



INFLUENZA DELLE MODALITÀ DI LAVORAZIONE SULLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DELLE MISCELE TERRA-CALCE

Maurizio Bocci

Istituto di Strade e Trasporti - Università degli Studi di Ancona
Via Brece Bianche, 60131 Ancona
Tel: +39 071.2204780 - Fax: +39.071.2204510
E-mail: strade2@popcsi.unian.it

Gianluca Cerni

Istituto di Strade e Trasporti - Università degli Studi di Ancona
Via Brece Bianche, 60131 Ancona
Tel: +39 071.2204780 - Fax: +39.071.2204510
E-mail: strade2@popcsi.unian.it
E-mail: cerni@libero.it

INFLUENZA DELLE MODALITÀ DI LAVORAZIONE SULLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DELLE MISCELE TERRA-CALCE

MAURIZIO BOCCI – Istituto di Strade e Trasporti – Università di Ancona
GIANLUCA CERNI – Istituto di Strade e Trasporti – Università di Ancona

SOMMARIO

Lo studio sperimentale esposto nella presente memoria pone l'accento sulle problematiche inerenti all'esecuzione della stabilizzazione delle terre con calce. Tale tecnica, adottata nei recenti lavori ferroviari per la costruzione delle linee ad velocità, risulta efficace nel superare le difficoltà attuali e crescenti di approvvigionamento di materiali granulari di buona qualità mediante il riutilizzo dei terreni in loco.

Tramite prove di laboratorio si è cercato di simulare e quantificare gli effetti di quelle modalità operative che possono influenzare il comportamento meccanico delle miscele. In particolare è stato possibile evidenziare l'estrema importanza del grado di finezza delle miscele, espresso dalle dimensioni dei grumi di terra-calce, che può incidere in maniera nettamente differenziata e controversa sul risultato finale della stabilizzazione.

ABSTRACT

The experimental study explained in this paper lays stress on the construction problems related to the stabilization of soils by lime. Such technique, also adopted in the recent railway works for the construction of high speed lines, proves to be effective in overcoming the existing and increasing difficulty in supplying with good quality granular mixes, by means of recycling *in situ* soils.

With lab tests, it has been tried to simulate and quantify the effects for those construction procedures which can affect the mechanical behaviour of mixes. In particular, it has been possible to point out for the mixes the extreme importance of the pulverization grade, given by the dimensions of the soil-lime lumps, which can influence in a decidedly differentiated and controversial way the final result of stabilization.

1. INTRODUZIONE

La tecnica di stabilizzare le terre con calce è impiegata con profitto, soprattutto all'estero, in molti lavori stradali, ferroviari ed anche aeroportuali. L'interesse è giustificato dalla duplice motivazione di ridurre l'uso di materiali granulari pregiati, sempre meno economicamente convenienti, e di salvaguardare gli aspetti ambientali mediante la riduzione di cave di prestito e di deposito.

In effetti il principale vantaggio di tale tecnica è quello di poter riutilizzare direttamente in sito proprio quei terreni considerati non idonei in campo stradale (argille e limi). Quest'ultimi, data la loro estrema sensibilità alle variazioni di contenuto d'acqua, sono responsabili di molti dissesti che avvengono durante la vita di una pavimentazione. Tali effetti possono essere mitigati mediante la stabilizzazione con calce che produce la formazione di nuovi composti più stabili e resistenti (silico-alluminati idrati di calcio e magnesio[1]) ottenuti dalla combinazione della silice e allumina presente nelle argille con gli ioni calcio apportati dalla calce stessa.

Numerosi studi condotti in laboratorio hanno potuto dimostrare l'efficacia di tale trattamento sotto il profilo della capacità portante e della resistenza [2, 3].

Non va però sottaciuto che la buona riuscita del trattamento è condizionata dalle modalità di esecuzione dei lavori in sito che ovviamente, data la loro variabilità e notevole differenza rispetto alle procedure standard di laboratorio, influenzano in modo casuale e non prevedibile il risultato finale.

2. SCOPO DELL'INDAGINE

In questo lavoro si sono volute studiare, mediante un'indagine sperimentale di laboratorio composta da particolari procedure di laboratorio, le variabili che influenzano il fenomeno di stabilizzazione focalizzando l'attenzione sulle problematiche concernenti la messa in opera delle miscele in sito.

Per quanto menzionato in precedenza risulta comprensibile che le reazioni di chimiche stabilizzazione (a breve e lungo termine) possono avvenire con efficacia solo se esiste un intimo contatto tra la calce e il terreno.

In pratica, prima del trattamento con calce, il terreno deve essere scarificato e sminuzzato con opportune lame scarificatrici ed erpici a disco in modo che la granulometria finale delle zolle sia adeguatamente ridotta. Successivamente, dopo lo spandimento della calce e dell'eventuale acqua di idratazione, deve essere effettuata la miscelazione e polverizzazione finale fino ad ottenere, come precisa il "Lime Stabilization Construction Manual" [4], un terreno in forma sabbiosa tale da passare interamente attraverso setacci con maglie di 2.5 cm di diametro e almeno per il 60% al setaccio ASTM n.4.

