

## 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 5 MISTO CEMENTATO

Il misto cementato è costituito da una miscela di aggregati lapidei naturali, aggregati di riciclo e legante idraulico (cemento). La miscela deve assumere, dopo un adeguato tempo di stagionatura, una resistenza meccanica durevole anche in presenza di acqua o di gelo.

### A – MATERIALI COSTITUENTI E LORO QUALIFICAZIONE

#### 1 Aggregati

##### 1.1 Aggregati lapidei naturali

Gli aggregati lapidei costituiscono in tutto o in parte la fase solida del misto cementato. Essi risultano composti dall’insieme degli aggregati grossi degli aggregati fini ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondeggianti, aggregati naturali a spigoli vivi).

Gli aggregati impiegati devono essere qualificati in conformità al Regolamento UE n. 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all’appendice ZA della Norma Europea Armonizzata UNI EN 13242

La designazione dell’aggregato grosso deve essere eseguita mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base più gruppo 1 della UNI EN 13242

La miscela degli aggregati può essere ottenuta dalla combinazione di più classi granulometriche oppure da una classe a frazione unica purché siano soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella A.1.

<b>Tabella A.1</b>		<b>AGGREGATI NATURALI</b>			
Caratteristica	Metodo di prova	Simbolo	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13242
Dimensione massima	UNI EN 933-1	D	mm	≤31,5	
Passante allo 0.063	UNI EN 933-1	f	%	≤1	f <sub>1</sub>
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	FI	%	≤35	FI <sub>35</sub>
Indice di forma	UNI EN 933-4	SI	%	≤40	SI <sub>40</sub>
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	C	%	≥70	C <sub>70/NR</sub>
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	SE	%	≥50	SE <sub>50</sub>
Valore di blu di metilene	UNI EN 933-9	MB	-	≤10	MB <sub>10</sub>
Resistenza alla frammentazione	CNR 34/UNI EN 1097-2	LA	%	≤30	LA <sub>30</sub>
Resistenza all'urto	UNI EN 1097-2	SZ	%	≤32	SZ <sub>32</sub>
Prova al solfato di magnesio	UNI EN 1367-2	MS	%	≤25	MS <sub>25</sub>
Resistenza al gelo e disgelo <sup>(1)</sup>	UNI EN 1367-1	F	%	≤1	F <sub>1</sub>
Limite liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	W <sub>L</sub>	%	≤15	
Indice Plastico	UNI CEN ISO/TS 17892-12	IP	-	N.P.	
Contenuto di sostanza organica	UNI EN 1744-1 15.1		%	assente	
Componenti idrosolubili	UNI EN 1744-3		%	assenti	
Coefficiente di dilatazione con il gelo	SN 670 321		%	≤0,1	
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	WA <sub>24</sub>	%	≤1,5	WA <sub>242</sub>
Rigonfiamento			%	Nulla	

<sup>(1)</sup> La prova deve essere eseguita su tutte le singole frazioni granulometriche che compongono la miscela di aggregati

Nei casi in cui l'aggregato possa venire a contatto con il gelo deve essere privo di fillosilicati e in particolare di caoliniti, cloriti, vermiculite, miche e di idrossidi di ferro formatosi durante la disgregazione.

Il possesso dei requisiti elencati nella tabella A1 viene verificato dalla Direzione Lavori sulla base dei valori riportati nella documentazione di marcatura CE predisposta dal produttore degli aggregati. La documentazione, comprendente l'etichetta di marcatura CE e la Dichiarazione di Prestazione (DoP), deve essere consegnata alla Direzione Lavori almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori.

Resta salva la facoltà del Direttore Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

Per i requisiti di accettazione eventualmente non riportati nella Dichiarazione di Prestazione la Direzione Lavori richiederà la certificazione delle relative prove da effettuarsi presso uno dei laboratori di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001 ovvero presso il Laboratorio Prove Materiali della Provincia Autonoma di Bolzano.

## 1.2 Aggregati di riciclo

Nella confezione dei misti cementati è possibile l'utilizzo dei materiali riciclati provenienti dalle demolizioni edilizie, in aggiunta o in alternativa agli aggregati naturali fino al 100% della miscela, purché in possesso dei requisiti di idoneità (previsti dalla Norma UNI 11531-1 per le fondazioni stradali) riportati in Tabella A.2.

In relazione alla variabilità della provenienza, dalla quale può conseguire una diversità del comportamento in opera, i materiali riciclati devono essere qualificati per lotti omogenei, in conformità al regolamento UE sui prodotti da costruzione 305/2011/CPR con dichiarazione di prestazione (DoP). Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della Norma Europea Armonizzata UNI EN 13242.

