

SPECIFICA TECNICA

TRATTAMENTO DELLE TERRE CON CALCE

Parte Titolo

PARTE I

- I.1 **Generalità**
- I.2 **Scopo**
- I.3 **Definizioni**
- I.4 **Campo di applicazione**
- I.5 **Documentazione e normativa di riferimento**

PARTE II

- II.1 **Materiali**
- II.2 **Studio preliminare**
- II.3 **Modalità di esecuzione e prescrizioni**

PARTE III

- III.1 **Controllo qualità**
- III.2 **Sicurezza**

PARTE IV

- IV.1 **Appendice A**

Rev. DataDescrizione

Verifica Tecnica Autorizzazione

A

9/6/1999

Emissione per applicazione

NORMA INTERNA

Codifica: (DI DT MO IFS 001 A)

FOGLIO
2 di n.19

INDICE

PARTE I

I.1 Generalità	pag. 3
I.2 Scopo	pag. 3
I.3 Definizioni	pag. 3
I.4 Campo di applicazione	pag. 3
I.5 Documentazione e normativa di riferimento	pag. 4

PARTE II

II.1 Materiali	pag. 5
II.1.1 Terre	pag. 5
II.1.2 Calce	pag. 5
II.1.2.1 Tipi di calce	pag. 5
II.1.2.2 Caratteristiche chimiche	pag. 6
II.1.2.3 Caratteristiche granulometriche	pag. 6
II.1.3 Acqua	pag. 6
II.2 Studio preliminare	pag. 7
II.2.1 Identificazione del terreno	pag. 7
II.2.2 Studio delle miscele sperimentali	pag. 8
II.2.3 Realizzazione del campo prova	pag. 8
II.2.4 Scelta della miscela da utilizzare	pag. 9
II.3 Modalità di esecuzione e prescrizioni	pag. 10
II.3.1 Approvvigionamento e stoccaggio della calce	pag. 10
II.3.2 Fasi esecutive	pag. 10
II.3.2.1 Scotico del terreno	pag. 10
II.3.2.2 Preparazione del terreno	pag. 10
II.3.2.3 Spandimento della calce	pag. 11
II.3.2.3.1 Spandimento di calce sfusa	pag. 11
II.3.2.3.2 Spandimento di calce in sacchi	pag. 11
II.3.2.4 Miscelazione della terra con terreno	pag. 12
II.3.2.5 Compattazione e finitura	pag. 12

PARTE III

III.1 Controllo qualità	pag. 14
III.1.1 Controlli in corso d'opera sui materiali	pag. 14
III.1.1.1 Calce	pag. 14
III.1.1.2 Terre e miscele	pag. 14
III.1.1.3 Umidità di terreno	pag. 14
III.1.1.4 Fasi operative	pag. 14
III.1.2 Controlli sul prodotto finale	pag. 15
III.2 Sicurezza	pag. 15

PARTE IV

IV.1 Appendice A	pag. 16
------------------	---------

PARTE I

I.1 GENERALITA'

La terra trattata a calce è una miscela composta da terra, calce viva o idrata ed acqua, in quantità tali da modificare le caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche della terra, onde ottenere una miscela idonea per la formazione di strati che, dopo il costipamento, risultino di adeguata resistenza meccanica nonché stabili all'azione dell'acqua e del gelo.

I.2 Scopo

La presente specifica riguarda il trattamento di terre naturali con calce finalizzato al miglioramento e/o alla stabilizzazione della terra stessa; definisce le caratteristiche dei componenti e della miscela, le metodologie di posa in opera, i requisiti del prodotto finale, le modalità e le frequenze dei controlli.

I.3 Definizioni

Nella presente specifica si applicano le seguenti definizioni.

Miglioramento del terreno con calce

L'aggiunta di calce ad una terra comporta il miglioramento immediato delle caratteristiche geotecniche della terra stessa, quali la riduzione del contenuto d'acqua, l'incremento della capacità portante e la riduzione della plasticità.

Stabilizzazione del terreno con calce

Si intende per stabilizzazione di una terra, una miscela di terra e calce tale da avere un miglioramento significativo, in genere a medio e/o a lungo termine, delle proprietà fisico-meccaniche della miscela risultante che la rendano stabile alle azioni dell'acqua e del gelo.

I.4 Campo di applicazione

La presente specifica tecnica è applicabile al trattamento dei terreni limosi e/o argillosi a mezzo di calce. Essa è valida solo se completata da elaborati progettuali che definiscono, per ogni singolo progetto i campi di applicabilità. Gli elaborati progettuali, che costituiscono parte integrante della specifica stessa, redatti sulla base delle indicazioni riportate nell'Appendice A, devono essere approvati dal Committente.

I.5 Documentazione e normativa di riferimento.

