

Miscele fra aggregati di riciclo e scorie di fonderia nella costruzione di rilevati stradali

Relatore Dott. Geol. Antonio Mucchi

XVI INTERFORUM

Il ruolo dei criteri di cessazione del rifiuto nel riciclaggio dei rifiuti da C&D

Ferrara, 19 Settembre 2012

**Laboratorio Geotecnico Dr. Antonio Mucchi
(Autorizzato ai sensi art. 59 D.P.R. 380/2001)**

E' stato eseguito uno studio geotecnico su aggregati di riciclo miscelati con scorie di fonderia per verificarne le caratteristiche prestazionali e il loro utilizzo nella realizzazione di rilevati stradali.

A tal proposito si sono analizzate due tipologie di miscele:

- mix 85% aggregato di riciclo 0-30 mm + 15% scorie di fonderia**
- mix 75% aggregato di riciclo 0-70 mm + 25% scorie di fonderia**

Inizialmente sono state fatte verifiche geotecniche sui singoli materiali tal quale (scorie, aggregati di riciclo 0-30 e 0-70 mm).

Per ogni materiale è stata eseguita la classificazione UNI 10006 e le principali prove utili a definirne i parametri di resistenza.

**Scoria di
fonderia**



**Aggregato di
riciclo 0-30 mm**



**Aggregato di
riciclo 0-70 mm**



Prima di iniziare le analisi di laboratorio è stato effettuato sui materiali test di cessione (come previsto dalla circolare n. 5205/2005 del Ministero dell'Ambiente) che risultano conformi ai criteri di recupero del D.M. 05/02/1998 modificato ed integrato dal D.M. 186/2006.

SCORIE DI FONDERIA

Analisi eseguite:

- **Classifica UNI 10006 completa di analisi**
- **Prova CBR (CNR-UNI 10009)**
- **Prova di resistenza compressione (CNR B.U. n. 29)**
- **Prova di taglio CD (Racc. AGI 1994)**

La scoria è risultata essere assimilabile ad una sabbia con presenza di inclusi grossolani (1-3 cm) che nella maggior parte dei casi si frantumano durante la compattazione. La norma UNI 10006 permette di classificarla come appartenente al gruppo A1/b. Sul campione ricostruito al passante 2 mm è stata fatta una prova di taglio CD che ha fornito valore di angolo di attrito 33° .

Le prove CBR hanno permesso di ottenere un valore medio di indice CBR $>$ del 100%, con assenza di rigonfiamenti significativi rilevati dopo 4gg di imbibizione in acqua, a conferma di quanto precedentemente ottenuto da un test per la determinazione dell'espansione delle loppe di fonderia (espansione dopo 7 gg di vapore = 0.8% - Norma UNI EN 1744.1/99) .

Con il materiale tal quale sono stati inoltre confezionati n° 6 provini da sottoporre a prove di resistenza a compressione (modalità di compattazione quella prevista per i misti cementati – CNR B.U. n. 29). La preparazione dei provini è stata resa possibile per la capacità coesiva/aggregante del materiale in condizioni umide, probabilmente dovuta anche all'elevata percentuale di ossidi di calcio normalmente presenti in questi materiali (evidenziato dal test con fenolftaleina). Tre provini sono stati fatti maturare 7 gg in ambiente umido (come per i misti cementati) prima della compressione, mentre gli altri tre sono stati fatti maturare 7 gg in ambiente aerato prima della compressione. Le prove di compressione hanno fornito valore medio di resistenza pari a 0.26 MPa dopo 7 gg di maturazione in ambiente umido e 1.400 MPa dopo 7 gg in ambiente aerato.

Importante notare il notevole aumento di resistenza a compressione alla progressiva diminuzione dell'umidità, questo a causa delle proprietà idroscopiche delle scorie che rendono lento il processo di essiccazione.

Sulla base dei risultati ottenuti si può affermare di essere in presenza di materiale con ottime caratteristiche geotecniche, idoneo ad essere utilizzato nella realizzazione di rilevati stradali in alternativa alle sabbie di cava o nella correzione di aggregati aridi naturali o di riciclo.