Gli impianti di riciclaggio dovranno comunque rifornirsi di materiale da riciclare esclusivamente dal luogo di produzione o demolizione, ed è fatto divieto di rifornirsi da discariche di qualsiasi tipo.

I materiali riciclati dalle demolizioni edilizie dovranno essere conformi alla Delibera della Giunta Provinciale del 27 settembre 2016, N°1030 "Disposizioni per il recupero dei resti di costruzione e per la qualità dei materiali edili riciclati".

<b>Tabella A.2</b>		<b>AGGREGATI DI RICICLO</b>		
Caratteristica	Norma	Requisito	Frequenza delle prove	
Designazione	UNI EN 13285	0/31,5 mm		
Qualità dei fini	UNI EN 933-9	MB <sub>2</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Qualità dei fini (alternativo)	UNI EN 933-8	SE <sub>50</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Resistenza alla frammentazione	CNR 34/UNI EN 1097-2	LA <sub>30</sub>	10000 m <sup>3</sup>	
Solfato solubile in acqua	UNI EN 1744-1	SS <sub>0,2</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Solfato solubile in acido	UNI EN 1744-1	AS <sub>0,8</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Zolfo totale	UNI EN 1744-1	S <sub>1</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Componenti che alterano la velocità di presa	UNI EN 1744-1	assente	1000 m <sup>3</sup>	
Componenti che alterano la stabilità di volume delle scorie	UNI EN 1744-1	V <sub>5</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Indice Plastico	UNI CEN ISO/TS 17892-12	IP ≤ 10	1000 m <sup>3</sup>	
Resistenza al gelo e disgelo <sup>(1)</sup>	UNI EN 1367-1	F <sub>2</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, manufatti in cls, malte, elementi lapidei naturali anche derivanti da murature, sfridi di cava o pietrisco tolto d'opera, materiali legati idraulicamente, vetro.	UNI EN 933-11	Rcu <sub>g90</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Contenuto di vetro	UNI EN 933-11	Rg5-	1000 m <sup>3</sup>	
Contenuto di materiali bituminosi	UNI EN 933-11	Ra30-	1000 m <sup>3</sup>	
Contenuto di materiale galleggiante: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, polistirolo, sostanze organiche eccetto bitume	UNI EN 933-11	FL <sub>5</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Contenuto di materiale galleggiante inerte: leca, cemento schiumato	UNI EN 933-11	FL <sub>5</sub>	1000 m <sup>3</sup>	
Contenuto di terreno vegetale, metalli, legno non galleggiante, plastica, gomma, gesso, cartongesso, e altri materiali non galleggianti non litoidi	UNI EN 933-11	X <sub>1</sub>	1000 m <sup>3</sup>	

<sup>(1)</sup> La prova con cicli di gelo-disgelo è determinata su tutte le frazioni granulometriche

### 1.3 Conglomerato bituminoso di recupero (fresato)

Per conglomerato di recupero (riciclato) deve intendersi il conglomerato bituminoso preesistente proveniente dalla frantumazione di lastre o blocchi di conglomerato demolito con sistemi tradizionali, oppure dalla fresatura in sito eseguita a freddo con apposite macchine.

Il conglomerato di recupero deve essere preventivamente qualificato in conformità alla norma UNI EN 13108-8.

Prima del suo reimpiego il conglomerato riciclato deve essere vagliato per eliminare eventuali elementi (grumi, placche, ecc.) di dimensioni superiori al D<sub>max</sub> previsto per la miscela.

Nel misto cementato la percentuale in peso di conglomerato bituminoso di recupero, compreso quello eventualmente presente negli aggregati di riciclo di cui sopra, riferita al totale della miscela degli aggregati, deve essere al massimo del 30%. In casi particolari e con l'approvazione della DL si può aggiungere fino ad un massimo di 40%.

La percentuale di conglomerato riciclato da impiegare, che può essere di qualsiasi provenienza, va obbligatoriamente dichiarata nello studio preliminare della miscela che l'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

### 2 Cemento

I cementi impiegati dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento prodotti da costruzione 305/2011/CPR con dichiarazione di prestazione (DoP). Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1 e/o UNI EN 197-4 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 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 richiederà la verifica di idoneità ai sensi della norma UNI EN 1008.