Le norme di riferimento, oltre a quelle previste nei manuali e nei capitolati, nell'edizione più aggiornata:

- CNR-UNI 10006 - Costruzione e manutenzione delle strade - Tecnica d'impiego delle terre.
- CNR-UNI 10008 - Prove su materiali stradali: Umidità una terra.
- CNR-UNI 10009 - Prove su materiali stradali: Indice CBR.
- CNR- Bollettino Ufficiale (Norme Tecniche) - A. VII - n°36. Stabilizzazione delle terre con calce.
- C.N.R.-Bollettino ufficiale - n°69 - Prova di costipamento di una terra.
- R.D. n. 2231/1939 "Norme sull'accettazione delle calci".
- R.D. 16.11.1939 "Norme per l'accettazione e collaudo dei materiali da costruzione".
- AASHTO T 99 Standard Laboratory Method of Test for the Compaction and Density of soil
- UNI 8520 Parte 11 - Determinazione del contenuto in Solfati
- UNI 8520 Parte 12 - Determinazione del contenuto di cloruri solubili in acqua
- NFP 94 - 055 Détermination de la teneur pondérale en matière organique
- NF P 94 - 078 Indice CBR après immersion . Indice CBR immediate
- CNR Bollettino Ufficiale A. VI n. 22 - Peso specifico apparente di una terra in situ
- CNR Bollettino Ufficiale A. VI n. 25 - Campionatura di terre e terreni
- CNR Bollettino Ufficiale A. V n. 23 - Analisi granulometrica di una terra
- CNR Bollettino Ufficiale A. XXVI n. 146 - Determinazione dei moduli di deformazione Md e M'd mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.
- CNR -UNI 10014 - Determinazione dei limiti di consistenza di una terra
- CNR -UNI 10013 - Peso specifico dei granuli
- AGI - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
- B.U. C.N.R. n.3/58 Emulsioni bituminose per usi stradali
- B.U. C.N.R. n.7/57 Bitumi liquidi per usi stradali
- SNV 670 315 Essais CBR in situ
- SNV 640 503 Stabilisations des sol à la chaux
- UNI EN 459-2/96 Calci da costruzione - metodi di prova
- P.I. Determinazione del contenuto in nitrati
- AASHTO M 261-841 Determinazione del contenuto iniziale di calce

PARTE II

II.1. MATERIALI

II.1.1 Terre

Il trattamento a mezzo di calce è previsto per i terreni limosi e/o argillosi, altrimenti non utilizzabili, che dovranno avere le seguenti caratteristiche:

Granulometria	(vedi fuso granulometrico riportato nella norma CNR B.U. n.36)
Indice di plasticità	> 10
Sostanze organiche	< 2% (*)
Solfati totali (solfati e solfuri)	< 0.25% (**)
Nitrati	< 0.1%
Contenuto d'acqua W _n	≤ 1.3 W _{opt} (standard)

Saranno ammesse granulometrie diverse da quelle interamente comprese nel fuso e un valore minore della plasticità a condizione che si dimostri l'idoneità della terra ad essere trattata, attraverso lo studio delle miscele di laboratorio e un campo prova preventivamente approvato dal Committente. In ogni caso l'indice di plasticità dovrà essere $I_p > 5$.

La terra da stabilizzare dovrà essere libera di vegetazione e di qualsiasi altro materiale estraneo.

Nota:(*) Questo valore può essere superato fino al valore del 4% nel caso di impiego del trattamento per il piano di posa del rilevato, purché sia dimostrato il raggiungimento dei requisiti di resistenza, deformabilità e durabilità richiesti.

Nota:(**) I terreni con contenuto di solfati totali >1% non sono idonei al trattamento a calce; le terre con un contenuto di solfati totali compreso tra 1% e 0.25 % potrebbero, in casi eccezionali essere accettati, e comunque dopo uno specifico studio di laboratorio. Il Committente sulla base dello studio effettuato deciderà l'idoneità o meno della terra.

II.1.2 Calce

II.1.2.1 Tipi di calce

I tipi di calce da impiegare sono:

- calce aerea idrata in polvere sfusa o in sacchi;
- calce aerea viva macinata sfusa o in sacchi.

L'impiego della calce viva macinata, per il suo effetto essiccante, è preferibile nei casi nei quali i valori di umidità sono sensibilmente più elevati del valore ottimo per il costipamento.

La calce idrata e/o viva confezionata in sacchi verrà utilizzata solo eccezionalmente nei cantieri dove l'intervento complessivo del trattamento interessi una superficie inferiore a 2.000 mq o un volume di terra da trattare inferiore a 1000 mc.

Entrambi i tipi dovranno rispondere ai requisiti di accettazione indicati nel R.D. 2231 del 16 novembre 1939 ed inoltre dovranno avere le seguenti caratteristiche.

II.1.2.2 Caratteristiche Chimiche

Requisito	Calce Viva	Calce Idrata
CO ₂	≤ 5%	_____
Titolo in ossidi liberi (CaO+MgO)	≥ 84%	_____
Tenore in MgO	≤ 10%	≤ 8%
Titolo in idrati totali Ca(OH) ₂	_____	> 85%
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +SO ₃	≤ 5%	≤ 5%
Umidità	_____	≤ 2%
Acqua legata chimicamente	≤ 2%	
Reattività all'acqua	> 60° entro 25'	

II.1.2.3 Caratteristiche granulometriche

	Calce Viva	Calce Idrata
Passante al setaccio 2 mm	100%	100%
Passante al setaccio 0.2 mm	≥ 90%	_____
Passante al setaccio 0.075 mm	≥ 50%	≥ 90%

II.1.3 Acqua

L'acqua utilizzata non dovrà contenere apprezzabili quantità di sostanze organiche e/o inorganiche che possano inibire le reazioni chimiche del trattamento (es. acque salmastre, con contenuto di oli, solfati, cloruri, etc).

II.2 STUDIO PRELIMINARE

Scopo dello studio delle miscele è quello di raggiungere il miglioramento prefissato delle caratteristiche del terreno, con il minimo impiego di calce e tale da assicurare nel tempo i requisiti richiesti.

Per verificare la compatibilità del terreno al trattamento a calce dovranno essere prelevati dei campioni da sottoporre a prove di laboratorio.

