

Articolo 4

MISTO GRANULARE PER STRATI DI FONDAZIONE

Il misto granulare è costituito da una miscela non legata di aggregati ottenuti mediante trattamento di materiali naturali, artificiali o riciclati. Il trattamento può eventualmente prevedere la miscelazione di frazioni granulometriche differenti. Nella sovrastruttura stradale il misto granulare è impiegato per la costruzione di strati di fondazione.

A) MATERIALI COSTITUENTI E LORO QUALIFICAZIONE

1) Aggregati

1.1) Generalità e provenienza

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 + EN 13285

La designazione di ciascuna pezzatura dovrà contenere:

- dimensioni dell'aggregato;
- tipo di aggregato (composizione petrografica prevalente);
- località di provenienza, eventuale deposito e produttore.

L'aggregato può essere costituito da elementi di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella A.1.

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

Tabella A.1

AGGREGATI					
	Metodo di prova	Simbolo	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13242
Dimensione massima	UNI EN 933-1	D	mm	≤31,5	
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	FI	%	≤35	FI ₃₅
Indice di forma	UNI EN 933-4	SI	%	≤40	SI ₄₀
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	C	%	≥70	C _{70/NR}
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	SE	%	≥50	SE ₅₀
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	LA	%	≤30	LA ₃₀
Sensibilità al gelo	UNI EN 1367-2	F	%	≤1	F ₁
Limite liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	W _L	%	≤15	
Indice Plastico	UNI CEN ISO/TS 17892-12	IP	-	NP	
Contenuto di sostanza organica	UNI EN 1744-1		%	≤0,5	
Componenti idrosolubili	UNI EN 1744-3		%	assenti	
Coefficiente di dilatazione con il gelo	SN 670 321		%	≤0,1	
Rigonfiamento			%	Nulla	

È possibile l'utilizzo dei materiali riciclati provenienti da attività di demolizione o di scarto di processi industriali trattati in impianto di lavorazione ai sensi delle Normative Nazionali.

Gli aggregati di riciclo possono essere impiegati nella fondazione stradale, anche in miscela con aggregati naturali, purché in possesso dei requisiti di idoneità previsti dalla Norma UNI 11531-1 e riportati in Tabella A.2.

Gli impianti di riciclaggio devono 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 devono 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".

Tabella A.2

MISCELE DI AGGREGATI RICICLATI			
Caratteristica	Norma	Requisito	Frequenza delle prove
Designazione	UNI EN 13285	0/31,5 mm	1000 m ³
Sopravaglio della miscela	UNI EN 933-1	OC ₇₅	1000 m ³
Contenuto massimo dei fini	UNI EN 933-1	UF ₉	1000 m ³
Contenuto minimo dei fini	UNI EN 933-1	LF ₂	1000 m ³
Granulometria	UNI EN 933-1	GA	1000 m ³
Appiattimento dell'aggregato grosso	UNI EN 933-3	FI ₃₅	10.000 m ³
Qualità dei fini	UNI EN 933-9	MB ₂	1000 m ³
Qualità dei fini (alternativo)	UNI EN 933-8	SE ₃₀	1000 m ³
Limite liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	W _L ≤ 15	2000 m ³
Indice Plastico	UNI CEN ISO/TS 17892-12	IP ≤ 6%	2000 m ³
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	SE ₅₀	2000 m ³
Indice di forma	UNI EN 933-4	SI ₄₀	10.000 m ³
Quantità di frantumato	UNI EN 933-5	C _{70/10}	2000 m ³
Resistenza all'urto	UNI EN 1097-2	SZ ₃₂	10.000 m ³
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	LA ₃₀	10.000 m ³
Solfato solubile in acqua	UNI EN 1744-1	SS _{0,2}	1000 m ³
Componenti idrosolubili	UNI EN 1744-3	assenti	2000 m ³
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	R _{cug90}	5000 m ³
Contenuto di vetro	UNI EN 933-11	R _{g5-}	1000 m ³
Contenuto di materiali bituminosi	UNI EN 933-11	R _{a30-}	1000 m ³
Contenuto di materiale galleggiante: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, polistirolo, sostanze organiche eccetto bitume	UNI EN 933-11	FL ₅₋	1000 m ³
Contenuto di materiale galleggiante inerte: leca, cemento schiumato	UNI EN 933-11	FL ₅₋	1000 m ³
Contenuto di terreno vegetale, metalli, legno non galleggiante, plastica, gomma, gesso, cartongesso, e altri materiali non galleggianti non litoidi	UNI EN 933-11	X _{I-}	1000 m ³
Massa volumica max. con energia Proctor modificata	UNI EN 933-11	√	2000 m ³
Portanza CBR dopo 4 giorni di imbibizione su provini costipati, con umidità ±2% dell'ottimo, al 95% della massa volumica massima all'energia Proctor modificata	UNI EN 13286-47	≥50	20.000 m ³
Rigonfiamento CBR	UNI EN 13286-47	≤1%	20.000 m ³
Sensibilità al gelo ⁽¹⁾	UNI EN 1367-1	F ₂	2000 m ³
Coefficiente di dilatazione con il gelo	SN 670 321	≤0,1	10.000 m ³
⁽¹⁾ La prova con cicli di gelo-disgelo è determinata su tutte le frazioni granulometriche			
Il simbolo √ indica che la caratteristica deve essere determinata ma non deve rispondere ad un requisito			
Il simbolo - indica che la caratteristica può essere omessa			

