

Convegno

Aggregati di riciclo per la costruzione di opere civili e infrastrutturali
Ferrara, 11 Aprile 2008

Aggregati di riciclo trattati a cemento: prove di laboratorio

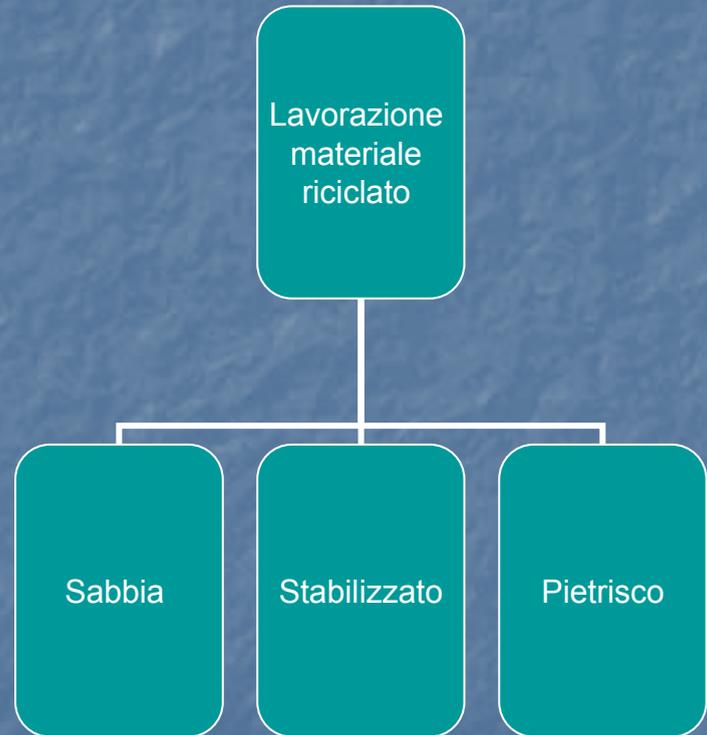
Dr. Ugo Sergio Orazi
Laboratorio Geomeccanico - Pesaro

Premessa

- I rifiuti che provengono dal settore delle costruzioni costituiscono una delle classi più consistenti dell'intera produzione dei *rifiuti non domestici*.
Questi, dopo un adeguato trattamento, possono essere utilizzati in ambito stradale alla stregua delle materie prime.
- In base alla norma *UNI 10006 (2002)* gli aggregati provenienti dal riciclaggio degli *scarti dell'attività di costruzione e demolizione* (C & D) sono equiparati alle terre di origine naturale.
La norma definisce il numero di campioni, la metodologia di campionamento ed i parametri ai quali detti campioni dovranno rispondere.

Materiali riciclati

- L'uso dei materiali riciclati è soggetto a restrizioni in base alla loro composizione. Diventa quindi fondamentale eseguire *test di cessione (DM N 72 del 05/02/1998)*.
- E' opportuno eliminare gli elementi pericolosi e selezionare i diversi materiali prodotti dalla demolizione in gruppi omogenei più agevolmente valorizzabili (*DEMOLIZIONE SELETTIVA*).
- Dalla lavorazione del materiale da riciclo è possibile ottenere prodotti come sabbie, stabilizzati e pietrischi.



Utilizzo materiali riciclati

- Il materiale da riciclo deve essere gestito secondo la *Circolare N 5205 del 15/07/05* che ne prevede l'utilizzo in ambito stradale per la realizzazione di:
 - anticapillari;
 - corpo dei rilevati;
 - sottofondi stradali;
 - strati di fondazione.
- Tale materiale riciclato può essere utilizzato *tal quale o trattato a cemento*.
- Il trattamento può essere finalizzato alla realizzazione di misti cementati e/o al miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei materiali da utilizzare nella costruzione di rilevati.



