



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

ECOMONDO
The green technology expo.



ASSOAmbiente

Il ruolo degli aggregati recuperati nella realizzazione delle grandi opere del PNRR

Nuove norme tecniche per l'impiego di aggregati riciclati nelle infrastrutture

Antonio D'Andrea

Rimini 09 Novembre 2023

La lunga marcia alla scoperta degli aggregati riciclati

Nella norma europea la modalità di classificazione degli aggregati è identica qualsiasi sia la provenienza.

Naturali, artificiali e riciclati sono tre categorie elencate sempre insieme.

UNI ha promosso fin dai primi anni 2000, con la revisione della 10006 e poi con la UNI 11531-1, l'equiparazione delle tre categorie, dichiarate utilizzabili senza pregiudizi per tutte le differenti destinazioni di impiego, provando a fare definitivamente piazza pulita dei preesistenti pregiudizi, che tuttora riecheggiano in molti capitolati correnti.

Naturali, artificiali e riciclati devono avere pari dignità se per qualità e durabilità rispondono a richieste prestazionali equivalenti.

I requisiti stabiliti per i diversi livelli di prestazione sono ovviamente specializzati per tener conto delle particolari possibili "debolezze" di ciascuna tipologia, e sono diretti a garantire pari qualità tecnica, in modo che sia indifferente usare i naturali o riciclati, lasciando la selezione a criteri ambientali ed economici

Comparazione tra aggregati riciclati e naturali

Caratteristiche salienti degli aggregati da C&D:

- *Granulometria bene assortita e "progettabile";*
- *Insensibilità all'acqua (IP=NP; E.S. ottimo);*
- *Elevata capacità drenante;*
- *Relativa indifferenza all'umidità di costipamento;*
- *Ottima portanza.*

In molti casi, il riciclato da C&D può risultare tecnicamente migliore del materiale vergine effettivamente disponibile nel raggio utile per l'opera.



**Vantaggi
tecnici**

Comparazione tra aggregati riciclati e naturali

Bilancio globale dei volumi di materia:

- riduzione dei rifiuti smaltiti
- riduzione del depauperamento del territorio

Offerta di nuovi e più distribuiti luoghi di vendita degli aggregati (e di conferimento a discarica dei rifiuti):

- tempo di trasporto da origine a destinazione;
- consumi energetici;
- inquinamento atmosferico (gas e polveri);
- rumore e vibrazioni;
- densità di traffico e congestione.

Impatto ambientale della "produzione"

- abbattimento: assente
- frantumazione: molto più limitata

Vantaggi
ambientali

Comparazione tra aggregati riciclati e naturali

Confronto tra i costi di produzione: riciclato vs. naturale

"abbattimento": assenti o negativi (prezzo di conferimento)

trasferimento dal "fronte di cava" all'impianto: minori

selezione preliminare: aggiuntivi

frantumazione: da uguali a minori

separazione elementi estranei e pulizia: aggiuntivi

Costi di trasporto (dipendono da origine e destinazione)

la collocazione dell'impianto è ottimizzabile:

prossimo ai luoghi di impiego (le città)

vicino alle grandi arterie di traffico

Capacità di produzione e stoccaggio:

adeguabile alla bisogna con

una corretta pianificazione



Vantaggi
economici

| Aggregati riciclati | | Impieghi | |
|---|----------------|---|----------------------------------|
| | | Fondazione | Base |
| Caratteristica | Norma di prova | Requisito | Requisito |
| Contenuto di Calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo, malta, elementi di muratura di calcestruzzo, aggregato non legato, pietra naturale, aggregato legato idraulicamente, vetro | UNI EN 933-11 | R_{cuq} 70 | R_{cuq} 90 |
| Materiali bituminosi | UNI EN 933-11 | R _a 30- | R _a 1- |
| Contenuto di elementi di muratura di argilla (mattoni e piastrelle), elementi di muratura di silicato di calcio, calcestruzzo aerato non flottante | UNI EN 933-11 | R_b 10- | |
| Contenuto di vetro | UNI EN 933-11 | R_g 2- | |
| Contenuto di materiale flottante | UNI EN 933-11 | FL 5- | |
| Contenuto di materiale coesivo (argilla e terra), metalli (ferrosi e non ferrosi), legno non flottante, plastica e gomma, malta di gesso. | UNI EN 933-11 | X ₁ - | |
| Indice di appiattimento | UNI EN 933-3 | FI ₃₅ | FI ₂₀ |
| Percentuale di particelle frantumate | UNI EN 933-5 | C _{NEV/50} | C _{50/10} ¹⁾ |
| Resistenza alla frammentazione | UNI EN 1097-2 | LA ₃₅ | LA ₃₀ |
| Resistenza all'usura | UNI EN 1097-1 | M _{DE} 30 | M _{DE} 25 |
| Perdita di resistenza dopo cicli di gelo e disgelo ²⁾ | UNI EN 1367-1 | $\Delta S_{LA} \leq 30$ | |
| Solfato solubile in acido | UNI EN 1744-1 | AS _{0,8} | |
| Zolfo totale | UNI EN 1744-1 | S ₁ | |
| Solfato idrosolubile | UNI EN 1744-1 | SS _{0,7} | |
| Valutazione del fine, Equivalente in sabbia | UNI EN 933-8 | SE ₄₀ | SE ₆₀ |
| Valutazione alternativa del fine, Blu di metilene | UNI EN 933-9 | MB ≤ 2 g/kg | |
| Solfato solubile in acido | UNI EN 1744-1 | AS _{0,8} | |
| Zolfo totale | UNI EN 1744-1 | S ₁ / S ₂ ²⁾ | |
| Solfato idrosolubile | UNI EN 1744-1 | SS _{0,7} | |