Provini di scoria di fonderia sottoposti a compressione

| PROVE ESEGUITE | SCORIA DI FONDERIA |
|--|---------------------------|
| GRUPPO UNI 10006 | A1 b |
| VALORE DI ANGOLO DI ATTRITO | 33 ° |
| RESISTENZA A COMPRESSIONE 7 gg mat. in ambiente umido / 7 gg mat. ambiente aerato | 0.26 Mpa / 1.400 MPa |
| INDICE CBR | > 100% |

AGGREGATO DI RICICLO 0-30 / 0-70 mm

Analisi eseguite:

- **Classifica UNI 10006 completa di analisi**
- **Prova CBR (CNR-UNI 10009)**
- **Los Angeles (UNI EN 1097-2)**
- **Indice forma e appiattimento (UNI EN 933/3-4)**

Le due tipologie di aggregato di riciclo, analizzati separatamente hanno fornito buoni risultati. Sono assimilabili a inerti appartenenti al Gruppo A1a della norma UNI 10006. Dal punto di vista granulometrico si denota una mancanza della frazione medio fine (1-10 mm) nello 0-30 mm, mentre nello 0-70 mm la curva rimane sotto il fuso.

La scelta di aggregati con scarso materiale fine è stata fatta nell'ottica di miscelarlo con le scorie di fonderia sopra descritte assimilabili a sabbie grossolane e in considerazione dell'inevitabile produzione di fine per frantumazione dopo la posa in opera e relativa compattazione.

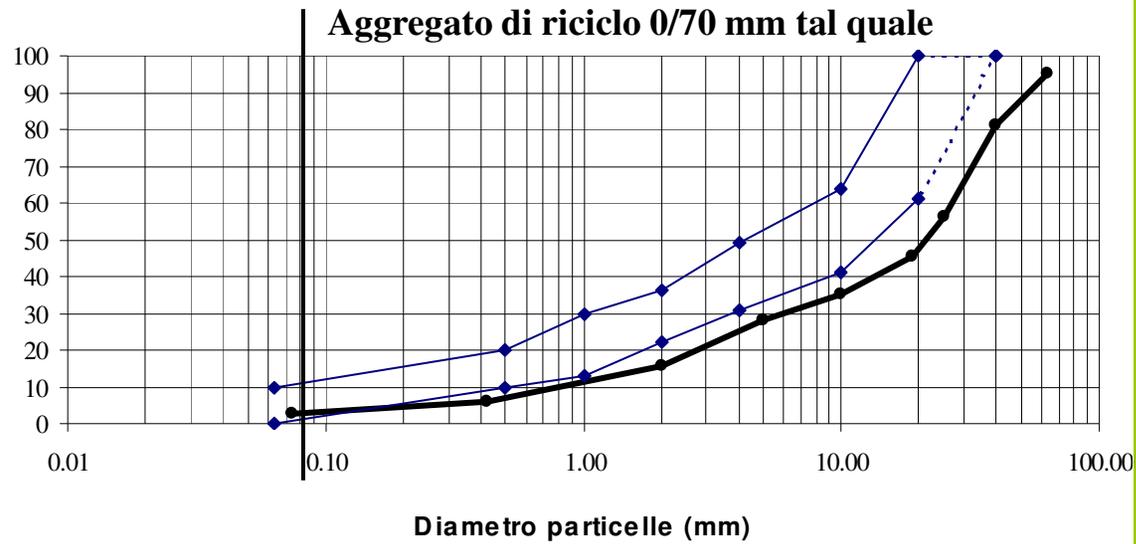
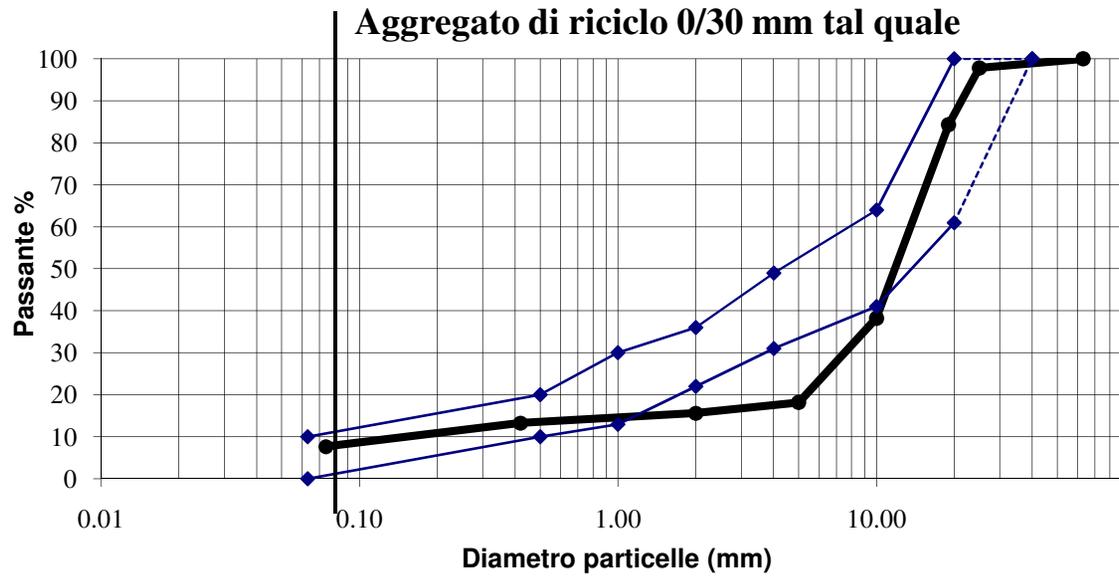
Hanno entrambi buoni valori di indice di forma e appiattimento (minori del limite di riferimento 40-35% previsto nella Circ. n° 5205/2005).