In cantiere tali fasi di frantumazione delle zolle e miscelazione non sempre consentono l'ottenimento di una miscela terra-calce di colore uniforme, indice dell'omogeneità del materiale, soprattutto in relazione al tipo e alle condizioni del terreno di partenza. Infatti per argille molto dure e compatte è consigliabile suddividere lo spandimento e la miscelazione della calce in due tempi diversi: il primo apporto di legante serve per rendere più friabili le zolle d'argilla (a causa dei noti effetti smagrenti) e la seconda parte per la stabilizzazione stessa.

In figura 1 è possibile constatare l'aspetto grossolano di un terreno argilloso dopo i primi passaggi di una fresa, mentre in figura 2 sono visibili gli effetti di un numero elevato di transiti della fresa su un terreno che ha subito una prima maturazione.

E' logico attendersi che un terreno nelle condizioni di figura 1, non soddisfacente i requisiti indicati dalla National Lime Association, con difficoltà potrà fornire esiti positivi derivanti dalla stabilizzazione in quanto la calce, essendo localizzata sulla superficie esterna dei grossi grumi di argilla, avrà poca probabilità di reagire con il terreno e soprattutto con la parte interna dei grumi stessi, anche ammettendo reazioni chimiche "in soluzione". Al contrario la miscela finemente sminuzzata di figura 2 è nelle condizioni ottimali per far avvenire la reazione fra calce e terreno in quanto il contatto fra i due elementi è stretto; ciò è constatabile dalla colorazione uniforme dell'impasto in cui si è perso l'effetto "biancastro" indotto dalla calce che risulta limitato solo ad alcuni grumi più grandi.

Da quanto detto si è cercato di studiare l'effetto di disaggregazione del terreno di partenza sul risultato della stabilizzazione in termini di acquisizione delle resistenze meccaniche. A tale scopo è stata messa a punto una procedura di laboratorio per la confezione di campioni di miscele terra-calce costituiti da differenti granulometrie dei grumi del terreno di origine.



Figura 1 – Aspetto del terreno con calce dopo pochi passaggi della fresa



Figura 2 – Aspetto del terreno con calce dopo molti passaggi della fresa

Inoltre si è voluto indagare l'effetto della fase di compattazione, successiva a quella di miscelazione, che in sito può avvenire secondo modalità diverse. A tal fine si sono prese in considerazione due variabili: i ritardi fra le due fasi suddette e l'entità del costipamento.

La scelta della prima variabile deriva dalla possibilità pratica di dover ritardare, per motivi di cantiere o di stabilizzazioni in centrale, la fase di compattazione per diverse ore se non giorni e di verificare se questo ritardo possa pregiudicare la formazione dei nuovi composti creatisi a breve termine.

La seconda variabile ha il preciso scopo di verificare lo sviluppo delle resistenze delle miscele in funzione dell'entità dell'addensamento che in sito può risultare differente a seconda dei mezzi utilizzati e del numero di passaggi effettuati.

Queste ultime due variabili già prese in considerazione da altri autori in diversi studi [5] sono state rivisitate mettendole in funzione anche del grado di finezza del terreno.

3. PROGRAMMA SPERIMENTALE

L'indagine sperimentale ha riguardato lo studio delle caratteristiche di resistenza di miscele ottenute dalla combinazione di una quantità di calce prefissata con un terreno opportunamente preparato in modo da riprodurre differenti situazioni in opera.

In particolare sulla base delle considerazioni precedenti sono state prese in esame le seguenti tre problematiche:

1. grado di finezza dei grumi;
2. ritardo tra miscelazione e compattazione;
3. diversità nell'energia di compattazione.

Gli effetti di tali variabili sulle prestazioni meccaniche sono stati studiati tramite:

- prove di compressione assiale ad espansione laterale libera;
- prove di trazione indiretta.

La scelta della seconda tipologia di prova discende dal fatto che le terre stabilizzate vengono generalmente impiegate negli strati più profondi della pavimentazione e quindi maggiormente sottoposti a tensioni di trazione.

3.1. Materiali utilizzati

Nella sperimentazione si è utilizzata una terra limo argillosa avente un limite liquido pari a 54 e un limite plastico pari a 26. Da tali valori dei limiti di consistenza deriva un

terreno mediamente plastico, con un indice di plasticità pari a 28, e quindi idoneo al trattamento con calce.

Nella preparazione della miscela si è utilizzata una calce idrata in polvere di origine calcarea e acqua priva d'impurità dannose (acidi) e materie organiche.

3.2. Confezionamento delle miscele e dei provini

Al fine di simulare le diverse capacità disgreganti delle frese che operano in cantiere, si è proceduto alla suddivisione del terreno di origine, composto da parti di varie dimensioni, in differenti classi di "disaggregazione".

In pratica mediante vagliatura si sono separati campioni di terreno formati ciascuno da grumi contenuti tutti all' interno di un intervallo dimensionale ben preciso. In particolare si sono ottenute quattro classi di disaggregazione così suddivise in funzione della dimensione d dei grumi:

I classe : $0.00 \text{ mm} < d < 2.00 \text{ mm}$;

II classe : $2.00 \text{ mm} < d < 6.35 \text{ mm}$;

III classe : $6.35 \text{ mm} < d < 12.70 \text{ mm}$;

IV classe : $12.70 \text{ mm} < d < 19.05 \text{ mm}$.

In figura 3 sono stati fotografati campioni del terreno suddivisi nelle 4 classi.