1) C_{90/3} per autostrade e strade extraurbane principali o urbane di scorrimento

2) Rispettivamente per aggregati "diversi dalle scorie d'altoforno raffreddate in aria" e "scorie d'altoforno raffreddate in aria".

Come impatta la norma nazionale UNI sui vari attori della filiera delle costruzioni ?

I produttori di aggregati

Hanno un riferimento per orientare la produzione e marcare CE scegliendo tra le varie destinazioni d'uso.

Il Progettista

Ha il compito di definire il Capitolato Speciale di Appalto, selezionando i materiali e le tecnologie con il miglior rapporto costi-benefici, nel rispetto delle prestazioni attese.

Con la norma UNI 11531-1 ha ora un riferimento ponderato e aggiornato al corrente stato dell'arte per comporre le voci di capitolato e per stabilire i requisiti cui i materiali e le opere debbono corrispondere.

La Stazione Appaltante

Ha l'interesse e l'obbligo di realizzare opere sicure, durevoli e funzionali con la minore possibile spendita di denaro pubblico e, in base alle disposizioni più recenti del GPP, anche nel rispetto dell'ambiente.

Con la norma UNI 11531-1 ha gli strumenti per scegliere tra diversi materiali, ottimizzando i vantaggi economici e ambientali.

Il Direttore dei Lavori

Ha il compito di eseguire il progetto, controllare che tutte le opere siano realizzate senza vizi e pagare l'Impresa secondo quanto effettivamente realizzato.

Può disporre o acconsentire variazioni minori all'opera che non alterino sostanzialmente il progetto.

dalla 10006-2002 alla sezione riciclati della UNI 11531

- *diverse composizioni tipo degli aggregati riciclati in funzione della provenienza (da cls, da macerie dell'edilizia, da demolizioni stradali, da scarti industriali, da rifiuti di vetro, etc.);*
- *modalità di campionamento e di saggio;*
- *cautele di impiego ai diversi livelli di utilizzo;*

Utilità e limite: ammettere gli aggregati riciclati alla stessa stregua degli aggregati naturali, prevenendo e superando i problemi derivanti dalle loro caratteristiche intrinsecamente speciali:

- *Composizione disomogenea*
- *Composizione variabile nel tempo*
- *Resistenza differenziata*
- *Forma dei grani*
- *Presenza di legno o altri degradabili o deperibili*

INCOSTANZA NEL TEMPO - RIMEDI

CRITERIO GUIDA:

massima "eterogeneità" di

composizione mineralogica e costituzionale

come garanzia di "costanza" delle prestazioni

(un buon campionamento svela l'eccessiva "omogeneità")

Inversione della logica di controllo ordinaria:

ricercare ed evidenziare le disuniformità locali

Composizione dei riciclati da C&D

Analisi delle materie da eliminare:

Inquinanti {

- metalli pesanti
- vernici, acidi, veleni, etc.
- guaine, etc.

**Leggi
ambientali**

Non inquinanti e non deperibili: ferro, plastica, vetro, ..
Possibili problemi: ad es. tondini isolati e lunghi (costipamento)

Deperibili



Legno, carta, cartone, fibre tessili,
residui alimentari, polistirolo, etc.

