

## SPECIFICA TECNICA CONSOLIDAMENTO DELLE TERRE CON CALCE

LINEE GUIDA PER LA STESURA DI UN CAPITOLATO DI APPALTO PER LA COSTRUZIONE DI  
STRADE, FERROVIE, AEROPORTI E INFRASTRUTTURE PER LA GESTIONE DELLE MERCI

### 1. GENERALITA'

Il trattamento a calce di una terra consiste nella miscelazione intima della stessa con calce ed eventualmente con acqua, in quantità tali da modificare attraverso reazioni chimico-fisiche le sue caratteristiche di lavorabilità e di resistenza meccanica in opera.

La risposta al trattamento dipende essenzialmente dalla quantità e natura dei minerali argillosi e della silice amorfa presenti nel materiale, ciascuno caratterizzato da una propria reattività; dipende altresì dalla quantità di calce aggiunta e dalle modalità di lavorazione della miscela.

L'effetto calce si esplica nei modi seguenti:

aumento della lavorabilità di terre fini plastiche; drastica riduzione dei rigonfiamenti; notevole incremento delle resistenze all'erosione e al gelo-disgelo; eliminazione della possibile contaminazione dello strato trattato da parte di particelle fini limo-argillose presenti nelle terre naturali sottostanti lo stesso; indurimento lento e graduale dovuto allo svolgersi di reazioni pozzolaniche cementanti.

I precedenti aspetti positivi determinano anche: l'incremento della capacità portante della terra sia a breve sia a lungo termine sotto le azioni cicliche veicolari anche in presenza di acqua; l'aumento del modulo elastico della eventuale base granulare sovrastante lo strato stabilizzato; la sostanziale riduzione delle deflessioni in fase di esercizio del piano viabile o rotabile sovrastante sottofondazioni o fondazioni stabilizzate.

### 2. AMBITI DI INTERVENTO

Mediante l'aggiunta di quantità differenziate di calce a una terra e in relazione alla natura e al contenuto idrico di questa, si possono perseguire due scopi complementari:

- la **bonifica**, per facilitare la lavorabilità della terra trattata (riduzione dell'umidità naturale, aumento del limite plastico, aumento dell'indice di portanza immediata IPI (v. par. 5.2.2.2.), possibilità di adeguato costipamento);
- la **stabilizzazione** completa dello strato, per migliorarne le proprietà meccaniche (oltre ai miglioramenti indicati al punto precedente si ha l'avvio di reazioni di indurimento pozzolanico che portano nel tempo a un considerevole aumento della resistenza meccanica del materiale; v. B.U. CNR n. 36).

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA IMPIEGARE

#### 3.1. TERRE

Sono idonee al trattamento con calce le terre fini plastiche limo-argillose dei gruppi A6 e A7 con valori dell'indice plastico normalmente compresi tra 10 e 50, o anche superiori, così come del gruppo A5 quando di origine vulcanica od organogena; anche ghiaie limo-argillose identificabili come A2-6 e A2-7 possono essere convenientemente stabilizzate con calce quando contengano una frazione di passante al setaccio 0.4 UNI non inferiore al 35%.

La curva granulometrica deve rientrare all'interno del fuso riportato nella sottostante figura 1 (B.U. CNR n. 36).