Sulla base dei risultati ottenuti su questi campioni dovranno essere definite delle fasce di terreno "omogeneo", inteso come terreno che dovrà essere trattato con il medesimo quantitativo di calce.

Nel caso di terreno sia trattato in situ dovranno essere prelevati n. 1 campione ogni volta che si riscontrino caratteristiche differenti e in ogni caso almeno 1 ogni 1000 mq secondo uno schema a maglie e comunque rappresentativo dell'area da trattare.

Qualora il terreno da trattare provenga da una cava di prestito, dovrà essere prelevato un campione per ogni quantitativo di terreno omogeneo e comunque almeno 1 ogni 2000 mc.

Il terreno da prelevare in cava dovrà essere identificato mediante scavi di pozzetti e/o sondaggi di profondità adeguata per individuare l'omogeneità del fronte di scavo.

Prima di dare inizio alle lavorazioni, si dovrà effettuare uno studio di laboratorio per definire la formulazione della miscela attraverso:

- a) l'identificazione del terreno
- b) lo studio delle miscele sperimentali
- c) la realizzazione del campo prova
- d) la scelta della miscela da utilizzare.

II.2.1 Identificazione del terreno

Si procederà alla classificazione geotecnica di laboratorio per la determinazione dei seguenti parametri:

- Composizione granulometrica mediante setacciatura a umido, con la determinazione del diametro massimo, della percentuale del passante ai setacci di maglia 2 mm, 0.4 mm e 0.075 mm.
- Indice di plasticità (Ip).

Sulla base delle prove suddette dovranno essere individuate le superfici e/o i volumi omogenei e rappresentativi dei terreni oggetto dello studio.

Per ogni campione rappresentativo di ciascuna superficie e/o il volume omogeneo dovranno essere determinati:

- Curva granulometrica cumulativa
- Indici di consistenza (Ic) e di plasticità (Ip)
- Contenuto naturale d'acqua (Wn)
- Spettro diffrattografico
- Contenuto in solfati e solfuri
- Contenuto in sostanza organica
- Contenuto in nitrati
- Caratteristiche di costipamento mediante prova di costipamento Proctor Standard, con determinazione di umidità ottima (Wopt).
- Indice CBR

- Indice CBR immediato (IPI).

II.2.2 Studio delle miscele sperimentali

Le prove di laboratorio su un terreno proposto per il trattamento hanno lo scopo di stabilire:

- a) regole che forniscono il dosaggio in calce del trattamento in funzione dell'IPI e del contenuto d'acqua previsto al momento della messa in opera. I risultati dovranno essere forniti sotto forma di diagrammi ed abachi come esemplificato nella fig. 1;
- b) la compatibilità del trattamento in relazione ai requisiti dell'opera prescritti nel par. III.1.

Per quanto si riferisce al punto a), la procedura comprenderà la sperimentazione su più miscele necessarie alla formulazione di diagrammi come quelli di fig. 1, a partire da campioni della frazione granulometrica del materiale ≤ 20 mm, con riferimento ai corrispondenti valori dell'IPI.

Lo studio delle miscele dovrà essere così formulato. Si determinerà il consumo iniziale di calce (di seguito indicato con CIC) ovvero la quantità di calce necessaria per soddisfare le reazioni immediate terra-calce, in relazione alla capacità di scambio cationico dei materiali argillosi.

A partire da una percentuale minima di calce pari al determinato valore del CIC, dovranno essere preparate diverse miscele terra-acqua-calce aumentando dello 0,5 % il contenuto di calce. In ogni caso la percentuale iniziale di calce utilizzata nello studio non dovrà essere $< 2\%$ (riferito al peso del secco del terreno) ed il numero minimo di miscele da esaminare non dovrà essere inferiore a tre.

Per le diverse miscele sperimentali dovranno essere effettuati:

- 1) Analisi granulometrica continua
- 2) Indice di plasticità (Ip) e di consistenza (Ic)
- 3) Indice CBR imbibito (a 7 e 28 giorni)
- 4) Indice IPI. Si ricercherà la minima percentuale di calce che consenta di ottenere un IPI > 10
- 5) Prova Proctor Standard
- 6) Prova di compressione semplice (a 24 ore, 7 e 28 giorni)
- 7) Prova di rigonfiamento lineare e volumetrico delle miscele con IPI > 10 . Si dovrà verificare, per ciascun provino, un aumento di volume rispetto al provino appena compattato inferiore al 1%.

II.2.3 Realizzazione del campo prova.

Ultimato lo studio delle miscele sperimentali (par.II.2.2) dovrà essere predisposto un campo prova, secondo quanto riportato nell'Appendice A, per verificare su scala reale i dati ottenuti in laboratorio e per mettere a punto il metodo di compattazione da utilizzare. Per questo scopo, quando è previsto il trattamento a calce delle terre del piano di posa dei rilevati e per le sedi in trincea, per ogni zona omogenea di terreno trattato, dovrà essere realizzato un campo prova di larghezza 4 m e di lunghezza utile 30 m. Quando è previsto il trattamento a calce delle terre da impiegare per la realizzazione degli strati del corpo dei rilevati, per ogni zona omogenea di terreno trattato, dovrà essere realizzato un campo prova di dimensioni utili in sommità 4 m x 50 m (escluse le rampe di accesso degli automezzi nel caso dei rilevati).

Il campo prova dovrà essere realizzato secondo le stesse modalità di esecuzione riportate nel par.II.3. Dovranno essere messi in opera diversi schemi di rullatura, scelti in funzione del terreno da compattare, per verificare ed eventualmente ottimizzare le operazioni di compattazione.

