i risultati dell'analisi granulometrica; in Fig. 2 sono riportate le curve di compattazione e di compressione.

Secondo ROBENSON [15] l'argilla di Londra deve essere considerata un'argilla « grassa », dato che il suo indice di plasticità è maggiore di 20.

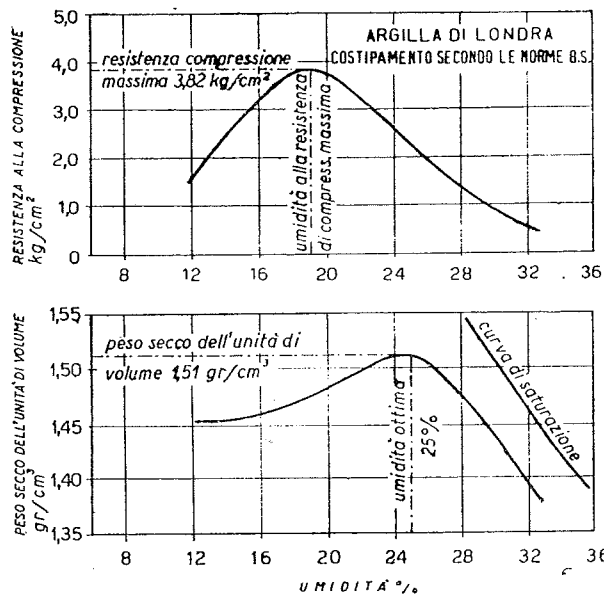


Fig. 2

5 - Prove di resistenza alla compressione

Con quantitativi noti di argilla essiccata all'aria, di acqua distillata e di calce idrata furono preparati cinque provini cilindrici (diametro 5,08 cm, altezza 7,62 cm) compattati all'umidità ottima ed al massimo peso di volume del secco sotto un carico statico di 34,5 kg/cm². Si è assunto che le percentuali di calce usate per queste prove (cioè 5,10 e 15%) non influenzassero il valore del peso di volume del secco nè l'umidità ottima dell'argilla. In base a tale ipotesi, tali grandezze erano, rispettivamente, 1,61 kg/dm³ e 20% per tutti i provini.

L'argilla, mescolata accuratamente con acqua distillata fino ad ottenere una pasta di uniforme consistenza, fu tenuta per 24 ore in un recipiente a tenuta ermetica. Dopo tale periodo si corresse il contenuto d'acqua e si aggiunse la calce miscelando accuratamente. Per ciascuno dei cinque stampi si pesò accuratamente il quantitativo di materiale necessario per formare un provino cilindrico (diam. 5,08 cm, altezza 7,62 cm).

Per compattare i campioni, gli stampi furono posti sotto pressa e fu applicato uniformemente il carico fino a che i pistoni raggiunsero la posizione voluta. I provini furono lasciati sotto carico per 1 minuto.

Un provino fu immediatamente estratto dallo stampo e sottoposto alla prova di compressione. Il carico fu applicato con celerità uniforme di 1,2 mm/min.

Il secondo ed il terzo provino furono posti in un umidificatore perché maturassero in atmosfera umida alla temperatura ambiente. Uno di questi campioni fu sottoposto alla prova dopo 7 giorni di maturazione, mentre gli altri furono provati dopo 14 giorni. Il quarto ed il quinto campione, rivestiti con

uno spesso strato di paraffina, furono conservati a temperatura ambiente. Un campione fu provato dopo 7 giorni e l'altro dopo 14. I risultati delle prove sono riportati nelle tabelle 2, 3 e 4.

6 - Prova di assorbimento per capillarità

Questa prova è stata eseguita su argilla non trattata e su miscele con 1, 5, 10, 15% di calce idrata. Per la preparazione e la compattazione dei provini si adottarono le stesse modalità seguite per le prove di compressione, portando tutti i provini all'ottimo di umidità ed al massimo peso di volume del secco. Dopo la compattazione i campioni furono rivestiti con paraffina e lasciati maturare per 3 giorni a temperatura ambiente.

Il rivestimento di paraffina fu rimosso dalla base e dalla cima dei campioni che furono poi pesati con un'approssimazione di 0,1 gr. I campioni, posati su piastre porose, furono posti in un recipiente a tenuta d'aria sul cui fondo era acqua che arrivava a bagnare per un'altezza di 2 mm la base dei campioni. Il livello dell'acqua era mantenuto costante per mezzo di uno sfioratore. I campioni furono pesati ad intervalli di 1, 3, 7, 14, 21 e 28 giorni avendo cura, prima di ogni pesata, di asciugare l'eccesso d'acqua alla base del campione per mezzo di carta da filtro. I risultati ottenuti sono riportati in Tab. 5.