MODALITA' DI SAGGIO E CONTROLLO

In relazione alla variabilità della provenienza, dalla quale può conseguire disuniformità del comportamento in opera,

- gli aggregati da C&D possono essere impiegati unicamente se facenti parte di LOTTI (o partite)
- i LOTTI vanno tutti caratterizzati prima dell'impiego
- il lotto non deve superare i 3000 m³

PROCEDURE PRO-COSTANZA

Classificazione dei conferimenti

Stoccaggio per categorie

Prelievo proporzionale

Frantumazione e riclassificazione granulometrica

Asportazione automatica di leggeri ed estranei

Accumulazione in grandi volumi

Rimescolamento

Norma UNI 11531-1

Alle principali norme europee sulle terre e sugli aggregati :

UNI EN 13242

UNI EN ISO 14688-1

UNI EN 13285

UNI EN ISO 14688-2

che presentano:

- procedure per il saggio di alcune proprietà dei materiali granulari e modalità di espressione dei risultati*
- schema generale di classificazione dei terreni in posto*

la norma UNI 11531-1

ha aggiunto indicazioni su controlli e limiti di accettazione per:

- strade, ferrovie, aeroporti, terminali di trasporto, interporti, piazzali, parcheggi e simili,*
- colmate, rintorri, altre opere collegate alle infrastrutture*

| Miscele non legate di aggregati riciclati | | Impieghi | | | | | |
|--|---------------------|---------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------|---|
| | | Strato anticapillare | | Fondazione | | Base | |
| Caratteristica armonizzata | Norma di prova | <u>Requisito</u> | <u>Frequenza minima di prova in fase di stesa</u> | <u>Requisito</u> | <u>Frequenza minima di prova in fase di stesa</u> | <u>Requisito</u> | <u>Frequenza minima di prova in fase di stesa</u> |
| Designazione | UNI EN 13242 /13285 | 2/31,5 | | 0/31,5 | | 0 / 31,5 | |
| Sopravaglio della miscela | UNI EN 933-1 | NA | | OC₇₅ | 1000 m ³ | OC₈₅ | 1000 m ³ |
| Contenuto massimo dei fini | UNI EN 933-1 | UF₃ | 1000 m ³ | UF₉ | 1000 m ³ | UF₉ | 1000 m ³ |
| Contenuto minimo dei fini | UNI EN 933-1 | NA | | LF₂ | 1000 m ³ | LF₂ | 1000 m ³ |
| Granulometria | UNI EN 933-1 | G_C90/15 | 1000 m ³ | G_A | 1000 m ³ | G_A | 1000 m ³ |
| Appiattimento dell'aggregato grosso | UNI EN 933-3 | FI₃₅ | 10000 m ³ | FI₃₅ | 10000 m ³ | FI₃₅ | 10000 m ³ |
| Qualità dei fini | UNI EN 933-9 | NA | | MB₂ | 1000 m ³ | MB_{1,5} | 1000 m ³ |
| Qualità dei fini (alternativo) | UNI EN 933-8 | SE₇₀ | 1000 m ³ | SE₃₀ | 1000 m ³ | SE₅₀ | 1000 m ³ |
| Resistenza alla frammentazione | UNI-EN 1097-2 | LA₄₀ | 10000 m ³ | LA₃₀ | 10000 m ³ | LA₃₀ | 10000 m ³ |
| Percentuale di particelle frantumate/arrotondate | UNI-EN 933-5 | NA | | NA | | C_{90/3} | 10000 m ³ |
| Resistenza all'usura | UNI-EN 1097-1 | NA | | NA | | M_{DE}20 | 10000 m ³ |
| Solfato solubile in acqua | UNI EN 1744-1/10 | SS_{0,2} | 1000 m ³ | SS_{0,2} | 1000 m ³ | SS_{0,2} | 1000 m ³ |

| Miscele non legate di aggregati riciclati | | Impieghi | | | | | |
|---|----------------|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| | | Strato anticapillare | | Fondazione non legata | | Base non legata | |
| Caratteristica | Norma di prova | <u>Requisito</u> | <u>Frequenza minima di prova in fase di stesa</u> | <u>Requisito</u> | <u>Frequenza minima di prova in fase di stesa</u> | <u>Requisito</u> | <u>Frequenza minima di prova in fase di stesa</u> |
| Contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, manufatti in calcestruzzo, malte, elementi lapidei naturali anche derivanti da murature, sfridi di cava o pietrisco tolto d'opera, materiali legati idraulicamente, vetro | UNI EN 933-11 | Rcug₇₀ | 1000 m ³ | Rcug₉₀ | 1000 m ³ | Rcug₉₀ | 1000 m ³ |
| Contenuto di vetro | UNI EN 933-11 | Rg₅₋ | 1000 m ³ | Rg₅₋ | 1000 m ³ | Rg₅₋ | 1000 m ³ |
| Contenuto di materiali bituminosi. | UNI EN 933-11 | Ra₃₀₋ | 1000 m ³ | Ra₅₋ | 1000 m ³ | Ra₁₋ | 1000 m ³ |
| Contenuto di materiale galleggiante: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, polistirolo, sostanze organiche eccetto bitume, | UNI EN 933-11 | FL₅₋ | 1000 m ³ | FL₅₋ | 1000 m ³ | FL₅₋ | 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 | X₁₋ | 1000 m ³ | X₁₋ | 1000 m ³ | X₁₋ | 1000 m ³ |

