

Premessa

Le „Norme funzionali e geometriche per la progettazione e costruzione di strade“, che costituiscono la base di riferimento per tutti i documenti che regolano la costruzione delle strade in Alto Adige, sono in vigore dal 17 novembre 2006; questo vale anche per il “Catalogo per il dimensionamento delle pavimentazioni stradali”, elaborato nel 2015 dalle Ripartizioni 10 - Infrastrutture, 11 - Edilizia e servizio tecnico e 12 - Servizio Strade.

Ai sensi della circolare del Ministero dell’Ambiente del 15 luglio 2005 n. 5205 e soprattutto per promuovere l’utilizzo di materiale di riciclo in Alto Adige, la Giunta Provinciale con delibera in data 11/04/2017 n. 398 ha approvato le ”Linee Guida sulla qualità e l’utilizzo dei materiali riciclati”.

Si è pertanto ritenuta opportuna l’elaborazione di queste direttive aggiornate allo stato dell’arte e delle conoscenze con il titolo “Direttive tecniche per il sottofondo stradale”, elaborate dalle Ripartizioni 10 - Infrastrutture, 11 - Edilizia e servizio tecnico e 12 - Servizio Strade, ed approvate dal Comitato Tecnico Provinciale in data 18/05/2017 con il parere positivo n. 12 (atto n. 8-294).

Le “Direttive tecniche per il sottofondo stradale” in caso di dubbio o di conflitto prevalgono su tutti gli altri documenti e direttive della Provincia Autonoma di Bolzano riferiti alla stessa materia, poiché più dettagliate e più aggiornate.

Articolo 2

STABILIZZAZIONE A CALCE DEI SOTTOFONDI

La tecnica consiste nello spandimento della calce sulla superficie di terreno da trattare e nella successiva miscelazione mediante l’ausilio di idonee macchine stabilizzatrici (pulvimixer). Lo scopo è quello di ottenere un miglioramento significativo, in genere a medio e/o a lungo termine, delle proprietà fisico – meccaniche della terra che la rendono stabile alle azioni dell’acqua e del gelo.

A – MATERIALI COSTITUENTI E LORO QUALIFICAZIONE

1. Calce

1.1 Generalità e provenienza

Per il trattamento può essere impiegata 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 dovranno 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 dovrà essere prodotta e qualificata in conformità al regolamento UE sui prodotti da costruzione 305/2011/CPR con dichiarazione di prestazione (DoP) sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all’appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 459-1.

1.2 Requisiti

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

¹ 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.

La calce viva dovrà soddisfare i requisiti granulometrici aggiuntivi specificati in Tabella A.1. Inoltre la calce viva, sottoposta a test di reattività secondo UNI EN 459-2², dovrà raggiungere una temperatura di 60°C entro 25 minuti.

| Tabella A.1 | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Apertura setaccio (mm) | Categoria P1 | Categoria P2 | Categoria P3 | Categoria P4 |
| 10 | - | 100 | - | 100 |
| 5 | - | 100 | 100 | ≥95 |
| 2 | 100 | ≥95 | ≥95 | - |
| 0,2 | ≥95 | ≥70 | - | - |
| 0,09 | ≥85 | ≥50 | ≥30 | - |

Nota: analisi granulometrica eseguita secondo UNI EN 459-2:2010

Il possesso dei requisiti specificati sarà verificato dalla Direzione Lavori esaminando gli attestati di conformità CE dei prodotti e le registrazioni del Controllo di Produzione di Fabbrica del Produttore che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori.

1.3 Acqua

L'acqua impiegata per la miscelazione e la maturazione non dovrà influire in modo negativo sulla prestazione delle miscele. L'acqua potabile potrà essere impiegata senza ulteriori accertamenti.

Se richiesto dalla Direzione Lavori l'acqua dovrà essere analizzata e risultare conforme ai requisiti minimi specificati nella norma UNI EN 1008.