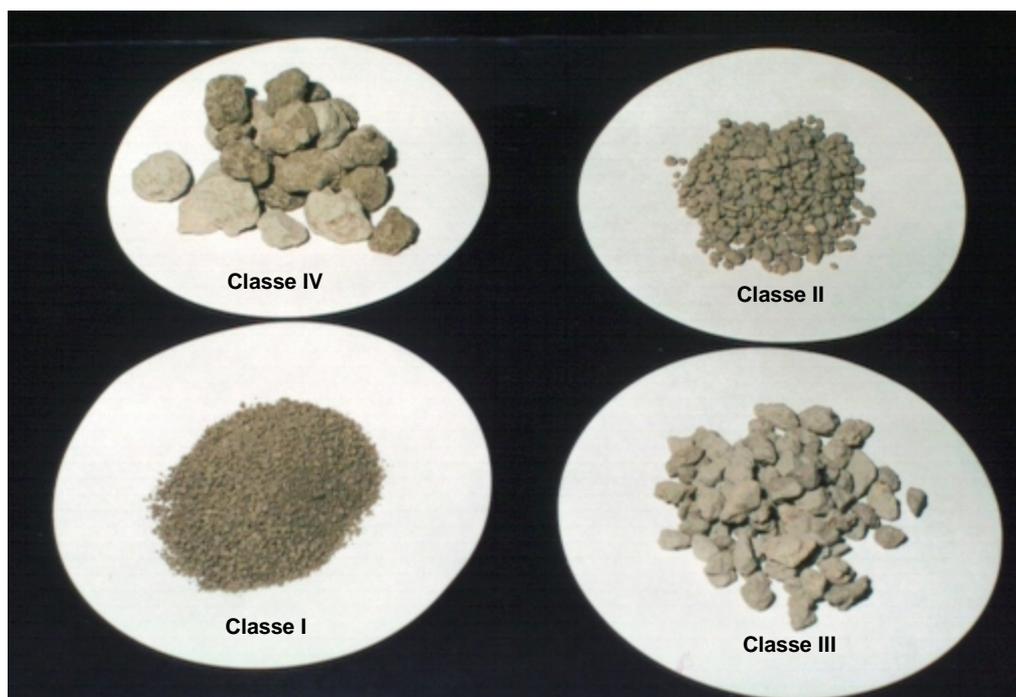


Figura 3 – Classi di disaggregazione del terreno preparato in laboratorio

Le miscele terra-calce-acqua sono state preparate seguendo questo schema:

- umidificazione della terra con l'aggiunta di acqua nella dovuta percentuale;
- aggiunta della calce e successiva miscelazione;
- compattazione.

Tutte le fasi sono state eseguite con la massima cura e stessa metodologia al fine di ottenere risultati il più possibile rispondenti alla situazione reale in sito e comunque un corretto confronto dei valori stessi.

In particolare per ottenere valori prefissati di umidità, si è aggiunta l'acqua necessaria in maniera uniforme, per mezzo di un nebulizzatore, sul campione di terreno, di assegnata pezzatura, contenuto in un sacco ermetico. Il campione è stato poi lasciato chiuso nel contenitore per un tempo sufficiente ad umidificare in modo omogeneo il terreno; dopo vari tentativi si è potuto constatare che risultava necessaria una settimana di tempo per garantire l'umidificazione in profondità anche dei grumi più grandi.

La quantità d'acqua da aggiungere è stata calcolata come differenza tra l'umidità finale di progetto e l'umidità iniziale del terreno preventivamente asciugato all'aria fino a raggiungere un contenuto d'acqua compreso fra il 7.5 e 8.5%.

Sono state scelti 4 differenti tenori d'acqua in modo da indagare gli effetti della stabilizzazione in un intorno ampio dell'umidità ottima di costipamento.

Si è poi proceduto alla miscelazione della calce, in quantità del 6%, senza l'utilizzo di alcuna impastatrice ma operando "manualmente". Ciò ha consentito di mantenere invariata la pezzatura originaria come è possibile osservare dalla figura 4 in cui è rappresentata la terra di classe IV cosparsa uniformemente di calce sulla superficie.



Figura 4 – Terra di classe IV miscelata con calce

E' possibile osservare da quest'ultima immagine che tale tecnica manuale di laboratorio riproduce le stesse condizioni del terreno in sito dopo pochi passaggi del miscelatore (pulvimixer) vedi figura 1.

Si è volutamente scegliere una percentuale di calce del 6% in quanto è risultata la quantità massima di legante utilizzabile per evidenziare gli effetti della stabilizzazione compatibilmente con l'esigenza di evitare delle perdite nella fase di miscelazione.

Subito dopo quest'ultima fase il terreno trattato è stato compattato secondo il procedimento AASHTO modificato utilizzando fustelle di diametro pari a 4 pollici. Dalla figura 5 si evince come i provini confezionati con grumi di prefissate dimensioni (classe IV), anche dopo la compattazione, mantengono una struttura interna che rispecchia fedelmente la "composizione" iniziale. Quanto detto è constatabile anche esternamente come indicato nelle figure 6, 7 e 8 in cui sono riportate le immagini di provini integri confezionati con calce e impiegando diverse classi di finezza dei grumi.