Aggregati riciclati da C&D

classificazione secondo Tabella 12 EN 13242:2008

Criteria di accettazione degli aggregati da C&D EN 13242 + EN 13285

| Miscele non legate di aggregati riciclati | | Impieghi | | | | | |
|---|------------------|-------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------|---|
| | | Colmate/rinterri | | Corpo rilevato | | Sottofondo | |
| Caratteristica armonizzata | Norma di prova | <u>Requisito minimo</u> | <u>Frequenza minima di prova in fase di stesa</u> | <u>Requisito minimo</u> | <u>Frequenza minima di prova in fase di stesa</u> | <u>Requisito minimo</u> | <u>Frequenza minima di prova in fase di stesa</u> |
| Designazione della miscela | UNI EN 13285 | 0/63 | 20000 | 0/63 | 5000 m ³ | 0 / 31,5 | 2000 m ³ |
| Sopravaglio della miscela | UNI EN 933-1 | OC₇₅ | 20000 | OC₈₅ | 5000 m ³ | OC₇₅ | 2000 m ³ |
| Sottovaglio della miscela | UNI EN 933-1 | - | | UF₃₅ | 5000 m ³ | UF₁₅ | 2000 m ³ |
| Granulometria della miscela | UNI EN 933-1 | G_N | 20000 | G_N | 5000 m ³ | G_U | 2000 m ³ |
| Appiattimento dell'aggregato grosso | UNI EN 933-3 | - | | FI₅₀ | 50000 m ³ | FI₃₅ | 2000 m ³ |
| Qualità dei fini | | - | | MB₅ | 5000 m ³ | MB₅ | 2000 m ³ |
| Qualità dei fini (alternativo) | | - | | SE₂₀ | 5000 m ³ | SE₃₀ | 2000 m ³ |
| Resistenza alla frammentazione | UNI-EN 1097-2 | - | | LA50 | 50000 m ³ | LA45 | 20000 m ³ |
| Solfato solubile in acqua | UNI EN 1744-1/10 | - | | SS_{0,2} | 5000 m ³ | SS_{0,2} | 2000 m ³ |

Revisione approvata da poco della UNI 11531-1

Alle principali norme europee sulle terre e sugli aggregati :

UNI EN 13242

UNI EN ISO 14688-1

UNI EN 13285

UNI EN ISO 14688-2

che presentano:

- procedure per il saggio di alcune proprietà dei materiali granulari e modalità di espressione dei risultati*
- schema generale di classificazione dei terreni in posto*

la norma UNI 11531-1

ha aggiunto indicazioni su controlli e limiti di accettazione per:

- strade, ferrovie, aeroporti, terminali di trasporto, interporti, piazzali, parcheggi e simili,*
- colmate, rinterri, ripristini di cave dismesse, dune antirumore, rimodellazioni del terreno a fini paesaggistici e altre destinazioni d'uso anche non direttamente interessate dai sistemi di trasporto.*

| Miscela non legate di aggregati riciclati | | Impieghi | | | | | |
|--|---|---|--|--|--|------------------------------|--|
| | | Allettamenti, rinfianchi, intonaci e similari | | Allettamenti, rinfianchi e analoghi | | Drenaggi, vespai | |
| Granulometria (UNI-EN 13242 Tabella 2) | | Fine d = 0 mm, D ≤ 6.3 mm | | Frazione unica d = 0 mm, D > 6.3 mm | | Grosso d ≥ 1 mm, D > 2 mm | |
| Caratteristica | Norma di riferimento Metodo di prova | Requisito | Frequenza minima di prova in fase di stesa | Requisito | Frequenza minima di prova in fase di stesa | Requisito | Frequenza minima di prova in fase di stesa |
| Passante al setaccio da 125 mm | UNI EN 13242 | - | - | 100% | 5 000 m ³ | 100% | 5 000 m ³ |
| Qualità dei fini | UNI EN 933-9 | MB ≤ 5 g/kg | 5 000 m ³ | MB ≤ 5 g/kg | 5 000 m ³ | - | |
| Qualità dei fini (alternativo) | UNI EN 933-8 | SE ≥ 20 | 5 000 m ³ | SE ≥ 20 | 5 000 m ³ | - | |
| Solfato solubile in acqua | UNI EN 13242 UNI EN 1744-1 | SS _{0,7} | 5 000 m ³ | SS _{0,7} | 5 000 m ³ | SS _{0,7} | 5 000 m ³ |
| Contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, manufatti in calcestruzzo, malte, elementi lapidei naturali anche derivanti da murature, sfridi di cava o pietrisco tolto d'opera, materiali legati idraulicamente, vetro, ove applicabile | UNI EN 13242 UNI EN 933-11 | - | | R _{cu50} | 20 000 m ³ | R _{cu50} | 20 000 m ³ |
| Contenuto di vetro | UNI EN 13242 UNI EN 933-11 | - | | - | | - | |
| Contenuto di materiali bituminosi | UNI EN 13242 UNI EN 933-11 | - | | - | | - | |
| Contenuto di materiale galleggiante: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, polistirolo, sostanze organiche eccetto bitume,..... | UNI EN 13242 UNI EN 933-11 | - | | FL ₁₀ | 20 000 m ³ | FL ₁₀ | 20 000 m ³ |
| Contenuto di terreno vegetale, metalli, legno non galleggiante, plastica, gomma, gesso, cartongesso, e altri materiali non galleggianti non litoidi | UNI EN 13242 UNI EN 933-11 | - | | X ₁ | 20 000 m ³ | X ₁ | 20 000 m ³ |

