

NORME TECNICHE INTEGRATIVE

PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI IN TERRA-CALCE

(Art. 3.3.1.3. delle Norme Tecniche di Appalto)

Il processo di stabilizzazione consisterà nel miscelare intimamente le terre argillose con calce di apporto (calce aerea calcica), in quantità tale da modificarne le caratteristiche fisico-chimiche (granulometria, suscettività all'acqua, umidità) e le proprietà meccaniche, così da renderle idonee per la formazione di strati che dopo il costipamento presentino adeguata resistenza meccanica e stabilità all'azione dell'acqua e, se necessario, del gelo.

L'idoneità al trattamento con calce dei terreni, differenziata in relazione alla destinazione d'uso del materiale (strati di rilevato e strati di sottofondazione della pavimentazione) deve risultare da appositi studi preliminari di laboratorio attraverso i quali sono determinati i dosaggi di legante da adoperare ed il campo dei contenuti d'acqua da osservare nella formazione e nel costipamento delle miscele.

I requisiti circa le prestazioni meccaniche di miscele terra-calce-cemento sono gli stessi di quelli richiesti per le miscele terra-calce. Il trattamento con cemento si applica preferibilmente alle terre sabbiose; quello con calce e cemento alle terre limo-argillose poco o mediamente plastiche; il trattamento misto con calce e cemento, tuttavia, può essere considerato anche in presenza di argille a medio-elevata plasticità ($IP > 20$), se interessa acquisire la stabilità all'acqua delle miscele nel breve termine (entro 30÷40 giorni dalla stabilizzazione).

A- IDONEITÀ DELLE TERRE E DEI PRODOTTI DI TRATTAMENTO

Terra - In accordo alla norma UNI EN 14227-11 "Terra trattata con calce", per essere idonea al trattamento con calce la terra deve possedere i seguenti requisiti :

Granulometria: la terra, preferibilmente, deve risultare totalmente passante al setaccio di apertura 63 mm. Vanno eliminati gli elementi di dimensione superiore a 150 mm, poiché di ostacolo all'intima miscelazione della terra con la calce, quando si usano frese ad albero orizzontale. Il passante allo 0,063 mm, inoltre, deve essere maggiore del 12%. Possono essere ammesse granulometrie diverse a condizioni che si dimostri l'idoneità del processo di stabilizzazione attraverso studio delle miscele in laboratorio ed eventualmente in campo prova

Indice di plasticità: l'indice di plasticità, IP, determinato secondo la norma CNR-UNI 10014, deve risultare preferibilmente compreso tra 10 e 40, ma in nessun caso inferiore a 5. Indici di plasticità maggiori di 40 possono essere considerati a condizione che si dimostri l'idoneità del

<i>Cod. elab.:</i> 000GE224PT08XNR165A	<i>Titolo:</i> TRATTAMENTO A CALCE Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	<i>Data:</i> Aprile 2014
<i>Nome file:</i> 6228 norme tecniche integrative		<i>Pagina</i> 1 di 12

processo di miscelazione e la rispondenza delle prestazioni meccaniche delle miscele terra-calce all'impiego previsto attraverso appositi studi preliminari di laboratorio e di campo.

Contenuto di sostanze organiche: per il contenimento dei costi di produzione, è opportuno che il tenore in materie organiche (*M.O.%*) del terreno sia contenuto: inferiore al 3% in massa, nel caso di miscele destinate a strati di sottofondazione, ed inferiore al 4% per miscele destinate a strati di rilevato. Tali limiti possono essere superati, purché sia dimostrato il raggiungimento delle prestazioni meccaniche (portanza) richieste per le miscele attraverso un idoneo studio di dosaggio in calce.

Contenuto di solfati e solfuri: il contenuto totale di sali di zolfo (solfati e solfuri), deve essere inferiore allo 0,25%. Si possono accettare terre con un contenuto di solfati superiore a tale limite (ma, in ogni caso, inferiore all'1,0%) solo sulla base di uno specifico studio di rigonfiamento accelerato (*Gv*) di laboratorio, come detto appresso.