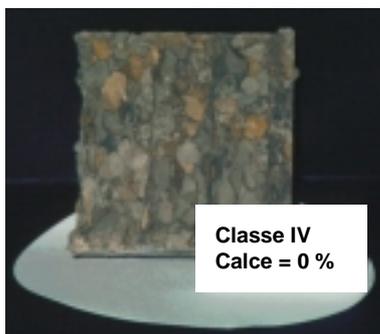


Figura 5 – Sezione di un provino

Successivamente i provini sono stati lasciati a maturare a temperatura costante (20°C) per 28 giorni in buste sigillate al fine di evitare il fenomeno della carbonatazione.

L'influenza del ritardo fra la fase di miscelazione e compattazione è stata studiata, per ognuna delle 4 classi di disaggregazione, prendendo in considerazione 4 tempi: nullo, 1 giorno, 3 giorni e 7 giorni. Per questa indagine il confezionamento è stato eseguito relativamente ad una w_{opt} media relativa a tutte le classi di disaggregazione risultata pari a circa $w = 15\%$.

Per lo studio degli effetti dell'energia di costipamento si sono considerate quattro diverse energie di compattazione ottenute con differenti numero di colpi per strato: 15, 20, 25 e 30. Anche in questo caso è stata adottata l'umidità ottima media relativa a tutte le classi di disaggregazione.

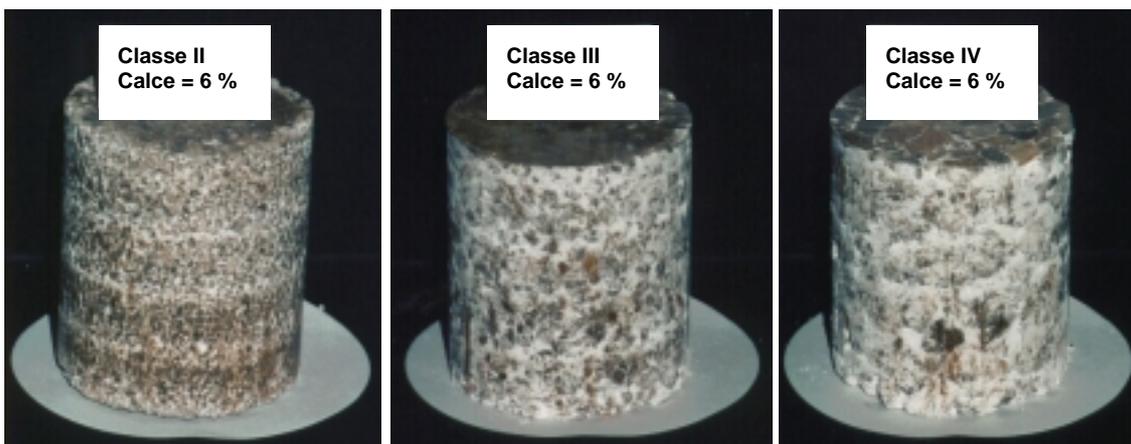


Figura 6 – Provino confezionato con terreno di classe II

Figura 7 – Provino confezionato con terreno di classe III

Figura 8 – Provino confezionato con terreno di classe IV

3.3. Esecuzione delle prove di resistenza

La *prova di compressione ad espansione laterale libera* è stata effettuata seguendo le indicazioni della normativa A.S.T.M. D5102-90 appositamente prevista per le miscele compattate di terra-calce [6].

La prova consiste nel misurare lo sforzo di contrasto offerto dai provini cilindrici sollecitati assialmente dall'avanzamento di un piatto a velocità controllata. In particolare si è imposta una velocità di avanzamento pari a 1/20 di pollice al minuto (1.25 mm/min) e cioè una deformazione assiale pari a circa 1%/min rientrante nell'intervallo previsto dalla norma (0.5÷2%/min).

Tramite la registrazione del carico di contrasto P e dell'accorciamento dei provini Δl , misurato a mezzo di appositi comparatori, è stato possibile ottenere le curve tensione-deformazione (σ - ϵ) per ogni campione testato tenendo conto semplicemente che:

- la deformazione del provino è data da $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ in cui

Δl è la variazione di altezza

l_0 è l'altezza iniziale

- la sollecitazione va calcolata considerando che l'area della sezione trasversale A , durante la fase di compressione, può variare rispetto a quella iniziale A_0 secondo il tipo di rottura:

rottura fragile (brittle failure)

$$A = A_0$$

rottura a forma cilindrica (cylindrical shape failure)

$$A = \frac{A_0}{\left(1 - \frac{\epsilon}{100}\right)}$$

rottura a forma di barile (barrel shape failure)

$$A = \frac{A_0}{\left(1 - \frac{0.6\epsilon}{100}\right)}$$

Per quanto riguarda la *prova di trazione indiretta*, detta anche Brasiliana, è stata adottata la stessa velocità di deformazione imposta nel test precedente. I valori di sollecitazione sono stati dedotti utilizzando la nota formula:

$$R_t = \frac{2P}{\pi Dh}$$

in cui P è il carico di rottura a compressione diametrale, D e h sono

rispettivamente il diametro e l'altezza del provino.

4. ANALISI E CONFRONTO DEI RISULTATI

Nel seguito sono riportati i risultati separati per le 3 variabili studiate. In particolare i risultati sono stati espressi in funzione del contenuto d'acqua effettivamente presente all'interno dei campioni rilevato subito dopo le prove di resistenza.

4.1. Grado di finezza dei grumi

Nelle figure 9 e 10 sono riportati a confronto i risultati delle prove di compressione ottenuti sui terreni trattati e non, rispettivamente per i materiali di classe I e IV.