Dovranno essere sperimentate almeno 2 miscele tra quelle ritenute idonee dallo studio di laboratorio e che soddisfino la stabilità globale dell'opera. Il terreno da utilizzare per il campo prova dovrà

rispondere ai requisiti di cui al punto II.2.1 e i risultati, opportunamente certificati, dovranno essere riportati in un'apposita relazione da consegnare al Committente. Qualora le terre trattate a calce dovessero essere utilizzate per la realizzazione del corpo dei rilevati, il campo prova dovrà essere costituito da almeno 3 strati di terreno trattato, aventi ciascuno uno spessore di 30 cm dopo la compattazione.

Inoltre per la realizzazione del campo prova, sia per il piano di posa sia per gli strati del corpo del rilevato dovranno essere effettuate le operazioni che seguono.

- Dovrà essere tarata la spanditrice di calce come riportato al punto II.3.2.3 per il controllo del dosaggio.
- Prima della stesa della calce dovrà essere controllato il contenuto d'acqua e confrontato con quello utilizzato nello studio delle miscele.
- Dopo la miscelazione dovrà essere di nuovo controllato il valore del contenuto d'acqua.
- La miscela dovrà essere poi compattata secondo schemi di rullatura prefissati.
- Il prodotto finale dovrà essere controllato mediante la determinazione del modulo di deformazione, con piastra da 30 cm, ed il suo andamento nel tempo. Le misure dovranno essere effettuate per ogni strato almeno al tempo 0 (cioè subito dopo la compattazione), a 24h, a 3gg, a 7gg su almeno 5 punti appartenenti ad una porzione di rilevato omogenea sia per la miscela che per le modalità di compattazione. Solo sull'ultimo strato verranno effettuate le misure anche a 30 gg dalla compattazione.
- Dovranno inoltre essere misurati i valori del CBR in situ, delle densità in situ e del contenuto d'acqua nelle porzioni di terreno in vicinanza dei punti di misura del modulo su piastra.
- Dovrà essere controllato lo spessore dello strato finito.

Il progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall'Appaltatore ed approvato dal Committente.

I risultati ottenuti dovranno confermare quelli dello studio. Qualora i requisiti minimi, previsti al par. III.1.2, non venissero raggiunti, dovranno essere modificati i metodi di compattazione e/o le miscele terra/calce fino ad ottenere i requisiti minimi richiesti; in caso contrario si dovrà scartare il prodotto sperimentato.

II.2.4 Scelta della miscela da utilizzare.

La miscela ottimale da utilizzare scaturirà dai risultati delle analisi effettuate in laboratorio e da quelli ottenuti nel campo prova e, in ogni caso, dovrà essere approvata dal Committente.

II.3 MODALITA' DI ESECUZIONE E PRESCRIZIONI

La tecnica del trattamento a calce delle terre, consiste nello spandimento della calce sulla superficie di terreno da miscelare mediante l'ausilio di mezzi meccanici, nella eventuale aggiunta di acqua fino al raggiungimento del valore ottimale, nella miscelazione, compattazione e finitura degli strati.

Il trattamento a calce del terreno non dovrà essere effettuato in caso di pioggia, di temperature inferiori a 5°C, in presenza di vento forte, che sollevi la calce stesa, e nel caso in cui ci sia presenza di acqua o venute di acqua sul piano dove viene steso il terreno da trattare. Nel caso il terreno sia saturo fino al piano di campagna, prima di procedere al trattamento con calce del piano di posa del rilevato, si dovrà obbligatoriamente provvedere ad abbassare il livello d'acqua e a mantenerlo tale per un tempo, approvato dal Committente, sufficiente a non inficiare l'esito del trattamento.

II.3.1 Approvvigionamento e stoccaggio della calce

La calce dovrà essere consegnata con autobotti dotate di scarico pneumatico e stoccata in appositi sili dotati di filtro per la captazione della polvere all'atto del loro caricamento.

Per la calce sfusa lo stoccaggio dovrà avvenire almeno in 2 sili distinti, ciascuno di capacità corrispondente ad una giornata di lavoro. Il tempo di stoccaggio in cantiere non dovrà superare i 5 giorni.

La calce in sacchi dovrà essere conservata al coperto, al riparo di umidità, pioggia e ristagni d'acqua, su idonee pedane che la separino dal terreno o su superfici asciutte (cls o asfalto).

II.3.2 Fasi esecutive

Il trattamento a calce del terreno prevede le seguenti fasi:

- a) lo scotico;
- b) la preparazione del terreno da trattare;
- c) lo spandimento della calce;
- d) la miscelazione
- e) la compattazione e finitura degli strati.

II.3.2.1 Scotico del terreno

La realizzazione del piano di posa dovrà essere preceduta dall'esecuzione dello scavo, di larghezza pari all'ingombro del rilevato o della sede in trincea, per l'asportazione del primo strato di terreno vegetale e comunque per uno spessore non inferiore a 50 cm.

II.3.2.2 Preparazione del terreno

a) terreno in situ

Consiste nella frantumazione e nello sminuzzamento delle zolle da utilizzare, fino alla riduzione di eventuali grumi di terreno limo-argillosi tali che il 100% passi attraverso un setaccio da 40 mm.

Qualora il terreno da trattare sia troppo secco, dovrà essere umidificato aggiungendo un'opportuna quantità di acqua. La quantità d'acqua utilizzata dovrà essere controllata da opportuni dispositivi. Affinché l'umidificazione interessi in modo omogeneo tutto lo strato di terreno da trattare, tale operazione dovrà essere effettuata prima di ultimare la frantumazione del terreno.