Riguardo 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. Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della Norma Europea Armonizzata UNI EN 13242.

1.2) Dimensioni e granulometria

La descrizione delle pezzature degli aggregati deve essere fatta tramite la designazione d/D secondo quanto specificato dalla norma UNI EN 13242. È richiesto l'impiego degli stacci del gruppo base+2.

La granulometria delle pezzature deve soddisfare i requisiti generali specificati dalla norma UNI EN 13242 per aggregati grossi, aggregati fini ed aggregati in frazione unica.

1.3) Requisiti geometrici, fisici, chimici e di durabilità

Le proprietà degli aggregati utilizzati per il confezionamento della miscela devono essere conformi ai requisiti specificati in Tabella A1. Il possesso di tali requisiti viene attestato dai valori riportati sugli attestati di conformità CE degli aggregati, relativi agli ultimi sei mesi.

Il sistema di attestazione della conformità richiesta è quello specificato all'art. 7, comma 1, lettera B, procedura 3, del DPR n. 246/93 (Sistema 2+) secondo il regolamento sui prodotti per l'edilizia 305/2011/CPR.

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 della Direzione 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 può chiedere 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.

2) Miscele

Vengono impiegate miscele la cui curva granulometrica sia specificata in conformità alla norma UNI EN 933-1, con dimensione massima $D = 31,5$ mm (designazione 0/31,5). Le proprietà delle miscele impiegate devono essere conformi ai requisiti specificati in Tabella A.3 e rientrare nel fuso granulometrico riportato in Tabella A.4.

Tabella A.3					
REQUISITI DELLE MISCELE (UNI EN 13285)					
Parametro	Normativa	Simbolo	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13242
Classificazione granulometrica	UNI EN 933-1	G	mm	0/31,5	G ₀
Sopravaglio (Passante allo staccio D)	UNI EN 933-1	OC	%	da 85 a 99	OC ₈₅
Contenuto massimo di fini	UNI EN 933-1	UF	%	≤ 7	UF ₇
Contenuto minimo di fini	UNI EN 933-1	LF	%	≥ 2	LF ₂

L'Impresa può proporre, in alternativa, l'impiego di miscele aventi categoria granulometrica diversa da quelle indicate in Tabella A.3.

L'indice di portanza CBR (UNI EN 13286-47) dopo quattro giorni d'imbibizione in acqua (eseguito sul materiale passante al setaccio da 25,4 mm) non deve essere minore del valore assunto per il calcolo della pavimentazione ed in ogni caso non minore di 50. È inoltre richiesto che tali condizioni siano verificate per un intervallo di ±2% rispetto all'umidità ottimale di costipamento.

