

Articolo 3

STABILIZZAZIONE A CALCE E LEGANTE IDRAULICO DEL SOTTOFONDO

La tecnica consiste nella miscelazione, con idonee macchine stabilizzatrici (pulvimixer), di calce e cemento ai materiali provenienti dalla vecchia fondazione.

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.

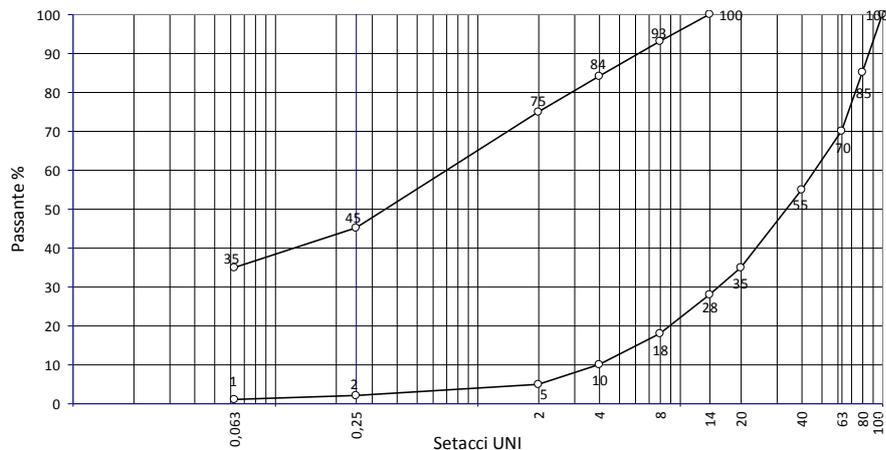
L'impiego della calce, in aggiunta al cemento, è necessario nei casi in cui il materiale da stabilizzare presente indice di plasticità $IP > 6$ (vecchia fondazione plasticizzata, inglobamento di parte del sottofondo, materiali di aggiunta plastici).

A) COSTITUZIONE DELLA MISCELA

1) Materiale da stabilizzare

Il materiale da trattare è generalmente costituito dalla vecchia fondazione, eventualmente integrata con una parte dei sovrastanti strati di conglomerato bituminoso (fresato) e dal terreno di sottofondo. Possono altresì essere impiegate le terre da scavo, aggregati naturali e/o di riciclo. La granulometria della miscela da trattare deve rientrare nel fuso granulometrico riportato in Tabella A.1.

Tabella A.1		
COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA		
Serie ISO	mm	% di passante
Setaccio	100	100
Setaccio	80	85 – 100
Setaccio	63	63 – 100
Setaccio	40	55 – 100
Setaccio	20	35 – 100
Setaccio	16	31 - 100
Setaccio	14	28 – 100
Setaccio	12,5	24 - 97
Setaccio	10	22 - 96
Setaccio	8	18 – 93
Setaccio	6,3	15 -90
Setaccio	4	10 – 84
Setaccio	2	5 –75
Setaccio	1	4 - 65
Setaccio	0,25	2 – 45
Setaccio	0,063	1 – 35



Il terreno in sito può essere trattato con calce e/o legante idraulico quando presenta un contenuto di materiale organico non superiore al 3% e una percentuale di solfati (SO_3), determinata secondo le norme UNI EN 1744-1, non superiore allo 0,3%.

2) Cemento

I cementi impiegati devono essere qualificati in conformità al Regolamento sui prodotti da costruzione 305/2011/CPR con dichiarazione di prestazione (DoP). Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13282-1 (Rapid gardening hydraulic road binders) e UNI EN 13282-2 (Normal gardening hydraulic road binders). Deve essere usato legante idraulico resistente ai solfati (SR 0), a basso calore d'idratazione. La Direzione Lavori può autorizzare l'impiego di cementi diversi a seguito di motivata richiesta presentata dall'Impresa.

3) Calce

Nei casi in cui il materiale da stabilizzare presenti Indice di Plasticità $IP > 6$ deve essere operato un pretrattamento con calce. Per questo si può impiegare calce viva¹ o idrata, costituite prevalentemente da ossido o idrossido di calcio (calci calciche). Il tipo di calce da impiegare deve essere scelto in relazione all'umidità del materiale da trattare: per terreni con rilevante presenza d'acqua deve essere utilizzata calce viva. Le calci devono essere ottenute direttamente dal processo di calcinazione di roccia calcarea, non è permesso l'impiego di calci ottenute da materiali di riciclo.