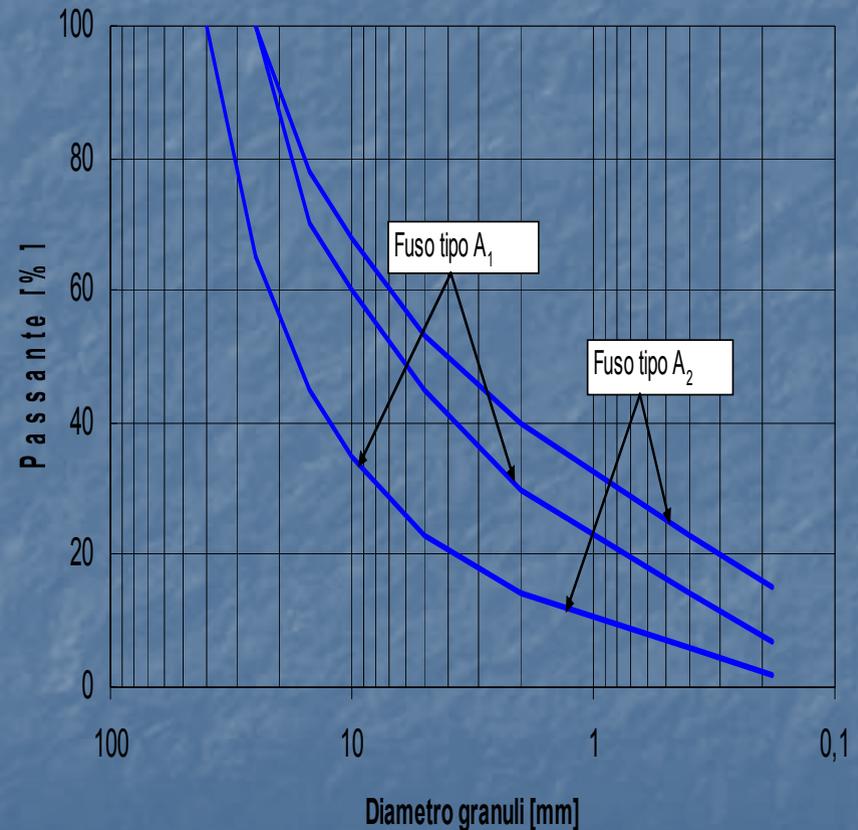
Norme sui misti cementati

- Caratteristiche dei materiali componenti la miscela (*CNR BU N 29, 1972*).

- Caratteristiche *aggregati*

Misto cementato	Tipo A ₁	Tipo A ₂
Granulometria	Vedi figura	
Coefficiente Los Angeles	≤ 30%	
Equivalente in sabbia	≥ 35%	≥ 25%
Limite di liquidità	≤ 25%	
Indice di plasticità	N.P.	≤ 6%

- Il *cemento* deve essere preferibilmente del tipo 325 e soddisfare le norme ed i requisiti di accettazione indicati dal DM 3-6-1968 (è escluso l'impiego di cementi a rapido indurimento in quanto consentono un breve tempo di lavorazione).
- L'*acqua* deve essere esente da impurità e da materie organiche.



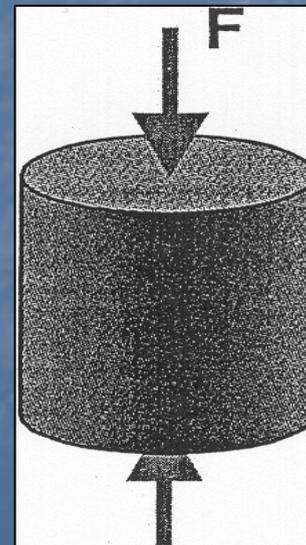
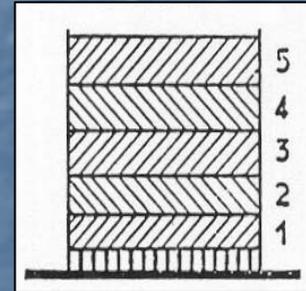
Caratteristiche dei riciclati per strati di fondazione