Tabella A.4		
MISTO GRANULARE 0/31,5 COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA		
Serie ISO	mm	% di passante
Setaccio	45	100
Setaccio	31,5	85 -99
Setaccio	16	50-78
Setaccio	8	31-60
Setaccio	4	18-46
Setaccio	2	10-35
Setaccio	1	6-26
Setaccio	0,5	2-20
Setaccio	0,063	2-7

Il possesso dei requisiti elencati nelle Tabelle A.3 e A.4 è verificato dalla Direzione Lavori esaminando le registrazioni del Controllo di Produzione di Fabbrica del Produttore che devono essere consegnate alla Direzione Lavori almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti delle miscele dichiarati dal Produttore.

B) ACCETTAZIONE DEL MISTO GRANULARE

L'Impresa è tenuta a comunicare alla Direzione Lavori, con congruo anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni e per ciascun cantiere di produzione, uno studio comprendente almeno:

- la composizione dei misti granulari che intende adottare;
- l'etichetta di marcatura CE e la Dichiarazione di Prestazione (DoP);
- le registrazioni del Controllo di Produzione di Fabbrica del produttore relative all'ultimo anno;
- la determinazione della curva di costipamento con energia Proctor Modificata (UNI EN 13286-2 o DIN 18127);
- la determinazione dell'indice di portanza CBR in condizioni di saturazione.

Una volta accettato da parte della Direzione Lavori lo studio delle miscele, l'Impresa deve rigorosamente attenersi ad esso.

L'Impresa deve inoltre indicare, per iscritto, 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.

C) POSA IN OPERA DEL MISTO GRANULARE

Il piano di posa dello strato deve avere le quote, la sagoma, i requisiti di portanza prescritti ed essere ripulito da materiale estraneo. Il materiale va steso in strati di spessore finito non superiore a 30cm e non inferiore a 10cm e deve presentarsi, dopo costipamento, uniformemente miscelato, senza segregazione dei suoi componenti. L'eventuale aggiunta di acqua, per raggiungere l'umidità prescritta in funzione della densità, è da eseguirsi mediante dispositivi spruzzatori. La stesa va fatta con finitrice o con grader appositamente equipaggiato.

Lo spessore medio deve essere quello prescritto, con una tolleranza in più o in meno del 5% purché tale differenza si presenti solo saltuariamente.

Tutte le operazioni anzidette sono sospese quando le condizioni ambientali (pioggia, neve, gelo) siano tali da danneggiare la qualità dello strato stabilizzato.

Quando lo strato finito risulti compromesso a causa di un eccesso di umidità, o per effetto di danni dovuti al gelo, deve essere rimosso e ricostituito a cura e spese dell'Impresa.

Il materiale pronto per il costipamento deve presentare in ogni punto la prescritta granulometria. Per il costipamento e la rifinitura saranno impiegati rulli vibranti, rulli gommati o combinati, tutti semoventi. Per ogni cantiere l'idoneità dei mezzi d'opera e dei modi di costipamento deve essere determinata, in contraddittorio con la Direzione Lavori, prima dell'esecuzione dei lavori, mediante una prova sperimentale di campo, usando le miscele messe a punto per quel cantiere.

Il costipamento di ciascuno strato deve essere eseguito sino ad ottenere:

- una **densità in sito** (DIN 18125) non inferiore al 98% della densità massima fornita dalla prova Proctor modificata (UNI EN 13286-2);
- un **modulo di deformazione E_{v2}** determinato impiegando la metodologia della norma DIN 18134, non inferiore a 180 MPa 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.

Le superfici finite devono essere perfettamente piane, con scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm, controllati per mezzo di un regolo di 4m di lunghezza e disposto secondo due direzioni ortogonali.