Al termine di tale operazione dovrà essere misurato, in più siti e a diverse profondità, il contenuto d'acqua del terreno.

b) *terreno in cava*

Qualora la terra venisse miscelata in un sito diverso da quello di realizzazione dell'opera, si dovranno eseguire comunque tutte le operazioni previste nel precedente punto a) del par. II.3.2.2 e dei successivi paragrafi II.3.2.3 e II.3.2.4. . Le terre miscelate dovranno essere trasportate nel luogo dell'impiego immediatamente dopo la miscelazione, in contenitori coperti per evitare eccessivi essiccamenti o per essere protetti da eventuali piogge. La messa in opera del materiale miscelato dovrà avvenire immediatamente dopo la miscelazione e comunque non oltre i 30 minuti successivi. La quantità di terreno da trattare a calce non dovrà essere superiore a quella che potrà essere impiegata nella giornata stessa.

II.3.2.3 Spandimento della calce

Il quantitativo di calce da utilizzare non dovrà essere inferiore a quello ottimale risultante dallo studio delle miscele sperimentali e dei risultati del campo prova, comunque dovrà essere approvato dal Committente.

II.3.2.3.1 Spandimento di calce sfusa

La stesa della calce dovrà essere effettuata mediante uno spanditore a dosaggio volumetrico regolato in funzione della velocità di avanzamento e dotato di un dispositivo ponderale che regoli il dosatore volumetrico con una certa rapidità e precisione. E' preferibile l'utilizzo di spanditori a dosaggio volumetrico che producano un diagramma dello spandimento.

Essi dovranno essere dotati di attrezzature che evitino la dispersione della calce. Pertanto tutti i mezzi utilizzati per la stesa dovranno essere dotati di gonne flessibili a bande.

Lo spandimento della calce dovrà interessare una superficie non superiore a quella che potrà essere utilizzata nella stessa giornata lavorativa.

L'Appaltatore dovrà eseguire, in caso di spandimento di calce sfusa, all'inizio della giornata lavorativa, la taratura delle macchine spanditrici; questa verrà effettuata facendo transitare la macchina sopra una superficie sulla quale sono posati teli (o contenitori) di dimensioni note e pesando la quantità di calce che viene raccolta da ciascun telo (o contenitore) al fine di tarare l'apertura dei dosatori e la velocità di avanzamento della macchina rispetto al dosaggio prescritto per uno spandimento omogeneo in senso longitudinale e trasversale.

II.3.2.3.2 Spandimento di calce in sacchi

La stesa della calce in polvere potrà essere effettuata approvvigionando la calce insaccata e distribuendo in modo idoneo i sacchi sulla superficie da trattare.

La dislocazione dei sacchi sulla superficie da trattare dovrà essere realizzata in modo tale da ottenere una distribuzione unitaria della calce pari a quella del progetto.

La corretta distribuzione dei sacchi dovrà essere calcolata secondo le seguenti formule:

$$X = \gamma_d \times p \times s / 100 \quad [\text{kg/mq}]$$
$$n = \frac{X \cdot L}{P} \quad \left[\frac{\text{numero di sacchi}}{m} \right]$$
$$l = \frac{L}{n} \quad [m]$$

dove:

γ_d = massa volumica del secco del terreno costituente lo strato, al momento della stabilizzazione (kg/m^3);

- p = percentuale di calce da aggiungere nella miscela;
s = spessore dello strato trattato dalla miscelatrice (m);
X = quantità di calce da distribuire su un metro quadrato dello strato di miscela costipata di spessore s;
L = larghezza della striscia da stabilizzare (m);
P = peso della calce contenuta in un sacco (kg);
n = numero di sacchi da distribuire per ogni metro lineare di tracciato di larghezza L da trattare;
l = interasse cui porre i sacchi di calce di peso P.

Successivamente alla loro distribuzione i contenitori di calce dovranno essere tagliati e svuotati formando sul posto tanti mucchi che dovranno essere immediatamente livellati mediante rastrelli a mano o con adatti sistemi meccanizzati che non sollevino polvere e che comunque garantiscano l'omogeneità dello spandimento.

Lo spandimento della calce dovrà interessare la sola superficie lavorata nel giorno stesso.

II.3.2.4 Miscelazione della calce con il terreno

La miscelazione calce-terreno dovrà essere realizzata con una serie di passate del Pulvimixer, fino a quando tutte le zolle siano state ridotte a dimensioni tali per cui la componente limo-argillosa passi interamente al setaccio da 25 mm.

Il miscelatore utilizzato dovrà essere del tipo a rotore e potrà essere semovente o trainato e permettere di lavorare strati di profondità almeno di cm 50.

Le modalità di miscelazione dovranno determinare il numero minimo di passaggi effettuati ad una determinata velocità di avanzamento che permetta di raggiungere una distribuzione uniforme della calce.

La qualità della miscelazione dovrà essere controllata oltre che visivamente, verificando l'omogeneità del colore della miscela e l'assenza di strisce di calce non amalgamata nel terreno, anche mediante la misura dei diametri dei grumi di materiale fino e facendo ricorso ad opportuni indicatori (fenoftaleina).

Le modalità operative indicate e le macchine impiegate comporteranno la creazione di giunti trasversali e longitudinali. I giunti longitudinali ottenuti dalla lavorazione di strisce contigue devono risultare sovrapposti per almeno 15 cm; inoltre nella stessa giornata lavorativa devono essere completati tratti di tracciato per tutta la loro larghezza prevista dal progetto.