I grafici testimoniano con estrema chiarezza quanto il grado di finezza della miscela incida sul risultato finale della stabilizzazione.

In particolare è possibile osservare come i provini confezionati con il terreno più fine (classe I, fig.9) e trattati con calce mostrino una spiccata crescita delle resistenze in accordo alle diffuse esperienze riportate in letteratura.

Il singolare risultato riportato in figura 10 dimostra invece, con molta più evidenza di quanto ci si poteva attendere, che i terreni grossolani (classe IV) trattati con calce possono produrre effetti nulli se non negativi.

Già questi pochi risultati confermano i dubbi posti sull'efficacia del metodo di trattare con calce terreni che non siano stati preliminarmente preparati in modo adeguato.

Tali effetti contrastanti riscontrabili per le due classi di terreno nelle resistenze a compressione sono confermati dal caratteristico meccanismo di rottura a cui sono stati soggetti i provini durante le prove.

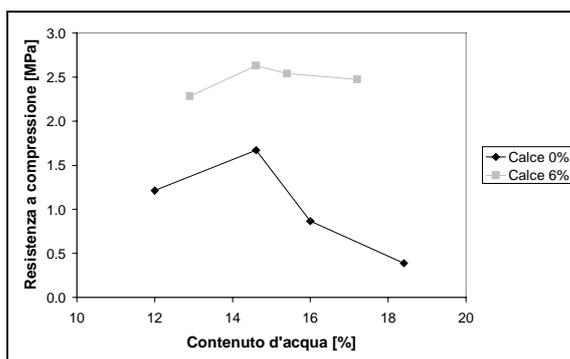


Figura 9 – Resistenza a compressione in funzione del contenuto d'acqua per provini confezionati con terreno di classe I

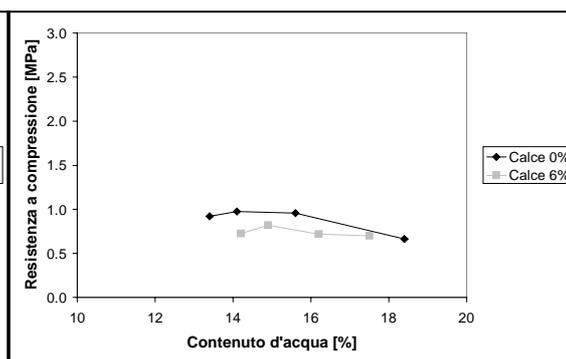


Figura 10 – Resistenza a compressione in funzione del contenuto d'acqua per provini confezionati con terreno di classe IV

In figura 11 è riportata l'immagine di un provino stabilizzato con calce confezionato con il terreno di classe I dopo che è stato sottoposto alla prova di compressione. Esso mostra l'aspetto tipico di rottura fragile, con linee di frattura a 45°; inoltre la miscela risulta compatta e coesa di colore uniforme.

Mentre in figura 12 è possibile constatare come il provino preparato con il terreno di classe IV e trattato con calce si sia completamente disgregato, tornando quasi alla sua iniziale composizione in grumi di origine.



Figura 11 – Rottura a compressione di un provino confezionato con il terreno di classe I stabilizzato con il 6% di calce



Figura 12 – Rottura a compressione di un provino confezionato con il terreno di classe IV stabilizzato con il 6% di calce

Questa diversità di comportamento è confermata inoltre anche dall'andamento delle curve sforzo-deformazione che per i provini di classe I sono risultate più pendenti rispetto a quelle delle miscele confezionate con classe IV.

Il confronto prestazionale finora presentato risulta particolarmente evidente in quanto sono state poste in relazione le miscele confezionate con le due classi granulometriche estreme del terreno di origine. Ovviamente i risultati dell'indagine relativi alle altre due classi di disaggregazione hanno fornito valori intermedi a quelli precedenti come è possibile constatare dalla figura 13.

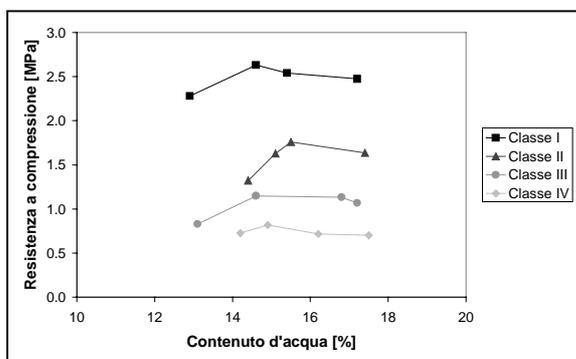


Figura 13 – Resistenza a compressione dei terreni stabilizzati con il 6 % di calce

Analoghi risultati sono stati ottenuti per le prove di trazione indiretta. In figura 14 e 15 sono riportati i valori di resistenza ottenuti con e senza calce rispettivamente per la I e IV classe di terreno. In figura 16 sono visibili globalmente le riduzioni degli effetti positivi della stabilizzazione all'aumentare delle dimensioni dei grumi presenti nella miscela.

In definitiva i risultati confermano che una maggior polverizzazione del terreno e quindi una più uniforme dispersione della calce all'interno della miscela favorisce l'aumento delle prestazioni meccaniche dovuto alla stabilizzazione. D'altronde è lecito supporre che le reazioni possano svilupparsi in tutto il materiale trattato solo se esiste un intimo contatto fra i due elementi reagenti.