La verifica delle quote di progetto viene eseguita con procedimento topografico, prevedendo in senso longitudinale un distanziamento massimo dei punti di misura non superiore a 20 metri nei tratti a curvatura costante e non superiore a 5 metri nei tratti a curvatura variabile. Nelle stesse sezioni dei controlli longitudinali di quota va verificata la sagoma trasversale, prevedendo almeno due misure per ogni parte a destra ed a sinistra dell'asse stradale.

Eventuali “non conformità” per “difetto” (mancanza di materiale) dei piani finiti oltre la tolleranza prevista non possono essere corrette con il riporto e la successiva rullatura di piccole quantità di materiale (spessore inferiore ai 10 cm), ma lo strato non conforme deve essere preventivamente de-costipato (arato) procedendo poi all’aggiunta di materiale e alla nuova compattazione. Sono invece possibili correzioni dei piani finiti “non conformi” per “eccesso” (quote del piano finito superiori a quelle previste) mediante asportazione di materiale con la livellatrice (o fresatrice), purché ovunque compatibili con le quote e le sagome previste dal progetto.

D) CONTROLLI

Il controllo della qualità dei misti granulari e della loro posa in opera, deve essere eseguito mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sul materiale prelevato in sito al momento della stesa oltre che con prove sullo strato finito. L’ubicazione dei prelievi e la frequenza delle prove sono indicate nella Tabella D.1.

I controlli di accettazione sugli aggregati di cui al paragrafo A, vengono effettuati prima dell’inizio dei lavori e ogni qualvolta cambino i luoghi di provenienza dei materiali. Ogni 2 mesi l’Impresa deve trasmettere alla Direzione Lavori la documentazione relativa al controllo di produzione di fabbrica. Con la medesima frequenza la Direzione Lavori può chiedere la ripetizione dei controlli di accettazione.

Nell’ambito dei controlli di accettazione, la granulometria del misto granulare va verificata giornalmente, prelevando il materiale in sito già miscelato, immediatamente prima del costipamento. Rispetto alla qualificazione delle forniture, nella curva granulometrica sono ammesse variazioni delle singole percentuali dell’aggregato grosso di ± 5 punti e di ± 2 punti per l’aggregato fine. In ogni caso non devono essere superati i limiti relativi a quello del fuso assegnato. L’equivalente in sabbia va verificato almeno ogni tre giorni lavorativi.

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 ovvero CNR 22/72). Per valori di densità inferiori a quello previsto verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce, una detrazione pari a:

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

dove s è lo scostamento percentuale della densità in sito rispetto a quella di laboratorio valutato con:

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

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) comportano la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell’Impresa, salvo il danno per il mancato esercizio dell’infrastruttura.

Le prove di controllo della **portanza** devono essere eseguite, prima della costruzione degli strati di pavimentazione sovrastanti, 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 180 MPa 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 di portanza inferiori a quello previsto, viene applicata, per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce, una detrazione pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = [(180 E_{v2})/5]^2$$

Valori del modulo E_{v2} inferiori a 120 MPa e/o del rapporto E_{v2}/E_{v1} superiori a 2,15 (solo per E_{v2} inferiore a 250 MPa) comportano 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.

Tabella D.1

CONTROLLO DEI MATERIALI E VERIFICA PRESTAZIONALE			
TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA PROVE	REQUISITI RICHIESTI
Aggregato naturale o di riciclo	Impianto	Iniziale, poi ogni 6 mesi	Riferimento Tabella A.1
Aggregato di riciclo	Impianto	Iniziale, poi ogni 6 mesi	Riferimento Tabella A.2
Miscela	Strato finito	Giornaliera oppure ogni 1.000 m ³ di stesa	Riferimento Tabelle A.3 e A.4
Sagoma	Strato finito	Ogni 20m o ogni 5m	Sagoma previsto in progetto
Strato finito (densità in sito)	Strato finito	Giornaliera oppure ogni 5.000 m ² di stesa	98% del valore risultante dallo studio della miscela
Strato finito (portanza)	Strato finito o Pavimentazione	Ogni 1.000 m ² m di fascia stesa	E _{v2} ≥ 180MPa E _{v2} / E _{v1} ≤ 2,15