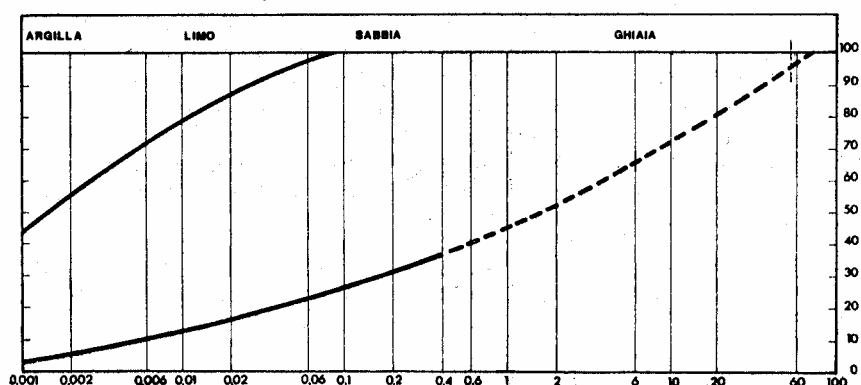


Fig. 1 - Fuso granulometrico delle terre per la stabilizzazione con calce

Il terreno dovrà presentarsi libero da vegetazione e da qualsiasi altro corpo estraneo, nonché da eventuali inclusioni di grossa pezzatura che potrebbero danneggiare la macchina impiegata nel processo di miscelazione.

#### 3.2. ACQUA

L'acqua eventualmente utilizzata per conferire agli impasti terra-calce il tenore di umidità ottima di costipamento e per mantenere questo tenore durante l'eventuale periodo di maturazione degli strati compattati deve essere dolce, limpida, esente da impurità dannose (oli, acidi, alcali, cloruri, solfati, materie organiche) e da qualsiasi altra sostanza nociva alle reazioni terra-calce.

La sua provenienza deve essere definita e controllata prima e durante l'utilizzazione affinché sia verificata nel tempo la rispondenza alla Norma UNI 8981/7 secondo quanto disposto dalla norma UNI 9858.

#### 3.3. CALCE

I requisiti chimici e fisici delle calce utilizzabili nei trattamenti delle terre sono quelli indicati nella sottostante tabella I, ove i valori percentuali specificati si intendono in peso.

**Tabella I**

<b>REQUISITO</b>	<b>CALCE VIVA</b>	<b>CALCE IDRATA</b>
CO <sub>2</sub>	≤ 5 %	-
(CaO+MgO) TOTALI	≥ 84 %	-
TITOLO IN IDRATI	-	≥ 85 %
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SO <sub>3</sub>	≤ 5 %	≤ 5 %
PEZZATURA	≤ 2 mm	-
PASSANTE AL SETACCIO CON LUCE NETTA DA:	200 μm ≥ 90 %	90 μm ≥ 85 %

I requisiti saranno verificati con metodi chimici e fisici di analisi e controllo conformi a norme ufficiali italiane o di Paesi della Comunità Europea, specificati poi nei bollettini di laboratorio.

#### **4.MACCHINARI**

La scarificazione, la polverizzazione e la miscelazione della terra con la calce e l'acqua dovranno essere fatte con idonei macchinari atti a lavorare uniformemente il materiale (es. Pulvimixer).

La potenza delle macchine dovrà essere adeguata agli spessori degli strati da trattare e compatibile con la produzione giornaliera prevista.

I motolivellatori dovranno essere semoventi, preferibilmente con ruote gommate lisce e tali da non lasciare impronte marcate sulla superficie lavorata.

Gli spargitori di calce, se usati, dovranno assicurare una precisione di dosaggio secondo quanto ammesso dalla Direzione Lavori.

Le attrezzature costipanti (rulli a piastre, rulli lisci, rulli gommati) dovranno dare garanzie del raggiungimento dei valori di densità in sito stabiliti di seguito al capitolo 7.

I distributori d'acqua dovranno essere forniti di valvole a rapido disinnesto per la sospensione dell'erogazione e dovranno garantire una distribuzione uniforme e controllabile.

Tutti i macchinari dovranno essere sempre mantenuti efficienti e dovranno essere preventivamente approvati dalla Direzione Lavori; sarà facoltà della stessa richiedere la sostituzione di attrezzature che non siano ritenute idonee.

#### **5.PROGETTO DELLE MISCELE**

##### **5.1.ANALISI PRELIMINARE DELLE TERRE**

Per trattamenti di terre in sito si preleveranno campioni da pozzetti esplorativi ogni 2000 m<sup>2</sup> e comunque con distanze reciproche tra questi non superiori ai 200 m e profondità almeno pari a quella del suolo da trattare; quando si presume che le caratteristiche del suolo siano più variabili di quanto sopra contemplato, la frequenza di campionamento sarà opportunamente incrementata.