La calce impiegata deve essere prodotta e qualificata in conformità al Regolamento prodotti da costruzione 305/2011/CPR con dichiarazione di prestazione (DoP). Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 459-1.

La calce impiegata deve essere delle classi CL 90 o CL 80.

4) Acqua

L'acqua deve essere esente da impurità dannose, oli, acidi, alcali, materia organica, frazioni limo-argillose e qualsiasi altra sostanza nociva. In caso di dubbio la Direzione Lavori può chiedere la verifica di idoneità ai sensi della norma UNI EN 1008.

5) Miscela

L'individuazione del dosaggio del legante (legante idraulico ed eventualmente della calce) e dell'umidità ottima di costipamento deve scaturire da specifici studi eseguiti presso uno dei laboratori di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

¹ Può essere impiegata calce viva in polvere o in sospensione acquosa. In quest'ultimo caso la sospensione dovrà contenere almeno il 70% in peso di ossido di calcio.

B) ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

L'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio della posa in opera, i risultati ottenuti dalle predette prove e quindi la percentuale di calce che intende adottare. Acquisita l'approvazione della Direzione Lavori, può procedere all'impiego della miscela. Le miscele adottate devono possedere i requisiti riportati nella Tabella B.1.

Tabella B.1					
MISCELA STABILIZZATA A CALCE E CEMENTO					
Requisito	Norma	Simbolo	Unità di misura	Valori richiesti	Classi di resistenza
Resistenza a compressione a 28gg	UNI EN 13286-41	R _c	MPa	2,5 ≥ R _c ≤ 5	C _{3/4} - C _{5/6}
Resistenza a trazione indiretta a 28gg	UNI EN 13286-42	R _t	MPa	≥ 0,25	
Modulo di rigidezza a 28 gg – 124ms (*)	UNI EN 12697 – 26 Appendice C	S	GPa	3,0 – 8,0	Categoria T2 – T4
(*) Su provini confezionati con 100 rotazioni della pressa giratoria					

In ogni caso la quantità di calce aggiunta non deve mai essere inferiore al 2,0% in peso, pena la rimozione dell'intero strato di materiale a totale onere e cura dell'Impresa.

C) POSA IN OPERA

L'operazione di miscelazione deve 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 in precedenza fresati, oppure di integrazione si deve procedere allo spianamento in modo da realizzare costantemente lo spessore previsto in progetto.

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

Quando i valori di umidità si discostano dall'umidità ottima, determinata a seguito delle prove di laboratorio sopra descritte e concordata con la Direzione Lavori, del ± 2 % (in valore assoluto), si deve aerare 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 nell'intervallo sopra definito, si procede alla stesa del cemento, 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 del cemento si esegue la miscelazione che deve essere realizzata con una o due passate di pulvimixer.

Qualora il materiale a causa della sua plasticità richiedesse il pretrattamento a calce si procede con le stesse modalità indicate per il cemento, adottando il dosaggio previsto nel progetto della miscela, salvo eventuali modifiche (di dosaggio) ordinate dalla Direzione dei Lavori. Dopo la miscelazione della calce con una o due passate di pulvimixer si passa alla stesa del cemento cui segue la miscelazione, lo spianamento mediante grader, per ottenere andamenti piano-altimetrici regolari, e la compattazione, con rullo vibrante, di peso superiore a 120 kN, e rullo gommato di peso superiore a 160 kN, fino a raggiungere densità del secco pari (o superiori) al 98% di quelle ottenute in laboratorio con la prova AASHO standard.

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

Le modalità operative indicate e le macchine impiegate comportano la creazione di giunti trasversali e longitudinali. I giunti longitudinali ottenuti dalla lavorazione di strisce contigue devono essere 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 siano inadeguati e/o disomogenei.