Contenuto di sostanze nocive: secondo la norma UNI EN 14227-11:2006, precisata, quando esistono dubbi sulla presenza di sostanze chimiche nocive (sostanza organica, solfati, solfuri, nitrati, cloruri o altro materiale potenzialmente dannoso) in quantità tale da produrre rigonfiamenti inaccettabili per i prodotti del trattamento, con calce, l'idoneità della terra dovrà risultare da prove accelerate di rigonfiamento volumetrico (*Gv*), condotte in accordo alla norma UNI EN 13286-49:2004. L'idoneità al trattamento con calce delle terre si ritiene soddisfatta se risulta: $Gv < 10\%$, per impieghi in rilevato e $Gv < 5\%$, per impieghi in strati di sottofondazione della pavimentazione stradale.

Il terreno, in ogni caso, deve presentarsi privo di humus e di radici evidenti, nonché libero da corpi estranei ed elementi lapidei di grossa pezzatura, di dimensioni ed in quantità tali da impedire o rendere difficoltosa la miscelazione.

Calce - In accordo alla norma EN 14227-11/2006 "Terreno trattato con calce", in termini generali, possono essere impiegati i seguenti tipi di calce aerea calcica:

- calce idrata, in polvere o in soluzione acquosa (latte di calce, slurry form), conforme per caratteristiche alla classe CL 90-S della norma EN 459-1/2002,
- calce viva macinata, di caratteristiche conformi alla classe CL 90-Q della norma EN 459-1/2002.

Salvo quanto potrà essere diversamente ordinato dal D.L., nei lavori di che trattasi si dovrà adoperare calce viva finemente macinata, con tenore in calce libera maggiore di 85%,

Cod. elab.: 000GE224PT08XNR165A	Titolo: TRATTAMENTO A CALCE Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	Data: Aprile 2014
Nome file: 6228 norme tecniche integrative		Pagina 2 di 12

granulometria di categoria 1 (secondo UNI EN 459-2) e tempo di reattività inferiore a 10 minuti. In alternativa alle calce della classe CL 90-Q (o della classe CL 90-S) il Direttore dei Lavori potrà autorizzare l'impiego di calce di classe CL 80-Q (o di classe CL 80-S), se appositi studi di laboratorio e prove di campo permettono di attestare il raggiungimento delle prestazioni richieste.

Cemento - Nel caso di stabilizzazione mista con calce e cemento possono impiegarsi cementi ordinari Portland o pozzolanici, finemente macinati ($D_{max} \leq 0,075\text{mm}$, finezza Blaine compresa tra 2.880 e 5.000 cm^2/g) di classe di resistenza 32.5 N/mm^2 .

Acqua - L'eventuale acqua di apporto deve risultare priva di impurità, di sostanze chimiche nocive per il trattamento delle terre e di materie organiche.

B - STUDI DI IDONEITA' DELLE MISCELE E DEI PROCESSI COSTRUTTIVI

Prima di dare inizio ai lavori, l'Impresa esecutrice è tenuta:

- a produrre, per ogni famiglia omogenea di terre da trattare, uno studio preliminare di laboratorio di verifica delle prestazioni delle miscele che tenga conto delle condizioni operative di cantiere (variabilità dei contenuti d'acqua, soprattutto) e dei leganti da impiegare nella realizzazione dei lavori;
- a realizzare, sulla scorta degli studi di laboratorio, una sperimentazione di campo, per verificare l'idoneità delle miscele, dei mezzi e dei processi di costruzione.

Una volta accettati dalla Direzione dei Lavori, i risultati acquisiti nel corso degli studi di laboratorio e di campo saranno da questa utilizzati come riferimento per i controlli di esecuzione e, in particolare, per i controlli di finezza delle miscele, del grado di addensamento (con misure che interessino l'intero spessore dello strato) e, se non controllato prima della miscelazione, del dosaggio in calce mediante ph-metria.

Gli studi di idoneità delle miscele saranno differenziati in relazione all'utilizzazione per esse prevista: bonifica del piano di posa dei rilevati, strati della parte inferiore (posti a più di 1,50 m dal sottofondo) e della parte superiore dei rilevati (a meno di 1,50 m dal sottofondo), nonché strati di sottofondazione della pavimentazione.