Il contenuto d'acqua della miscela sarà stabilito in base ad uno studio effettuato in laboratorio, secondo quanto previsto dalla UNI EN 13286 -2 (Test methods for the determination of the laboratory reference density and water content – Proctor compaction)

### 4 Aggiunte

Le aggiunte sono materiali inorganici finemente macinati che possono essere aggiunti al calcestruzzo per modificarne le caratteristiche o ottenerne di speciali.

È ammesso l'utilizzo di **ceneri volanti**, conformi alla norma UNI EN 450, sia a integrazione dell'aggregato fine sia in sostituzione del cemento. La quantità in peso di ceneri da aggiungere, in sostituzione del cemento, per ottenere pari caratteristiche meccaniche, sarà stabilita con prove di laboratorio, nella fase di studio delle miscele e comunque non potrà superare il 40% del peso di cemento indicato in prima istanza.

E' consigliata l'aggiunta d'**idrossido di calce**, fino al 2% del peso della miscela per migliorare le prestazioni e la lavorabilità.

### 5 Miscela

La miscela di aggregati naturali e/o di riciclo da adottarsi per la realizzazione del misto cementato deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in Tabella A.3.

Tabella A.3		MISTO CEMENTATO	
COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA			
Serie ISO	mm	% di passante	
Setaccio	40	100	
Setaccio	31,5	90 – 100	
Setaccio	22,4	81 - 88	
Setaccio	16	60 – 80	
Setaccio	11,2	49 - 70	
Setaccio	8	40 – 55	
Setaccio	5,6	31 - 46	
Setaccio	4	26 – 40	
Setaccio	2	17 – 30	
Setaccio	1	12 – 22	
Setaccio	0,5	6 – 15	
Setaccio	0,25	4 – 10	
Setaccio	0,125	2 – 6	
Setaccio	0,063	2 – 5	

Il contenuto di cemento, delle eventuali ceneri volanti, ed il contenuto d'acqua della miscela, saranno espressi come percentuale in peso rispetto al totale della miscela di aggregati.

Tali percentuali saranno stabilite con specifici studi di laboratorio secondo quanto previsto dalla UNI EN 14227-5. In alternativa potrà essere adottato il metodo indicato dal B.U. CNR N. 29.

Le miscele adottate dovranno possedere i requisiti riportati nella Tabella A.4.

Tabella A.4		MISTO CEMENTATO			
Requisito	Norma	Simbolo	Unità di misura	Valori richiesti	Classi di resistenza
Resistenza a compressione a 28gg	UNI EN 13286-41	R <sub>c</sub>	MPa	2,5 ≥ R <sub>c</sub> ≤ 5	C <sub>3/4</sub> - C <sub>5/6</sub>
Resistenza a trazione indiretta a 28gg	UNI EN 13286-42	R <sub>t</sub>	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					

Per particolari casi è facoltà della Direzione Lavori accettare valori di resistenza a compressione fino a 7.5 N/mm<sup>2</sup>.

Nel caso in cui il misto cementato debba essere impiegato in zone in cui sussista il rischio di degrado per gelo-disgelo, è facoltà della Direzione Lavori richiedere che la miscela risponda ai requisiti della norma SN 640 59a.

## B – ACCETTAZIONE DELLE MISCELE

L'Appaltatore è tenuto a trasmettere alla Direzione Lavori, con almeno 15 giorni di anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni, una documentazione riguardante il progetto le miscele che intende impiegare comprendente almeno:

- l'attestato di conformità CE delle pezzature di aggregato impiegate;
- i certificati di prova attestanti il possesso degli ulteriori requisiti delle Tabelle A.1 e A.2;
- la granulometria delle miscele di aggregati studiate;
- la composizione delle miscele studiate (acqua, cemento, aggregato, additivi, aggiunte);
- i risultati delle prove meccaniche;

La Direzione Lavori può inoltre richiedere che anche le proprietà dichiarate negli attestati di conformità CE dei materiali siano comprovati dai risultati di prove effettuate da non più di un anno presso un Laboratorio Ufficiale o Autorizzato di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

Una volta accettata, da parte della Direzione Lavori la composizione delle miscele, l'Appaltatore deve rigorosamente attenersi ad essa.

L'Appaltatore deve inoltre indicare le fonti di approvvigionamento, le aree ed i metodi di stoccaggio (con i provvedimenti che intende adottare per la protezione dei materiali dalle acque di ruscellamento e da possibili inquinamenti), il tipo di lavorazione che intende adottare, il tipo e la consistenza dell'attrezzatura di cantiere che verrà impiegata.