7 - Resistenza alla compressione delle miscele argilla calce

Come si è accennato, uno dei cinque campioni fu sottoposto a prova di compressione subito dopo la sua preparazione e senza che avesse tempo di ma-

TABELLA 2

Effetto della calce sulla resistenza alla compressione dell'argilla di Londra

% di calce rispetto al peso di materiale secco	Resistenza alla compressione kg/cm ²
0	9.17
5	20.1
10	21.1
15	22.4

turare. I risultati di questa prova, riportati in Tab. 2, indicano molto chiaramente l'effetto della calce idrata sulla resistenza dell'argilla di Londra.

La resistenza alla compressione aumentò da circa 9 kg/cm² per l'argilla non trattata, a circa 20 kg/cm² per l'argilla con il 5% di calce. Percentuali di calce del 10 e 15% provocarono un aumento più sensibile della resistenza.

8 - Resistenza delle miscele argilla - calce dopo maturazione a contenuto d'acqua costante

Due dei cinque campioni compattati, rivestiti con paraffina, furono conservati a temperatura ambiente. Uno fu provato dopo 7 giorni di maturazione e l'altro dopo 14 giorni. I risultati ottenuti sono ripor-

TABELLA 3

Resistenza delle miscele argilla calce dopo maturazione ad umidità costante

% di calce rispetto al peso di materiale secco	Resistenza alla compressione kg/cm ²	
	7 giorni	14 giorni
5	35.9	40.6
10	36.6	38.2
15	41.8	46.0

tati in Tab. 3 e indicano che il tempo di maturazione ha notevole influenza sul valore del carico di rottura delle miscele.

Con percentuali di calce del 5% la resistenza è stata di circa 36 kg/cm² dopo 7 giorni (rispetto a 20 kg/cm² ottenuti sui provini non maturati) e circa 41 kg/cm² per i provini maturati per 14 giorni.

Analogo risultato si è ottenuto su miscele con diverse percentuali di calce.

E' da osservare che l'A. ha avuto anche l'opportunità di determinare la resistenza alla compressione di una miscela di argilla e cemento Portland al 10% compattata al massimo peso di volume del secco e all'ottimo di umidità, trovando che la resistenza 7 giorni era di soli 27 kg/cm². Ciò indicherebbe la superiorità della calce rispetto al cemento quale agente stabilizzante.

9 - Maturazione in atmosfera umida

Facendo maturare le miscele calce argilla in atmosfera umida, si aveva un aumento della resistenza

TABELLA 4

Resistenza della miscela calce argilla dopo maturazione in ambiente umido

% di calce rispetto al peso di materiale secco	Resistenza alla compressione kg/cm ²	
	7 giorni	14 giorni
5	30.0	29.2
10	35.9	37.5
15	33.6	36.3

dei campioni compattati, ma tale aumento non è uguale a quello ottenuto con la maturazione a contenuto d'acqua costante (vedi Tab. 3 e 4). Il pi

lungamento del tempo di maturazione in atmosfera umida non portava ad un aumento sensibile della resistenza. In realtà si è constatato che la resistenza della miscela al 5% di calce diminuiva quando il periodo di maturazione era prolungato fino a 14 giorni. Per le miscele al 10 e 15% di calce si aveva invece un aumento non rilevante con il prolungamento del tempo di maturazione.

10 - Effetti della calce sull'assorbimento d'acqua per capillarità

Dalla tabella 5 può rilevarsi l'effetto impermeabilizzante della calce. Con percentuali dell'1% l'acqua assorbita in 28 giorni diminuì da 76 gr a 57,7 gr. Con questa percentuale di calce si è constatato un aumento della capacità di assorbire l'acqua nei primi 3 giorni. Tale capacità diminuiva però sensibilmente dopo 7, 14, 21 e 28 giorni e la quantità d'acqua assorbita era molto piccola in confronto con quella del campione non trattato (Fig. 3).