Circolare N 5205 del 15/07/05

Parametro	Modalità di prova	Limite	
Materiali litici	UNI EN 13285	> 90% in massa	
Vetro e scorie vetrose		≤ 5% in massa	
Conglomerati bituminosi		≤ 5% in massa	
Altri rifiuti minerali		≤ 5% in massa	
Materiali deperibili (carta, legno ...)		≤ 0.1% in massa	
Altri materiali (metalli, gomme ...)		≤ 0.4% in massa	
Passante al 40 mm		100%	
Passante al 20 mm	UNI EN 933-1	> 61%; < 79%	
Passante al 10 mm		> 41%; < 64%	
Passante al 4 mm		> 31%; < 49%	
Passante al 2 mm		> 22%; < 36%	
Passante al 1 mm		> 13%; < 30%	
Passante allo 0.5 mm		> 10%; < 20%	
Passante allo 0.063 mm		≤ 10%	
Rapporto passante 0.5/0.063 mm		> 3/2	
Indice di appiattimento		UNI EN 933-3	≤ 35%
Indice di forma		UNI EN 933-4	≤ 40%
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	> 30%	
Coefficiente Los Angeles	UNI EN 1097-2	≤ 30%	
Ecocompatibilità	All. 3 DM 05/02/1998	Conforme	

Studio di laboratorio [Preparazione dei provini]

- La quantità di acqua e di legante con cui effettuare l'impasto vengono determinate sperimentalmente in laboratorio confezionando provini cilindrici in stampi CBR sui quali si determinano il peso di volume del secco e la **resistenza a compressione** (R_c).
- **Preparazione dei provini** (almeno 4 per impasto)
I provini vengono confezionati in 5 strati (vedi figura) con materiale passante al 25 mm in stampi CBR privi di disco spaziatore. Ogni strato viene costipato con 85 colpi di pestello (Proctor Modificata).
- **Stagionatura**
I provini vanno conservati in ambiente con umidità maggiore del 90% e temperatura di circa 20°C per 7 giorni.



Studio di laboratorio [Prove di compressione]

- I **4 provini** (dopo stagionatura) vengono sottoposti a prove di compressione condotte in modo che lo sforzo cresca con continuità di circa 10 Kg/cm^2 al secondo.
- La resistenza a compressione è la media aritmetica dei valori dei 4 provini se ciascuno non si scosta da tale media per più del 20%.
- *Il valore della resistenza a compressione deve essere compreso tra 30 Kg/cm^2 e 70 Kg/cm^2 .*
- Alcuni capitolati prevedono l'esecuzione di prove di trazione indiretta (*Brasiliiana*) su provini confezionati e stagionati secondo le stesse modalità previste per la prova di compressione.

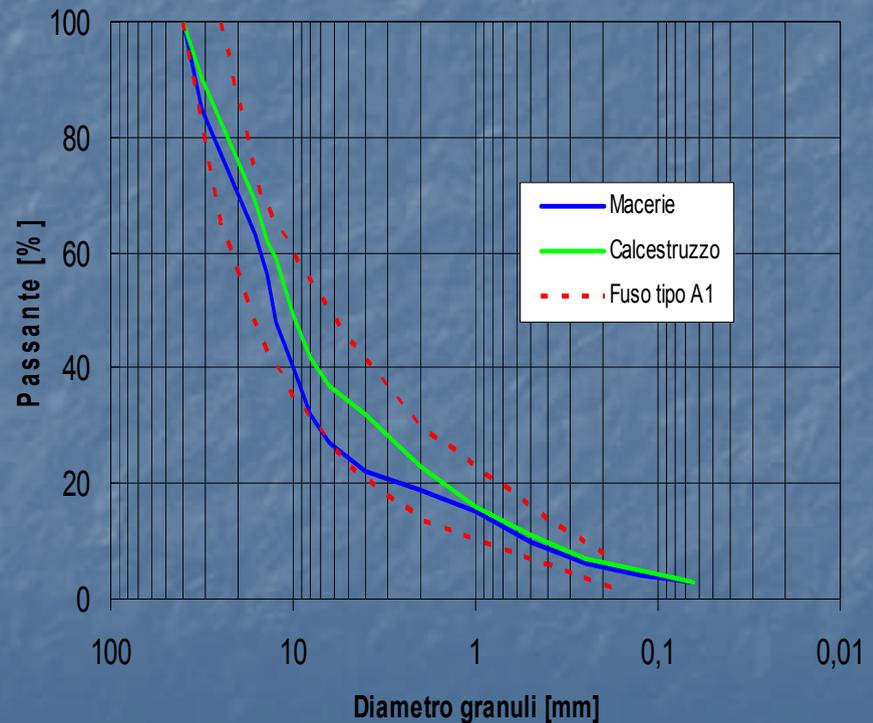


Misto cementato

[Esempio 1]

- Principali caratteristiche di due riciclati (Macerie e Calcestruzzo) utilizzati per la realizzazione di *misti cementati*.

