

Articolo

STABILIZZAZIONE DELLA FONDAZIONE STRADALE CON CALCE E CEMENTO

La tecnica consiste nella stabilizzazione mediante miscelazione, con idonee macchine stabilizzatrici (pulvimixer), di calce e cemento ai materiali provenienti dalla vecchia fondazione ed in parte dai sovrastanti strati di conglomerato bituminoso (fresato) e dal sottofondo.

L'intervento può essere realizzato direttamente sullo strato (o sugli strati) esistente, ovvero su materiali precedentemente fresati e rimossi, per consentire la stabilizzazione a calce del sottofondo, e successivamente riportati per realizzare la nuova fondazione (stabilizzata).

La stessa tecnica può essere applicata per il trattamento di materiali di primo impiego non idonei (caratterizzati da comportamento plastico, oppure con scarso potere coesivo) per strati di fondazione stradale. L'impiego della calce, in aggiunta al cemento, si rende necessario nei casi in cui il materiale da stabilizzare presente indice di plasticità $I_p > 0$ (vecchia fondazione plasticizzata, inglobamento di parte del sottofondo, materiali di aggiunta plastici).

A) COSTITUZIONE DELLA MISCELA

L'individuazione della miscela più idonea dovrà scaturire dalla serie di indagini eseguite presso Laboratori Ufficiali.

In particolare le miscele adottate dovranno possedere su provini tipo CBR, confezionati secondo la Norma CNR 29 (costipamento AASHTO Mod., maturazione di 7 giorni in aria a $20^\circ \pm 1^\circ \text{C}$, umidità relativa $> 95\%$)

- resistenza a compressione ad espansione laterale libera, compresa tra 2,5 e 4,5 N/mm^2 ;
- resistenza a trazione indiretta maggiore di 0.25 N/mm^2

L'impiego di ossido di calce è da preferirsi alla calce idrata; il cemento deve essere del tipo CEM IV/B pozzolanico 32,5, l'acqua deve essere esente da impurità dannose quali oli, acidi, alcali, materia organica.

Per poter procedere alla stabilizzazione, 15 giorni prima dell'inizio dei lavori, l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori i risultati degli studi effettuati.

Trattandosi generalmente di intervento su strade esistenti con strato di fondazione e sottofondo costituiti da materiali diversi e spessori diversi, la quantità di legante complessiva (calce + cemento) da impiegare potrà variare tra il 3% ed il 5% corrispondenti a circa 60 kg/m^3 e 100 kg/m^3 , così come potrà variare a discrezione della Direzione Lavori la proporzione tra calce e cemento.

B) POSA IN OPERA

L'operazione di miscelazione dovrà essere preceduta da quella di frantumazione degli strati esistenti mediante passate successive di idonea fresa o della stessa macchina stabilizzatrice.

Nel caso di riporto di materiali precedentemente fresati oppure di integrazione si dovrà procedere allo spianamento in modo da realizzare in modo costante lo spessore previsto in progetto.

Terminata l'operazione si dovrà stabilire l'umidità del materiale in sito, procedendo con metodi speditivi, ed eseguendo le verifiche in più punti ed a più profondità.

In presenza di valori che si discostano dal valore di umidità ottima, determinato a seguito delle prove di laboratorio sopra descritte e concordato con la Direzione Lavori, in valore assoluto maggiori del $\pm 2\%$, si dovrà areare il materiale in caso di eccesso di umidità, oppure ad annaffiare se troppo asciutto, per raggiungere il grado di umidità desiderato.

Acquisita l'umidità ottima o comunque compresa nel range sopra definito, si procederà alla stesa della calce, mediante impiego di spanditore a dosaggio volumetrico regolato in funzione della velocità di avanzamento, tale da raggiungere la percentuale prevista in sede di progetto della miscela.

Ultimata la stesa della calce si procederà alla miscelazione che dovrà essere realizzata con una o due passate di pulvimixer.