La Direzione Lavori, anche in relazione ai risultati di prova che si otterranno dalle indagini seguenti, potrà richiedere ulteriori campionamenti del suolo e relativi esami.

#### **5.1.1. Classificazione della terra**

Determinazione della curva granulometrica per setacciatura, ed eventualmente per sedimentazione; la curva granulometrica ottenuta sarà confrontata con quella riportata nella precedente figura 1.

Determinazione dei limiti di consistenza liquido e plastico.

#### **5.1.2. Determinazione del valore di blu di metilene VB.**

Si prescrive un valore **VB** che sia > di 200 centimetri cubi di soluzione (10 g/l) di blu di metilene per 100 grammi della frazione di terra passante al setaccio da 0,25 mm UNI 2332, determinato in conformità alla Norma UNI 8520 parte 15<sup>a</sup> (il valore di blu permette anche di classificare le terre secondo le norme francesi AFNOR NF P 11-300).

#### **5.1.3. Determinazione del contenuto di sostanze organiche**

Si prescrive per la frazione di terra passante al crivello da 20 mm un tenore inferiore al 4% in massa, determinato con metodo titrimetrico al bicromato di potassio secondo norma AFNOR NF 94-055.

#### **5.1.4. Determinazione della capacità stabilizzante della calce**

Definibile anche come consumo iniziale di calce (di seguito indicato con **CIC**), ovvero della quantità di calce necessaria per soddisfare le reazioni immediate terra-calce, in relazione alla capacità di scambio cationico dei minerali d'argilla.

Il valore **CIC**, determinato secondo norma ASTM C977-92, deve essere maggiore dell'1,5% come verifica di idoneità.

Per cantieri di media ed elevata importanza si deve perfezionare l'indagine conoscitiva con gli esami di seguito riportati.

**5.1.5. Determinazione del contenuto di solfati**, la cui reazione con la calce ne determina un consumo supplementare e che potrebbero dare origine a composti espansivi. Si prescrive un contenuto percentuale di SO<sub>3</sub> inferiore al 4% in massa, riferito a tutta la terra, determinato in conformità alla norma UNI 8520 parte 11<sup>a</sup>.

#### **5.1.6. Esame diffrattometrico**

Per accertare la natura dei minerali argillosi con o senza reticoli espandibili.

**5.1.7. Esami di microscopia ottica**, per l'identificazione di eventuali minerali silicei amorfi reattivi con la calce.

## **5.2. STUDIO DELLA MISCELA DI PROGETTO**

5.2.1. Note e accettate dalla Direzione Lavori le caratteristiche delle terre si procede allo studio della miscela o delle miscele di progetto, le quali dovranno essere poi approvate dalla Direzione Lavori che potrà richiedere indagini supplementari rispetto a quelle di seguito descritte.

Si considerano i due casi rispettivamente della **bonifica** in sito delle terre, per la costituzione dei piani di posa e dei rilevati, e della **stabilizzazione** completa delle terre, per la realizzazione di sottofondazioni, fondazioni e basi con miscelazione o in sito o in centrale di confezionamento.

#### 5.2.2. **BONIFICA DELLE TERRE**

Per la bonifica dei terreni in sito o provenienti da **scavo-riporto**, o da cave di **prestito** impiegati per **rilevati** di altezza superiore al metro, si prescrive:

5.2.2.1. **Determinazione del contenuto di acqua naturale  $W_n$**  dei terreni da trattare.

5.2.2.2. **Definizione della curva Proctor Standard AASHTO T 99, Metodo D, della terra naturale e determinazione dell'indice di portanza immediata IPI** alle diverse umidità, per valutare la capacità portante del terreno non saturo in prossimità delle condizioni di umidità naturale (l'indice di portanza immediato IPI di un suolo esprime il valore dell'indice di portanza CBR misurato **senza sovraccarico** né imbibizione in acqua su un provino di terra compattata con energia Proctor standard; v. anche NF P 94-078).

