

CAPITOLO I

INTRODUZIONE

Naturalmente prima che una strada sia costruita o ricostruita occorre provvedere a una progettazione dettagliata dei lavori, includendo, tra l'altro, precise norme esecutive nel capitolato speciale d'appalto, tenendo in considerazione tutti i vari elementi che possono influire sulla progettazione: il traffico prevedibile, il clima, i tipi di terre in sito e le condizioni dei materiali. Il presente manuale si riferisce naturalmente solo all'esecuzione dei lavori previsti, ritenendo che tutti gli studi relativi alla costruzione in generale, ed in particolare quelli relativi ai terreni in sito, siano stati effettuati. Si ritiene anche che questi terreni abbiano indicato la idoneità ad essere stabilizzati con calce, che potrà essere mescolata al terreno stesso o con il sistema del mescolamento sul posto o con quello della pre-mescolazione in centrale.

Definizione della stabilizzazione con calce

La stabilizzazione in generale può essere definita come un mezzo di permanente consolidamento delle terre con materiali adatti a incrementare la capacità portante e la resistenza di esse, diminuendone la sensibilità all'azione dell'acqua e al cambiamento di volume durante i cicli di immersione in acqua e di essiccazione. Per ottenere tale stabilizzazione generalmente alle terre va aggiunto un additivo. Uno dei sistemi, che va più rapidamente diffondendosi in tutti i Paesi, è la stabilizzazione a mezzo calce. Tale additivo è particolarmente efficace in terreni contenenti argille, in quanto queste reagiscono chimicamente sia chimicamente sia fisicamente con la calce, ottenendo una miscela di ottime qualità e tale da impegnarsi nella tecnica stradale. Intenderemo per calce sia l'ossido di calce sia la calce idrata. Per quanto si riferisce all'ossido di calce, è da ricordare che ve ne sono di due tipi:

- a) tipo calcico
- b) tipo dolomitico (alto magnesio).

(in Italia si distinguono tre tipi: tipo calcico, tipo magnesiaco e tipo dolomitico N.d.T.). Anche quest'ultimo tipo può essere impiegato opportunamente per la stabilizzazione di terre argillose. La reazione tra la calce e l'argilla avviene in due tempi. In un primo tempo, essa modifica (fisicamente) le particelle di argilla, nonché quelle di limo e di sabbia finissima, a causa di un fenomeno chiamato "scambio di basi". Successivamente si produce l'azione "cementante", durante la quale la calce reagisce chimicamente con la silice e l'alluminia contenuta nelle terre (o con la pozzolana o le ceneri volanti se contenute), formando silicati e alluminati di calcio. I prodotti di reazione sono permanenti e la resistenza impartita allo strato stabilizzato favorisce la durabilità e una vita in servizio più lunga. In generale la calce reagisce prontamente con i terreni molto plastici ad alto contenuto d'argilla, anche se mescolati con sabbia o ghiaia. I terreni idonei a essere stabilizzati con calce, generalmente presentano un indice di plasticità tra 10 e 50 o più. Fanno solo eccezione i terreni contenenti più del 3% di sostanze organiche. Terre con indice di plasticità inferiore a 10, non reagiscono prontamente con la calce, sebbene vi siano numerose eccezioni. Se di basso indice di plasticità, occorre che le terre contengano almeno il 15% di particelle passanti al setaccio ASTM n. 200 (equivalente al setaccio UNI n. 37, con luce netta di 0,075 mm; N.d.T.), perché l'accennata reazione possa verificarsi. Terre non plastiche a bassissimo indice di plasticità e che non siano stabilizzabili con calce, possono essere rese reattive con una piccola aggiunta di materiali pozzolanici, tra i quali le più usate con successo sono le ceneri volanti. Sono risultate qualche volta utili anche piccole aggiunte di ceneri vulcaniche e materiali argillosi finissimi espansi.

L'azione della calce sulle terre argillose

La calce cambia le caratteristiche fisiche di molte terre argillose apportando varie modificazioni che qui riassumiamo:

- 1) L'indice di plasticità diminuisce rapidamente fino a raggiungere qualche volta un quarto di quello originario. Questo è dovuto all'aumento del limite di plasticità e alla diminuzione del limite liquido.
- 2) Il terreno risulta agglomerato, poiché è ridotto il contenuto di particelle fini disperse, avanzi capacità leganti, passanti al setaccio ASTM n. 40 (equivalente al setaccio UNI n. 21, con luce netta di 0,425 m; N.d.T.).
- 3) Acqua e calce accelerano la disintegrazione delle zolle di argille durante la muscolazione. La terra diventa immediatamente friabile e più facilmente lavorabile
- 4) In zone paludose, o con terre contenenti umidità molto superiore all'ottimo, l'azione della calce produce una rapida essiccazione delle terre.
- 5) La tendenza al rigonfiamento e al ritiro si riduce notevolmente.
- 6) La resistenza e al compressione libera della miscela può raggiungere valori fino a 40 volte maggiori di quelli della terra non trattata
- 7) Il valore della portanza (misurata con prove quali CBR, valore -R, triassiale Texas, prova su piastra o valore K, ecc.) cresce sostanzialmente.
- 8) La resistenza alla trazione o alla flessione (coesiometro, trazione indiretta, ecc.) aumenta considerevolmente.
- 9) La calce stabilizza strati di terra in modo che questi riescono ad impedire la penetrazione dell'acqua di pioggia o il passaggio dell'acqua capillare proveniente dagli strati sottostanti. Così gli strati stabilizzati diventano ottimi strati di supporto, che consentono lo scorrimento dell'acqua di pioggia, minimizzando di conseguenza il numero dei giorni in cui taluni lavori stradali non sarebbero effettuabili.

CAPITOLO II

ISTRUZIONE PER LA TECNICA DI COSTRUZIONE

Queste si riferiscono all'uso della calce idrata per la stabilizzazione o modificazione di terre per ottenerne strati di sottobasi e di basi. Per quanto riguarda l'uso della calce viva si veda il capitolo IV.

Si sottolineano tre classi di trattamenti:

- A) *Stabilizzazione di terre per sottobasi*: includono la stabilizzazione sul posto di terreni a granulometria fine o materiali da cave di prestito utilizzati come sottobasi, e tra questi argille particolari o altri materiali argillosi e limosi di qualità scadente ottenuti da sterri o cave di prestito.
- B) *Stabilizzazioni di basi*: queste includono le terre plastiche, come ghiaie argillose o di altro tipo contenenti almeno il 50% di materiale grosso trattenuto al setaccio ASTM n. 40 (UNI n. 21, luce netta: 0,425 mm; N.d.T.). Questo tipo di base è applicato sia in caso di strade di nuova costruzione, sia di rafforzamento di preesistenti. Il trattamento presuppone, in generale, un'aggiunta di calce dal 2 al 4% in peso della terra secca. La miscelazione delle terre sopra indicate con calce è più comunemente fatta in sito, sebbene possa essere utilizzata anche la muscolazione in centrale.
- C) *Modificazione di terre con calce*: questa categoria include terre di discreta qualità con notevole percentuale sia di sabbia sia di ghiaia. In tal caso, l'aggiunta di calce sarà limitata entro l'1+4% in peso.

A causa della bassa percentuale di calce aggiunta, le miscele non saranno completamente stabilizzate come quelle di tipo A) e B), ma sicuramente migliorate. Per esempio qualora si voglia ridurre l'indice di plasticità di una terra, per ridurre il quantitativo di passante al setaccio ASTM n. 200 (UNI n. 37, luce netta: 0,075 mm; N.d.T.) e renderla rispondente così alle prescritte caratteristiche per essere utilizzata nella costruzione di strati di base, l'aggiunta di circa l'1% di calce può essere sufficiente a tale scopo. Nel caso di terre fortemente argillose, l'aggiunta del 2+4% di calce può condurre alle seguenti possibilità:

- facilitare la compattazione, asciugando zone particolarmente bagnate;
- consentire il passaggio degli automezzi in zone con terre di bassa portanza;
- ottenere infine una prima stabilizzazione, che sarà poi completata con l'aggiunta di cemento o di bitume liquido.

La principale distinzione tra suolo modificato e stabilizzato consiste nel fatto che gli strati modificati con calce sono irrilevanti in sede di progettazione sul dimensionamento (ad es. quando si vuole ridurre lo spessore della pavimentazione).

Indicazioni generali sulle procedure costruttive

Per ottenere strati modificati e stabilizzati, i vari stadi di lavorazione sono simili: Possono variare solo nei dettagli. Generalmente le operazioni di stabilizzazione richiedono procedimenti più lunghi e controlli più rigorosi di quelli relativi alle "modificazioni". In primo luogo le lavorazioni includono la scarificazione e la parziale polverizzazione della terra in sito, lo spandimento della calce, dell'acqua, la miscelazione, la compattazione fino ad ottenere naturalmente la massima densità. Seguirà il periodo di "maturazione" che dovrà precedere quello dell'applicazione degli strati sovrastanti di usura, di qualunque tipo essi siano previsti.