Nei giunti di lavoro trasversali, perpendicolari all'asse del tracciato, la miscela già costipata va ripresa in tutte quelle zone nelle quali il contenuto di calce, lo spessore, o il grado di compattazione risultino inadeguati e/o disomogenei.

Le riprese dovranno essere eseguite all'inizio della successiva giornata lavorativa, nello strato indurito, in modo da presentare superficie verticale, per evitare la possibilità che si manifestino successive fessurazioni.

Nel caso di trattamento su più strati i giunti longitudinali e trasversali dovranno essere opportunamente sfalsati ed inoltre è necessario che lo strato superiore venga miscelato con uno spessore tale da garantire un ammorsamento di qualche cm nello strato sottostante.

II.3.2.5 Compattazione e finitura

Le operazioni di compattazione potranno essere iniziate solo quando il contenuto d'acqua della miscela sia compreso in un intervallo tra $W_{opt} \pm 2\%$.

Le caratteristiche geotecniche della miscela terra-calce orientano la scelta dei rulli e ne condizionano le modalità d'impiego. Gli schemi di rullatura utilizzati nella realizzazione dovranno essere quelli determinati sulla base dei risultati del campo prova.

La finitura superficiale degli strati dovrà avvenire con l'impiego di macchine livellatrici e non con l'apporto di nuovo materiale.

Lo strato di terreno, dopo la compattazione, non dovrà avere uno spessore superiore a 30 cm. Per spessori superiori a 30 cm il trattamento del terreno dovrà essere effettuato su più strati.

Una volta ultimate le operazioni di costipamento e finitura, qualora lo strato trattato non venga ricoperto con un ulteriore strato e la superficie, soprattutto nei periodi estivi, risulti esposta in maniera prolungata al sole, sarà opportuno stendere, a protezione dello strato appena ultimato, un velo protettivo di emulsione bituminosa a lenta rottura del tipo EL55 con un dosaggio minimo di 1.5 kg/mq o in alternativa un velo di bitume liquido del tipo BL 350-700 in ragione di 1 kg/mq. Tale strato di protezione dovrà essere rimosso prima di realizzare lo strato successivo.

In ogni caso, a seguito di eventuali interruzioni delle lavorazioni, le modalità di ripresa, (per es. determinazione dello spessore dello strato da rimuovere etc.) dovranno essere sempre autorizzate dal Committente.

PARTE III

III.1 CONTROLLO QUALITÀ

L'Appaltatore dovrà predisporre, prima dell'inizio dei lavori un accurato programma temporale delle attività e il piano delle prove e delle verifiche da eseguire sia in corso lavori sia finali.

I controlli e le prove da effettuare in corso d'opera dovranno essere riportate in un apposito Piano di Controllo Qualità (PCQ), che dovrà essere preventivamente approvato dal Committente.

Il PCQ, corredato dalla documentazione relativa ai controlli e alle prove sotto elencati farà parte del Dossier Qualità dell'opera.

III.1.1 Controlli in corso d'opera sui materiali

III.1.1.1 Calce

La calce dovrà provenire da fornitori qualificati ed approvati dal Committente. Le caratteristiche della calce, riportate al par. II.1.2 precedente, dovranno essere certificate dal produttore ogni 1200 kg di prodotto consegnato.

Inoltre la granulometria, la reattività all'acqua, il contenuto d'acqua, il contenuto in CO₂ combinata e il titolo in idrati totali per la calce idrata, dovranno essere eseguite in cantiere con la frequenza giornaliera.

III.1.1.2 Terre e miscele

Sul terreno da trattare dovrà essere prelevato 1 campione ogni 1.000 mc; per ciascun campione prelevato si dovrà verificare che i valori ottenuti siano congruenti con quelli dello studio e che rispettino i limiti di cui al punto II.1.1.

Sulla miscela dovrà essere effettuata una prova CBR ogni 3000 mq.

I risultati delle prove dovranno essere riportati in una relazione tecnica, che attesti l'idoneità del terreno al trattamento.

La relazione dovrà essere approvata dal Committente e farà parte del Dossier Qualità dell'opera.

III.1.1.3. Umidità del terreno

Per ogni giorno di lavorazione e per ogni tratto omogeneo di terreno da utilizzare l'Appaltatore è tenuto a rilevare, prima della miscelazione con la calce, il contenuto d'acqua del terreno da trattare al momento della posa e della compattazione, in entrambi i casi con una frequenza di 1 misura ogni 1.000 mq di terreno steso. L'Appaltatore è tenuto ad adottare gli eventuali accorgimenti affinché sia verificata la corrispondenza tra la miscela di progetto ed il contenuto d'acqua.

III.1.1.4. Fasi operative

Il controllo della taratura della spanditrice dovrà essere effettuato per ogni variazione di percentuale di calce da utilizzare e ad ogni inizio di lavorazione. Durante la lavorazione dovranno comunque essere effettuate le verifiche sulla qualità e omogeneità dello spandimento della calce almeno ogni 2000 mq di terreno trattato secondo le modalità indicate in precedenza.

Nel caso di utilizzo di spanditrici che producano un diagramma dello spandimento, il controllo dovrà essere effettuato solo durante la fase di taratura della macchina.

Dopo la fase di miscelazione dovrà essere verificato che la componente limo-argillosa passi interamente al setaccio da 25 mm. Il controllo dovrà essere effettuato con una frequenza di 1/2000 mq.