Si passerà quindi alla stesa del cemento, con la stessa procedura indicata per la calce, adottando il dosaggio previsto nel progetto della miscela, salvo eventuali modifiche (di dosaggio) ordinate dalla Direzione dei Lavori.

Lo spandimento della calce e del cemento dovrà interessare una superficie non superiore a quella che potrà essere trattata nella stessa giornata lavorativa e non dovrà mai essere effettuato in presenza di forte vento per garantire la sicurezza del personale operante, che dovrà comunque essere dotato di maschere protettive, e l'esattezza del dosaggio della miscela.

Alla miscelazione del cemento seguirà lo spianamento mediante grader per ottenere andamenti piano altimetrici regolari e la compattazione, con rullo vibrante, munito di compattometro, di peso superiore a 12 ton, e rullo gommato di peso superiore a 15 ton, fino a raggiungere densità del secco pari (o superiori) al 98% di quelle ottenute in laboratorio con la prova AASHO modificata.

Le modalità operative indicate e le macchine impiegate comporteranno la creazione di giunti trasversali e longitudinali. I giunti longitudinali ottenuti dalla lavorazione di strisce contigue devono risultare sovrapposti per almeno 15 cm. Nei giunti trasversali la miscela già costipata va ripresa in tutte quelle zone nelle quali il contenuto di cemento e/o calce, lo spessore, o il grado di compattazione risultino inadeguati e/o disomogenei. Le riprese dovranno essere eseguite all'inizio della successiva giornata lavorativa, nello strato indurito, in modo da presentare superficie verticale, per evitare che si manifestino successive fessurazioni.

La lavorazione (stabilizzazione) non dovrà, di norma, essere eseguita con temperature ambiente inferiori a 5°C e superiori a 25°C, né sotto la pioggia. Potrà tuttavia essere consentita a temperature comprese tra i 25°C e i 30°C a condizione che lo strato di protezione con emulsione bituminosa venga realizzato immediatamente dopo la miscelazione e la compattazione.

Le condizioni ideali di lavoro si hanno con temperature di 15°C ÷ 18°C ed umidità relative del 50% circa; temperature superiori saranno ancora accettabili con umidità relative anch'esse crescenti; comunque è opportuno, anche per temperature inferiori alla media, che l'umidità relativa dell'ambiente non scenda al di sotto del 15%, in quanto ciò potrebbe provocare ugualmente una eccessiva evaporazione.

Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche, o da altre cause, dovranno essere rimossi e sostituiti a totale cura e spese dell'Impresa.

La superficie finita, controllata a mezzo di un regolo di m 4,00 di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali, non dovrà scostarsi dalla sagoma di progetto di oltre 1 cm e tale scostamento non potrà essere che saltuario. Qualora si riscontri un maggior scostamento dalla sagoma di progetto, non è consentito il ricarico superficiale e l'Impresa dovrà rimuovere lo strato per il suo intero spessore a sua totale cura e spese.

Una volta ultimate le operazioni di costipamento e finitura, qualora lo strato trattato non venga ricoperto entro 24 ore con uno strato di conglomerato bituminoso sarà opportuno stendere a protezione dello strato ultimato un velo di emulsione bituminosa a lenta rottura in ragione di 1,5 Kg/mq saturata con sabbia, o, in alternativa, mantenere umida la superficie dello strato con almeno tre irrorazioni di acqua al giorno.

Il transito di cantiere potrà essere ammesso sullo strato a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stabilizzazione e limitatamente ai mezzi gommati.

C) CONTROLLI

Il controllo della qualità della stabilizzazione con calce e cemento deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela e con prove in situ.

L'ubicazione dei prelievi e la frequenza delle prove sono indicati nella **Tabella C.1**.

Le prove saranno eseguite dal Laboratorio della Provincia Autonoma di Bolzano o da altro Laboratorio indicato dal Committente.