Per ottenere una buona stabilizzazione, occorre un'adeguata polverizzazione delle frazioni argillose della terra in sito. Conseguentemente nel caso di terre fortemente argillose la miscelazione della calce con l'argilla deve essere fatta in due tempi, distanziati dalle 24 alle 48 ore uno dall'altro. Dopo la prima aggiunta di calce, la terra

in sito tende a polverizzarsi, cosicché la seconda aggiunta di calce può omogeneizzarsi meglio, come desiderabile. Nel caso invece di "modificazione" con calce, la muscolazione potrà essere fatta in un solo tempo e la compattazione potrà essere eseguita appena dopo la muscolazione. Nel caso di lavorazione in centrale, sia che si tratti di "stabilizzazioni" sia di "modificazioni", le successive lavorazioni si riducono allo spandimento delle miscele, alla compattazione di esse e alla maturazione. Al fine di ottenere le migliori qualità delle basi stabilizzate con il minimo costo, occorre tener conto delle seguenti indicazioni:

A) STABILIZZAZIONE DI SOTTOBASI

1 – Scarificazione e polverizzazione

Dopo che il terreno in sito sarà stato portato alle livellette e alle pendenze del progetto, lo strato da stabilizzare dovrà essere scarificato per quello spessore e quella larghezza previsti, e parzialmente polverizzato. Tutti i materiali nocivi, come radici, residui legnosi ed erbosi, ecc., nonché inerti di dimensioni maggiori di 7-8 cm, debbono essere rimossi.

Macchinari occorrenti: Lame scarificatrici, erpici a disco (inizialmente), polverizzatori a rotore (successivamente).

2 – Spandimento della calce

La calce idrata, come indicato nell'appendice A), deve essere uniformemente sparsa nella percentuale prevista, utilizzando sia il metodo "asciutto" sia quello "bagnato" (slurry). L'applicazione dell'asciutto può essere eseguita o posizionando sacchi di calce sulla superficie da stabilizzare nel numero conseguente al quantitativo unitario previsto, o cospargendo la calce idrata in polvere con uno spanditore di caratteristiche approvate (dalla Direzione lavori N.d.T.), per ottenere la più uniforme distribuzione di essa. In quest'ultimo caso lo spandimento dovrà essere fatto nel modo idoneo a evitare che parte della calce idrata possa essere sollevata e poi asportata dal vento. Nel caso che si ricorra al sistema dell'applicazione della calce a mezzo sacchi, questi saranno svuotati manualmente e mai facendo ricorso ad una lama meccanica. L'applicazione della calce in polvere non dovrà mai essere fatta in giornate ventose, al fine di evitare che il vento possa sollevarne e asportarne una parte. Sia in giornate ventose sia in zone abitate sarà più opportuno far ricorso allo spandimento di miscela di calce e acqua. Lo spandimento della calce deve interessare una superficie non superiore a quella che potrà essere lavorata in un giorno. Ciò per prevenire sia l'asportazione della calce a mezzo del vento, sia per limitare il fenomeno della carbonatazione. In generale dopo lo spandimento della calce, la muscolazione con il terreno deve avvenire in un tempo non superiore alle 6 ore. Nel caso di impiego di miscele acqua-calce, i mezzi di muscolazione e di spandimento della calce dovranno essere approvati dalla Direzione lavori. Le miscele acqua-calce devono essere continuamente agitate nei contenitori, per evitare la sedimentazione della calce. In generale la miscela acqua-calce presenterà il seguente rapporto: 1 tonnellata di calce per circa 2.100 litri di acqua.

Macchinari per l'applicazione a "secco": per il trasporto si usano autobotti fornite di apparecchi per lo spandimento diretto. Allorché il trasporto della calce in cantiere è fatto per mezzo di vagoni ferroviari, la calce potrà essere scaricata dai vagoni con adeguati mezzi pneumatici o meccanici. Lo spandimento della calce in polvere potrà essere fatto anche a mezzo di spanditori trainati e riforniti da tubi flessibili in gomma o metallici, che si dipartiranno dai mezzi di trasporto in cantiere. Gli spanditori meccanici dovranno essere dotati di mezzi di protezione per evitare l'asportazione

della calce dall'aria e dal vento. Si ripete che non è consigliabile lo spandimento della calce per mezzo di lame meccaniche o altro macchinario diverso da quello descritto. Nel caso di applicazione della calce per mezzo di sacchi, il trasporto potrà essere fatto con autocarri comuni o senza sponde. I sacchi saranno scaricati a mano sulla superficie da stabilizzare. Successivamente i sacchi saranno aperti con un coltello e saranno vuotati, costituendo tanti piccoli cumuli di calce che saranno poi livellati per mezzo di idoneo tramaglio trainato da un trattore o da un autocarro. Nel caso di applicazione di miscele acqua-calce (slurry), queste saranno preparate i mescolatori centrali dotati di agitatori e di quanto altro occorre per l'approvvigionamento dell'acqua e della calce. La muscolazione può anche essere ottenuta in particolari autobotti attrezzate per ottenere un'accurata e stabile muscolazione degli ingredienti prima e durante il trasporto in opera. Naturalmente il dosaggio sarà ottenuto pesando preventivamente l'acqua e la calce. Possono essere utilizzati gli spanditori normalmente impiegati per lo spandimento di emulsioni bituminose con o senza distributori a pressione. Il metodo più recente per lo spandimento di slurry acqua-calce sfrutta un mescolatore a getto che produce istantaneamente e continuamente la miscela. Sono da preferirsi le autobotti con distributori a pressione, perché da questi si potrà ottenere un'applicazione più uniforme. In linea generale l'applicazione con slurry sarà eseguita in due o più tempi, in quanto che il contenuto in calce è naturalmente più basso che nelle applicazioni dirette di calce idrata in polvere. Le precauzioni necessarie nei riguardi degli operatori saranno indicate in dettaglio nel capitolo IV.

3 – Miscelazione e spandimento di acque preliminari

Una prima mescolazione è richiesta per distribuire la calce in tutta la profondità e larghezza dello strato da stabilizzare, al fine di ottenere la polverizzazione della terra in sito, si da presentare quest'ultima elementi di dimensioni non superiori a 5 cm. Durante questa prima muscolazione sarà aggiunta acqua tanto da superare del 5% l'umidità ottima. Una prima muscolazione dei tre ingredienti sarà desiderabilmente effettuata con un mescolatore a rotore. Dopo questa miscelazione, lo strato sarà configurato approssimativamente secondo le forme e le livellette di progetto, e compattato leggermente per evitare un'eccessiva evaporazione dell'acqua e i fenomeni di carbonatazione della calce.

Attrezzatura necessaria: mescolatore del tipo "rotare speed" a uno o più passi, empirici a disco, autobotti per l'acqua, rulli leggeri.

4 – Prima maturazione

La miscela così ottenuta sarà lasciata riposare per un periodo che andrà, nei vari casi da 0 a 48 ore, per consentire che la calce disgreghi il più possibile le zolle di argilla. La durata di tale periodo di prima maturazione dovrà essere fissata dalla Direzione lavori. Nel caso di argilla di particolare durezza, tale periodo dovrà essere esteso fino a 7 o più giorni se necessario.

5 – Muscolazione e polverizzazione finale

La polverizzazione e la muscolazione finale dovranno essere continuate fino a quando tutte le zolle di argilla saranno rotte e ridotte in forma sabbiosa, tale da passare interamente attraverso setacci con maglie di 2,5 cm e almeno il 60% al setaccio ASTM n. 4 (serie commerciale italiana n. 2, luce netta: 4,66 mm; N.d.T.). Un quantitativo addizionale di acqua potrà essere richiesto per sostituire quella evaporata, si da

eseguire poi la compattazione con l'ottimo di umidità. L'uso del mescolatore a rotore è obbligatorio per quest'operazione.

Eccezione: nel caso in cui durante la prima muscolazione si abbia la polverizzazione sopra descritta, naturalmente potranno essere eliminate sia la prima maturazione sia la muscolazione finale sopra indicate.

Attrezzatura: sono utilizzati scarificatori e mescolatori a rotore a uno o più passi per la polverizzazione.

6 – Compattazione

Le miscele terra-calce devono essere compattate almeno al 95% della densità massima ottenuta nella prova "AASHTO T 180 (Prova Proctor modificata)". Tale valore di densità dovrà essere controllato in vari punti della zona trattata a compattazione effettuata. La compattazione dovrà cominciare subito dopo la muscolazione finale e comunque non più tardi di una settimana.

Eccezione: con uno strato stabilizzato di 46 cm o più di spessore, non è necessario che i 23 cm inferiori soddisfino il requisito della compattezza al 95%, pur essendo per essi richiesta la prova di rullatura; il requisito di compattazione al 95% è invece obbligatorio per lo strato superiore.

Attrezzature: la compattazione dovrà essere effettuata per mezzo di rulli a piede di montone, successivamente con rulli vibranti pesanti e leggeri. In nessun caso dovrà essere consentito ai rulli leggeri con ruote gommate di compattare nella loro completa altezza strati di 15 cm. di spessore in una sola passata. Se non si disponesse altro che di rulli a ruote gommate, la compattazione dovrà essere fatta in strati di spessore sottile (da 2,5 a 5 cm ciascuno).

7 – Maturazione finale

Lo strato di sottobase dovrà avere un tempo di maturazione fino a 7 giorni, in modo da consentire l'indurimento prima della successiva applicazione dello strato di base. La durata del periodo di maturazione dovrà essere fissata dalla Direzione lavori. Potrà essere effettuata in due modi:

- 1) mantenimento dell'umidità sulla superficie dello strato per mezzo di successivi spruzzamenti leggeri di acqua e successiva rullatura, se necessario;
- 2) applicazione di una membrana sottile, che consisterà generalmente in una o più mani di emulsione bituminosa.