III.1.2 Controlli sul prodotto finale

Ogni 2000 mq di terreno trattato e comunque per ogni tratto di miscela omogenea posata, dovranno essere eseguite i seguenti controlli:

- prova di carico su piastra a doppio ciclo con misura del modulo di deformazione che dovrà essere non inferiore a:

20 Mpa nell'intervallo di carico 0,05 – 0,15 MPa per il piano di posa dei rilevati ferroviari e delle strade di pertinenza FS; e nell'intervallo 0,15 – 0,25 MPa. per gli strati dei rilevati per una fascia di 1 m dal bordo superiore della scarpata;

40 MPa nell'intervallo 0,15 – 0,25 MPa per i rilevati ferroviari e di strade di pertinenza FS nonché per i piani di posa in trincea

15 MPa nell'intervallo di carico 0,05 – 0,15 MPa per le dune, colline artificiali, ritombamenti, sistemazioni ambientali, etc.

da definire con l'Ente gestore per strade destinate a terzi.

- grado di costipamento ottenuto dovrà essere determinato secondo norma CNR - B.U. 69, dovrà risultare non inferiore a:

95% per il piano di posa dei rilevati ferroviari e delle strade di pertinenza FS

98% per i rilevati ferroviari e delle strade di pertinenza FS; per i piani di posa in trincea.

90% per le dune, colline artificiali, ritombamenti, sistemazioni ambientali, etc.

da definire con l'Ente gestore per strade destinate a terzi.

- spessore dello strato finito:

30 cm massimo spessore risultante dopo compattazione

III.2 Sicurezza

L'impiego della calce viva comporta l'adozione di misure di protezione individuale e collettiva prevista dalle norme vigenti.

PARTE IV

APPENDICE A

OPERE IN TERRA REALIZZATE CON TERRE STABILIZZATE A CALCE.

L'utilizzo di terre stabilizzate a calce è consentito:

- a) nella costruzione del corpo dei rilevati ferroviari;
- b) nella costruzione del corpo dei rilevati stradali delle strade di pertinenza FS e delle strade da consegnare ad Enti terzi, qualora l'Ente gestore ne condivida l'utilizzo;
- c) nella realizzazione dello strato di bonifica ovvero per la formazione del piano di posa dei rilevati ferroviari e stradali nonché delle sedi in trincea;
- d) nella realizzazione di opere in terra, quali dune, colline artificiali, ritombamenti, sistemazioni ambientali etc;

con le limitazioni riportate in seguito.

Tutte le opere in terra realizzate con questi materiali dovranno essere protette dalle infiltrazioni di acque meteoriche, di risalita capillare, allagamenti etc. Ciascun materiale dovrà essere posto in opera in quantitativi non inferiori a 10.000 mc e in modo tale da mantenere una omogeneità in senso orizzontale. Non sono ammesse alternanze di strati di materiali diversi.

Bonifica

Il trattamento dello strato di bonifica verrà realizzato solo nei casi nei quali, sulla base di un'analisi geotecnica del problema, se ne dimostri la necessità. Qualora si rendesse necessaria la realizzazione di tale strato è indispensabile definire, sempre mediante un'analisi geotecnica, le dimensioni dell'intervento (spessore e estensione).

Rilevati ferroviari

L'utilizzo di terre stabilizzate a calce per la realizzazione del corpo dei rilevati ferroviari, è consentito fino a 2 m di profondità dal subballast purché interessi tutta l'impronta del rilevato stesso. Non sono ammesse alternanze di strati di questi materiali con quelli di terre A1, A2-4, A2-5, A3 e A4.

Il rilevato ferroviario quindi sarà al massimo costituito da 2 fasce di materiali differenti in senso verticale; in senso orizzontale dovrà invece essere comunque garantita l'omogeneità dei materiali utilizzati.

Questi ultimi dovranno comunque essere confinati tra opere quali tombini, attraversamenti, opere d'arte etc. onde evitare che, al contatto con materiali di caratteristiche differenti, si formino giunti o superfici di discontinuità.

Verifiche di stabilità

Per quanto riguarda le verifiche di stabilità globale di cui al D.M. 11/03/88, i parametri di resistenza al taglio, da utilizzare nelle verifiche, relativi ai materiali che costituiscono le opere in terra, non devono superare i valori risultanti dalle prove di laboratorio eseguite su campioni rappresentativi costipati con l'energia AASHTO standard.

Campo prova

Il campo prova dovrà essere previsto quando, entro un tratto di linea di 5 km, il trattamento delle terre con calce, previsto per il piano di posa dei rilevati e delle sedi di trincea, interesserà una superficie superiore a 1.000 m². Qualora il trattamento a calce sia previsto per la realizzazione degli strati del corpo dei rilevati, il campo prova dovrà essere realizzato quando il trattamento a calce interesserà un volume di terre superiore a 30.000 m³.

Prove e controlli

Le prove per l'identificazione del terreno di cui al paragrafo II.2.1 riguardanti le determinazioni del contenuto in nitrati e le determinazioni con spettro diffrattometrico, saranno richieste solo nei casi in cui il trattamento a calce interesserà terreni superficiali o suoli espansivi.

Le prove riguardanti gli studi preliminari, i controlli in corso d'opera, quelli sul prodotto finale nonché quelli necessari per l'eventuale campo prova, saranno di norma eseguiti dall'Istituto Sperimentale FS ovvero da laboratorio approvato dal Committente.

Le prove su piastra a doppio ciclo di cui al paragrafo III.1.2, consentiranno la determinazione del rapporto Md/M'd tra i moduli di deformazione del primo e secondo ciclo di carico. Il valore di tale rapporto potrà costituire un elemento di giudizio, da parte del Committente, circa la qualità del costipamento ottenuto.