A compattazione ultimata la **densità** del secco in sito (γ_s), nel 95% dei prelievi, non deve essere inferiore al 98% del valore di riferimento ($\gamma_{s,max}$) misurato in laboratorio sulla miscela di progetto con energia di costipamento Proctor Modificata (UNI EN 13286-2) e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Le misure della densità sono effettuate secondo la norma (DIN 18125-2 ovvero CNR 22/72).

Per valori di densità inferiori a quello previsto verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce, una detrazione pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = 2 (s - 2)^2$$

dove s è lo scostamento percentuale della densità in sito (γ_s) rispetto a quella di laboratorio ($\gamma_{s,ottimo}$) valutato con:

$$s = 100 (0,98\gamma_{s,ottimo} - \gamma_s) / 0,98\gamma_{s,ottimo}$$

Valori della densità del secco inferiori al 95% del valore di riferimento ($\gamma_{s,max}$) misurato in laboratorio sulla miscela di progetto con energia di costipamento Proctor Modificata (UNI EN 13286-2) comporteranno la ripetizione del trattamento a spese dell'Impresa, salvo il danno per il mancato esercizio dell'infrastruttura.

Le prove di controllo della **portanza** devono essere effettuate con prove di carico su piastra da 300 mm

secondo la DIN 18134. Possono inoltre essere impiegate prove rapide e/o ad alto rendimento come ad esempio la piastra dinamica leggera LFWD.

Il Modulo di deformazione E_{v2} deve risultare non inferiore a 150 MN/m^2 entro le 24 ore dalla realizzazione e non inferiore a 200 MN/m^2 dopo 3 giorni dalla realizzazione dello strato sempre con rapporto E_{v2}/E_{v1} inferiore a 2,15.

Per valori medi del modulo E_{v2} , determinati con prove di carico su piastra dopo 3 giorni dalla realizzazione inferiori a 200 MN/m^2 verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce, una detrazione pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = [(200 - E_{v2})/5]^2$$

Valori del modulo E_{v2} (dopo 3 giorni) inferiori a 170 MN/m^2 e/o del rapporto E_{v2}/E_{v1} inferiori a 2,15 comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa, salvo il danno per il mancato esercizio dell'infrastruttura.

Quando è previsto l'impiego di prove rapide o ad alto rendimento i livelli prestazionali minimi devono essere stabiliti sperimentalmente nel corso del campo prove o sul materiale posto in opera, prima dell'inizio dei controlli finali. Per le prove rapide di portanza con piastra dinamica leggera LFWD, sarà individuata una correlazione tra il Modulo dinamico E_{vd} ed il modulo E_{v2} ottenuto da prove di tipo statico. L'accettabilità del materiale sarà valutata sulla base dei valori E_{v2} ricavati da tale correlazione.

Le penali precedentemente indicate sono cumulabili e non escludono ulteriori detrazioni per difetto dei materiali costituenti, della miscela utilizzata rispetto a quella proposta dall'Impresa e/o della sua posa in opera, sempre che le carenze riscontrate rientrino nei limiti di accettabilità e non pregiudichino la funzionalità dell'opera.

Tabella C.1

Controllo dei materiali e verifica prestazionale			
TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Miscela di aggregati prima della stesa del legante (calce e cemento)	Fascia di stesa prima dello spandimento del legante	ogni 2000 mq di materiale lavorato	Curva granulometrica di progetto
Miscela di aggregati prima della miscelazione con la calce	Fascia di stesa dopo lo spandimento del legante	ogni 2000 mq di materiale lavorato	Quantità di calce stesa per mq Quantità di cemento steso per mq
Strato finito	Fascia di stesa ultimata	Ogni 500 ml di fascia di stesa	densità in sito non inferiore al 98 % della densità di laboratorio con metodo AASHTO mod. (DIN 18127 ovvero CNR 69/78)
Strato finito dopo 3 giorni dalla compattazione	Fascia di stesa ultimata	Ogni 250 ml di fascia di stesa	modulo di deformazione E_{v2} , determinato con prove di carico su piastra da 300 mm secondo la DIN 18134, non inferiori a 150 MN/m^2 con rapporto $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,15$