Tipo di riciclato	Macerie	Calcestruzzo
Indice di forma	36%	40%
Equivalente in sabbia	63%	65%
Valore di blu	1.5 g/Kg	1.5 g/Kg
Assorbimento	1.3%	1.2%
Massa volumica	2.64 Mg/m ³	2.65 Mg/m ³
Coefficiente Los Angeles	30%	30%



Misto cementato

[Esempio 1]

Tipo di riciclato	Macerie	Calcestruzzo
Resistenza a compressione (R_c) [3% di cemento]	3.2 MPa	3.4 MPa
Resistenza a trazione indiretta (R_t) [3% di cemento]	0.26 MPa	0.27 MPa

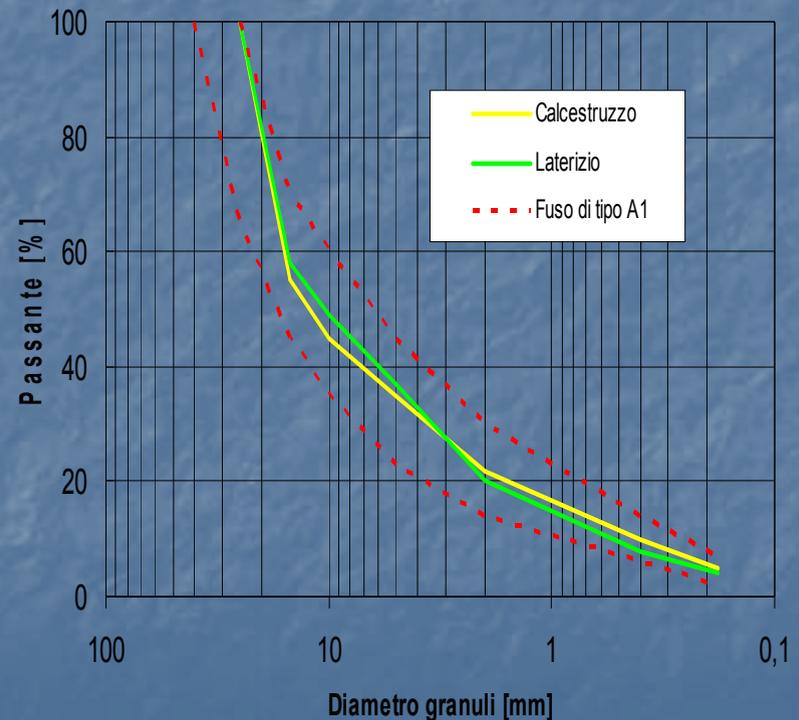


Sezione di due provini di misto cementato

Misto cementato [Esempio 2]

- Principali caratteristiche di due riciclati (Calcestruzzo e Laterizio) utilizzati per la realizzazione di *misti cementati*.