Coordinamento con altre normative ambientali e per le costruzioni

3.1.6 deposito antropico (man-made ground):

deposito costituito da una miscela omogenea o eterogenea di materiale di origine antropica, quali residui e scarti di produzione e di consumo, materiali di riporto e terreno naturale trasferito o movimentato dall'uomo, che compone un orizzonte stratigrafico specifico rispetto alle caratteristiche geologiche e stratigrafiche naturali del terreno in un determinato sito.

Elementi per il coordinamento del quadro normativo stante la 11531-1

Superamento della C.M. 5205 del 15 luglio 2005 (G.U. 25/7/05)

Allegato C1 CORPO DEI RILEVATI

| |
|---|
| PARAMETRO |
| Materiali litici di qualunque provenienza, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie e loppe di fonderia di metalli (caratterizzate secondo EN 13242). |
| Vetro e scorie vetrose |
| Conglomerati bituminosi |
| Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nei sottofondi stradali ai sensi della legislazione vigente |
| Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume |
| Materiali plastici cavi: corrugati, tubi in plastica, etc. |
| Altri materiali (metalli, gesso*, guaine, gomme, roccia o di vetro, etc.) |
| Passante al setaccio da 63 mm |
| Passante al setaccio da 4 mm |
| Passante al setaccio da 0,063 mm |
| Equivalente in Sabbia |
| Dimensione massima D _{max} |
| Ecocompatibilità |
| (*) Il gesso deve essere riconosciuto mediante prove di soluzione costituita da una parte di HCl e due parti di H ₂ O. |
| (**) La serie di setacci deve essere composta da 0,063 mm. |
| Nota 1: La preparazione del campione da sottoporre all'analisi deve essere fatta in modo da sottoporre ad analisi una quantità di almeno 1000 g. |
| Nota 2: I costituenti della frazione trattenuta al setaccio da 63 mm. |
| Nota 3 (Frequenza delle Prove): gli aggregati riciclati per impieghi esclusivi per il lotto cui si riferisce. |

Allegato C2 SOTTOFONDI STRADALI

| |
|---|
| PARAMETRO |
| Materiali litici di qualunque provenienza, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242). |
| Vetro e scorie vetrose |
| Conglomerati bituminosi |
| Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nei sottofondi stradali ai sensi della legislazione vigente |
| Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume |
| Materiali plastici cavi: corrugati, tubi in plastica, etc. |
| Altri materiali (metalli, gesso*, guaine, gomme, roccia o di vetro, etc.) |
| Equivalente in Sabbia |
| Perdita in peso per abrasione con appa "Angeles" |
| Passante al setaccio da 63 mm |
| Passante al setaccio da 4 mm |
| Rapporto tra il Passante al setaccio da 4 mm e il Passante al setaccio da 0,063 mm |
| Passante al setaccio da 0,063 mm |
| Indice di forma (frazione > 4 mm) |
| Indice di appiattimento (frazione > 4 mm) |
| Ecocompatibilità |
| (*) Il gesso deve essere riconosciuto mediante prove di soluzione costituita da una parte di HCl e due parti di H ₂ O. |
| (**) La serie di setacci deve essere composta da 0,063 mm. La preparazione del campione da sottoporre all'analisi deve essere fatta in modo da sottoporre ad analisi una quantità di almeno 1000 g. |
| Nota 1 (Frequenza delle Prove): gli aggregati riciclati per impieghi esclusivi per il lotto cui si riferisce. |