5.2.2.3. **Determinazione dell'IPI** per almeno tre diverse miscele terra-acqua-calce, partendo dal CIC+0,5% in su, compattate conformemente all'AASHTO T 99, Metodo D, e con umidità pari all'ottimo oppure pari al valore  $W_n$  previsto al momento delle lavorazioni; si ricerca la minima percentuale di calce che consenta di ottenere su ciascuno di tre provini il valore IPI > 10.

5.2.2.4. **Determinazione del grado di rigonfiamento unitario di volume  $R_v$**  su provini con maturazione accelerata.

Tre provini per ogni formulazione caratterizzata da IPI > 10, compattati secondo AASHTO T99 metodo A, in stampi con diametro di 102 mm, sono tenuti per 76 ore in ambiente climatizzato a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  e con U.R. > 95% e poi per 7 giorni in acqua a  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ . Il volume finale dei provini, determinato mediante pesata idrostatica, dovrà aumentare non più del 5% rispetto al volume iniziale dopo sformatura

Sono idonee all'impiego le miscele aventi contemporaneamente: IPI > 10 e  $R_v < 5\%$ .

#### 5.2.3. **STABILIZZAZIONE DELLE TERRE**

Le formulazioni da impiegare sia in rilevati di altezza inferiore a un metro, sia in sottofondazioni, fondazioni e basi sono definite come segue:

5.2.3.1.determinazione del grado di rigonfiamento unitario  $R$  e dell'indice CBR, secondo CNR-UNI 10009, per almeno tre diverse miscele terra-calce con diversificati contenuti d'acqua, partendo dal CIC+1% in su, impiegando provini compattati conformemente ad AASHTO Mod T180, Metodo D, preventivamente maturati per 21 giorni a  $20\pm 1^\circ\text{C}$  e U.R.  $> 95\%$  e poi per 7 giorni in acqua a  $20\pm 1^\circ\text{C}$ .

Sono idonee all'impiego le miscele aventi contemporaneamente: CBR  $> 50$  e  $R < 1\%$  nel caso di impiego in rilevati e sottofondazioni e CBR  $> 80$  e  $R < 0,5\%$  nel caso di fondazioni e basi.

5.2.3.2.**Resistenza a compressione  $R_c$  e a trazione  $R_t$** , da eseguire in parallelo alle predette prove CBR.

Partendo dal tenore di acqua di impasto ottimo, dedotto dalle sperimentazioni del precedente punto 5.2.3.1, si confezionano provini in stampi apribili CBR, impiegati per i misti cementati, compattando secondo AASHTO Mod. T180, metodo D; questi saranno poi avvolti in pellicola di polietilene e preventivamente sottoposti a un periodo di maturazione di 28 giorni in ambiente climatizzato alla temperatura di  $20\pm 1^\circ\text{C}$  e con U.R.  $> 95\%$ .

Sono idonee all'impiego le miscele che forniscono i valori seguenti:

- per sottofondazioni e fondazioni:  $R_c > 1,5 \text{ MPa}$ ;  $R_t > 0,15 \text{ MPa}$
- per basi e per le ghiaie limo-argillose:  $R_c > 2,5 \text{ MPa}$ ;  $R_t > 0,25 \text{ MPa}$
- per materiali in opera soggetti a gelo-disgelo:  $R_c$  come sopra indicato;  $R_t > 0,25 \text{ MPa}$ , su provini sottoposti a un tempo di maturazione tecnicamente ed economicamente compatibile con l'avvento del gelo.

## **6.POSA IN OPERA**

Con piogge persistenti o con rischio di gelo per il terreno sarà necessario sospendere le lavorazioni di seguito illustrate.