Nella figura 17 sono riportati le variazioni percentuali delle resistenze massime (compressione e trazione), a seguito dell'aggiunta di calce, in funzione del diametro medio dei grumi per le 4 classi di terreno.

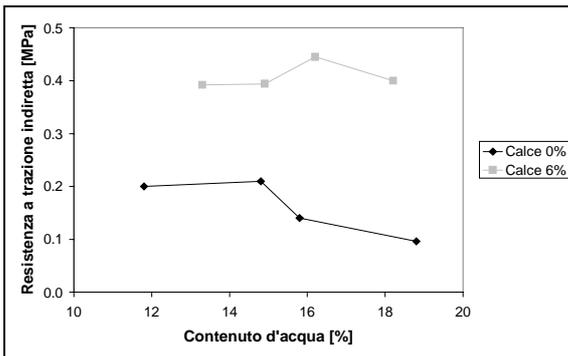


Figura 14 – Resistenza a trazione indiretta in funzione del contenuto d'acqua per provini confezionati con terreno di classe I

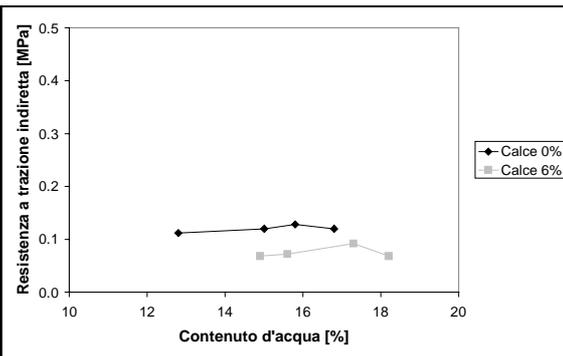


Figura 15 – Resistenza a trazione indiretta in funzione del contenuto d'acqua per provini confezionati con terreno di classe IV

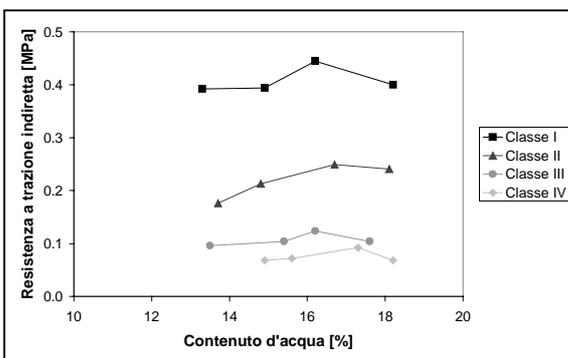


Figura 16 – Resistenza a trazione indiretta dei terreni stabilizzati con il 6 % di calce

L'esame del grafico mostra che la miscelazione con il legante comporta effetti positivi sul comportamento meccanico che vanno riducendosi all'aumentare della dimensione dei grumi fino a divenire marcatamente negativi per i terreni di classe IV. In particolare tali andamenti risultano esaltati in termini di resistenza a trazione, caratteristica meccanica quest'ultima rilevante per gli strati inferiori della pavimentazione nei quali la miscelazione con calce è usualmente impiegata.

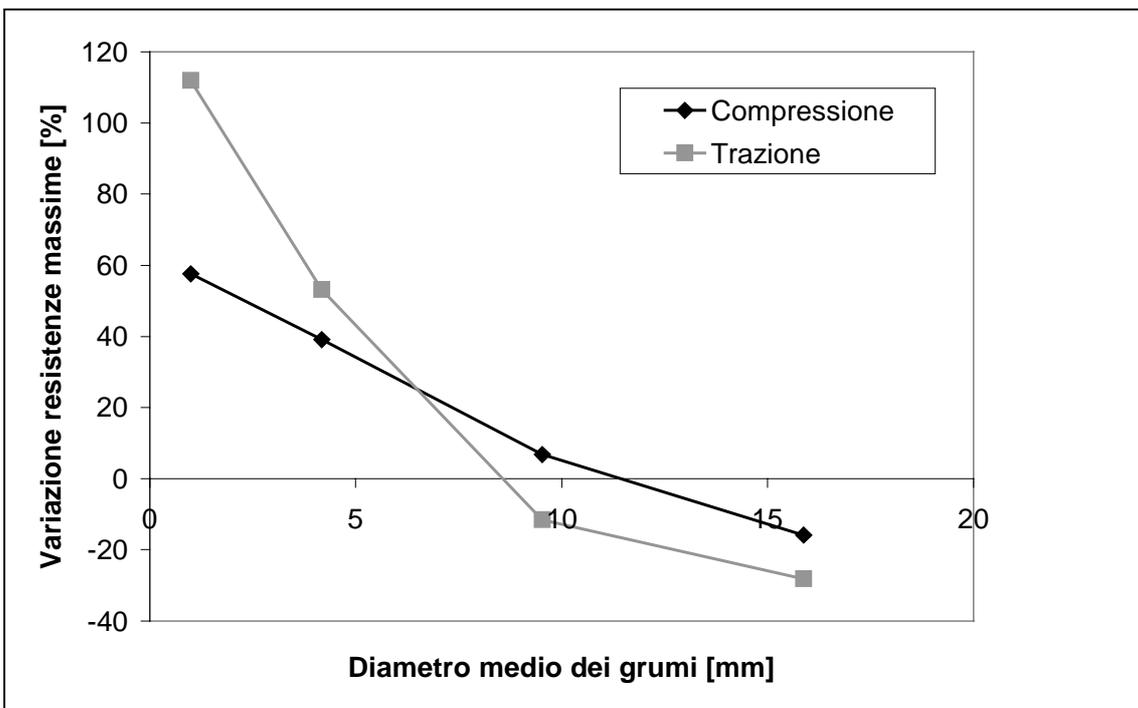


Figura 17 – Variazioni percentuali delle resistenze massime conseguenti all'aggiunta del 6% di calce in funzione del diametro medio dei grumi