Allegato C3 STRATI DI FONDAZIONE

| |
|---|
| PARAMETRO |
| Materiali litici di qualunque provenienza, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242). |
| Vetro e scorie vetrose |
| Conglomerati bituminosi |
| Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nei sottofondi di fondazioni stradali ai sensi della legislazione vigente |
| Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume |
| Materiali plastici cavi: corrugati, tubi in plastica, etc. |
| Altri materiali (metalli, guaine, gomme, roccia o di vetro, etc.) |
| Passante al setaccio da 40 mm |
| Passante al setaccio da 20 mm |
| Passante al setaccio da 10 mm |
| Passante al setaccio da 4 mm |
| Passante al setaccio da 2 mm |
| Passante al setaccio da 1 mm |
| Passante al setaccio da 0,5 mm |
| Passante allo staccio da 0,063 mm |
| Rapporto tra il Passante al setaccio da 4 mm e il Passante al setaccio da 0,063 mm |
| Equivalente in Sabbia |
| Perdita in peso per abrasione con appa "Angeles" |
| Indice di forma (frazione > 4 mm) |
| Indice di appiattimento (frazione > 4 mm) |
| Ecocompatibilità |
| (*) La preparazione del campione da sottoporre all'analisi deve essere fatta in modo da sottoporre ad analisi una quantità di almeno 1000 g. |
| Nota 1: L'indice portante CTR della miscela deve essere superiore a 200 kg/cm ² per il tipo di strato. |
| Nota 3 (Frequenza delle Prove): gli aggregati riciclati per impieghi esclusivi per il lotto cui si riferisce. |

Allegato C4 RECUPERI AMBIENTALI, RIEMPIMENTI E COLMATE

| |
|--|
| PARAMETRO |
| Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242). |
| Vetro e scorie vetrose |
| Conglomerati bituminosi |
| Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nei recuperi ambientali ai sensi della legislazione vigente |
| Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume |
| Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di in plastica, etc. |
| Altri materiali (metalli, gesso*, guaine, gomme, roccia o di vetro, etc.) |
| Passante al setaccio da 63 mm |
| Passante al setaccio da 0,063 mm |
| Ecocompatibilità |
| (*) Il gesso deve essere riconosciuto mediante l'osservazione di prove di soluzione costituita da una parte di HCl e due parti di H ₂ O. |
| Nota 1: La preparazione del campione da sottoporre all'analisi deve essere fatta in modo da sottoporre ad analisi una quantità di almeno 1000 g. |
| Nota 2: I costituenti della frazione trattenuta al setaccio da 63 mm. |
| Nota 3 (Frequenza delle Prove): gli aggregati riciclati per impieghi esclusivi per il lotto cui si riferisce. |

Allegato C5 STRATI ACCESSORI AVENTI FUNZIONE ANTIGELO, ANTICAPILLARE, DRENANTE, ETC.

Possono essere costituiti da materiale riciclato se considerato idoneo allo scopo. Tale materiale deve rispettare le prescrizioni relative alla composizione valide per gli strati di sottofondo.

| PARAMETRO | MODALITÀ DI PROVA | LIMITE |
|--|--|---|
| Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242). | Separazione visiva sul trattenuto al setaccio 8 mm | > 80% in massa |
| Vetro e scorie vetrose | Idem | ≤ 10% in massa |
| Conglomerati bituminosi | Idem | ≤ 15% in massa |
| Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nei sottofondi stradali ai sensi della legislazione vigente | Idem | ≤ 15% in totale e ≤ 5% per ciascuna tipologia |
| Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie in plastica, etc. | Idem | ≤ 0,1% in massa |
| Altri materiali (metalli, gesso**, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, etc.) | Idem | ≤ 0,4% in massa |
| Ecocompatibilità | Test di cessione di cui all'All. 3 DM 05/02/1998 | Il materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal DM 5 febbraio 1998 |

Nota (Frequenza delle Prove): gli aggregati riciclati per miscela non legate e legate idraulicamente destinati a lavori stradali e altri lavori di ingegneria civile devono essere caratterizzati conformemente a quanto indicato nella Norma Armonizzata UNI EN 13242:2004. Al fine di prevenire la disomogeneità dovuta alla variabilità dei materiali costituenti il materiale va caratterizzato per lotto. Tali lotti possono rappresentare la produzione di un periodo di una settimana (frequenza minima allegato C UNI EN 13242:2004) e devono comunque avere dimensione massima pari a 3000 m³. Possono essere impiegati esclusivamente lotti precedentemente caratterizzati e tale caratterizzazione è da intendersi valida esclusivamente per il lotto cui si riferisce.