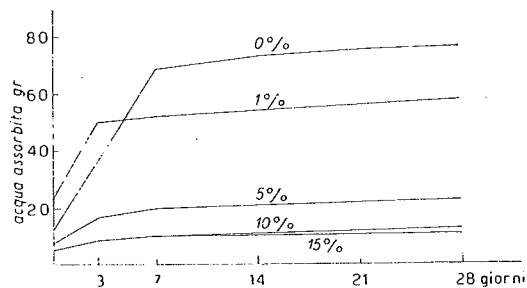
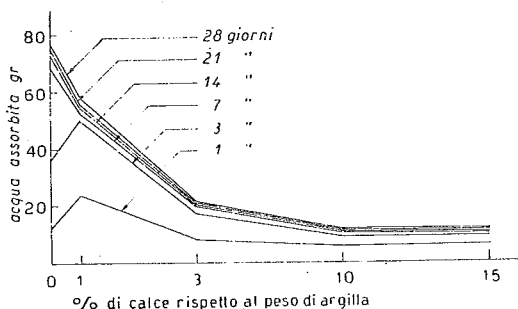


Fig. 3

L'aumento della percentuale di calce diminuì la capacità di assorbire acqua. Anche in questo caso si riscontrò che, con percentuali di calce di 5, 10 e 15, il quantitativo d'acqua assorbito era forte per i primi 3 giorni in rapporto a quello assorbito nei successivi 25.

I quantitativi assorbiti dalle miscele al 10 e 15% di calce erano circa uguali con una leggera riduzione per la miscela al 15%. L'aumento della percentuale di calce oltre il 10% non portò cioè ad un apprezzabile aumento della impermeabilità dell'argilla; potrebbe quindi considerarsi antieconomico usare percentuali più elevate del 10% quando interessa impermeabilizzare l'argilla.

E' da notare che l'aggiunta di calce non modifica le caratteristiche del materiale tanto da soddisfare le norme del Road Research Laboratory che prescrivono un assorbimento di 8 gr a 28 giorni per i

TABELLA 5

Effetti della calce sull'assorbimento di acqua per capillarità

% di calce rispetto al peso di materiale secco	acqua assorbita in gr					
	numero dei giorni					
	1	3	7	14	21	28
0	12.4	35.6	68.5	73.0	74.9	76.0
1	24.0	49.6	52.1	54.6	56.4	57.7
5	8.0	16.8	19.8	20.7	21.5	21.7
10	5.5	8.9	10.0	10.9	11.6	11.8
15	5.7	8.8	9.6	10.3	11.0	11.2

materiali trattati. Tali norme sembrano però troppo restrittive in quanto non rispondono alle condizioni naturali. Sarebbe forse conveniente adottare un criterio meno severo che potrebbe essere stabilito in base alle correlazioni tra i risultati di prove di campagna e di laboratorio.

Si provvede a determinare la resistenza alla compressione dei provini dopo 28 giorni di assorbimento.

I risultati sono riportati nella Tab. 6 da cui risulta l'efficacia della calce nella stabilizzazione di una argilla come quella di Londra.

Il confronto dei dati riportati in tab. 2 e 6 indica che, per le miscele al 5,10 e 15%, le resistenze alla

TABELLA 6

Resistenza alla compressione delle miscele argilla calce dopo assorbimento d'acqua per un periodo di 28 gg.

% di calce rispetto al peso di materiale secco	Resistenza alla compressione kg/cm ²
5	17.0
10	19.1
15	23.6

compressione, dopo 28 giorni di assorbimento, erano l'85, il 91 ed il 104% della resistenza alla compressione dei provini non maturati.

Tali risultati sono notevoli, in quanto i provini furono lasciati a maturare per soli 3 giorni prima dell'inizio della prova di assorbimento. E' verosimile che con un più lungo periodo di maturazione si sarebbero ottenuti migliori risultati.

11 - Conclusioni

1) Percentuali dell'ordine del 5% di calce conferiscono all'argilla di Londra una resistenza alla compressione che è del 35% maggiore di quella ottenuta con il 10% di cemento Portland dopo 7 giorni di maturazione ad umidità costante per lo stesso valore del massimo peso volume del secco e per la stessa umidità ottima.

2) Il metodo ed il tempo di maturazione hanno una grande influenza sulla resistenza alla compressione delle miscele argilla calce.

3) La maturazione ad umidità costante ed a temperatura ambiente dà risultati migliori della maturazione in ambiente umido.

4) L'aumento del tempo di maturazione ad umidità costante aumenta la resistenza alla compressione.

5) La calce è un agente impermeabilizzante molto efficace in quanto riduce la capacità di assorbire acqua e conferisce alle miscele un'elevata resistenza anche dopo un prolungato periodo di assorbimento.