Eccezioni: se lo strato è stato compattato con rullo pesante (da 20 tonnellate o più) per ottenere una determinata densità, il periodo finale di maturazione può essere eliminato passando immediatamente all'operazione seguente; questo strato serve come mezzo di preparazione intermedio.

B) STABILIZZAZIONE DI BASE

La stabilizzazione di basi può essere riferita sia al ripristino di strade degradate, sia a quelle di nuova costruzione. Generalmente l'utilizzazione del terreno in sito è fatta prevalentemente nel caso di ripristino, ma anche nel caso di nuove costruzioni o in entrambi i casi (varie combinazioni). Prescindendo però dai materiali, i metodi di costruzione sono essenzialmente gli stessi. L'aggiunta di materiali come pozzolana, ceneri volanti, ecc. è abbastanza comune, sia per terre in sito, sia per terre provenienti da scavi.

I. Criteri procedurali qui di seguito indicati sono da riportarsi nei capitolati.

1 – Scarificazione e polverizzazione

Quanto è stato detto allo stesso titolo in precedenza A (1) è applicabile per la costruzione di basi con il sistema della miscelazione sul posto. Nei lavori di ripristino di vecchie strade, la pavimentazione deve essere scarificata e spezzettata in elementi passanti al vaglio con luce di 5 cm. e poi mescolata con materiale in sito. Questa fase non è applicabile nel caso di nuove costruzioni stradali per le quali si utilizzano materiali trasportati in sito.

Macchinari occorrenti: sono utilizzati gli stessi indicati nel precedente paragrafo A (1), eccetto che un trattore-scarificatore o "rooter" è richiesto per spezzettare il vecchio manto bituminoso.

2 – Spandimento della calce e macchinari occorrenti

Quanto previsto nel capitolo A (2) si consideri qui riportato, anche per quanto riguarda l'attrezzatura.

3 – Mescolazione e aggiunta di acqua

Differentemente dalla stabilizzazione di strati sottobase, la polverizzazione e la muscolazione devono essere eseguite in un sol tempo: l'acqua sarà aggiunta e mantenuta nella misura ottima per la compattazione. La polverizzazione deve essere spinta fino ad ottenere che il 100% dei materiali passino al setaccio con maglie da 1 pollice (cm. 2,5) ed almeno il 60% al setaccio ASTM n. 4 (serie commerciale italiana n. 2, luce netta: 4,66 mm; N.d.T.). E' desiderabile asportare tutti i materiali di dimensioni superiori a 5 cm.

Attrezzatura: se il materiale per la base da utilizzare non è quello in sito, o se quello in sito polverizza molto rapidamente, la muscolazione può essere fatta anche con un motor-grader (spianatrice semovente) con almeno tre passaggi. Generalmente però è preferibile utilizzare un mescolatore a rotore, come indicato per la stabilizzazione di materiale per sottobasi.

4 – Compattazione

Si applicano le stesse indicazioni di cui in A (6), salvo che la compattazione deve essere spinta fino ad ottenere almeno il 98% della massima densità ottenuta dall'AASHTO T 180. Successivi modesti spruzzamenti di acqua possono essere necessari per mantenere l'umidità allo stato di "ottimo". Durante la compattazione finale, lo starto di base deve essere conformato secondo le forme e pendenze previste dal progetto. Qualunque irregolarità deve essere rimossa.

Attrezzatura: la stessa di quella indicata in A (6).

5 – Maturazione

Il materiale compattato deve essere tenuto in maturazione per un periodo fino a 7 giorni, applicando quanto descritto in A (7). Durante il periodo di maturazione, il traffico pesante deve essere evitato (se possibile). Eventuali irregolarità formate dal traffico leggero devono essere riprese con successiva rullatura (se necessario). Prima di applicare la pavimentazione bituminosa, la superficie della base deve essere spruzzata e leggermente bagnata. Nel caso in cui la pavimentazione fosse costituita da calcestruzzo cementizio, ciò non è necessario.

II. I seguenti procedimenti sono invece indicati nel caso di muscolazione in centrale:

1 - Miscelazione in centrale

La terra, la calce e gli additivi pozzolanici (se richiesti) devono essere alimentati, nei quantitativi previsti, in un mescolare di tipo idoneo (a scarica con apertura a una estremità). L'acqua sarà aggiunta in misura leggermente superiore all'ottimo e i materiali saranno mescolati intimamente. Il complesso della centrale di muscolazione sarà approvato dalla Direzione Lavori che farà gli opportuni controlli perché i vari materiali siano mescolati intimamente nella misura dovuta.

2 - Posa in opera della miscela

La miscela così preparata sarà sparsa uniformemente sulla superficie stradale nello spessore dovuto. Per lo spandimento sarà utilizzato un tipo di spanditore preventivamente approvato dalla Direzione lavori.

3 - Compattazione

Circa la compattazione si fa riferimento all'attrezzatura di cui in B (4).

4 - Maturazione

Si consideri qui riportato quanto detto in B (5).

C) MODIFICAZIONE DEL TERRENO CON CALCE

Questa categoria di lavori richiede la muscolazione preferibilmente in centrale nel caso di materiali granulari grossi e la muscolazione in sito nel caso di materiali a elementi fini.

Costruzioni di basi: quando si utilizza una centrale di muscolazione si considerino qui riportati i vari procedimenti indicati in B II. Per la muscolazione in sito, quanto indicato in B I. Per ciò che si riferisce però al periodo di maturazione, esso può essere eliminato, in quantochè non è essenziale che le miscele raggiungano le stesse resistenze richieste nel caso della stabilizzazione.

Costruzioni di sottobasi: si consideri qui riportata tutta la procedura di cui in A, con l'eccezione che la compattazione seguirà immediatamente la muscolazione. E' possibile che sia eliminato il primo periodo di maturazione, in quantochè una fine polverizzazione delle terre, come richiesto nel caso di stabilizzazioni tradizionali, non è essenziale. In conseguenza di ciò, anche gli erpici a disco possono essere sufficienti per la muscolazione, per quanto i mescolatori a rotore siano sempre preferibili nel caso di argille dure. La compattazione potrà limitarsi a valori inferiori al 95% di densità, con l'approvazione della Direzione lavori. Ciò è spiegabile in quanto si ricorre alla modificazione di terre in sito solo per facilitare i lavori in cantiere. Allorché la calce è utilizzata preventivamente per eseguire poi una stabilizzazione con cemento o bitume, generalmente la procedura è la seguente: si mescola la calce con la terra e si lascia riposare la miscela per 24-48 ore; successivamente si esegue una seconda muscolazione con successivo additivo. Dopo la seconda muscolazione, si compatta lo strato e si tiene in maturazione fino a 7 giorni.

CAPITOLO III

ISTRUZIONE DI DETTAGLIO NELLE VARIE FASI DI LAVORAZIONE

Quanto appresso si riferisce al modo migliore di eseguire praticamente i lavori, a seconda che si tratti di strati di base o di sottobase, indicando i pro e i contro per l'utilizzazione dei vari metodi di lavorazione.

Scarificazione e polverizzazione

Le lame scarificatrici e gli erpici a disco sono comunemente usati per la scarificazione iniziale, e gli erpici a disco e i mescolatori a rotore per la polverizzazione. Allorché la terra è assolutamente arida, è aggiunta un po' di acqua per facilitarne la polverizzazione. Se è invece bagnata il mescolatore a rotore o gli erpici a disco devono essere usati anche per aerarla e asciugarla, particolarmente nel caso di argille molto plastiche. Nella riparazione di vecchie strade, e particolarmente di quelle costituite da pavimentazioni in conglomerato bituminoso di notevole spessore, uno scarificatore molto robusto (ripper, crawler, tractor ecc.) e anche un rullo a piede di montone possono essere necessari per la rottura della parte superiore di essa. Molte specifiche richiedono che la pavimentazione in conglomerato bituminoso sia polverizzata in modo che il 100% di essa passi al vaglio con maglie di 5 cm.; ciò obbliga all'utilizzazione di uno scarificatore a rotore dopo la prima scarificazione. Sebbene la pratica comunque sia di scarificare la terra in sito prima dello spandimento della calce, in alcuni casi si usa procedere prima allo spandimento di parte della calce per facilitare la polverizzazione delle zolle plastiche. Sarà così facilitato anche il traffico delle macchine di cantiere, specie in caso di terreni molto bagnati. Il principale svantaggio di questa procedura però è di essere legata alle condizioni atmosferiche. Allorché la calce (la seconda parte necessaria alla stabilizzazione) è sparsa su una superficie liscia, c'è più probabilità di perdita di essa dovuta al vento e alla pioggia, specie se la muscolazione non segue pressoché immediatamente lo spandimento. Per eliminare perdita di legante lungo le fiancate, qualche volta si consiglia di costruire delle cordone provvisorie utilizzando terra in sito.

Spandimento della calce

Entrambe i sistemi di utilizzo della calce in polvere o sotto forma di miscela con acqua sono utilizzati in molti casi con uguale successo. Nel caso di procedimento a secco, può essere consigliabile spargere una leggera quantità di acqua sulle terre da stabilizzare per evitare che la calce sia asportata dal vento.