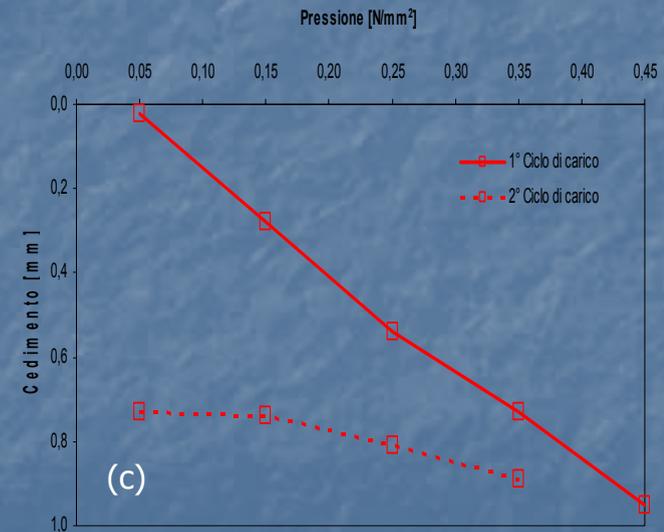
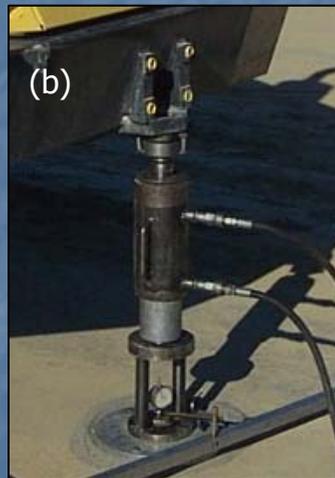
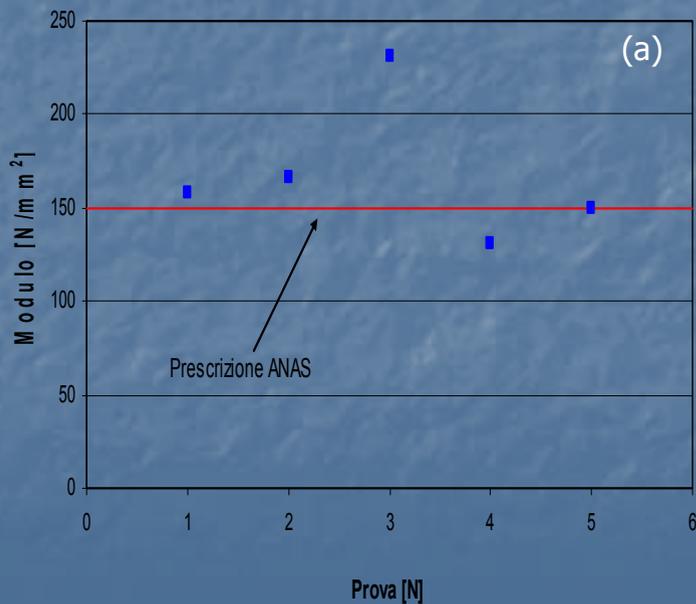
Tipo di riciclato	Laterizio	Calcestruzzo
Indice di forma	37%	30%
Equivalente in sabbia	60%	57%
Valore di blu	1.0 g/Kg	1.5 g/Kg
Assorbimento	1.5%	1.9%
Massa volumica	2.63 Mg/m ³	2.69 Mg/m ³
Coefficiente Los Angeles	30%	28%
Resistenza a compressione [4% di cemento]	3.1 MPa	4.0 MPa



Misto cementato [Esempio 3]

- *Prove di carico su piastra* (CNR BU N 146) su misto cementato riciclato [prove eseguite dalle 3 alle 12 ore dalla compattazione]:

(a) modulo di deformazione; (b) fotografia attrezzatura; (c) grafico di prova.



Altri riciclati trattati a cemento

- > *Sabbie, limi e limi argillosi poco plastici* si prestano ad essere stabilizzati a cemento.
- Nelle tabelle sono riportate alcune caratteristiche di idoneità delle terre al trattamento con cemento secondo la specifica italferr e Road Research Lab. (inglese).
- I tipi di *cemento* da impiegare sono il III, IV e V della norma ENV 197-1.
- L'*acqua* utilizzata dovrà essere conforme a quanto previsto dalle norme UNI EN 1008.

Road Research Lab. (inglese)	
Pezzatura massima	7-8 cm
Passante 5 mm	> 50%
Passante 0.42 mm	> 15%
Passante 0.075 mm	< 50%
Limite di liquidità	< 40%
Indice di plasticità	< 18%

italferr	
Passante 6.3 mm	≥ 85%
Passante 0.063 mm	≤ 35%
Sostanze organiche	< 2%
Solfati totali (solfati e solfuri)	< 0.25%
Nitrati	assenti
Equivalente in sabbia	> 50%