La documentazione presentata per l'accettazione delle miscele deve essere aggiornata in caso di variazione dei luoghi di provenienza e della natura petrografia dei materiali. Ogni 2 mesi l'Appaltatore deve trasmettere alla Direzione Lavori la documentazione relativa al Controllo di Produzione di Fabbrica delle pezzature di aggregato utilizzate. Con la medesima frequenza la Direzione Lavori può richiedere la ripetizione dei controlli sui materiali effettuati presso Laboratori Ufficiali o Autorizzati di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

## C – CONFEZIONAMENTO DELLE MISCELE

Il misto cementato deve essere confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

La zona destinata allo stoccaggio degli aggregati deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per evitare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possano compromettere la pulizia degli aggregati. I cumuli delle diverse classi devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei pre-dosatori eseguita con la massima cura. Non è consentito il mescolamento di cementi diversi per tipo, classe di resistenza o provenienza. Il cemento e le aggiunte dovranno essere adeguatamente protetti dall'umidità atmosferica e dalle impurità.

Il processo di produzione deve essere conforme all'Allegato B delle Norme UNI EN 14227-1 (Miscele legate con cemento per fondi e sottofondi stradali) e UNI EN 14227-5 (Miscele legate con legante idraulico per strade).

## D – PREPARAZIONE DELLE SUPERFICI DI STESA

La miscela sarà stesa sul piano finito dello strato precedente dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti prescritti. Ogni depressione, avvallamento o ormaie

presente sul piano di posa deve essere corretta prima della stesa. Prima della stesa è inoltre necessario verificare che il piano di posa sia sufficientemente umido e, se necessario, provvedere alla sua bagnatura evitando tuttavia la formazione di una superficie fangosa.

## E – POSA IN OPERA DELLE MISCELE

La miscela sarà stesa sul piano finito dello strato precedente dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di questo ai requisiti prescritti. Ogni depressione, avvallamento o ormaia presente sul piano di posa deve essere corretta prima della stesa. E' inoltre necessario verificare che il piano di posa sia sufficientemente umido e, se necessario, provvedere alla sua bagnatura evitando tuttavia la formazione di una superficie fangosa.

La stesa sarà eseguita impiegando macchine finitrici. Il tempo massimo tra l'introduzione dell'acqua nella miscela del misto cementato e l'inizio della compattazione non dovrà superare i 60 minuti.

La miscela deve essere stesa per strati di spessore non superiore a 30 cm.

Le operazioni di compattazione dello strato saranno realizzate con apparecchiature e sequenze adatte a produrre il grado di addensamento e le prestazioni richieste. La stesa della miscela non deve essere eseguita con temperature ambiente inferiori a 5°C e mai sotto la pioggia.

Nel caso in cui le condizioni climatiche (temperatura, soleggiamento, ventilazione) comportino un'elevata velocità di evaporazione, è necessario provvedere ad una adeguata protezione delle miscele sia durante il trasporto che durante la stesa.

Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate non deve superare di norma le due ore per garantire la continuità della struttura.

Particolari accorgimenti devono adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale similare. Il giunto di ripresa deve essere ottenuto terminando la stesa dello strato a ridosso di una cassaforma e togliendo la cassaforma al momento della ripresa della stesa. Se non si fa uso della cassaforma si deve, prima della ripresa della stesa, provvedere a tagliare l'ultima parte dello strato precedente, in modo che si ottenga una parete perfettamente verticale. Non devono essere eseguiti altri giunti all'infuori di quelli di ripresa.

## F – PROTEZIONE SUPERFICIALE DELLO STRATO FINITO

Subito dopo il completamento delle opere di costipamento e finitura dello strato, deve essere applicato un velo protettivo di emulsione bituminosa acida al 55% in ragione di 1,5 kg/m<sup>2</sup> (riguardo al tempo ed alla intensità del traffico di cantiere cui potrà venire sottoposto) e successivo spargimento di sabbia.

Il tempo di maturazione protetta non dovrà essere inferiore a 72 ore, durante le quali il misto cementato dovrà essere protetto dal gelo.

Il transito di cantiere potrà essere ammesso sullo strato a partire dal terzo giorno dopo la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate sono consentite solo se la resistenza necessaria del misto risulta raggiunta e comprovata.

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

## G – CONTROLLI

Il controllo della qualità dei misti cementati e della loro posa in opera deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela prelevata allo stato fresco al momento della stesa, sulle carote estratte dalla pavimentazione e con prove in situ.