1.4 Terra

Il terreno di sottofondo, insieme ad eventuale terra di apporto, potrà essere trattato con calce quando:

- appartiene alle classi A₆ e A₇ (secondo la normativa UNI 11531-1:2014), alle classi A_{2,6} e A_{2,7} con una frazione passante al setaccio 0,4 UNI non inferiore al 35%, alla classe A₅ con I_p>8;
- è caratterizzato da un valore di blu di metilene superiore a 200 (200 cm³ di soluzione 10g/l di blu di metilene per 100 g della frazione di terra passante al setaccio 0,25 mm, secondo Norma UNI EN 933-9).
- presenta un contenuto di materiale organico non superiore al 3%;
- diametro massimo degli elementi litoidi dovrà comunque essere inferiore a 60mm.
- presenta una percentuale di solfati (SO₃) non superiore allo 0,3% determinata secondo le norme UNI EN 1744-1 ma utilizzando, per l'estrazione dei solfati dalla terra, un rapporto in peso acqua/terra pari a 10. Con percentuale di solfati compresa tra 0,3% ÷ 0,5% in alcune zone si potrebbero verificare reazioni espansive localizzate, è quindi necessario eseguire la polverizzazione della terra e la miscelazione della calce con estrema attenzione. In particolare durante la miscelazione l'umidità dovrà essere almeno il 3-5% superiore al valore ottimo risultante dalle prove di costipamento. Dovrà essere osservato un periodo di maturazione di almeno 3 giorni prima di eseguire una seconda miscelazione e, quindi, la compattazione dello strato. Con percentuale di solfati compresa tra 0,5% ÷ 0,8% oltre alle misure già esposte, dovrà essere attentamente valutato, in fase di progetto della miscela, il periodo di maturazione. In questa fase andrà anche considerata l'opportunità di aggiungere la calce in 2 fasi successive. L'accettazione delle miscele sarà basata principalmente sul valore del rigonfiamento. Con percentuale di solfati superiori allo 0,8 il trattamento con calce deve essere escluso.

1.5 Miscela

La composizione della miscela terra-calce-acqua dovrà essere stabilita in base ai risultati di uno studio, eseguito presso i Laboratori Ufficiali o Autorizzati di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

² Nel caso in cui la calce viva contenga una frazione granulometrica trattenuta al setaccio 2 mm, tale materiale dovrà essere frantumato fino a dimensioni inferiori a 2 mm per essere sottoposta a prova.

1.5.1 Studio della miscela

Per gli interventi di stabilizzazione lo studio riguarderà almeno 3 miscele terra-calce con tenori di calce crescenti a partire dal valore minimo del Contenuto Iniziale di Calce (CIC). Fatte salve le ulteriori prescrizioni che la Direzione Lavori porrà nel caso di terreni con medio o elevato contenuto di solfati, lo studio comprenderà almeno le seguenti prove sul terreno da stabilizzare:

- a) determinazione del Contenuto Iniziale di Calce (CIC), secondo la norma ASTM D6276-99a;
- b) determinazione del Valore di Blu (VB), secondo la norma UNI EN 933-9;
- c) determinazione del limite liquido e del limite plastico (UNI CEN ISO/TS 17892-12);
- d) determinazione della curva di costipamento con energia Proctor modificata (UNI EN 13286-2 in alternativa DIN 18127) con almeno 5 punti di umidità comprendenti il valore dell'umidità naturale della terra in sito;

Sulle miscele terra-calce saranno eseguite le seguenti prove:

- a) determinazione del limite liquido e del limite plastico (UNI CEN ISO/TS 17892-12);
- b) determinazione della curva di costipamento con energia proctor modificata (UNI EN 13286-2) con almeno 5 punti di umidità comprendenti il valore dell'umidità naturale della terra in sito;
- c) determinazione dell'indice C.B.R. (UNI EN 13286-47:2006) su provini costipati con valori di umidità pari a quello ottimale, W_{ott} ed a $W_{ott}+3\%$, maturati per 28 giorni a $20^\circ \pm 2^\circ$ C e U.R.>95%³ e quindi saturati con 4 giorni di immersione in acqua a $20^\circ \pm 2^\circ$ C. Al termine della saturazione sarà inoltre determinato il valore di rigonfiamento. Se richiesto dalla D.L. lo studio dovrà prevedere l'impiego di due provini per ciascun valore di umidità della miscela.
- d) se richiesto dalla Direzione Lavori sarà inoltre effettuata la determinazione dell'indice C.B.R. (CNR-UNI 10009) "immediato" su provini costipati con valori di umidità pari a quello ottimale, W_{ott} ed a $W_{ott}+3\%$;
- e) se richiesto dalla Direzione Lavori per la verifica della resistenza al gelo-disgelo dovrà essere effettuata la determinazione della resistenza a compressione (EN 13286-41) su provini confezionati secondo UNI EN 13286-50 al 98% della densità massima ottenuta dalle prove di costipamento e all'umidità attesa durante la fase di costipamento in sito. La maturazione dei provini sarà effettuata per 28 giorni a $20^\circ \pm 1^\circ$ C e U.R.>95%. Dopo la maturazione i provini saranno sottoposti a 13 cicli gelo-disgelo (16 ore a -5° C, 8 ore a 8° C). Se richiesto dalla Direzione Lavori studio dovrà prevedere l'impiego di due provini per ogni prova.