Utilizzazione in rilevato - Le prove specifiche di dosaggio in calce sono riferite, in questo caso, alle proprietà che permettano di assicurare buone condizioni di posa in opera per le miscele

<i>Cod. elab.:</i> 000GE224PT08XNR165A	<i>Titolo:</i> TRATTAMENTO A CALCE	<i>Data:</i> Aprile 2014
<i>Nome file:</i> 6228 norme tecniche integrative	Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	<i>Pagina</i> 3 di 12

(lavorabilità, transitabilità dei mezzi, compattabilità degli strati) ed adeguati valori di portanza, subito dopo il costipamento degli strati.

Quando richiesto dalla D.L, la lavorabilità e la transitabilità dei mezzi d'opera può essere esaminata attraverso lo studio delle variazioni dei limiti di consistenza in funzione del dosaggio in calce. Per soddisfare i suddetti requisiti occorre, allora, che il dosaggio in calce sia non inferiore a quello minimo, aumentando il quale non si registrano significative variazioni della plasticità delle miscele (LL, LP).

Per soddisfare le prestazioni meccaniche richieste agli strati di rilevato (in particolare, quelle relative alla rigidità), occorre ottenere sulla terra trattata con calce valori dell'indice di portanza immediata *IPI* (secondo norma UNI-EN 13286-47, 2006) non inferiori ai requisiti minimi, indicati qui di seguito, in funzione dell'indice di plasticità *I_p* della terra:

- per terre fini con: $I_p < 12$ $IPI \geq 12$
- per terre fini con: $12 \leq I_p < 25$ $IPI \geq 8,5$ (Rel. 1)
- per terre fini con: $25 \leq I_p < 40$ $IPI \geq 6$

Per la *parte superiore dei rilevati, PSR*, (escluso lo strato di sottofondazione), cioè per gli strati di rilevato posti a meno di 1,50 metri dal piano di posa della pavimentazione, i requisiti sopraindicati di *IPI* (Rel. 1) vanno incrementati del 20% e deve essere verificata, inoltre, la seguente condizione:

$$cbr(4i) \geq IPI \quad (\text{Rel. 2})$$

essendo *cbr(4i)* l'indice di portanza CBR determinato su provini compattati secondo prova Proctor Normale e sottoposti a rottura CBR dopo 4 giorni di immersione in acqua, in accordo alla norma UNI-EN 13286-47.

I requisiti di *IPI* sopra indicati (v. Rel. 1) debbono essere superati nel 95 % dei casi, nei controlli in corso d'opera, operando sulle miscele prodotte in cantiere (prelevate immediatamente dopo che è stata ultimata la miscelazione e, in ogni caso, prima del costipamento), quindi, compattate in laboratorio e sottoposte a prova di portanza CBR entro 90 minuti dalla fine della miscelazione.

Utilizzazione in strati di sottofondazione - In aggiunta ai requisiti richiesti per l'impiego in strati di rilevato, in questo caso si deve tener conto delle sollecitazioni trasmesse dalla pavimentazione durante la sua vita di servizio e delle eventuali azioni dell'acqua e, se del caso, del gelo. Per la necessaria portanza a breve termine, le miscele, compattate all'umidità massima del campo di umidità naturali presenti in situ (w_{max}) debbono presentare, in relazione all'indice di plasticità della terra (*I_p*), un indice di portanza immediata (*IPI*) non inferiore a:

- per terre fini con $I_p < 12$ $IPI \geq 20$

Cod. elab.: 000GE224PT08XNR165A	Titolo: TRATTAMENTO A CALCE Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	Data: Aprile 2014
Nome file: 6228 norme tecniche integrative		Pagina 4 di 12

- per terre fini con $12 \leq I_p < 25$	$IPI \geq 15$	(Rel. 3)
- per terre fini con $25 \leq I_p < 40$	$IPI \geq 10$	

Per assicurare sufficiente resistenza alle azioni del traffico trasmesse dalla pavimentazione durante l'esercizio, le miscele, preparate a partire da un'umidità minima della terra non inferiore a quella ottimale di costipamento Proctor Normale ed ai dosaggi in calce da utilizzare, sottoposte a prova secondo UNI-EN- 13286-47 /2006, debbono presentare valori di portanza immediata, IPI, e di portanza $cbr(4i)$, dopo 4 giorni di immersione in acqua, tali da rispettare entrambe le condizioni:

$$cbr(4i) \geq 20 \quad (\text{Rel. 4})$$

$$cbr(4i) \geq IPI \quad (\text{Rel. 5})$$

C - MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI LAVORI

Preparazione del terreno – Per le terre destinate agli strati di rilevato (strati riportati) il materiale sarà prelevato dagli scavi di trincea, mediante estrazione frontale per ridurre le variazioni del contenuto d'acqua presente nella terra in situ. Durante lo scavo si avrà cura di evitare contaminazioni con terre e materiali diversi da quelli considerati. La terra, liberata da corpi estranei e da elementi lapidei di grossa pezzatura (blocchi e massi) verrà trasportata nel sito di impiego per essere stesa in strati di spessore adeguato, mediante motor grader e, successivamente, sottoposta ad un passaggio di fresa per la frammentazione e la riduzione delle zolle. Quando richiesto, secondo le indicazioni del D.L., un leggero passaggio di rullo potrà favorire le regolarità di spandimento della calce ed il grado di polverizzazione delle miscele.

Per il trattamento in situ, operazione considerata nella bonifica del piano di posa dei rilevati per lo strato destinato a rimanere direttamente a contatto con il terreno naturale, la preliminare preparazione del terreno potrà limitarsi solo alla rimozione di massi ed elementi di grossa pezzatura, quando occorra. Negli altri casi la calce andrà sparsa direttamente sulla superficie dello strato, per essere successivamente miscelata.

Controllo di umidità ed eventuale umidificazione della terra – Quando per condizioni di stato idrico dei terreni di scavo o per condizioni climatiche di forte evapotraspirazione, il contenuto d'acqua della terra può condurre ad umidità delle miscele terra-calce inferiori a quelle minime ($w_{min} = 0,9w_{OPN}$) indispensabili per l'idratazione dei composti e per lo sviluppo dei processi pozzolanici, si dovrà procedere all'umidificazione della terra. In questo caso, l'apporto d'acqua necessario sarà dato direttamente nella vasca di miscelazione, ripartendo il quantitativo

Cod. elab.: 000GE224PT08XNR165A	Titolo: TRATTAMENTO A CALCE Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	Data: Aprile 2014
Nome file: 6228 norme tecniche integrative		Pagina 5 di 12

previsto in coincidenza delle sequenze di miscelazione, preferibilmente a partire dalla prima. Salvo quanto potrà essere precisato dal D.L., è opportuno considerare attese di non meno di 2,5 ore tra la prima e la seconda sequenza di umidificazione/miscelazione. In ogni caso, quando occorra incrementare il tenore in acqua di oltre il 2,5% è necessario, a livello esecutivo, che l'apporto d'acqua sia dato con gradualità, prevedendo sequenze successive di umidificazione e di miscelazione e considerando tempi di attesa tra due sequenze sufficientemente ampi.

Spandimento della calce - Lo spandimento della calce sarà effettuato mediante idonee spanditrici automatiche, preventivamente accettate dalla D.L. in occasione della prova di campo che precede l'esecuzione dei lavori. Lo spandimento della calce deve essere effettuata per strisciate successive, considerando un ricoprimento di almeno 5 cm fra due strisciate contigue. Si deve impedire a qualsiasi mezzo, eccetto che a quelli adibiti alla miscelazione, di attraversare la porzione di terreno sulla quale è stato steso il legante, fino a quando questo non sia stato completamente miscelato. Il quantitativo di calce necessario al trattamento dell'intero strato deve essere distribuito in maniera uniforme sulla superficie, in unica passata. I controlli di accettazione delle spanditrici ed i successivi controlli sui dosaggi impiegati in corso d'opera debbono evidenziare che, su almeno 10 teli (o teglie di raccolta) disposti lungo le strisciate di spandimento e distanziati tra loro di almeno 10 metri, il coefficiente di variazione della massa di calce sparsa (C_v) risulti inferiore al 15%. Inoltre, il valore medio misurato non dovrà differire di oltre il 6% in meno rispetto a quello di riferimento, calcolato in base al dosaggio in calce ed allo spessore dello strato previsti.

Miscelazione - La miscelazione intima della terra con la calce sarà realizzata mediante successivi passaggi di macchine ad albero orizzontale rotante, che permettano una miscelazione omogenea del legante e del terreno per tutto lo spessore considerato (i denti della fresa debbono "mordere" lo strato sottostante). Salvo quanto diversamente disposto dal D.L., per tale operazione saranno previsti 3 passaggi di miscelatrice, considerando tempi di attesa tra i primi due di non meno di 2,5 ore. Il numero di passate, in ogni caso, dipende dalle condizioni della terra da trattare (plasticità, essenzialmente, e contenuto d'acqua) e dal grado di polverizzazione (finezza) richiesta alle miscele in relazione all'utilizzazione prevista.