ELABORATI PROGETTUALI

1) PROFILO LONGITUDINALE

Scala: 1:500/1:5000

Contenuto: dovranno essere indicate le fasce di utilizzo del materiale, definite con la progressiva chilometrica di inizio e di fine.

2) SEZIONI TIPO

Scala: 1:50

Contenuto: dovranno essere indicate le quote di riferimento per la definizione della fascia di utilizzo dei materiali nonché indicazione dei materiali stessi.

3) RELAZIONE TECNICA

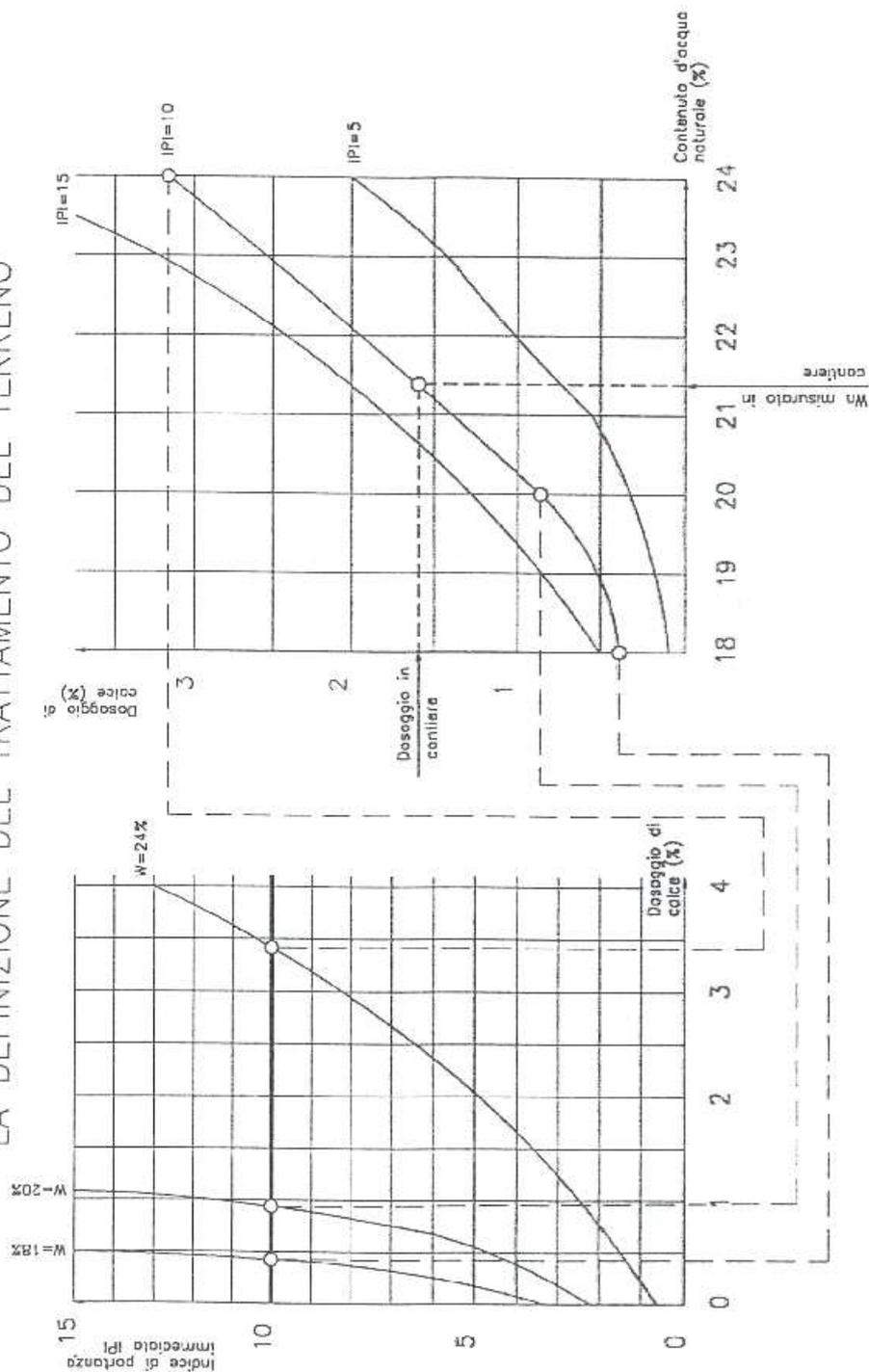
Contenuto: dovranno essere indicati tutti i dati relativi all'approvvigionamento dei materiali; dovranno essere riportate le caratteristiche dei materiali determinate sulla base dei risultati delle prove di laboratorio (i cui certificati saranno allegati alla relazione stessa); inoltre dovranno essere riportate le verifiche di stabilità globale di cui al DM 11/03/88.

4) PIANO DI MONITORAGGIO

Contenuto: verranno riportate le indicazioni necessarie sull'eventuale sistema di monitoraggio, sul tipo e sulla installazione delle strumentazioni per il monitoraggio in corso d'opera e per l'esercizio.

Dovranno essere indicati tutti i dati relativi alle tipologie e frequenze dei controlli, l'architettura del sistema di monitoraggio, il tipo di trasmissione dati, la sua configurazione, ecc. .

Fig.1 ESEMPIO DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DI UNO STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL TRATTAMENTO DEL TERRENO



Variation of the immediate bearing index in function of the lime content, for different values of natural water content

Dosaggio di calce, in funzione del contenuto naturale necessario per ottenere un IPI prefissato