Caratteristiche dei riciclati per il corpo del rilevato

Circolare N 5205 del 15/07/05

Parametro	Modalità di prova	Limite
Materiali litici	UNI EN 13285	> 70% in massa
Vetro e scorie vetrose		≤ 15% in massa
Conglomerati bituminosi		≤ 25% in massa
Altri rifiuti minerali		≤ 15% in massa
Materiali deperibili (carta, legno ...)		≤ 0.1% in massa
Altri materiali (metalli, gomme ...)		≤ 0.6% in massa
Passante al 63 mm		UNI EN 933-1
Passante al 4 mm	≤ 60%	
Passante al 0.063 mm	≤ 15%	
Dimensione massima dei grani	125 mm	
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	> 20%
Ecocompatibilità	All. 3 DM 05/02/1998	Conforme

Caratteristiche dei riciclati per sottofondi stradali

Circolare N 5205 del 15/07/05

Parametro	Modalità di prova	Limite
Materiali litici	UNI EN 13285	> 80% in massa
Vetro e scorie vetrose		≤ 10% in massa
Conglomerati bituminosi		≤ 15% in massa
Altri rifiuti minerali		≤ 15% in massa
Materiali deperibili (carta, legno ...)		≤ 0.1% in massa
Altri materiali (metalli, gomme ...)		≤ 0.4% in massa
Passante al 63 mm		UNI EN 933-1
Passante al 4 mm	≤ 60%	
Passante al 0.063 mm	≤ 15%	
Rapporto passante 0.5/0.063 mm	> 3/2	
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	≤ 35%
Indice di forma	UNI EN 933-4	≤ 40%
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	> 30%
Coefficiente Los Angeles	UNI EN 1097-2	≤ 45%
Ecocompatibilità	All. 3 DM 05/02/1998	Conforme

Stabilizzazione a cemento

[Esempio di studio sperimentale]

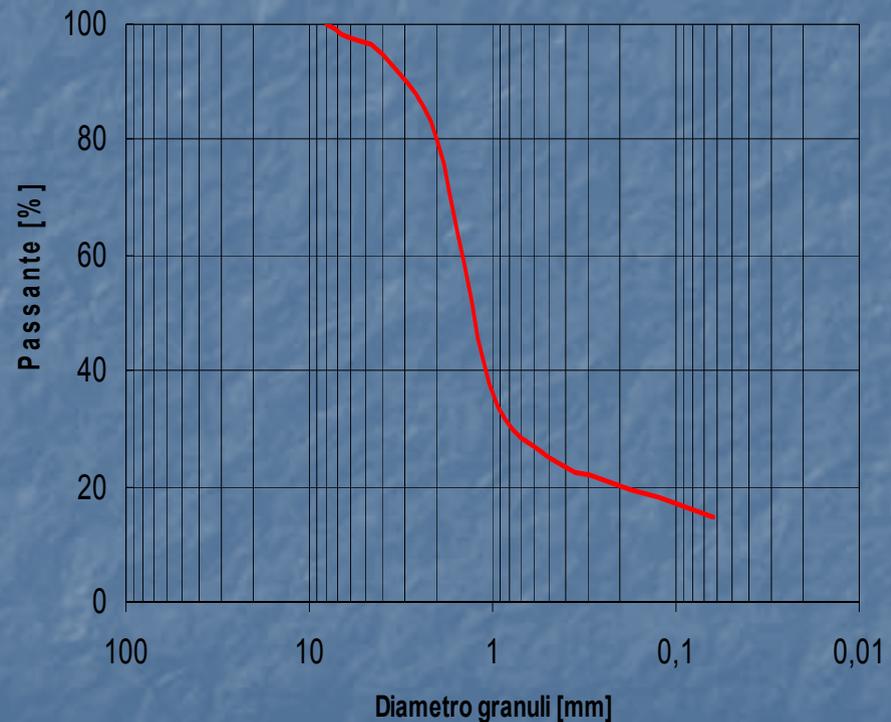
- Studio sperimentale sulle miscele secondo specifica italferr:
 - *1) Identificazione del terreno*
Granulometria – Limiti di consistenza – Equivalente in sabbia – Solfati – Solfuri – Sostanza organica – Nitrati
 - *2) Studio delle miscele sperimentali*
Compattazione Proctor Modificata – CBR post saturazione a 7(+4) e 28(+4) giorni di stagionatura – Compressione semplice a 1, 7 e 28 giorni di maturazione
 - *3) Campo prove*
Densità – Carico su piastra