La nuova norma UNI 11531-2

Le norme della serie EN 14227 individuano le proprietà rilevanti di:

- *miscele di aggregati legate con legante idraulico e/o aereo*
- *terre e materiali granulari migliorati e stabilizzati*

La norma UNI 11531-2 costituisce riferimento per la redazione di capitolati e contratti per l'impiego di materiali trattati con legante idraulico e/o aereo nelle opere civili delle infrastrutture:

- *criteri di scelta del tipo di trattamento in relazione alle caratteristiche dei materiali,*
- *metodologie di studio delle miscele,*
- *modalità di confezione e di posa in opera,*
- *controlli di qualità.*

Tratta opere atte a sopportare i mezzi di trasporto terrestre e aereo: strade, ferrovie, piste aeroportuali, parcheggi e simili

Requisiti meccanici delle miscele di aggregati con legante idraulico

| | | Fondazione | Base |
|---|--|---|---|
| Caratteristica | Norma di prova | Requisito | Requisito |
| Resistenza a compressione a 7 giorni (MPa) ²⁾ | UNI EN 13286-41 | 2,0 - 4,0 C _{1,5/2} -C _{3/4} | 3,0 - 5,0 C _{2,3/3} -C _{4/5} |
| Resistenza a trazione indiretta a 7 giorni (MPa) ²⁾ | UNI EN 13286-42 | ≥ 0,20 | ≥ 0,25 |
| Resistenza a trazione indiretta dopo 4 giorni di imbibizione, rispetto al valore iniziale (%) | UNI EN 13286-42 | ≥ 80 | |
| Categoria per etichettatura ³⁾ | UNI EN 14227-1 e 5 punto 7.3 | min T0 | min T1 |
| 1) | Alle miscele di Tipo 4 si applicano i requisiti dello strato di Base. | | |
| 2) | Qualora i valori a 7 giorni non siano rispettati, dovrà essere ripetuta una verifica a 28 giorni, assumendo limiti di accettazione incrementati del 25%. | | |
| 3) | Nel rispetto dei valori minimi del grafico della norma: $R_t = 0,1$ MPa e $E = 1.000$ MPa. | | |

Per applicazioni speciali in cui si richiedano miscele maggiormente performanti, in sede di mix-design si possono studiare miscele con prestazioni meccaniche superiori (per esempio resistenza a compressione fino a, indicativamente, categoria C_{6/8}), tenendo ben presenti gli impatti sulle modalità e i tempi di presa, indurimento e maturazione.

| Aggregati riciclati | | Impieghi | |
|---|------------------------------|---|---|
| | | Fondazione | Base |
| Caratteristica | Norma di prova | Requisito | Requisito |
| Contenuto di Calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo, malta, elementi di muratura di calcestruzzo, aggregato non legato, pietra naturale, aggregato legato idraulicamente, vetro | UNI EN 933-11 | <u>R_{cug}</u> 70 | <u>R_{cug}</u> 90 |
| Materiali bituminosi | UNI EN 933-11 | R _a 30- | R _a 1- |
| Contenuto di elementi di muratura di argilla (mattoni e piastrelle), elementi di muratura di silicato di calcio, calcestruzzo aerato non flottante | UNI EN 933-11 | <u>R_b</u> 10- | |
| Contenuto di vetro | UNI EN 933-11 | <u>R_g</u> 2- | |
| Contenuto di materiale flottante | UNI EN 933-11 | FL 5- | |
| Contenuto di materiale coesivo (argilla e terra), metalli (ferrosi e non ferrosi), legno non flottante, plastica e gomma, malta di gesso. | UNI EN 933-11 | X1- | |
| Granulometria | UNI EN 13242 | G _C 85-15 / G _A 85 ¹⁾ | |
| Designazione | UNI EN 13242 | 4/40 / 0/40 | 4/31,5 / 0/31,5 |
| Coefficiente-Indice di appiattimento | UNI EN 933-3 | FI ₃₅ | FI ₂₀ |
| Coefficiente di forma | UNI EN 933-4 | SI ₂₀ | |
| Percentuale di particelle frantumate | UNI EN 933-5 | C _{NR/50} | C _{50/10} ²⁾ |
| Contenuto di fini | - | f ₄ / f ₅ ¹⁾ | f ₂ / f ₃ ¹⁾ |
| Resistenza alla frammentazione | UNI EN 1097-2 | LA ₄₀ LA ₃₅ | LA ₃₀ 5 |
| Resistenza all'usura | UNI EN 1097-1 | M _{DE} 30 | M _{DE} 25 |
| Assorbimento d'acqua | UNI EN 1097-6 | WA ₂₄ 2 | |
| Perdita di resistenza dopo cicli di gelo e disgelo ³⁾ | UNI EN 1367-1 | ΔSLA ≤ 30 | |
| Solfato solubile in acido | UNI EN 1744-1 | AS 0,8 | |
| Zolfo totale | UNI EN 1744-1 | S ₁ | |
| Solfato idrosolubile | UNI EN 1744-1 | SS _{0,7} | |
| Sensibilità al gelo ³⁾ | UNI EN 1367-1 e 2 | F ₂ | |