Sulla base di tali risultati appare chiaro che uno studio di laboratorio di un trattamento a calce, effettuato comunemente con miscelatori meccanici che sminuzzano finemente il terreno (tipo classe I), può fornire indicazioni sulla riuscita della stabilizzazione non riproducibili in sito.

In tal modo diventa fondamentale inserire nei capitolati d'esecuzione delle opere, insieme alle indicazioni relative alle percentuali del legante da impiegare, anche il grado di lavorazione della miscela che, secondo questo studio, deve assicurare un elevato grado di sminuzzamento del terreno con dimensioni dei grumi assolutamente inferiori a 1 cm. Infatti al di sopra di tali dimensioni la somministrazione della calce non produce una miscela compatta più resistente ma può facilitare la separazione dei grumi di partenza, a guisa di lubrificante, comportando una riduzione delle prestazioni meccaniche.

4.2. Ritardo tra miscelazione e compattazione

In figura 18 e 19 sono riportati i risultati relativi allo studio dell'influenza del tempo di ritardo fra miscelazione e compattazione rispettivamente sulle resistenze a compressione e trazione.

Da una disamina appare subito evidente come questa variabile comporta generalmente una riduzione delle prestazioni meccaniche di tipo non lineare. In effetti è visibile una notevole caduta delle resistenze già con 1 giorno di ritardo fra le due fasi lavorative, riduzione che va attenuandosi nei giorni successivi.

Un'altra considerazione che si evince dai grafici è che per le prime due classi il processo di decrescita sembra non estinguersi dopo 7 giorni al contrario di quanto accade per le ultime due classi (III e IV). In particolare il terreno di classe IV, data la sua inefficacia alla stabilizzazione con calce, assume un valore circa costante mostrando coerentemente una non influenza di tale variabile.

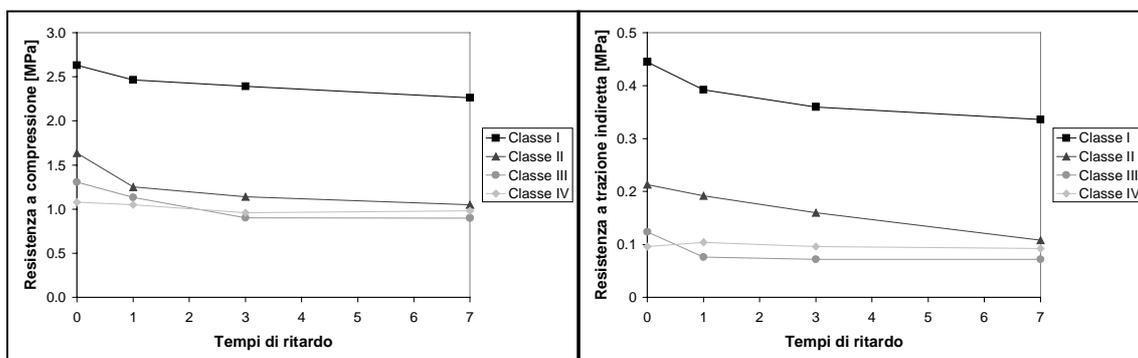


Figura 18 – Andamento delle resistenze a compressione dei terreni trattati con il 6% di calce in funzione del tempo di ritardo fra miscelazione e compattazione

Figura 19 – Andamento delle resistenze a trazione indiretta dei terreni trattati con il 6% di calce in funzione del tempo di ritardo fra miscelazione e compattazione

Quanto detto consente di esprimere che la variabile “ritardo” produce effetti soprattutto in quei terreni più predisposti alla stabilizzazione con calce cioè quei terreni finemente sminuzzati che possono reagire maggiormente con la calce. Inoltre quest’ultimi avendo maggior quantità di materiale reagente richiedono più tempo per stabilizzarsi e quindi coerentemente risentono per tempi più estesi di un ritardo fra miscelazione e compattazione.

Ovviamente terreni più grossolani, reagendo poco con il legante, subiscono riduzioni minori e concentrate solo nei primi giorni.

4.3. Diversità nell'energia di compattazione

Nelle figure 20 e 21 vengono rappresentati gli andamenti delle resistenze, rispettivamente di compressione e trazione, in funzione del numero di colpi assestati al materiale miscelato con calce.