La preparazione delle miscele dovrà avvenire essiccando preliminarmente la terra fino a massa costante, ad una temperatura non superiore a 60° C. Si procederà quindi all'aggiunta della calce nelle percentuali in studio. Queste ultime saranno sempre riferite al peso secco della terra. Si procederà quindi con l'aggiunta delle percentuali d'acqua richieste dallo studio, una delle quali dovrà coincidere con l'umidità della terra in sito.

L'intervallo di maturazione tra l'aggiunta d'acqua e la compattazione della miscela dovrà essere stabilito, anche in base alle indicazioni della Direzione Lavori, riguardo alla natura del terreno, al programma delle lavorazioni ed ai controlli in sito.

Le curve di costipamento e le curve CBR dovranno essere tracciate con riferimento sia alla quantità di acqua aggiunta alla terra essiccata sia all'umidità misurata sulle miscele terra-calce dopo il periodo di maturazione.

B – ACCETTAZIONE DELLA MISCELA

Si riterranno idonee per la formazione di sottofondi le miscele terra-calce che forniranno le seguenti prestazioni:

- a) contenuto iniziale di calce (CIC) > 1,5%;
- b) valore di blu VB > 2 g/kg;
- c) indice C.B.R. > 30% (per i provini confezionati con W_{ott} e con $W_{ott}+3\%$ e quindi sottoposti a maturazione e saturazione);
- d) rigonfiamento dopo 4gg di immersione < 1,5% (per i provini confezionati con W_{ott} e con $W_{ott}+3\%$ e quindi sottoposti a maturazione e saturazione);
- e) resistenza a compressione $R_c \geq 1,2$ MPa.

³ In alternativa la maturazione potrà essere eseguita per 48h a $49 \pm 1^\circ$ C e U.R.>95%

L'Appaltatore è tenuto 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, potrà procedere all'impiego della miscela.

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

C – POSA IN OPERA

La superficie dello strato dovrà essere perfettamente livellata secondo i piani indicati nei disegni di progetto. Se richiesto, si dovrà effettuare una rullatura della superficie finalizzata all'individuazione di zone particolarmente compressibili. Su indicazione della Direzione Lavori tali zone saranno bonificate prima dell'inizio del trattamento.

L'operazione di miscelazione dovrà essere preceduta da quella di frantumazione della terra in sito fino alla profondità prevista per la stabilizzazione, ottenuta mediante passate successive con idonea attrezzatura polverizzatrice (pulvimixer) fino ad ottenere grumi di terra della dimensione massima di 40 mm.

La macchina polverizzatrice dovrà trattare il materiale in modo uniforme fino alla profondità richiesta, per tutta la larghezza della lavorazione. Essa dovrà inoltre fornire una chiara indicazione visiva della profondità di lavorazione.

Terminata l'operazione si dovrà determinare l'umidità della terra in sito, procedendo con metodi speditivi, ed eseguendo le verifiche in più punti ed a più profondità.

Saranno considerati soddisfacenti valori di umidità compresi tra quello ottimo della miscela, W_{ott} e $W_{ott}+3\%$.

In presenza di valori di umidità troppo elevati si procederà, in accordo con la Direzione Lavori ad una nuova lavorazione del materiale. L'aggiunta di calce non potrà essere fatta se l'umidità della terra non rientrerà nel range prescritto. Nei casi in cui i valori di umidità sono sensibilmente più elevati del valore ottimo di costipamento è preferibile l'impiego di calce viva macinata per il suo effetto essiccante.