I controlli di qualità della miscelazione saranno effettuati mediante valutazione della granulometria a secco dei grumi presenti nelle miscele e misure di pH, effettuati per uno stesso sito nella parte superiore ed inferiore dello strato. Si deve garantire una colorazione uniforme delle miscele, senza strisce visibili, ed una dimensione massima dei grumi, D_{max} , non superiore a: 40 mm per miscele impiegate per le bonifiche dei piani di appoggio dei rilevati, di 30 mm per gli strati di rilevato (sia della parte superiore che di quella inferiore) e di 20 mm per gli strati di

<i>Cod. elab.:</i> 000GE224PT08XNR165A	<i>Titolo:</i> TRATTAMENTO A CALCE Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	<i>Data:</i> Aprile 2014
<i>Nome file:</i> 6228 norme tecniche integrative		<i>Pagina</i> 6 di 12

sottofondazione. Inoltre, nel caso di miscele destinate a strati della parte superiore dei rilevati o a strati di sottofondazione delle pavimentazioni stradali, si deve verificare che, ad esclusione delle porzioni lapidee, il passante al setaccio di 4,76 mm (n° 4 ASTM) risulti non inferiore al 40%. Per motivi dovuti all'umidità eccessiva della terra da trattare, quando richiesto, la miscelazione con frese sarà realizzata prevedendo una chiusura superficiale, dopo la seconda passata di fresa, mediante leggero costipamento. In ogni caso, per ogni partita omogenea di terre da trattare, le modalità di miscelazione debbono essere verificate nella fase preliminare di esecuzione dei lavori ed essere accettate dalla D.L.

La qualità della miscelazione sarà valutata attraverso la finezza e l'omogeneità delle miscele. La finezza verrà valutata per mezzo della granulometria apparente dei grumi; l'omogeneità (che può anche essere apprezzata a vista, attraverso la colorazione e la granulometria apparente delle miscele) verrà determinata attraverso misure di pH effettuate in laboratorio su prelievi rappresentativi, per uno stesso posto, della parte superiore e della parte inferiore dello strato. In questo caso, l'omogeneità delle miscele è ritenuta accettabile, quando il singolo valore di pH differisce dal valor medio delle misure di non oltre lo 0,5%.

Dopo miscelazione, il materiale trattato va compattato, evitando attese che, se prolungate, portano ad un decadimento delle prestazioni meccaniche delle miscele a medio ed a lungo termine. Pertanto, è vietato all'Impresa di porre in essere, nell'organizzazione dei lavori, attese superiori alle sei ore tra l'ultimazione della miscelazione e l'avvio del costipamento. Le miscele che abbiano subito attese prolungate, oltre le 24 ore debbono essere allontanate a cura e spese dell'Impresa, senza corresponsione di prezzo alcuno.

Nel caso di trattamento misto, lo spandimento del cemento sarà effettuato dopo una prima miscelazione della terra con la calce ed un'attesa di almeno 3 ore, per dare luogo al completo spegnimento della calce presente in miscela.

Costipamento - Per la compattazione possono essere utilizzati rulli a piedi costipanti, statici o vibranti, rulli gommati o vibro-gommati, nonché rulli vibranti.

L'idoneità dei mezzi di costipamento deve essere, preventivamente, dimostrata ed accettata dalla D.L. attraverso prove preliminari di campo nel corso delle quali, in relazione al tipo di rullo, al numero di passaggi ed ai materiali da impiegare va misurato il grado di addensamento ottenuto in funzione dello spessore dello strato. La valutazione deve riguardare, sia l'addensamento medio, operando sull'intero spessore dello strato con volumometro di adeguate dimensioni, sia la densità della parte superiore e di quella inferiore dello strato, date le differenti azioni ed efficacia in profondità dei vari tipi di rullo.

<i>Cod. elab.:</i> 000GE224PT08XNR165A	<i>Titolo:</i> TRATTAMENTO A CALCE	<i>Data:</i> Aprile 2014
<i>Nome file:</i> 6228 norme tecniche integrative	Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	<i>Pagina</i> 7 di 12

Provvedimenti costruttivi - Le operazioni di trattamento con calce vanno sospese se la temperatura scende sotto i 7 °C.