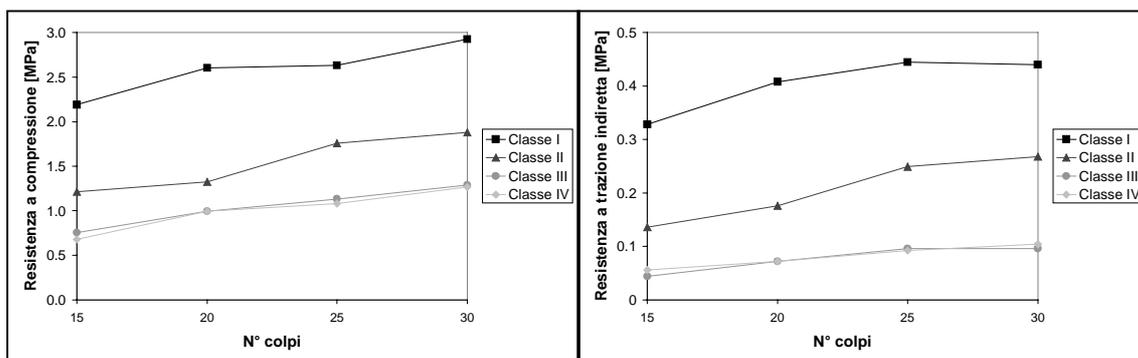


Figura 20 – Andamento delle resistenze a compressione dei terreni trattati con il 6% di calce in funzione del numero di colpi

Figura 21 – Andamento delle resistenze a trazione indiretta dei terreni trattati con il 6% di calce in funzione del numero di colpi

L'effetto di un maggiore addensamento, comprensibilmente come per ogni altro materiale, migliora le caratteristiche meccaniche del terreno trattato. In questa indagine però si voleva evidenziare se una maggior compattazione influenzasse in modo differente le reazioni di stabilizzazioni a seconda del grado di dispersione della calce all'interno del terreno.

Da un primo esame le tendenze di aumento riscontrate per le 4 classi di disaggregazione, non ben definite anche a causa dell'eterogeneità dei campioni, sembrano apparire analoghe. In pratica il costipamento incide circa della stessa quantità in valore assoluto sulle prestazioni meccaniche delle miscele.

Ovviamente il confronto relativo fra la miscela costipata con l'energia minima (15 colpi) e massima (cioè doppia) comporta variazioni differenziate per le 4 classi: l'incremento risulta crescente passando dalla prima classe (circa 30%) alla quarta classe (circa 80%).

5. CONCLUSIONI

L'indagine sperimentale ha permesso di evidenziare l'importanza delle modalità di esecuzione dei lavori nelle stabilizzazioni delle terre con calce.

Per mezzo di prove di laboratorio si è messo in luce l'effetto di una variabile fondamentale per la riuscita del trattamento: il grado di polverizzazione del terreno. In effetti i valori delle resistenze a compressione a trazione su terreni miscelati con calce sono risultati fortemente influenzati da tale variabile in modo da fornire giudizi perfino contrastanti sull'esito di tale tecnica.

Si è potuto appurare che un risultato soddisfacente della stabilizzazione con calce può avvenire soltanto se la preparazione iniziale del terreno e la successiva miscelazione consente l'ottenimento di un impasto omogeneo con dimensione dei grumi possibilmente inferiore a 1 cm. Solamente in tali condizioni la calce ha la capacità di reagire in modo diffuso con i minerali argillosi producendo i noti composti (silico-

alluminati idrati di calcio e magnesio) che sono alla base dell'indurimento a lungo termine di tali miscele. In caso contrario buona parte della calce resta inattiva e confinata all'esterno dei grossi grumi determinando un deterioramento delle prestazioni meccaniche dell'insieme.

Ciò comporta che il rispetto di prescrizioni inerenti al grado di polverizzazione del terreno, da inserire obbligatoriamente nei capitolati, ha importanza analoga a quella di altre disposizioni (% calce da impiegare, ecc.).

Inoltre l'indagine ha permesso di quantificare le riduzioni delle resistenze, con riferimento ai diversi gradi di sminuzzamento del terreno, conseguenti ad un eventuale ritardo fra le fasi realizzative di miscelazione e compattazione. Coerentemente a quanto sopra, tale variabile ha giocato un ruolo più intenso e prolungato nel tempo per le miscele più fini in quanto più predisposte a reagire con la calce.

Ulteriormente si è potuto constatare l'influenza del grado di costipamento sul risultato finale della stabilizzazione.

In definitiva dall'esame globale dei vari fattori analizzati è possibile ritenere di primaria importanza nell'esecuzione delle miscele terra-calce l'ottenimento del massimo grado di polverizzazione e miscelazione del terreno con la calce al fine di evitare esigui effetti positivi se non impreviste e sgradevoli conseguenze.

BIBLIOGRAFIA

- [1] TRB Committee On Lime And Lime-Fly Ash Stabilization, "Lime Stabilization", Transportation Research Board 1987.
- [2] Festa B., Perneti M., D'Apuzzo M., "Impiego delle miscele argilla-calce nelle costruzioni stradali", Convegno SIV I materiali nella sovrastruttura stradale, Ancona ottobre 1996.
- [3] Cerni G., "Deformabilità delle miscele terra-calce in prove cicliche a carico costante", Convegno Nazionale SIV, Pisa ottobre 1997.
- [4] NATIONAL LIME ASSOCIATION, "Lime Stabilization Construction Manual", Bulletin n.326, 1991.
- [5] Tesoriere G., Celauro B., Giuffrè O., "Problemi di esecuzione dei lavori in terra-calce ed indicazioni fornite da studi sperimentali", Le Strade n. 1184, maggio-giugno 1979.
- [6] ASTM, "Methods for Unconfined Compressive Strength of Compacted Soil-Lime Mixtures", ASTM D5102-90.