Calce in sacchi

Far ricorso all'approvvigionamento e spandimento della calce in sacchi è il mezzo più semplice ma più costoso. I sacchi sono portati a piè d'opera con autocarri normali o senza sponde e i sacchi devono essere distribuiti a mano sul terreno da stabilizzare, per ottenere una distribuzione corrispondente a quella preventivata. Successivamente i sacchi opportunamente piazzati sono tagliati con un coltello e svuotati, formando tanti piccoli mucchi. La calce poi è livellata o a mano per mezzo di un rastrello o per mezzo di attrezzi dotati di dischi a dente o punta (spike tooth harrow o drag pulled) trainati da autocarri o da trattori. Generalmente due passaggi sono necessari per una uniforme distribuzione. Immediatamente dopo è sparsa un po' d'acqua per ridurre lo spolvero. I sacchi vuoti sono in genere bruciati al lato della strada, preferibilmente in

casce metalliche per sicurezza. Le casce saranno naturalmente spostate a mano a mano che la lavorazione procederà nel cantiere. Gli svantaggi relativi allo spandimento in sacchi nei riguardi dello spandimento per mezzo di contenitori semoventi o di miscele con acqua (slurry) sono conseguenti ai più alti costi dovuti al maggior costo del prodotto insaccato, al maggior costo della manodopera impegnata e alla lentezza delle operazioni. Però esso appare più conveniente nel caso di piccoli lavori, oppure nel caso di strade cittadine (tenendo controllato il livello di polverosità) e nel caso di strade secondarie e di piccole manutenzioni.

Spandimento a mezzo di contenitori semoventi

Specie nel caso di lavori di notevole mole e dove la possibilità di polverizzazione in aria non costituisca un grosso problema, lo spandimento della calce per mezzo di autocarri con l'attrezzatura per la discarica meccanica o per caduta. Questi ultimi sono particolarmente adatti nel caso di stabilizzazione di strisce laterali in quanto sono maggiormente maneggevoli. Generalmente mezzi con 4 ruote trasportano da 3 a 4 tonnellate di calce, mentre mezzi con assi a tandem raggiungono le 9/10 tonnellate (in Italia autobotti su motrici generalmente trasportano fino a 12 tonnellate; N.d.T.). Per evitare un eccesso di spolvero, sarà opportuno far ricorso all'uso di tele (opportunamente impregnate) piazzate in corrispondenza degli scarichi degli automezzi. Contenitori a scarico meccanizzato sono di maggiore efficienza e capaci di trasportare dalle 15 alle 24 tonnellate di calce (in Italia carri siluro generalmente trasportano fino a 28 tonnellate; N.d.T.). Uno dei tipi impiegati è quello a "vite senza fine" (in una o più unità) con scarico nella parte posteriore. Più recentemente è invalso l'uso dello scarico della calce con mezzi pneumatici preferiti al vecchio tipo a coclea. Con quest'ultimo lo spandimento si effettua mediante un dispositivo meccanico collegato al retro con becchi metallici discendenti oppure con guaine di gomma. Gli spanditori meccanici incorporano nastro, coclea, parte rotante, oppure trasportatori a catena raschiante per distribuire la calce uniformemente su tutta la larghezza necessaria. Per regolare la quantità di calce così applicata si varia l'apertura dello spanditore, la velocità di distribuzione e/o la velocità dell'automezzo cosicché il quantitativo di calce richiesto può essere applicato in una-due passate. Con gli autocarri a scarico pneumatico lo spandimento è generalmente effettuato con uno spanditore a ciclone montato sul retro che distribuisce la calce utilizzando uno scivolo o un'apposita barra dotata di numerosi becchi. Dall'autocarro l'operatore può controllare la larghezza di spandimento regolando, tramite pulsantiera, la pressione dell'aria. Operatori esperti riescono a regolare la pressione e la velocità dell'automezzo in maniera tale che bastano una-due passate per ottenere una distribuzione ottimale. Si può anche far ricorso a spanditori del tipo a sponda posteriore. Il controllo del quantitativo della calce da espandere si ottiene per mezzo della regolazione della larghezza della bocca dello scarico; a causa però delle difficoltà di ottenere un'uniforme distribuzione, tali mezzi non sono molto spesso impiegati. Tuttavia, spanditori del tipo a scarico dal retro si possono utilizzare anche con calce viva in zolle o granulare, grazie alla maggiore scorrevolezza di questo materiale. Le macchine distributrici utilizzate nell'agricoltura per il loro basso rendimento (in relazione al modesto quantitativo scaricato per unità di tempo) non sono consigliabili, altrimenti occorrerebbe ripetere i passaggi per 10 o più volte. Spanditori per aggregati non sono ugualmente raccomandabili a causa della loro in accuratezza con materiali fini. Le macchine di cui sopra sono invece state stabilizzate con successo per la calce viva macinata o granulare. Allorché la calce è trasportata in cantiere per mezzo di vagoni ferroviari, vi è una notevole quantità di mezzi meccanici idonei a trasportare la calce dai vagoni ai camion. Tra gli altri, il tipo "vite continua" è il più comunemente usato avendo un diametro di 10-12 pollici (25-30 cm). Per diminuire il fenomeno di spolvero

tutti i mezzi di trasferimento della calce debbono essere protetti. Lo scarico del vagone è generalmente accelerato per mezzo di vibratori o per mezzo di aria compressa. Tali vibratori sono anche richiesti per lo scarico dei camion, avendo la calce tendenza a costituire "arco" in corrispondenza delle bocche di scarico. Prima di essere caricata sui distributori la calce può essere dosata ponderalmente in impianti di dosatura discontinui o permanenti. Generalmente, l'installazione di un impianto di questo tipo è conveniente solo nel caso di impianti centrali di grandissima importanza e quando tali impianti possono essere utilizzati nello stesso lavoro anche per la preparazione di calcestruzzi cementiti (ad esempio nella realizzazione di pavimentazioni per strade in calcestruzzo). Indubbiamente l'utilizzo di camion a scarico meccanico è il più rispondente anche dal punto di vista economico, in quantochè evita qualsiasi inutile manovra e anche grossissimi quantitativi di calce possono essere rapidamente applicati.

Impiego della calce sotto forma di miscela con acqua (slurry)

Con questo metodo la calce idrata, è mescolata con l'acqua sia in impianti centrali sia in autobotti sia in mescolatore a getto. In ogni caso la miscela è sparsa sullo strato di terra da stabilizzare è già scarificata. La miscela è distribuita con uno o più passaggi sull'area predisposta, finché il quantitativo in percentuale di calce sarà quello prefissato. Per evitare qualsiasi difformità di spandimento, la miscela sarà mescolata con la terra in sito immediatamente dopo ogni spandimento della miscela stessa. Normalmente questa è costituita da 1 tonnellata di calce e 500 galloni di acqua (circa 1.900 litri): circa il 31% di calce in sospensione. Tale miscela raggiunge un volume corrispondente a circa 600 galloni (circa 2.300 litri). Concentrazioni più alte sono difficilmente pompabili. La percentuale del 40% è la massima utilizzabile. Le proporzioni esatte della miscela dipendono contemporaneamente sia dall'umidità e tipo di terreno in sito sia dalla percentuale di calce da aggiungere. Nel caso in cui fossero richieste basse percentuali di calce, la miscela può essere costituita da 1 tonnellata di calce e 7-800 galloni (circa 2.650-3.050 litri) di acqua. Quando invece la terra in sito ha una umidità vicino all'ottima sono utilizzate più forti concentrazioni di calce nella miscela. In impianti centrali l'agitazione è ottenuta per mezzo di aria compressa con pompe, sebbene alcune volte si faccia anche ricorso a mescolatori a pale. I tipici impianti per la preparazione di miscele possiedono contenitori della capacità di circa 20 tonnellate. Per esempio: sono utilizzati due contenitori da 15.000 galloni (57.000 litri), di tipo cilindrico con un diametro di 10 piedi (3 m) e una lunghezza di 26 piedi (7,80 m). Esso è dotato di un sistema di immissione di aria di 18 pollici (45 cm), più corto della lunghezza del contenitore. In esso sono prima caricati 10.000 galloni (38.000 litri) di acqua e successivamente 20 tonnellate di calce. Si producono così 12.000 galloni (45.400 litri) di miscela in meno di 25 minuti. Le operazioni di carico delle autobotti sono gestite mediante una pompa ad acqua in maniera tale che mentre si svuota un serbatoio l'altro sia in fase di carica. Per evitare la separazione della calce dall'acqua, alcuni impianti prevedono dei particolari getti di aria manovrabili a mano. In taluni impianti il complesso è costituito da un contenitore da 2.400 galloni (circa 9.000 litri) montato al di sotto di un contenitore di calce con gli organi di pesatura. Impianti tipici producono con continuità quanto occorre per il rifornimento di autobotti, mescolando 2 tonnellate di calce e 1.000 galloni (3.800 litri) di acqua. La mescolazione avviene celermente per mezzo di aria compressa con una pompa da 3 pollici (7,6 cm). Il metodo più recente ed efficiente di produzione dello slurry, che elimina i serbatoi per la preparazione e lo stoccaggio intermedio, comporta l'uso di un miscelatore a getto compatto. L'acqua a 70 psi (4,8 bar) e la calce idrata sono caricate continuamente nel rapporto in peso 65:35 nel contenitore di miscelazione a getto ove si produce istantaneamente lo slurry. Il miscelatore e le parti

accessorie possono essere montati su un piccolo rimorchio e trasportati prontamente sul luogo di lavoro rendendo l'operazione estremamente flessibile. In altri tipi di impianti l'autobotte trasportatrice è caricata separatamente di acqua e di calce, preventivamente misurate, e la muscolazione è poi fatta durante il trasporto per mezzo di immissioni di aria compressa. In linea generale l'acqua è misurata a volume e la calce a peso. Allo scopo sono usati indifferentemente mescolatori fissi e mescolatori mobili. Per una buona muscolazione per mezzo di immissione di aria, in linea generale il tempo minimo si riduce a 10-15 minuti. L'uso di pompe consente che la muscolazione avvenga durante il trasporto. Generalmente sono impiegate per tale uso pompe da 2-3-4 pollici (5-7-10 cm) e l'aria è fatta circolare attraverso un condotto forato, e tappato a una estremità, che si estende per tutta la lunghezza del contenitore. Lo spandimento della miscela dalle autobotti può essere fatto a gravità o a pressione: è preferibile quest'ultimo sistema perché conferisce una maggiore uniformità. Generalmente lo spandimento è fatto in due passaggi. Qualche volta però ne occorrono un numero maggiore, in relazione al maggior quantitativo di calce da adoperare, nonché dell'umidità in sito, e del tipo di mescolatore che sarà impiegato.