Per il contenimento delle polveri, gli organi di rotazione delle macchine ed i tubi di scappamento dovranno essere muniti di appositi dispositivi antipolvere, quali la copertura degli organi in movimento, filtri e controlli dei circuiti di ventilazione. Le miscelatrici ad albero orizzontale dovranno essere a camera chiusa. Le spanditrici debbono essere munite di dispositivi che accompagnino la calce fino a circa 8÷10 cm dal piano di stesa. Inoltre, si eviterà che subito dopo lo spandimento della calce si abbiano ritardi nell'avvio della miscelazione superiori ai 15 minuti. In presenza di forti venti e, in ogni caso, quando le polveri raggiungono siti sensibili, l'Impresa è tenuta a sospendere i lavori ovvero, previa autorizzazione della D.L., utilizzare la calce in dispersione acquosa (latte di calce).

D - CONTROLLI DI QUALITÀ IN CORSO D'OPERA

Omogeneità delle forniture – Ad integrazione di quanto previsto dall'art. 3.3.2.3. delle Norme Tecniche di Appalto, all'inizio di ogni lavorazione e, successivamente, in corso d'opera, per evidenziare che non abbiano a verificarsi scostamenti circa le caratteristiche di idoneità richieste alle terre di scavo ed ai prodotti impiegati per il loro trattamento, dovranno essere effettuate prove di qualificazione e di controllo su campioni prelevati in contraddittorio con la Direzione dei Lavori, in accordo ai criteri e alla numerosità minima di seguito riportati. La numerosità delle prove potrà essere modificata dalla Direzione dei Lavori in relazione alle condizioni di eterogeneità degli ammassi evidenziata nel corso dei lavori.

- a) Per le terre di scavo, per ogni sito omogeneo:
- granulometria, limiti di Atterberg, Materia Organica, CIC: ogni 5.000 m³;
 - prove di rigonfiamento accelerato, Gv: ogni 2.500 m³;
 - prove di portanza *IPI*, ai contenuti d'acqua e dosaggi in calce previsti dal D.L., per tutti gli impieghi: ogni 5.000 m³;
 - prove di portanza *cbr(4i)*, ai contenuti d'acqua e dosaggi in calce previsti dal D.L., solo per impieghi in strati della parte superiore dei rilevati (PSR) e per gli strati di sottofondazione: ogni 5.000 m³.
- b) Per la calce:

Cod. elab.: 000GE224PT08XNR165A	Titolo: TRATTAMENTO A CALCE	Data: Aprile 2014
Nome file: 6228 norme tecniche integrative	Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	Pagina 8 di 12

- o in aggiunta alla verifica della certificazione di origine: ogni 500 tonnellate, tenore in calce libera (CaO), granulometria e reattività all'acqua.
- c) Per il cemento: certificazione d'origine, classe di resistenza, D_{max} e finezza Blaine.

Umidità minima – Occorre monitorare le variazioni di umidità nei siti di scavo e controllare in continuo l'umidità della terra prima dell'aggiunta della calce, con un minimo di 3 misure per ogni giornata lavorativa, allo scopo di valutare l'eventuale apporto d'acqua necessario per far sì che in fase di costipamento l'umidità delle miscele terra-calce, w_{mix} , risulti maggiore di quella minima richiesta ($w_{min} = 0,9 w_{OPN}$) per l'idratazione della calce e lo sviluppo delle reazioni pozzolaniche:

$$w_{mix} \geq 0,9 w_{OPN}$$

essendo w_{OPN} il contenuto d'acqua ottimale di costipamento Proctor Normale di laboratorio, determinato sulla miscela di pari contenuto di calce.

Spandimento (dosaggio in calce) - Dopo regolazione della spanditrice di legante, effettuata all'inizio di ogni giornata di lavoro, il controllo dello spandimento, per la verifica del dosaggio in calce, deve essere effettuato, strato per strato, nella misura minima di una valutazione per ogni 1.000 m² trattati.