### **6.1.POSA IN OPERA DI MISCELE LAVORATE IN SITO**

Condizioni essenziali per ottenere un buon risultato sono: un'adeguata polverizzazione della terra, un'intima e omogenea mescolazione della calce e un valore di umidità della miscela prossima a quella ottimale della miscela di progetto.

#### **6.1.1.PREPARAZIONE DEL SUOLO E DETERMINAZIONE DELL'UMIDITA'**

6.1.1.1.La preparazione del suolo comprende l'asportazione dello strato più superficiale, con lo scopo di eliminare la vegetazione e la terra più ricca di humus; può inoltre essere necessario scarificare la terra, al fine di dissodarla e predisporla al trattamento, e togliere gli elementi lapidei di dimensioni eccessive.

6.1.1.2. Si procederà poi alla determinazione dell'umidità naturale della terra da trattare e, a seconda del valore trovato, la si erpicherà e la si arieggerà per favorire l'evaporazione dell'acqua, quando essa sia in forte eccesso rispetto al valore ottimale della miscela di progetto.

#### **6.1.2. APPROVVIGIONAMENTO DELLA CALCE**

La calce può essere approvvigionata sia sfusa sia in sacchi di carta, normalmente in relazione rispettivamente a piccole o a grandi dimensioni dell'opera.

La calce sfusa sarà consegnata con automezzi che ne consentano lo scarico pneumatico.

La quantità di calce disponibile deve essere sufficiente ad assicurare almeno due giorni di piena operatività del cantiere.

Nel caso di approvvigionamento allo stato sfuso, in cantiere la calce sarà stoccata in appositi sili; nel caso dei sacchi questi saranno stoccati al coperto, al riparo da umidità, pioggia e ristagni d'acqua.

#### **6.1.3. DOSAGGIO, SPANDIMENTO DELLA CALCE E RELATIVO CONTROLLO**

In cantiere il dosaggio è riferito al metro quadrato di suolo da trattare; per ottenere il dosaggio in  $\text{kg/m}^2$ , a partire dal dosaggio in percentuale stabilito in laboratorio con riferimento al suolo secco, bisogna conoscere la densità secca in sito del suolo e la profondità dello strato dopo trattamento e costipazione.

Non si spargerà la calce in polvere in giornate di forte vento, capace di sollevarne una parte, in relazione sia alla sicurezza del personale di cantiere sia alla precisione del dosaggio; inoltre si spargerà la calce solo sulla superficie che potrà essere lavorata in giornata, ciò per evitare sia l'asportazione della calce dagli agenti atmosferici sia il fenomeno della parziale carbonatazione.

Nel caso della calce sfusa, il controllo della quantità distribuita è effettuato posizionando un telo quadrato con superficie di  $1,0 \text{ m}^2$  sul terreno prima del passaggio della macchina spargicalce e pesando poi la calce su di esso depositata a passaggio avvenuto (allo scopo risulta utile dotarsi di teli con occhielli ai quattro vertici e di una bilancia a dinamometro con gancio).

Controllando poi l'effettiva profondità della successiva miscelazione nel suolo naturale (come indicato al successivo par. 6.1.4) si può calcolare il dosaggio effettivamente praticato.

Nel caso di utilizzo di calce in sacchi, questi devono essere posizionati lungo il tracciato secondo un reticolo regolare, con passo facilmente calcolabile.

I sacchi posizionati sul suolo sono tagliati a metà con un coltello e svuotati formando tanti piccoli mucchi; i sacchi vuoti devono essere allontanati.

La calce è poi livellata manualmente con rastrelli o per mezzo di attrezzi dotati di dischi a dente o a punte trainati da trattori o autocarri; generalmente due passaggi sono necessari per un'uniforme distribuzione.

#### **6.1.4. POLVERIZZAZIONE E MISCELAZIONE**

La polverizzazione e la miscelazione devono essere attuate con diverse passate di idoneo macchinario (es.: Pulvimixer), fino a quando la componente limo-argillosa passi interamente attraverso crivelli a maglia quadra da 25 mm e almeno per il 60% al setaccio ASTM E 11 da 4 mesh (con luce netta di maglia da 4,75 mm).