Sabbia riciclata stabilizzata

[Esempio 4]

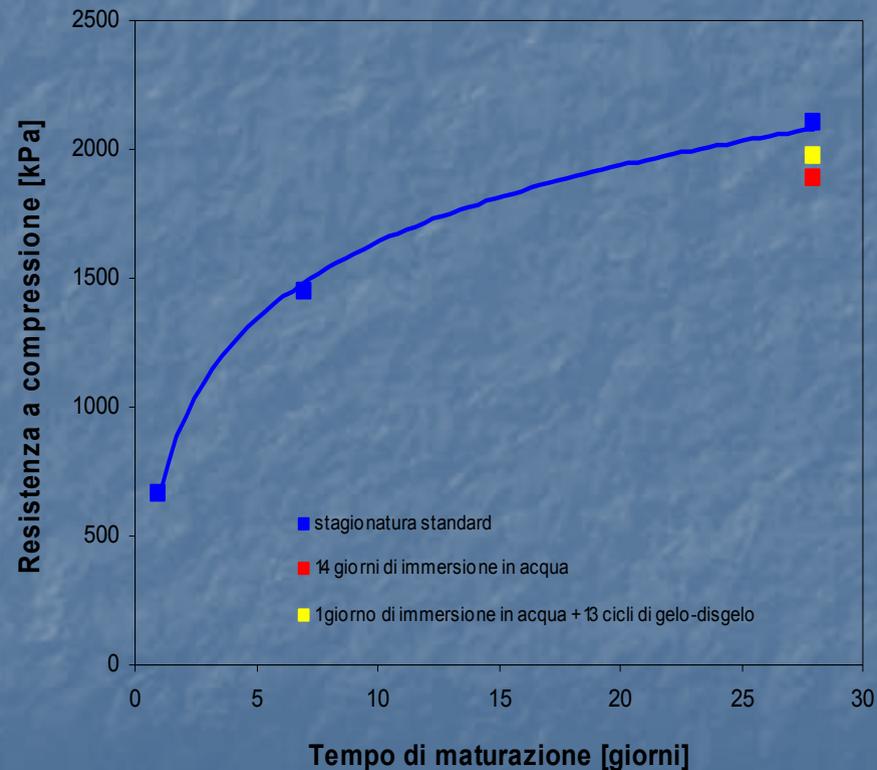
- Caratteristiche di una *sabbia riciclata* proveniente dalla frantumazione di laterizi e calcestruzzo.

Diametro massimo	> 6.3 mm
Passante al 63 mm	100.0%
Passante al 4 mm	95%
Passante allo 0.063 mm	14.7%
Equivalente in sabbia	51%
Valore di blu	2.2 g/Kg
Massa volumica dei grani	2.52 Mg/m ³
Assorbimento	1.6%



Sabbia riciclata stabilizzata [Esempio 4]

- La figura mostra *l'incremento nel tempo della resistenza a compressione* di una sabbia riciclata stabilizzata con il 3% di cemento (prove eseguite dopo 1, 7 e 28 giorni di maturazione – provini confezionati seguendo la procedura dei *misti cementati*).
- Le resistenze a compressione dopo giorni di immersione in acqua o dopo cicli di gelo-disgelo risultano essere \geq al 90% della resistenza dopo stagionatura tradizionale.



Sabbia riciclata stabilizzata

[Esempio 4]

- Resistenze a compressione e a trazione indiretta eseguite su una sabbia riciclata stabilizzata con il 3% di cemento.