9 Requisiti di idoneità degli aggregati fini riciclati, per miscele di aggregati con legante

| Aggregati fini riciclati | | Impieghi | |
|---|--|---|------------------|
| | | Fondazione | Base |
| Caratteristica | Norma di prova | Requisito | Requisito |
| Granulometria | UNI EN 13242 | $G_F 85 / G_A 85$ ¹⁾ | |
| Designazione | UNI EN 13242 | 0/4 | |
| Contenuto di fini | - | f_{10} / f_{12} ¹⁾ | |
| Valutazione del fine, Equivalente in sabbia | UNI EN 933-8 | SE ₄₀ | SE ₅₀ |
| Valutazione alternativa del fine, Blu di metilene | UNI EN 933-9 | $MB \leq 2 \text{ g/kg}$ | |
| Indice di Plasticità | UNI EN ISO 17892-12 | Non Plastico | |
| Solfato solubile in acido | UNI EN 1744-1 | AS _{0,8} | |
| Zolfo totale | UNI EN 1744-1 | S ₁ / S ₂ ²⁾ | |
| Solfato idrosolubile | UNI EN 1744-1 | SS _{0,7} | |
| 1) | Rispettivamente per aggregato fine e in frazione unica | | |
| 2) | Rispettivamente per aggregati "diversi dalle scorie d'altoforno raffreddate in aria" e "scorie d'altoforno raffreddate in aria". | | |

L'utilizzo degli aggregati riciclati - Norma 11531-2

Tabella unica per gli aggregati in frazione unica

| Aggregati riciclati | | Impieghi | |
|---|----------------|--------------------------|------------------|
| | | Fondazione | Base |
| Caratteristica | Norma di prova | Requisito | Requisito |
| Contenuto di Calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo, malta, elementi di muratura di calcestruzzo, aggregato non legato, pietra naturale, aggregato legato idraulicamente, vetro | UNI EN 933-11 | $R_{cuq,70}$ | $R_{cuq,90}$ |
| Materiali bituminosi | UNI EN 933-11 | Ra_{30-} | Ra_{1-} |
| Contenuto di elementi di muratura di argilla (mattoni e piastrelle), elementi di muratura di silicato di calcio, calcestruzzo aerato non flottante | UNI EN 933-11 | Rb_{10-} | |
| Contenuto di vetro | UNI EN 933-11 | Rg_{2-} | |
| Contenuto di materiale flottante | UNI EN 933-11 | FL_{5-} | |
| Contenuto di materiale coesivo (argilla e terra), metalli (ferrosi e non ferrosi), legno non flottante, plastica e gomma, malta di gesso. | UNI EN 933-11 | X_{1-} | |
| Indice di appiattimento | UNI EN 933-3 | FI_{35} | FI_{20} |
| Percentuale di particelle frantumate | UNI EN 933-5 | C_{NEV50} | $C_{50/10}^{1)}$ |
| Resistenza alla frammentazione | UNI EN 1097-2 | LA_{35} | LA_{30} |
| Resistenza all'usura | UNI EN 1097-1 | $M_{DE 30}$ | $M_{DE 25}$ |
| Perdita di resistenza dopo cicli di gelo e disgelo ²⁾ | UNI EN 1367-1 | $\Delta S_{LA} \leq 30$ | |
| Solfato solubile in acido | UNI EN 1744-1 | $AS_{0,8}$ | |
| Zolfo totale | UNI EN 1744-1 | S_1 | |
| Solfato idrosolubile | UNI EN 1744-1 | $SS_{0,7}$ | |
| Valutazione del fine, Equivalente in sabbia | UNI EN 933-8 | SE_{40} | SE_{60} |
| Valutazione alternativa del fine, Blu di metilene | UNI EN 933-9 | $MB \leq 2 \text{ g/kg}$ | |
| Solfato solubile in acido | UNI EN 1744-1 | $AS_{0,8}$ | |
| Zolfo totale | UNI EN 1744-1 | $S_1 / S_2^{2)}$ | |
| Solfato idrosolubile | UNI EN 1744-1 | $SS_{0,7}$ | |

1) $C_{90/5}$ per autostrade e strade extraurbane principali o urbane di scorrimento
 2) Rispettivamente per aggregati "diversi dalle scorie d'altoforno raffreddate in aria" e "scorie d'altoforno raffreddate in aria".



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

ECOMONDO
The green technology expo.



ASSOAmbiente

**Il ruolo degli aggregati recuperati nella
realizzazione delle grandi opere del PNRR**

**Nuove norme tecniche per l'impiego di
aggregati riciclati nelle infrastrutture**

Grazie per la vostra attenzione !

Prof. Ing. Antonio D'Andrea
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Sapienza Università di Roma
antonio.dandrea@uniroma1.it