L'ubicazione dei prelievi e la frequenza delle prove sono indicate nella Tabella G.1.

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

Il prelievo del misto cementato fresco avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Sui campioni saranno eseguiti i controlli della percentuale di cemento, della distribuzione granulometrica dell'aggregato, resistenza a compressione, resistenza a trazione indiretta. I valori misurati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nella documentazione presentata prima dell'inizio dei lavori.

Sullo strato finito saranno eseguiti i controlli dello spessore, della densità in sito e della portanza.

Lo **spessore** dello strato sarà determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, calcolando la media delle misure (quattro per ogni punto controllato) rilevate da saggi ovvero da fori di carote (quando l'estrazione risulta possibile), assumendo per i valori con spessore in eccesso di oltre il 5%, rispetto a quello di progetto, valori corrispondenti allo spessore di progetto moltiplicato per 1,05.

Per spessori medi inferiori a quelli di progetto sarà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione percentuale al prezzo di elenco dello strato di base pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = s + 0,1 s^2$$

dove s è lo scostamento in percentuale dal valore di progetto.

Nei casi in cui il valore di s risulti superiore a 20 (carenza di spessore superiore al 20%) si procederà alla rimozione dello strato e alla successiva ricostruzione a spese dell'Impresa, salvo il danno per il mancato esercizio dell'infrastruttura.

A compattazione ultimata la **densità** in sito (DIN 18125), nel 95% dei prelievi, non deve essere inferiore al 98% della massa volumica massima del secco ottenuta in laboratorio con la prova Proctor Standard secondo la Norma UNI EN 13286-2 o, in alternativa la norma DIN 18127.

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 ( $\gamma_s$ ) rispetto a quella di laboratorio ( $\gamma_{s \text{ ottimo}}$ ) valutato con:

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

Valori della densità inferiori al 95% del valore di riferimento comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa, salvo il danno per il mancato esercizio dell'infrastruttura.

La misura della **portanza** viene determinata 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 160 MN/m<sup>2</sup> entro le 24 ore dalla realizzazione e non inferiore a 200 MN/m<sup>2</sup> dopo 3 giorni dalla realizzazione dello strato.

Nei casi in cui il valore di portanza entro le 24 ore risulti superiore al valore minimo ( $E_{v2} \geq 180 \text{ MN/m}^2$ ) lo strato viene accettato senza l'ulteriore controllo a 3 giorni.

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

$$\% \text{ di detrazione} = [p/2,5]^2$$

dove p è la differenza tra il valore di  $E_{v2}$  riscontrato (dopo 3 giorni) ed il valore minimo richiesto (200 MN/m<sup>2</sup>).

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.

Valori del modulo  $E_{v2}$  (dopo 3 giorni) inferiori a 160 MN/m<sup>2</sup> 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.

La Direzione Lavori, quando lo ritiene necessario, può richiedere 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 misto cementato e a quelli sovrastanti (intero pacchetto dal misto cementato 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 misto cementato e a quelli sovrastanti (intero pacchetto dal misto cementato al tappeto di usura) una detrazione pari a:

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

dove  $s$  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 G.1

<b>Controllo dei materiali e verifica prestazionale</b>			
<b>TIPO DI CAMPIONE</b>	<b>UBICAZIONE PRELIEVO</b>	<b>FREQUENZA PROVE</b>	<b>REQUISITI RICHIESTI</b>
Aggregato naturale	Impianto	Settimanale oppure ogni 2.500 m <sup>3</sup> di stesa	Riferimento Tabella A.1
Aggregato di riciclo	Impianto	Riferimento Tabella A.2	Riferimento Tabella A.2
Acqua	Impianto	Iniziale	Riferimento Par. A
Cemento	Impianto	Iniziale	Riferimento Par. A
Aggiunte	Impianto	Iniziale	Riferimento Par. A
Misto cementato fresco	Vibro finitrice	Giornaliera oppure ogni 5.000 m <sup>3</sup> di stesa	Curva granulometrica di progetto; Contenuto di cemento, R <sub>c</sub> , R <sub>t</sub>
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 100m di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Strato finito (densità in sito)	Strato finito	Giornaliera oppure ogni 5.000 m <sup>2</sup> di stesa	98% del valore risultante dallo studio della miscela
Strato finito (portanza) 3 giorni dopo la posa in opera	Strato finito o Pavimentazione	Ogni 100 m di fascia stesa	E <sub>v2</sub> ≥ 200 MN/m <sup>2</sup> E <sub>v2</sub> / E <sub>v1</sub> ≤ 2,15