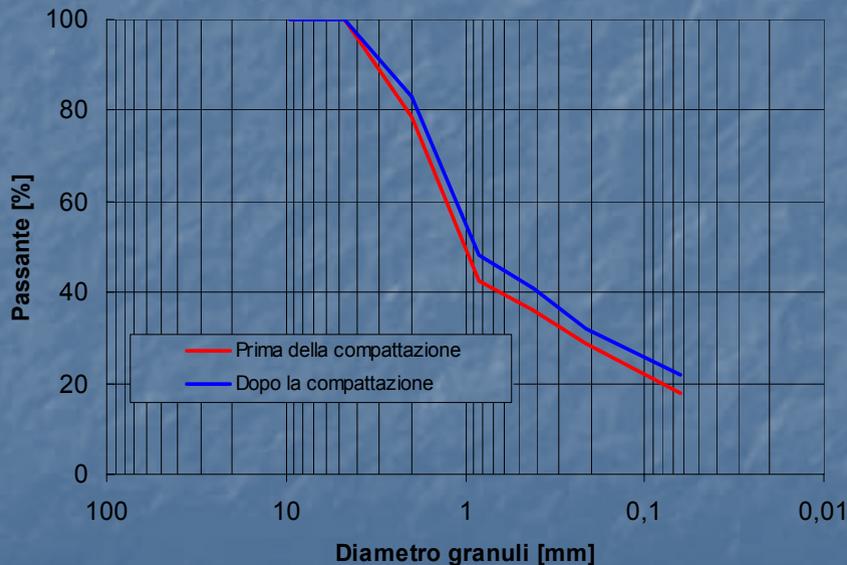


Stagionatura	1 giorno	7 giorni	28 giorni
Resistenza a compressione	0.67 MPa	1.45 MPa	2.10 MPa
Resistenza a trazione	-	0.15 MPa	0.22 MPa

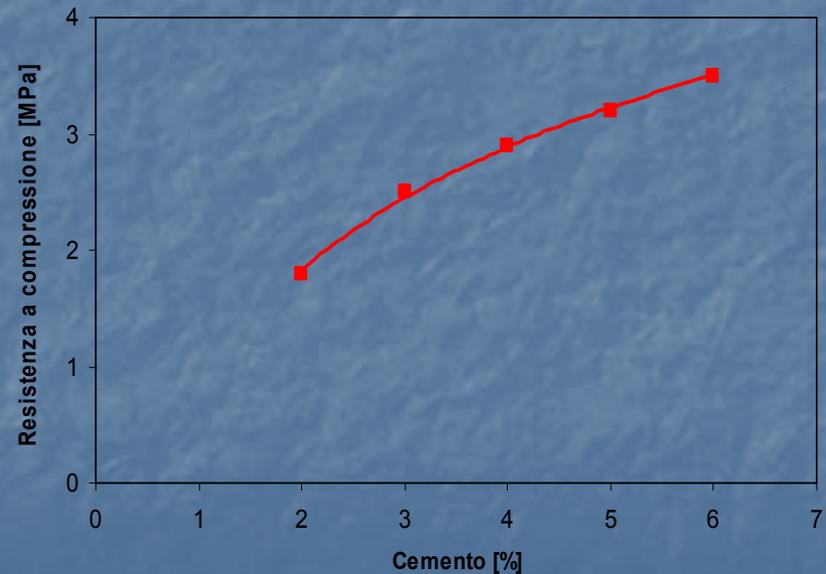


Sabbia riciclata stabilizzata [Esempio 5]

- **Sabbia ghiaiosa stabilizzata a cemento:** (a) effetto della compattazione sulla distribuzione granulometrica; (b) effetto della percentuale di legante sulla resistenza a compressione (prove eseguite dopo 7 giorni di stagionatura – provini confezionati seguendo la procedura dei *misti cementati*).



(a)



(b)

Conclusioni

- Con il trattamento a cemento è possibile *valorizzare gli aggregati riciclati* e quindi ampliare le possibilità del loro utilizzo in ambito stradale.
- Studi sperimentali rivolti alla possibilità di utilizzo dei materiali da riciclo nei misti cementati hanno permesso di evidenziare che con modeste percentuali di cemento *è possibile ottenere resistenze a compressione conformi alle prescrizioni del Bollettino Ufficiale del CNR N 29 "Norme sui misti cementati"*.
- La stabilizzazione a cemento può essere estesa anche a materiali utilizzati per la costruzione del corpo del rilevato, per la realizzazione di sottofondi e piazzali.
Il trattamento oltre a migliorare notevolmente le caratteristiche meccaniche di tali materiali li rende scarsamente sensibili all'acqua e all'effetto del gelo.
- In fase esecutiva è necessario *controllare periodicamente* che *i requisiti dei materiali* siano conformi alle caratteristiche di progetto al fine di ottenere sempre le prestazioni previste dallo studio preliminare.