6) Sarebbe conveniente adottare un criterio meno rigido di quello suggerito dal Road Research Laboratory per le prove di assorbimento. Tale criterio dovrebbe essere basato sui risultati di prove di laboratorio e di campagna adottando una certa percentuale dell'acqua assorbita dal terreno non trattato.

7) Saranno necessarie altre prove di laboratorio e di campagna per confermare le buone qualità della calce come agente stabilizzante.

Bibliografia

- [1] CLARE K. E. - *Some Laboratory experiments in the Waterproofing of Soils* - Proceedings 2nd Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Eng., V. (I) (1948).
- [2] WINTERKORN H. F. - *Fundamental Approach to the Stabilization of Cohesive Soils* - Proceedings High. Res. Bd., V. (28), (1948).
- [3] MACLEAN D. J., CLARE K. E. - *Investigation of Some Problems in Soil Stabilization* - Proceedings 3rd Int. Conf. Soil Mechanics & Foundation Eng., V. (I), (1953).
- [4] McDOWELL C., MOORE W. H. - *Improvement of Highway Subgrades and flexible bases by use of Hydrated lime* - Proceedings 2nd Int. Conf. Soil Mech. & Found. Eng. V. (5), (1948).
- [5] CUNER C. N. - *Report of investigation of low cost improved roads* - Proceedings Hygh. Res. Bd., V. (6) Pt. (II), (1926).
- [6] HOGENTGLER C. A. - *Engineering properties of Soils* - New York, 1937.
- [7] JOHNSON A. M. - *Laboratory experiments with lime soil mixtures* - Proceedings High. Res. Bd., V. (28), (1948).
- [8] SPANGLER M. G. - *Modification of a Gumbotil soil by lime & Portland cement admix.* - Ibid, V. (29), (1949).
- [9] GALLOWAY B. M. - BUCHNAN S. J. - *Lime stabilization of clay soil* - Bulletin of the Agr. & Mech. College of Texas, N. (124), (1951).
- [10] ZUBE E. - *Experimental use of lime for treatment of Highway Base courses* - Am. Rd. Build. Ass. Tech. Bulletin N. (181), (1952).
- [11] MANIFORT R. C. - *Soil stabilization with resins & Chemicals* - Highway Res. Bull., n. 108, (1955).
- [12] MO CHIH LI - *Research on soil stabilization* - Proceedings High. Res. Bd., V. (23), (1943).
- [13] WHITEHURST E. A., YODER E. J. - *Durability test on lime stabilized soils* - Ibid, V. (31), (1952).
- [14] WOODS K. B., YODER E. J. - *Stabilization with soil, lime & calcium chloride as admixture* - Proceedings of the Eng. on soil stabilization, Boston, Mass. (1952).
- [15] ROBERSON W. D. - *Practical soil stabilization* - London, (1948).
- [16] DOCKERY W. D., MANIGAULT D. E. H. - *Lime stabilization and low cost road construction* - Roads & Streets, V. (90), (1947).
- [17] SAKEB F. H. I. - *Stabilization of soils by cement & chemicals... etc.* - Thesis submitted for the Ph. D. in the Faculty of Engineering in the University of London (1956).

SUMMARY: Heavy clays are the most difficult soils to stabilize due to the big amounts of colloids they contain and due to their surface activity. The present work was directed to stabilize an example of such soil, like *London clay*, with hydrated lime. Hydrated lime is a successful stabilizer for heavy clays on the merits of the high strength it imparts on such clays even after a prolonged water absorption test. Increasing the time of curing under constant moisture content conditions, is of the paramount importance for promoting the strength of lime-clay mixes. As low as 5% of lime increased the clay strength to about 4 folds after one week curing.

SOMMAIRE: Les terrains constitués par des argiles grasses présentent beaucoup de difficultés pour leur stabilisation à cause de la grande quantité de colloïdes qu'ils contiennent et de l'activité de leur surface. Le travail en question vise à faire un exemple de ces terrains en se rapportant à la stabilisation de l'argile de Londres avec de la chaux hydratée. Les résultats de cette recherche ont démontré que la chaux hydratée est une excellente stabilisatrice des argiles grasses. En effet, elle donne à cette argile une résistance remarquable même après l'avoir soumise à une épreuve prolongée d'absorption d'eau. Un facteur essentiel pour augmenter la résistance du mélange chaux-argile c'est l'augmentation du temps de maturation à teneur en eau constante. Il suffit le 5% de chaux pour quadrupler la résistance de l'argile après une semaine de maturation.