Vantaggi e svantaggi dell'impiego della miscela acqua-calce

Vi è diversità di opinioni tra tecnici stradali se sia migliore l'impiego di calce in polvere o sotto forma di miscela. Poiché il problema dello spolvero nelle zone residenziali costituisce una vera e propria difficoltà, in tal caso è bene far ricorso allo spandimento di miscela acqua-calce. Oltre ad eliminare il problema dello spolvero, questo metodo combina lo spandimento della calce e lo spruzzaggio dell'acqua in un'unica operazione, diminuendo in totale il costo delle due fasi. Inoltre con questo metodo si ottiene una maggiore uniformità di calce nello spandimento. Dall'altra parte un impianto di muscolazione acqua-calce richiede un investimento da 1000 a 10000 dollari, a seconda dell'importanza di esso. Per piccoli lavori questo importo può essere proibitivo; per lavori di maggiore entità può essere conveniente. Alla miscela acqua-calce non può però essere fatto ricorso sia nel caso di terreni molto bagnati, sia durante periodi piovosi, cioè quando la terra in sito ha un umidità superiore al 4%, finisce per essere troppo il quantitativo di acqua da trasportare. Infine con il sistema a miscela non si possono avere altissime produzioni. Il consumo massimo di calce che si può avere è di 125 tonnellate al giorno, mentre con il sistema a secco si possono raggiungere 300 tonnellate al giorno. I quantitativi maggiori o minori dipendono dal tempo necessario per la preparazione delle miscele e dal numero di passaggi necessari per lo spandimento di esse.

Doppia applicazione di calce

In alcuni casi, allorché si tratta di stabilizzare argille molto plastiche (indice di plasticità di 50 o superiore) può essere vantaggioso aggiungere la calce in due tempi successivi: una prima parte serve ad ottenere la polverizzazione dell'argilla; una seconda parte per la stabilizzazione di essa. Per esempio, il 2-3% di calce può essere aggiunto in una prima parziale muscolazione, e la seconda parte (il 2-3%) in un tempo opportunamente successivo, per procedere poi alla muscolazione definitiva.

Miscelazione e aggiunta di acqua

Prima della compattazione le miscele terra-calce debbono essere polverizzate, si da poter passare al 100% al setaccio con maglie da 1 pollice (2,5 cm) e al 60% al setaccio ASTM n. 4 (serie commerciale italiana n. 2, luce netta: 4,66 mm; N.d.T.). Per raggiungere tale possibilità, in linea generale, è assolutamente necessario fare lo

spandimento e la muscolazione in due tempi, specie se trattasi di strati di sottobase e di argilla molto dura e compatta. Naturalmente ciò non sarà necessario se il terreno in sito avrà già una forma granulare, contenendo un minor quantitativo di argilla.

Miscelazione di strati di sottobase

La mescolazione di solito avviene, come accennato, in due tempi a distanza l'uno dall'altro di 24-48 ore. Nella prima muscolazione la calce è miscelata con lo strato di terra in sito, facilitandone la polverizzazione. Per ottenere una buona azione chimica della calce sull'argilla, occorre che quest'ultima non presenti elementi di dimensioni superiori a 5 cm di diametro. Prima del periodo di maturazione, il terreno deve essere cosparso di acqua si da ottenere un'umidità del 5% in più dell'"ottima", e ciò per facilitare il dissodamento delle zolle di argilla. Non si dovrà aggiungere tale eccesso nel caso che il tempo atmosferico freddo e umido non consenta poi una rapida evaporazione dell'acqua di impasto. In periodi molto caldi, non bisogna però eccedere nell'aggiunta dell'acqua. Dopo la prima muscolazione, gli strati saranno compattati leggermente con rulli pneumatici e questo servirà a proteggere lo strato stesso dai danni che potrebbero produrre pioggia. Generalmente dopo 24-48 ore l'argilla diventa sufficientemente friabile, e potrà essere effettuata la muscolazione finale; un'altra aggiunta di acqua può essere ancora necessaria, si da poter raggiungere una percentuale d'umidità leggermente superiore all'"ottima". In stagioni molto calde occorre aggiungere tanta acqua da compensare l'evaporazione, senza però arrivare ad eccessi dannosi. Sebbene erpici a disco e lame scarificatrici siano da impiegare nella prima muscolazione, per la seconda è opportuno ricorrere a mescolatori a rotore (a uno o più passi) o anche ad attrezzature ancor più rispondenti

Miscelazione degli strati di base

Sia un mescolatore a rotore sia a lama, o ancor meglio entrambi, possono essere utilizzati per la muscolazione del materiale di base granulare. Però i mescolatori a rotore sono più consigliabili, potendo ottenere da essi una muscolazione più intima e una polverizzazione più spinta, in tempi più brevi. Sono generalmente richiesti nel caso di rifacimenti di strade ammalorate. Allorché sia utilizzato un mescolatore a lame, congiuntamente alla calce in polvere, il materiale di base sarà diviso in due strisce, una per ciascun lato della strada. La calce sarà sparsa in ciascuna striscia e la muscolazione sarà fatta in un primo tempo all'asciutto. Successivamente si aggiungerà l'acqua necessaria per ottenere un quantitativo di umidità leggermente superiore all' "ottima" per la migliore compattazione, e infine la muscolazione sarà accuratamente completata. Generalmente essa dovrà essere ripetuta almeno tre volte. Se la muscolazione con lama è fatta impiegando miscela acqua-calce, essa andrà eseguita in strati predisposti dalla lama stessa. In genere lo spandimento dello slurry è iniziato su strati sottili predisposti dalla lama stessa. In genere lo spandimento dello slurry è iniziato su strati sottili (5 cm) predisposti nella zona centrale e a mano a mano si procederà alla prima muscolazione dal centro verso le estremità laterali, aggiungendo in tempi successivi tutto il legante necessario. Infine si mescoleranno intimamente tra loro tutti i vari strati. Un secondo sistema consiste nell'eseguire una lavorazione simile , partendo però da un lato fino a raggiungere la parte opposta. Tale operazione può essere ripetuta più volte aggiungendo man mano il legante e procedendo poi infine al completamento della miscelazione. Tale sistema è lento ma eccellente per il risultato che ne consegue. Quando nella muscolazione è impiegato un mescolatore a rotore ad alta prestazione o un impianto "mix-in-place" a una passata, la calce è sparsa uniformemente sull'intera superficie e la muscolazione si effettuerà dal basso verso l'alto. A seconda dell'attrezzatura usata e del tipo di

terreno da stabilizzare, la muscolazione può essere completata in 1-3 passaggi. L'acqua è aggiunta durante la muscolazione sia con spandimento da autocisterna sia direttamente nell'impianto di muscolazione. Quest'ultima forma è la più rispondente in quanto l'acqua risulta a più intimo contatto del terreno per tutta la massa di essa, facilitando le reazioni fisico-chimiche conseguenti. Accenneremo infine alla miscelazione della terra con calce per mezzo della macchina di tipo "windrow-mixing" (muscolazione aerata). La pratica degli applicatori costituisce l'elemento base di controllo di una buona e sufficiente muscolazione facilitata dalla visibile uniforme diffusione del colore bianco della calce. Ciò anche nel caso in cui si tratti di piccole aggiunte di questa (sino all'1%).

Miscelazione in centrale

La premescolazione della calce con terre di natura granulare per basi sta diventando molto diffusa in questi ultimi tempi, soprattutto nel caso di impiego di materiali di scarsa qualità. Per renderla rispondente alle prescrizioni, può essere sufficiente l'aggiunta di piccoli quantitativi di calce negli impianti di muscolazione in centrale, oppure anche applicando un mescolatore nell'apparecchiatura di caricamento dei camion. Generalmente si aggiunge nei mescolatori tanta acqua quanto necessario per ottenere l'umidità ottima e conseguentemente una buona muscolazione, spandimento e compattazione. Anche l'aggiunta di ceneri volanti è effettuata in impianti di muscolazione centrale, collocati in zone idonee. A impianti mobili si fa ricorso nel caso di normali stabilizzazioni di terre; nel caso invece si impieghino materiali pozzolanici o ceneri volanti, gli impianti di muscolazione assumono invece un carattere di permanenza nello stesso luogo scelto come più idoneo a facilitare gli approvvigionamenti dei vari materiali. Anche questi particolari tipi di miscela presentano normalmente prezzi competitivi con gli altri di uso più comune e servono per la realizzazione di strade residenziali, parcheggi per auto o mezzi pesanti ecc.