I controlli di accettazione delle spanditrici ed i successivi controlli sulle quantità di calce sparsa in corso d'opera debbono evidenziare che, su almeno 12 teli (o teglie di raccolta) disposti a caso lungo più strisciate di spandimento ed opportunamente distanziati tra loro, il coefficiente di variazione della massa di calce sparsa (C_v) risulti inferiore al 15% e che, inoltre, il valore medio misurato non differisca di oltre il 10% in meno rispetto a quello di riferimento, calcolato in base al dosaggio in calce ed allo spessore dello strato previsti ($q = Q_s$).

Finezza della miscelazione – I controlli di qualità della miscelazione saranno effettuati mediante valutazione della granulometria delle miscele e misure di pH, come indicato nel precedente punto C). Si deve garantire una colorazione uniforme delle miscele ed una dimensione massima dei grumi, D_{max} , che nel 90% dei casi risulti non superiore a:

- 40 mm per miscele impiegate per le bonifiche dei piani di posa dei rilevati;
- 30 mm per gli strati di rilevato.

Inoltre, nel caso di miscele destinate a strati della parte superiore dei rilevati, si deve verificare che il 40% della miscela, ad esclusione delle porzioni lapidee, risulti passante al setaccio con apertura di 4,76 mm (n° 4 ASTM).

La frequenza delle prove, salvo più restrittive prescrizioni del D.L., dovrà essere di una prova granulometrica ogni 500 m² e di una verifica di pH (parte superiore e inferiore dello strato) ogni 2.000 m². L'omogeneità delle miscele attraverso misure di pH è ritenuta accettabile, quando per

Cod. elab.: 000GE224PT08XNR165A	Titolo: TRATTAMENTO A CALCE Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	Data: Aprile 2014
Nome file: 6228 norme tecniche integrative		Pagina 9 di 12

ogni punto di misura il singolo valore (della parte superiore o inferiore) differisce dal valor medio delle misure di non oltre lo 0,5%.

Controlli di IPI* per le miscele prodotte in cantiere – Quando non si riscontrano variazioni apparenti nelle caratteristiche delle terre approvvigionate (disomogeneità rispetto ai terreni oggetto dello studio di dosaggio in calce) i controlli di IPI* sulle miscele prelevate in cantiere, prima del costipamento, saranno effettuati con frequenza giornaliera di almeno 3 misure distanziate tra loro in modo da ricoprire la produzione della giornata di lavoro. In caso contrario detti controlli saranno effettuati con la frequenza ritenuta dal D.L., allo scopo di evidenziare, in tempo utile per le correzioni necessarie, eventuali anomalie e derive nella natura dei terreni o nei prodotti di trattamento. I valori di IPI* delle prove di controllo devono risultare, nel 90% dei casi, superiori alle soglie previste nella Rel.1, in funzione della plasticità della terra.

Costipamento – Quando si dispone di mezzi per monitorare in continuo la qualità del costipamento in cantiere (ad esempio, mediante misure di portanza con piastra dinamica), il controllo degli strati finiti, realizzato mediante misure massa volumica secca tali da interessare l'intero spessore dello strato, deve rispettare le frequenze di almeno una prova per ogni 1.000 m³ di miscele compattate. In assenza del monitoraggio in continuo con piastra dinamica, i controlli di densità in situ saranno intensificati ed effettuati con la frequenza di almeno una prova ogni 500 m³ di miscele compattate o secondo quanto prescritto dal Direttore dei Lavori. Quando richiesto dal D.L., dovrà essere verificato, pure, l'addensamento della parte superiore e di quella inferiore dello strato; in questo caso si potrà impiegare il volumetro di piccolo diametro (V16).

In ogni caso, l'addensamento degli strati deve essere spinto fino ad ottenere (con riferimento alla densità secca massima da prove Proctor Normale di laboratorio, γ_{OPN}), almeno nel 90% dei punti di misura, i seguenti requisiti di massa volumica:

a) strati di rilevato:

- media sull'intero spessore $\gamma_d \geq 0,97 \gamma_{OPN}$
- parte superiore o inferiore $\gamma_d \geq 0,95 \gamma_{OPN}$

b) strati di sottofondazione:

- media sull'intero spessore $\gamma_d \geq 1,00 \gamma_{OPN}$
- parte superiore o inferiore $\gamma_d \geq 0,97 \gamma_{OPN}$