E' importante che la potenza della macchina miscelatrice sia scelta proporzionalmente allo spessore dello strato da trattare e alla produzione giornaliera desiderata.

Quando necessario, durante o dopo la miscelazione si irrorerà la terra trattata con acqua fino a farle raggiungere il tenore ottimale per la successiva compattazione.

Terminata la miscelazione, scavando un pozzetto a tutto spessore ogni 300 m<sup>2</sup> di superficie lavorata si controllerà:

- l'omogeneità della miscela, osservando il suo colore che dovrà apparire uniforme sia nello stato tal quale sia dopo spruzzaggio di soluzione alcolica di fenolftaleina all'1% che impartirà colorazione rossastra;
- con metodo celere, l'umidità di un campione della miscela estratta;
- l'effettiva profondità di lavoro della macchina miscelatrice (che ha operato sul suolo naturale) misurata rispetto a riferimenti esterni precedentemente predisposti.

Al termine dei controlli precedenti, qualora la superficie dello strato si mostri irregolare, per un'ottimizzazione della successiva compattazione, si procederà a un livellamento con grader o altra macchina adatta allo scopo.

#### **6.1.5.COMPATTAZIONE FINALE**

Lo strato di terra trattata deve essere compattato senza ritardi dopo la miscelazione, successivamente comunque al completamento della reazione esotermica di spegnimento nel caso di utilizzo della calce viva, e dopo la verifica che il tenore di umidità sia prossimo all'ottimo.

Il completo spegnimento della calce viva richiede un tempo variabile in funzione della temperatura e dell'umidità del suolo; normalmente, con temperatura del suolo non troppo bassa, 2 o 3 ore di maturazione della miscela sono sufficienti allo scopo.

Nella costruzione di rilevati multistrato è molto importante procedere a fronte chiuso, completando in giornata le operazioni di miscelazione e compattazione e sovrapponendo la terra da trattare il giorno successivo; con ciò si minimizza la possibile reazione di carbonatazione e si attua una protezione adeguata degli strati in maturazione.

Quando le dimensioni del lavoro sono tali da giustificare l'esecuzione di un tratto sperimentale di prova, si devono predisporre diversi schemi di rullatura con rullo a piastre, seguito da rullo metallico liscio e/o rullo gommato, effettuando un campo prova per determinare la combinazione ottimale e più economica di mezzi, passate e velocità di avanzamento, per il conseguimento del grado di addensamento prescritto.

#### **6.1.6.MATURAZIONE DOPO RULLATURA**



Poiché la resistenza e la stabilità dimensionale di una terra stabilizzata dipende anche da un accurato periodo di maturazione dopo la rullatura finale, durante il quale l'umidità ottima di compattazione deve restare il più possibile costante, immediatamente dopo il completamento dell'ultimo strato costipato e sagomato si stenderà o uno strato di 3-4 centimetri di sabbia bagnata (da asportare alla fine del periodo di maturazione) o un velo protettivo di bitume liquido BL 350-700 (B.U. CNR n. 7) in ragione di 1 kg/m<sup>2</sup> o di emulsione bituminosa a lenta rottura del tipo EL 55 (B.U. CNR n. 3) in ragione di 1,8 kg/m<sup>2</sup>. La durata del periodo di maturazione, solitamente fino a sette giorni, sarà indicata dalla Direzione Lavori, anche in relazione alle esigenze di cantiere e al tipo di traffico previsto transitare sullo strato finito.

## **6.2.POSA IN OPERA DI MISCELE PREPARATE IN CENTRALE**

Rispetto alla miscelazione in sito, le operazioni variano per le modalità di stesa della miscela che sarà eseguita con finitrice o livellatrice, o altro sistema accettato e approvato espressamente dalla Direzione Lavori per lo spessore richiesto dal progetto.