Compattazione

Per il massimo sviluppo della stabilità e della resistenza, le miscele terra-calce devono essere compattate ad alte densità: minimo al 95% AASHTO T180 per gli strati di sottobase e 98% per gli strati di base: La compattazione deve essere effettuata con "umidità ottima" e con approvati tipi rulli. Nel caso di materiali granulari, essi devono essere compattati il più presto possibile dopo la muscolazione. Un ritardo fino a 2 giorni non è pregiudizievole specie se si evita una rapida evaporazione dell'acqua dell'impasto. Nel caso invece di materiali non granulari, il ritardo di compattazione oltre il 4° giorno non danneggia in forma preoccupante. Se in casi eccezionali la compattazione dovesse avvenire dopo due settimane o più, potrà essere necessario aggiungere lo 0.5% di calce per compensare le perdite dovute soprattutto ai fenomeni di carbonatazione ed erosione del suolo. Vari tipi di rulli sono stati usati nei lavori di stabilizzazione, a seconda dello spessore degli strati. La pratica più comune in caso di terre argillose è quella di far ricorso a rulli a piede di montone e successivamente a rulli con ruote gommate del peso di 10 tonnellate. Rulli leggeri con ruote lisce metalliche possono essere utilizzati solo per le operazioni di finitura. La compattazione potrà essere ottenuta anche per mezzo di rulli vibranti, e rulli a ruote pneumatiche molto pesanti, accoppiati con rulli a ruote metalliche per le opere di finitura. Se si disponesse solo di rulli pneumatici leggeri, la compattazione dovrà essere fatta per strati di spessori sottili (da 3.5 a 5 cm). L'utilizzazione di rulli a ruote metalliche non è molto raccomandabile, in quanto si producono normalmente, qua e là sulla superficie, dei refluenti acquosi che non consentono poi una buona adesione del sovrastante strato di protezione in conglomerato bituminoso. Durante la compattazione nel

periodo estivo può essere necessario qualche successivo spandimento di acqua per compensare le perdite per evaporazione.

Maturazione

La resistenza e la stabilità di una terra stabilizzata dipende molto da un accurato periodo di maturazione dopo la rullatura. Di solito questo potrà arrivare fino a 7 giorni, durante i quali il traffico di cantiere più pesante dei compattatori pneumatici dovrà essere evitato. Un'eccezione riguarderà i casi dei lavori dove sono stati utilizzati rulli pesanti (da 20 o più tonnellate). Nel caso che ciò non fosse possibile, la compattazione finale degli strati deve essere fatta con rulli del peso di 20 tonnellate o più. In tal caso lo strato successivo sovrastante potrà essere immediatamente applicato e questo servirà anche alla maturazione dello strato sottostante. La maturazione potrà essere effettuata in due modi: o con successivi spandimenti di acqua, seguiti da leggere rullature, o dallo spandimento di una mano di bitume liquido nella misura di 0.10-0.25 galloni per yard² (0.4-1.1 litri/m²). Lo spandimento dovrà essere effettuato non più tardi di un giorno dopo il completamento della rullatura. In qualche caso il bitume liquido sarà sostituito da emulsione bituminosa il cui spandimento potrà essere fatto in una o più mani. Talvolta due mani il primo giorno, e una per giorno nei quattro giorni successivi, fino a raggiungere il quantitativo totale sopra indicato di bitume. Ciò perché è generalmente difficile applicare più di 0.2 galloni per yard² (0.9 litri/m²) di emulsione, in quanto che lo strato stabilizzato risulta dopo compattazione molto poco assorbente.

CAPITOLO IV

CONSIDERAZIONI VARIE

Le seguenti devono essere tenute presenti sia dalla Direzione lavori sia dalle imprese nella progettazione e nella costruzione di strati con terre stabilizzate con calce.

Mantenimento del traffico

Durante i lavori di stabilizzazione, la soluzione più rispondente sarebbe quella di deviare il traffico fino a quando lo strato di pavimentazione non potrà essere applicato e compattato. In varie circostanze ciò può risultare impossibile. Durante il periodo di maturazione, e prima dell'applicazione dello strato di pavimentazione, in qualche modo il traffico può essere consentito. Naturalmente vi sarà qualche possibilità di danno sullo strato stabilizzato e pertanto i carichi pesanti, per quanto possibile, devono essere ridotti o eliminati. Infatti si è potuto già controllare che ruote fortemente caricate hanno prodotto ormaie e, qua e là, danni superficiali negli strati da poco compattati. In linea generale però tali danni rivelano avvenute imperfezioni di compattazione e possono essere eliminati con l'apporto di materiale fresco e una pronta compattazione a fondo. Il traffico di camion anche di 25 tonnellate è stato sopportato da sottobasi stabilizzate con calce se ben compattate, realizzate il giorno prima.

Necessità di uno strato di pavimentazione di protezione

Qualunque strato stabilizzato con calce richiede una sovrapposta pavimentazione: al minimo una mano di bitume. Pavimentazioni di maggior importanza in conglomerato bituminoso o cementizio potranno essere imposte dall'importanza del traffico. Strati stabilizzati senza nessuna protezione hanno scarsa resistenza all'azione abrasiva del traffico continuativo. Si può consentire una sola eccezione: nel caso in cui si tratti di deviazione o di strade di cantiere. Comunque nel caso che queste debbano essere assoggettate intensivamente al traffico per oltre un anno, è raccomandata una pavimentazione.

Limitazioni dovute al clima

Le stabilizzazioni con calce lentamente raggiungono le resistenze dovute e richiedono per un certo periodo un clima favorevole, affinché l'indurimento sia soddisfacente. Pertanto, in linea generale, lavori del genere non debbono essere prolungati dopo i primi di ottobre. Potranno essere consentite eccezioni su responsabilità della Direzione lavori. Queste eccezioni naturalmente dipendono soprattutto dalle condizioni climatiche, dal tipo e dall'urgenza del completamento dei lavori. Nel caso che i lavori riguardino solo una modificazione delle terre in sito e non una vera stabilizzazione, essi potranno essere condotti anche in giornate fredde. In nessun caso però la calce idrata potrà essere mescolata al terreno gelato. In generale la temperatura di 4° C (40° F) sarà la temperatura minima per poter procedere ai lavori di stabilizzazione. Tale limitazione relativa alla stagione potrà essere prolungata di due settimane in caso si tratti di stabilizzazione di sottobase e non di base. Ciò perché nel caso di sottobase, questa non è progettata per sviluppare resistenze elevate e perché, successivamente, sarà protetta da altri strati di superficie. La stessa eccezione può estendersi al caso di strati di terra "modificata" con calce, perché non sarà necessario che la miscela

raggiunga forti resistenze, ma si richiede solo che l'indice di plasticità della terra in sito sia ridotto dall'azione della calce. Mentre l'inizio dei lavori a bassa temperatura nella tarda stagione autunnale non è raccomandabile, esso è invece tollerabile in primavera, anche con temperature basse. Nei primi giorni di primavera i lavori potranno essere cominciati purchè i fenomeni di disgelo nei terreni siano esauriti. Per quanto si riferisce alla pioggia, può dirsi che non vi siano limitazioni, tranne che non si tratti di forti acquazzoni. Nelle zone del Nord America, è consigliabile che le costruzioni di basi siano completate e siano protette un mese prima del periodo prevedibile di gelo. La nuova strada potrà sopportare il traffico invernale, purchè già protetta dalla sovrastante pavimentazione, costituita, al minimo, da una doppia mano di bitume, o ancor meglio, da uno strato a spessore di conglomerato bituminoso. Un lungo periodo di gelo, prima che lo strato di base abbia raggiunto una buona resistenza, può condurre a danni veramente notevoli. Buone condizioni atmosferiche per tale genere di lavori nelle zone del Nord America Vanno dal mese di aprile al mese di agosto, comunque non oltre il 15 settembre. In prossimità della Mason-Dixon line il periodo può essere esteso da fine marzo al primo di ottobre, e non oltre il 15 ottobre. Nel caso di costruzione di sottobasi, il periodo su accennato può essere esteso di 15 giorni; è però importante che nel periodo autunnale anche gli strati di sottobase siano in qualche modo protetti dopo la compattazione finale. Nel profondo Sud America, dove il gelo raramente appare, i lavori di stabilizzazione possono essere estesi anche a tutti i 12 mesi dell'anno.

Gelo

Nel caso i lavori fossero in corso e un periodo di gelo si manifestasse anticipatamente, occorrerà, per evitare danni, procedere come appresso:

- 1) Ricompattare lo strato di base stabilizzato con calce il giorno dopo quello in cui il gelo si è manifestato e possibilmente anche il giorno seguente, specie se dovesse ancora gelare la notte. L'esperienza ha dimostrato che fenomeni di gelo intermittente non fanno subire danni alla costruzione di basi. In generale quella che si verifica è una fessurazione superficiale della profondità di 2.5 cm.
- 2) Applicare il più presto possibile uno strato di emulsione bituminosa. Nel caso di basse temperature, è desiderabile ridurre il periodo di maturazione a 3 giorni o anche meno. Bisognerà però che qualunque traffico sia assolutamente proibito per vari giorni onde consentire alla miscela di raggiungere una certa resistenza.
- 3) Dopo il periodo di interruzione invernale, i tratti che fossero stati danneggiati, possono essere rilavorati e ricompattati, ciò in quanto la calce risulterà ancora attiva e libera, e seguirà a reagire con l'argilla, a mano a mano che la temperatura ambientale si riscalderà. Nella rilavorazione sarà opportuno raggiungere l'1% di calce per compensare i fenomeni di carbonatazione avutisi durante il periodo invernale.