La stesa della calce sarà eseguita 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. L'operazione di spandimento sarà sospesa quando la presenza di vento non permettesse di garantire la sicurezza del personale operante, che dovrà comunque essere dotato di maschere protettive, e l'esattezza del dosaggio della miscela. Il materiale dovrà quindi essere umidificato, con le modalità indicate dalla Direzione Lavori, fino a raggiungere il contenuto d'acqua richiesto.

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

Entro 6 ore dalla stesa della calce si procederà alla miscelazione che dovrà essere realizzata con 2 o più passate miscelatore (pulvimixer). Il miscelatore dovrà essere del tipo a rotore, semovente e permettere di lavorare strati di almeno 50 cm di profondità.

Il controllo della profondità e dell'uniformità del trattamento sarà eseguito durante le operazioni di miscelazione attraverso la verifica visiva dell'apparecchiatura di miscelazione. Inoltre il controllo potrà essere eseguito attraverso trincee di ispezione, impiegando il metodo della fenoltaleina⁴.

La miscelazione dovrà garantire che le zolle siano state ridotte a dimensioni tali per cui la terra passi interamente al setaccio da 31,5 mm e per almeno il 50% al setaccio da 4mm.

Se richiesto dalla Direzione Lavori, riguardo alla composizione ed alla reattività della terra da trattare, sarà necessario effettuare una seconda fase di miscelazione (miscelazione finale) dopo un periodo di tempo variabile da 1 a 7 giorni dalla prima miscelazione. Tale periodo di maturazione sarà stabilito dalla Direzione Lavori sulla base dei risultati degli studi di qualifica del materiale.

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

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

⁴ Sarà aperta una piccola trincea larga almeno 30cm per tutto lo spessore dello strato trattato. Le pareti dello scavo saranno immediatamente impregnate con una soluzione indicatrice di fenoltaleina ed alcool. Il viraggio al viola del colore indicherà la profondità e l'omogeneità della miscelazione.

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.

Si passerà quindi alla rullatura da eseguire, secondo le caratteristiche geotecniche della miscela terra-calce, con rulli a piedi costipanti, segmentati, vibranti, gommati.

La finitura superficiale dovrà avvenire con l'impiego di macchine livellatrici e non con l'apporto di nuovo materiale. La superficie finita dello strato in terra stabilizzata dovrà avere la sagoma e le quote riportate nei disegni di progetto.

Una volta ultimate le operazioni di costipamento e finitura, qualora lo strato trattato non venga ricoperto entro 24 ore con un ulteriore strato (fondazione stradale) sarà stesa a protezione dello strato ultimato un velo di emulsione bituminosa a lenta rottura del tipo EL 55 (BU CNR n.3) in ragione di 1,5 Kg/mq o in alternativa un velo di bitume liquido BL 350-700 (BU CNR n.7) in ragione di 1 Kg/mq.

D – CONTROLLI

Il controllo della qualità della stabilizzazione a calce 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 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, ASTM D 1556-90).

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 essere non inferiore a 120 MN/m² con rapporto E_{v2}/E_{v1} inferiore a 2,15. Per valori medi di portanza inferiori a quello previsto sarà applicata, per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce, una detrazione pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = [(120 - E_{v2})/5]^2$$

Valori del modulo E_{v2} inferiori a 100 MN/m² e/o del rapporto E_{v2}/E_{v1} superiori a 2,15 comporteranno la ripetizione del trattamento 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.

La Direzione Lavori può inoltre richiedere prove dell'indice C.B.R., prove di rigonfiamento e prove di rottura a compressione su provini prelevati in sito costituiti da materiale già compattato.

Per eventuali valori inferiori al 90% di quelli ottenuti in laboratorio sulla miscela di progetto la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del trattamento e le detrazioni da applicare.

Tabella D.1

| Controllo dei materiali e verifica prestazionale | | | |
|---|----------------------------|------------------------------------|---|
| TIPO DI CAMPIONE | UBICAZIONE PRELIEVO | FREQUENZA PROVE | REQUISITI RICHIESTI |
| Miscela sfusa già compattata | Fascia di stesa ultimata | ogni 2000 mc di materiale lavorato | indice CBR, rigonfiamento e resistenza a rottura (prove a compressione) non inferiori al 90% di quelli ottenuti in laboratorio sulla miscela di progetto |
| Strato finito | Fascia di stesa ultimata | Ogni 250 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 | 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 120 MN/m ² con rapporto $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,15$ |