Per quanto riguarda l'asportazione preliminare dello strato di terra vegetale, le caratteristiche granulometriche della miscela e le operazioni successive alla stesa di questa valgono le disposizioni indicate per le lavorazioni in sito.

## **6.3.GIUNTI DI LAVORO**

Nei giunti di lavoro trasversali la miscela già costipata va ripresa in tutte quelle zone nella quali il contenuto di calce, lo spessore e la compattazione risultino insufficienti.

I tagli dovranno essere effettuati opportunamente al mattino seguente, nello strato indurito, in modo da presentare una superficie verticale, per evitare corrispondentemente possibili fessurazioni successive.

Nella posa in opera di miscele preparate in centrale si può inserire una tavola da rimuovere il giorno seguente.

Ogni tronco di lavoro dovrà eseguirsi per la sua intera larghezza in un solo tempo, per avere giunti di lavoro longitudinali sempre chiusi; in caso contrario potrebbero successivamente prodursi fessure longitudinali nel manto bituminoso.

## **7.CONTROLLI**

In fase esecutiva l'Impresa dovrà predisporre un accurato programma dei lavori, che consenta alla Direzione Lavori di definire un programma di prove di controllo giornaliero degli strati lavorati.

### **7.1.VERIFICA DEL GRADO DI COMPATTAZIONE**

#### **7.1.1.Trattamenti di bonifica nella costruzione di piani di appoggio e dei rilevati**

E' prescritta una misura di densità in sito secondo B.U. CNR n. 22 ogni 1000 m<sup>2</sup> di strato compattato e comunque almeno due misure per ogni giornata lavorata, rilevando un valore uguale o superiore al 95% della

densità massima Proctor standard ottenuta per la stessa miscela del sito, compattata in laboratorio secondo AASHTO T99; le densità in sito e in laboratorio saranno determinante durante la stessa giornata lavorativa.

#### **7.1.2. Trattamenti di stabilizzazione completa nella costruzione di rilevati, di strati di sottofondazione e della sovrastruttura**

E' prescritta una misura di densità in sito secondo B.U. CNR n. 22 ogni 1000 m<sup>2</sup> di strato compattato e comunque almeno due misure per ogni giornata lavorata, rilevando un valore uguale o superiore al 92% della densità massima Proctor modificata ottenuta per la stessa miscela del sito compattata in laboratorio secondo AASHTO Mod.T180; le densità in sito e in laboratorio saranno determinate durante la stessa giornata lavorativa.

### **7.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE E AI RIGONFIAMENTI IN ACQUA**

#### **7.2.1. Trattamenti di bonifica**

E' prescritto il prelievo di un campione di miscela dal sito, interessando tutto lo spessore dello strato trattato con calce, ogni 1000 m<sup>2</sup> di strato compattato, e comunque almeno uno per ogni giornata lavorata, e la preparazione di due provini secondo CNR-UNI n. 10009, punto 3.2.1, compattati secondo AASHTO Mod T180 e tenuti a maturare in aria per

tre giorni a 20±1°C e U.R. > 95% e poi in acqua per quattro giorni a 20±1°C. I valori medi dell'indice CBR e di rigonfiamento dei due provini dovranno essere rispettivamente maggiori di 20 e inferiori all'1,5%

Quando la Direzione Lavori lo riterrà opportuno si verificherà la resistenza meccanica anche attraverso la misurazione del modulo di deformazione Md, determinato con piastra da 300 mm di diametro (B.U. CNR n. 146 del 14.12.1992 - Norme svizzere VSS-SNV 670317).

I valori accettabili sono quelli indicati al successivo paragrafo 7.3.