Le riprese devono 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 deve, di norma, essere eseguita con temperature ambiente inferiori a 5°C

e superiori a 25°C, né sotto la pioggia. Può tuttavia essere consentita a temperature comprese tra i 25°C e i 30°C a condizione che lo strato di protezione con emulsione bituminosa sia 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 di circa il 50%; temperature superiori sono 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, devono 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 deve scostarsi dalla sagoma di progetto di oltre 10 mm e tale scostamento non può essere che saltuario. Qualora si riscontrino un maggior scostamento dalla sagoma di progetto, non è consentito “correggere” il difetto con il riporto e la successiva rullatura di piccole quantità di materiale, ma si deve aumentare lo spessore dello strato sovrastante (fondazione stradale) con spesa a carico dell'Impresa. Sono invece possibili correzioni dei piani finiti “non conformi” per “eccesso” (quote del piano finito superiori a quelle previste) mediante riprofilatura con macchina livellatrice o fresatrice.

Una volta ultimate le operazioni di costipamento e finitura, il materiale trattato deve essere protetto mediante la spruzzatura di emulsione bituminosa a lenta rottura (designazione secondo UNI EN 13808: C 55 B 4) con un dosaggio di 1,0 - 1,5 kg/m² in relazione alla porosità superficiale e alla capacità di assorbimento della parte superiore dello strato trattato. L'emulsione deve essere coperta con sabbia o graniglia per evitarne l'asportazione da parte dei mezzi di cantiere. Il velo di protezione con emulsione bituminosa può essere evitato se lo strato trattato viene ricoperto da uno strato sovrastante in tempi brevi. In questo caso, in attesa del ricoprimento, il materiale stabilizzato a calce e cemento deve essere mantenuto sempre umido, con almeno tre irrorazioni di acqua al giorno, fino alla realizzazione dello strato sovrastante.

D) CONTROLLI

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

L'ubicazione dei prelievi e la frequenza delle prove sono indicate nella Tabella D.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 Standard (UNI EN 13286-2) e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Le misure della densità sono effettuate secondo la norma (DIN 18125-2, ASTM D 1556-90).

Per valori di densità inferiori a quello previsto viene 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 98% del valore di riferimento ($\gamma_{s,max}$), misurato in laboratorio sulla miscela di progetto con energia di costipamento Proctor Standard (UNI EN 13286-2, DIN 18127) comportano 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 eseguite 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 essere non inferiore a 150 MPa entro le 24 ore dalla realizzazione e non inferiore a 200 MPa dopo 3 giorni dalla realizzazione dello strato sempre con rapporto E_{v2}/E_{v1} inferiore a 2,15. Quando il valore di E_{v2} risulta maggiore di 250 MPa, il rapporto E_{v2}/E_{v1} non è rilevante.

Per valori medi del modulo E_{v2} , determinati con prove di carico su piastra dopo 3 giorni dalla realizzazione inferiori a 200 MPa viene 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 180 MPa e/o del rapporto E_{v2}/E_{v1} inferiori a 2,15 (solo per E_{v2} inferiore a 250 MPa) 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, viene individuata una correlazione tra il Modulo dinamico E_{vd} ed il modulo E_{v2} ottenuto da prove di tipo statico. L'accettabilità del materiale viene valutata sulla base dei valori E_{v2} ricavati da tale correlazione.

La Direzione Lavori, quando lo ritiene necessario, può eseguire ulteriori controlli mediante macchina a massa battente (Falling Weight Deflectometer – FWD).

L'85° percentile dei valori del **modulo elastico**, rilevati dopo 90 giorni dalla posa in opera, non deve essere superiore a 12,0 GPa. Il 15° percentile degli stessi valori non deve essere inferiore a 4,0 GPa. Per valori dell'85° percentile del modulo elastico, superiori a 12,0 GPa, viene applicata allo strato di fondazione e a quelli sovrastanti (intero pacchetto dalla fondazione al tappeto di usura) una detrazione pari al 10%.

Per valori del modulo elastico al 15° percentile, inferiori a 4,0 GPa, viene applicata allo strato di fondazione e a quelli sovrastanti (intero pacchetto dalla fondazione al tappeto di usura) una detrazione pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = 5 (s+s^2)$$

in cui s è la differenza tra 4 GPa ed il valore del 15 percentile del modulo elastico del tratto omogeneo (cui il valore si riferisce) espresso in GPa.

Le penali in precedenza 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 D.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 standard
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 180 Mpa con rapporto $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,15$