Inizio delle lavorazioni nei primi giorni di primavera

Poiché le miscele di terra-calce induriscono lentamente, specie nei paesi freddi, come già indicato, è da ridurre il periodo di lavorazione; vi sono però altri fattori che tendono a compensare tale svantaggio. Innanzi tutto l'uso della calce allunga il periodo iniziale di idoneità dei lavori in generale, in quanto essi possono essere cominciati in marzo inoltrato o ai primi di aprile nelle zone del Nord America, in quanto un breve periodo di gelo non danneggia le lavorazioni. In primavera le lavorazioni con calce possono essere effettuate anche se il terreno è fortemente imbevuto di acqua fino a saturazione, poiché la calce prosciugherà le terre

consentendo poi la prosecuzione di altre lavorazioni, senza dover ricorrere a particolari attrezzature. Senza l'impiego della calce le imprese sarebbero obbligate ad aspettare che i terreni si asciugassero naturalmente, con notevole perdita di tempo. In conclusione, l'impiego di calce rende possibile un più lungo periodo di lavorazione nelle costruzioni stradali e nelle stabilizzazioni in particolare, specie se messe a confronto con quelle effettuate con altri tipi di additivo.

Limitati danni della pioggia

Abbiamo già visto la flessibilità del periodo opportuno per le stabilizzazioni con calce pur essendo necessario un lungo periodo per l'indurimento delle miscele e come queste consentano possibilità di rilavorazione e di ripresa. I danni provocati dalla pioggia sono veramente da minimizzare. Durante le ore di pioggia leggera, i lavori di spandimento della calce, di muscolazione e di compattazione possono essere continuati. Difatti la pioggia leggera riduce la necessità di spandimento di acqua durante la compattazione. Anche in caso di pioggia rilevante non vi sono possibilità di forti danni dopo lo spandimento della calce, a meno che notevoli pendenze non producano erosioni negli strati in corso di stabilizzazione. La compattazione di strati con calce può dirsi che impermeabilizzi lo strato stesso tanto che esso si comporterà sotto la pioggia come una strada pavimentata. Nel caso di fortissime piogge, non vi sarà che da aspettare al massimo uno o due giorni in più prima di applicare lo strato di pavimentazione o di base (trattasi di lavori di costruzione di sottobasi). Specialmente nelle zone a temperatura tropicale o sub-tropicale, gli appaltatori avranno interesse a eseguire i lavori il più rapidamente possibile, fino a raggiungere la protezione degli strati di base e di sottobase nei periodi non piovosi, per non avere danni nel periodo successivo di forti piogge.

Precauzioni nell'impiego della calce

La calce idrata come tutti i prodotti chimici di uso comune non è pericolosa per gli operai addetti ai lavori, posto che siano adottate alcune semplici precauzioni. Nel caso invece di impiego di calce viva (ossido di calcio), le lavorazioni sono da considerarsi pericolose. Tutti e due i tipi di calce sono fortemente alcalini, ma l'ossido di calce è più caustico e può produrre perciò forti irritazioni quando viene a contatto con la pelle umida. E' opportuno però evitare che anche la calce idrata venga a contatto con la pelle degli operai pur non essendovi molta possibilità di irritazioni. Soltanto in caso di prolungato contatto, e nello stato di abbondante sudorazione, se gli abiti tenderanno a strofinare la pelle, potranno prodursi delle forti irritazioni. In genere solo persone con pelle molto sensibile hanno avuto dalla calce idrata qualche dermatite, in caso di prolungato contatto. Non vi è nessuna urgenza di rimuovere dalla pelle la calce idrata, ma è bene soffiare via e lavarla con acqua appena possibile. Al contrario la calce viva deve essere lavata o tolta via immediatamente appena venuta a contatto della pelle, in quantochè l'azione caustica dell'ossido è pressoché immediata. Il caldo e l'umidità tendono ad elevare la causticità della calce idrata. Per evitare qualunque danno agli operai, è bene attenersi alle seguenti norme:

- 1) Indumenti di lavoro: fornire gli operai di camicie con maniche lunghe, proibendo di arrotolarle lungo il braccio. In periodo di tempo freddo si può aggiungere una seconda camicia a manica lunga.
- 2) Le scarpe devono essere alte e ben allacciate.
- 3) I calzoni devono essere strettamente legati sopra le scarpe. Non debbono essere consentiti calzoni corti.

- 4) Obbligare gli operai a portare i cappelli per proteggere la testa da un accumulo di polvere di calce .
- 5) Far calzare dei guanti lunghi e robusti.
- 6) Non consentire vestiti che siano troppo stretti intorno al collo e ai polsi, per evitare un surriscaldamento della pelle, predisponendola così a una maggiore irritazione.

Crema protettiva

Si farà applicare una crema protettiva sulle parti del corpo che comunque devono rimanere esposte all'aria, come il collo, il viso, i polsi e le caviglie. Correttamente applicata essa forma uno strato sottile facilmente asportabile con acqua e sapone.

Protezione agli occhi

Obbligare gli operai a portare occhiali con mascherina per tutto il periodo in cui devono lavorare con calce.

Protezione del naso e della bocca

Allorché per una qualsiasi speciale ragione gli operai respirassero aria con calce, sarà bene dotarli di una leggera maschera, sebbene respirare polvere di calce non sia nocivo.

Termine del lavoro

Alla fine della giornata di lavoro, è opportuno che gli operai prendano un bagno o facciano una doccia per asportare la crema protettiva.

Interventi di pronto soccorso

- 1) irritazioni cutanee: innanzi tutto occorre lavare con acqua tiepida e sapone per asportare tutta la calce. Applicare successivamente un qualsiasi medicamento normalmente usato per irritazioni di qualunque origine, ricoprendo la parte con garza sterile. (Consultare un medico in caso di cute screpolata; N.d.T.)
- 2) Danni agli occhi: nel caso in cui la calce sia entrata negli occhi, aprire bene le palpebre e lavare immediatamente con acqua, ma non in troppa quantità. Successivamente e con rapidità bisognerà condurre l'infortunato in un posto di pronto soccorso. Generalmente gli operai che più possono risentire dell'azione della calce sono quelli addetti alla svuotatura dei sacchi e all'operazione di spandimento della calce. L'applicazione della calce per mezzo di sacchi a mano è più pericolosa di ogni altra. Essendo il più grande pericolo quello agli occhi, è bene che tutti gli operai addetti allo svuotamento dei sacchi siano dotati di occhiali con mascherina. Se a un operaio in posizione china dovesse cascare un sacco aperto sul terreno, lo sbuffo di polvere potrebbe andargli negli occhi causandogli, se non protetto dagli appositi occhiali, seri danni alla vista. Lo spandimento della calce meno pericoloso è quello sotto forma di miscela acqua-calce. Solamente operai di particolare sensibilità alla pelle possono essere danneggiati dalla miscela, che eventualmente raggiungesse qualche parte del loro corpo. In ogni caso comunque sarà bene predisporre le sopra indicate precauzioni. Le predette precauzioni sono soprattutto intese per quelle imprese che utilizzano la calce per la prima volta. La maggior parte delle imprese con esperienza nell'uso della calce non hanno mai avuto problemi di forti irritazioni

per il loro personale. Tuttavia le imprese debbono porre in guardia gli operai addetti a tale genere di lavoro e devono assicurarsi che essi si attengano in gran parte alle previdenze su indicate. E' bene però tener presente che la calce idrata non è più pericolosa per la pelle del cemento o della biacca. La differenza principalmente consiste in questo: essendo la calce idrata più fine del cemento, più facilmente attraverso l'aria può venire a contatto con la pelle.

Densità in mucchio

Un'aggiunta di calce nella terra è usualmente indicata in percentuale di peso e non in volume. La calce idrata è piuttosto leggera, raggiungendo una densità in mucchio che va da 30 a 40 libbre per piede cubico (da 480 a 640 kg/m³). Ciò significa che la calce idrata pesa mediamente 1/3 di una terra. Pertanto il 3% in peso significa il 9% in volume. E' proprio per la finezza della polvere e per la sua purezza che essa può essere usata in piccole percentuali. L'ossido di calcio presenta una densità in mucchio maggiore della calce idrata, arrivando ad un peso medio di 55-60 libbre per piede cubico (880-960kg/m³).