#### **7.2.2. Trattamenti di stabilizzazione completa**

Si richiedono i risultati seguenti relativamente alle prove CBR, determinate con coppie di provini preparati come indicato al precedente punto 7.2.1. con la medesima frequenza e criterio ivi indicati:

a) per le sottofondazioni: CBR > 30 e RIGONFIAMENTO < 1,0%;

b) per le fondazioni e basi: CBR > 50 e RIGONFIAMENTO < 0,5%

Si richiedono i risultati seguenti relativamente alle prove di compressione e di trazione:

E' prescritto il prelievo di un campione di miscela sciolta dal sito per ogni 1000 m<sup>2</sup> di strato compattato, e comunque uno per ogni giornata lavorata, e la preparazione di tre provini in stampi apribili secondo B.U. CNR n. 29, compattati secondo AASHTO Mod.180, e maturati a 20±1°C e con U.R. > 95%; i valori di Rc e Rt ottenuti saranno mediati tra loro per ottenere il risultato di prova.

a) per le sottofondazioni:

Rc(7) > 0,50 MPa Rt(7) > 0,03 MPa, a 7 giorni di maturazione

b) per le fondazioni :

$R_c(7) > 1,0 \text{ MPa}$     $R_t(7) > 0,10 \text{ MPa}$ , a 7 giorni di maturazione  
 $R_c(28) > 1,5 \text{ MPa}$     $R_t(28) > 0,15 \text{ MPa}$ , a 28 giorni di maturazione

c) per le basi:

$R_c(7) > 1,5 \text{ MPa}$     $R_t(7) > 0,15 \text{ MPa}$ , a 7 giorni di maturazione  
 $R_c(28) > 2,5 \text{ MPa}$     $R_t(28) > 0,25 \text{ MPa}$ , a 28 giorni di maturazione

Quando la Direzione Lavori lo riterrà opportuno si verificherà la resistenza meccanica anche attraverso la misurazione del modulo di deformazione  $M_d$ , con lo stesso criterio definito al precedente punto 7.2.1.

### **7.3.DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE**

Se richiesto dalla Direzione Lavori, con frequenza di una prova ogni 1000 m<sup>2</sup> di superficie compattata e comunque di una per ogni giornata lavorata, si determinerà il valore del modulo di deformazione  $M_d$  secondo B.U. n. 146 del 14.12.1992.

I valori accettabili sono i seguenti:

- per strati di bonifica con rilevati di altezza superiore a un metro, nel ciclo di carico compreso tra 0,05 N/mm<sup>2</sup> e 0,15 N/mm<sup>2</sup>,  $M_d \geq 15 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di bonifica con rilevati di altezza inferiore a un metro e per strati costituenti il corpo del rilevato, con esclusione degli ultimi trenta centimetri, nel ciclo di carico compreso tra 0,05 N/mm<sup>2</sup> e 0,15 N/mm<sup>2</sup>,  $M_d \geq 20 \text{ N/mm}^2$ ;
- per l'ultimo strato del corpo del rilevato, per strati di sottofondo e per piani di posa della sovrastruttura in trincea, nel ciclo di carico compreso tra 0,15 N/mm<sup>2</sup> e 0,25 N/mm<sup>2</sup>,  $M_d \geq 50 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di base della sovrastruttura stradale, nel ciclo di carico compreso tra 0,25 N/mm<sup>2</sup> e 0,35 N/mm<sup>2</sup>,  $M_d \geq 80 \text{ N/mm}^2$ .

### **7.4.LABORATORIO**

L'Impresa dovrà indicare alla Direzione Lavori il Laboratorio geotecnico che svolgerà tutte le prove precedentemente indicate.

Il Laboratorio dovrà essere altamente qualificato e dotato di aggiornati certificati di taratura delle apparecchiature utilizzate nel corso delle prove, così come richiesto dalla norma CEN 24009 per il controllo qualità.

Il Laboratorio dovrà essere accettato dalla Direzione Lavori dopo un suo sopralluogo per la verifica della corretta rispondenza ai requisiti richiesti.

Qualora l'operato del Laboratorio non si dimostrasse affidabile la Direzione Lavori ne chiederà la sostituzione con altro da sottoporre a preventiva accettazione.