Controlli di portanza (modulo di deformazione M_d) – Nei punti indicati dalla Direzione dei Lavori, dovranno essere effettuate prove di carico statiche con piastra per la determinazione del

Cod. elab.: 000GE224PT08XNR165A	Titolo: TRATTAMENTO A CALCE Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	Data: Aprile 2014
Nome file: 6228 norme tecniche integrative		Pagina 10 di 12

modulo di deformazione, M_d (CNR B.U. N° 146), al fine di valutare la portanza degli strati posti in opera, immediatamente dopo il loro costipamento (e, comunque, entro 48 ore dall'esecuzione). Le prove riguarderanno sia gli strati riportati, sia quelli trattati in situ. I requisiti da ottenere, al primo ciclo di carico, in funzione della destinazione dello strato, sono:

- $M_d \geq 20$ MPa, per lo strato trattato in situ di bonifica del piano di posa dei rilevati, (di altezza maggiore di 2,00 metri);
- $M_d \geq 40$ MPa, per gli strati di rilevato posti a più di 1,50 m dal piano di sottofondo;
- $M_d \geq 50$ MPa, per gli strati di rilevato e per gli strati di bonifica trattati in situ a meno di 1,50 m dal piano di sottofondo
- $M_d \geq 50$ MPa, per gli strati di sottofondazione della pavimentazione stradale.

Nel corso dei controlli di portanza si potranno stabilire, per data composizione delle miscele (natura della terra, tenore in acqua e dosaggio in calce), correlazioni tra i risultati delle prove di modulo statico, M_d , e quelli dedotti nelle stesse condizioni mediante prove con piastra dinamica (LWD). Queste correlazioni potranno essere utilizzate, a discrezione della Direzione dei Lavori, per monitorare in continuo le caratteristiche dei materiali posti in opera e per evidenziare derive di costruzione. In presenza di tali correlazioni e monitoraggio in continuo della portanza con piastra dinamica, le prove di portanza M_d saranno effettuate con la frequenza di almeno una ogni 1.000 m³; in assenza di queste con la frequenza di almeno una prova di modulo M_d ogni 500 m³ di materiale posto in opera.

Regolarità dei piani finiti – A discrezione della D.L., potranno essere effettuati controlli di regolarità (planeità) delle superfici finite degli strati posti in opera. Questi potranno essere condotti con aste rettilinee (regoli) di 4 metri e con la frequenza di un controllo (attraverso 10 misure almeno) ogni 1.000 m² di superficie finita. Nel 90% dei casi lo scostamento massimo rispetto al regolo, disposto secondo due qualsiasi direzioni mutuamente perpendicolari, dovrà risultare inferiore a 4 cm.

Controlli di spessore – Essi riguarderanno i controlli di spessore degli strati di terra predisposti prima dello spandimento della calce ed i controlli di spessore degli strati dopo costipamento delle miscele. I primi saranno effettuati (con frequenza di almeno uno ogni 100 m²) mediante aste metalliche infisse negli strati di terra sciolta, tenendo conto della riduzione di spessore dovuto al successivo addensamento del materiale, e saranno di riferimento per la regolazione degli strati o l'eventuale correzione della quantità di calce da spandere. I secondi, utilizzati per la ricezione degli strati finiti, saranno effettuati per ciascuno strato mediante operazioni topografiche, rilevando un minimo di 10 punti ogni 1000 m², convenientemente distanziati. Il

Cod. elab.: 000GE224PT08XNR165A	Titolo: TRATTAMENTO A CALCE Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	Data: Aprile 2014
Nome file: 6228 norme tecniche integrative		Pagina 11 di 12

valore medio calcolato non dovrà superare quello di riferimento di oltre il 10%. Il coefficiente di variazione, C_v , delle misure effettuate dovrà risultare inferiore al 12%.

In tutti i casi soprarichiamati, l'ubicazione dei prelievi per i controlli sui materiali e quella per le prove di qualità sugli strati finiti è scelta ad insindacabile giudizio della Direzione dei Lavori.

<i>Cod. elab.:</i> 000GE224PT08XNR165A	<i>Titolo:</i> TRATTAMENTO A CALCE	<i>Data:</i> Aprile 2014
<i>Nome file:</i> 6228 norme tecniche integrative	Norme Tecniche Integrative per l'esecuzione dei lavori in terra-calce	<i>Pagina</i> 12 di 12