Uso di calce viva in polvere per stabilizzazione

Poiché la calce idrata è più sicura da maneggiare rispetto alla calce viva, negli Stati Uniti il primo prodotto è quello più comunemente utilizzato. In Europa, invece, si utilizza più calce viva (macinata) che calce idrata. Tuttavia, l'uso della calce viva si sta diffondendo anche negli Stati Uniti ove rappresenta il 20% sul totale della calce per stabilizzazioni. Non c'è dubbio circa l'efficacia della calce viva per le stabilizzazioni. Essa è almeno ponderalmente uguale a quella della calce idrata e alcuni progettisti sono dell'opinione che essa sia dal 10% al 20% più efficace. In alcuni stati è stata vietata esclusivamente per questioni di sicurezza, vale a dire irritazioni cutanee e danni agli occhi. Essendo anidra, ha una maggiore concentrazione di calce, circa il 24% maggiore della calce idrata, talché il 3% di ossido di calcio è equivalente al 4% di calce idrata. Avendo la calce viva una maggiore concentrazione, viene pertanto a costare di meno, all'atto dell'utilizzazione, della calce idrata (soprattutto in relazione alle minori spese di trasporto). Altro vantaggio è il calore di idratazione che accelera non solo la presa delle miscele, ma offre maggiore possibilità di lavorazione nel periodo tardo autunnale. Nelle applicazioni a secco la calce viva invariabilmente riduce il problema della polverosità avendo un peso specifico in mucchio doppio e una granulometria maggiore rispetto alla calce idrata. Anche finemente macinata crea meno polverosità dell'idrato. La calce granulare o in zolle di piccole dimensioni (<13 mm) non crea problemi di polverosità e risulta nella pezzatura ideale per uno spandimento uniforme. In zone aride dove l'acqua scarseggia, l'uso della calce viva è precluso, in quanto occorre aggiungere un maggior quantitativo di acqua per l'idratazione, tenendo conto che l'acqua occorre non solo per il fenomeno di idratazione, ma per compensare le perdite per evaporazione dovute alla reazione termica. Se si volesse utilizzare la calce in forma granulare o in zolle non si otterrebbero miscele omogenee con la terra. E' discutibile il fatto che il vantaggio della maggiore concentrazione della calce viva rispetto a quella idrata si manifesti veramente nella pratica, poiché non è possibile ottenere lo stesso grado di intima mescolazione e omogeneità con la prima così come avviene per la seconda. Le particelle di calce viva una volta spente (per il contatto con l'acqua nella terra; N.d.T.) tendono ad agglomerare maggiormente nei suoli umidi e anche più favorevoli dimensioni di queste particelle (prima dell'agglomerazione; N.d.T.) perdono poi il vantaggio idrato. A causa di ciò, la calce viva in grosse zolle non è

utilizzabile per questo impiego. L'impiego di calce viva in polvere, se in qualche caso è necessario, richiede maggiori precauzioni, come già detto. Senza dubbio attenendosi rigidamente a queste precauzioni la calce viva potrà essere utilizzata senza che gli operai abbiano danni. Il pericolo di irritazioni alle persone può essere minimizzato utilizzando una calce viva meno reattiva a cottura forte comprendendo anche il tipo di polvere. Naturalmente per le operazioni di spandimento e lavorazione della terra occorrono sempre esperienza e prudenza. L'applicazione di calce viva in polvere con qualsiasi sistema dovrà essere evitata in giornate ventose, calde o umide.

Considerazioni costruttive

Poiché la calce viva granulata o in piccole zolle è più scorrevole della calce idratata, è pratica comune per l'applicazione l'utilizzo di spanditori a rimorchio attaccati ad autocarri ribaltabili. Si può inoltre ricorrere al metodo di scarico dal retro (tail gate), ove apertura e velocità dell'autocarro sono appositamente regolati per la quantità richiesta di calce, oppure cisterne con scarico dal basso. I solchi formati nell'operazione sono livellati prima di procedere alle fasi successive. Due sono i metodi di spengimento della calce viva in cantiere utilizzati nei lavori di stabilizzazione. Il primo comporta la spruzzatura diretta di un'abbondante quantità di acqua sullo strato di calce viva prima della miscelazione. L'acqua trasforma le particelle di calce viva in calce idrata, generando considerevoli quantitativi di vapore a causa del calore di idratazione. Nel secondo metodo la calce è prima mescolata a secco con la terra impiegando un erpice a disco o a uncini, e quindi con un'ulteriore erpicatura, per assicurare un completo spengimento della calce in tutto lo spessore. Uno svantaggio del primo metodo è quello di sollevare polvere a causa dei successivi passaggi dell'autocisterna dell'acqua sulla spianata di calce idrata appena posata. Dallo spengimento in poi, indipendentemente dal metodo utilizzato, le operazioni sono simili a quelle effettuate con calce idrata. Un requisito fondamentale quando si usa la calce viva è assicurare una completa idratazione prima di completare la miscelazione e iniziare la compattazione. Questo può essere verificato osservando quando cessa la produzione di vapore dopo aver applicato e incorporato l'acqua. Laddove siano presenti eccessive quantità di calce viva, come ad esempio nel caso di distribuzione scadente, sarà necessaria una bagnatura supplementare nelle zone interessate per assicurare una completa idratazione. Nei metodi predetti la calce viva è utilizzata in forma secca. Recentemente è stato sviluppato un metodo, brevettato, riguardante il latte di calce nel quale la miscela è preparata in uno spengitore di calce portatile, di grosse dimensioni, con una capacità di 20-25 tonnellate di calce viva. Dopo lo spengimento, la miscela riscaldata è pompata in autobotti convenzionali per la distribuzione sul letto stradale. Il dispositivo è un recipiente di 10 piedi di diametro e 40 di lunghezza (3x12 m, comprendente una vite a passo doppio e albero unico (diametro = 1,5 m). L'uniformità di ciascun lotto in preparazione si ottiene aggiungendo prima la quantità d'acqua richiesta e poi la calce viva, agitando.

Utilizzo di altri materiali stabilizzanti unitamente alla calce

In zone argillose che sono prive di materiali da costruzione, la calce è stata utilizzata insieme con altri stabilizzanti, primariamente il cemento Portland o il bitume, per la costruzione di strati di base per strade secondarie o di quartieri residenziali. Poiché questi altri additivi non possono essere mescolati con successo con argille plastiche, la calce (generalmente al 2-3%) è prima miscelata con la terra per renderla friabile, permettendo così al cemento o al bitume

successivamente aggiunti di essere adeguatamente mescolati. Sebbene tale pratica di stabilizzazione sia ovviamente molto più costosa dei metodi convenzionali con calce, essa può ancora risultare economica in zone dove i costi degli inerti da costruzione siano elevati. Nella stabilizzazione a bitume di aggregati per basi, spesso è utilizzata una piccola percentuale di calce per asciugare gli aggregati bagnati, cosicché il bitume può essere correttamente mescolato ricoprendo il materiale.

Miscele con ceneri volanti-pozzolane

Per la costruzione di strati di base sono state utilizzate, da molti anni e in quantità crescenti, miscele preparate in centrale costituite da calce idrata, ceneri volanti e aggregati. In dipendenza dei carichi da sopportare, della qualità della calce, della cenere volante e degli aggregati e in relazione ad altri fattori di progetto, questo tipo di base ha la composizione seguente:

materiale	% in peso
Calce idrata	2-4
Cenere volante	8-16
Aggregati	80-90

In anni recenti, queste miscele convenzionali di calce-ceneri volanti sono state ulteriormente modificate aggiungendo cemento Portland e dei filler. Per lo più queste miscele sono state utilizzate per pavimentazioni speciali ad alte prestazioni, incluse le piste degli aeroporti di: Newark, N.J.; Portland, OR. Houston, TX., così come in aree di parcheggio per container nel porto di Portland. Queste miscele hanno la composizione seguente:

	materiale LCF	% in peso LCPF
Calce idrata	2,8-3,6	3,0-3,3
Cemento Portland	0,5-0,9	1,0-1,1
Pozzolana	--	6,0-6,6
Cenere volante	10-12	--
Filler di limo	--	8-10
Pietra frantumata	0-35	10-25
Sabbia del luogo	50-84	56-80

APPENDICE A

Specifica per la calce idrata utilizzata nella stabilizzazione e modificazione del suolo

La calce idrata è definita come una polvere secca ottenuta trattando la calce viva con una quantità di acqua sufficiente a soddisfare la sua affinità chimica per l'acqua nelle sue condizioni di idratazione. Questo materiale dovrebbe essenzialmente consistere di idrossido di calcio o di una miscela di idrossido di calcio, ossido di magnesio e idrossido di magnesio, che sono i costituenti attivi della calce.

1. **Concentrazione della calce** – Sono ammessi due requisiti alternativi basati su metodi di prova differenti:
 - a) Ossidi totali: sia per la calce calcica sia per quella dolomitica è richiesto un contenuto minimo di ossidi totali (CaO+MgO) pari al 90%. Se si sceglie questo metodo di valutazione, la calce idrata deve contenere non più del 5% di biossido di carbonio (CO₂) se è stata campionata presso il luogo di produzione e non più del 7% se campionata a destino. Le determinazioni degli ossidi totali e del biossido di carbonio saranno conformi alla specifica ASTM C25, "Analisi chimica del calcare, della calce viva e della calce idrata".
 - b) Calce disponibile: per la calce idrata calcica è richiesto un contenuto minimo di calce disponibile (CaO) pari al 90%, su base non volatile (ciò corrisponde a un minimo del 68,1% su base volatile). La determinazione della calce disponibile sarà conforme sia al metodo di prova ASTM C25 "Saccarosio rapido" sia a ogni altro metodo equivalente come il metodo AASHTO T 219-72, "Prove per i costituenti chimici e per la granulometria della calce".
2. **Granulometria** – Tutta la calce idrata sarà conforme al seguente requisito granulometrico: almeno il 75% sarà passante al setaccio ASTM n. 200 (UNI n. 37, luce netta: 0,075 mm; N.d.T.). La determinazione della granulometria sarà conforme alle specifiche per la setacciatura a umido indicate dalla norma ASTM C110, "Metodi di prova fisici per il calcare, la calce viva e la calce idrata".