Le prove Los Angeles e CBR sono per entrambi i materiali rispondenti ai normali valori richiesti da capitolato per gli strati di fondazione (L. A. <30% e CBR > 50%).

Anche per questi aggregati di riciclo si può affermare di essere in presenza di materiali aventi buone caratteristiche geotecniche, idonei ad essere utilizzati nella realizzazione di rilevati stradali in alternativa agli inerti naturali di cava.

| PROVA ESEGUITE | AGGREGATO 0/30 mm | AGGREGATO 0/70 mm | Limiti accettabilità Circ. 5205/2005 |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|---|
| INDICE DI FORMA | 15.5% | 7.5% | < 40% |
| INDICE DI APPIATTIMENTO | 10.9 % | 5.7% | < 35% |
| LOS ANGELES | 29.8% | 30 % | < 30% |
| INDICE CBR | 56 % | 52% | > 50% |

Il D.M. 203/2003 impone alle Pubbliche Amministrazione l'utilizzo di almeno il 30% di riciclato nella realizzazione di opere infrastrutturali, la Circolare n. 5205/2005 ne stabilisce i criteri tecnici e prestazionali.



AGGREGATO DI RICICLO MISCELATO CON SCORIE DI FONDERIA

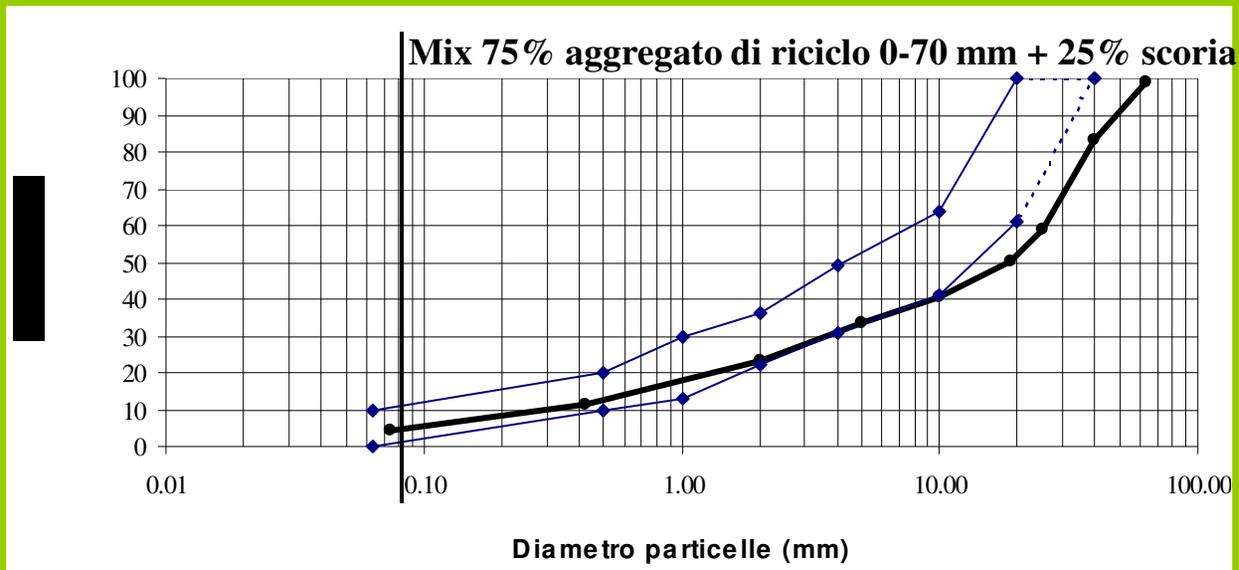
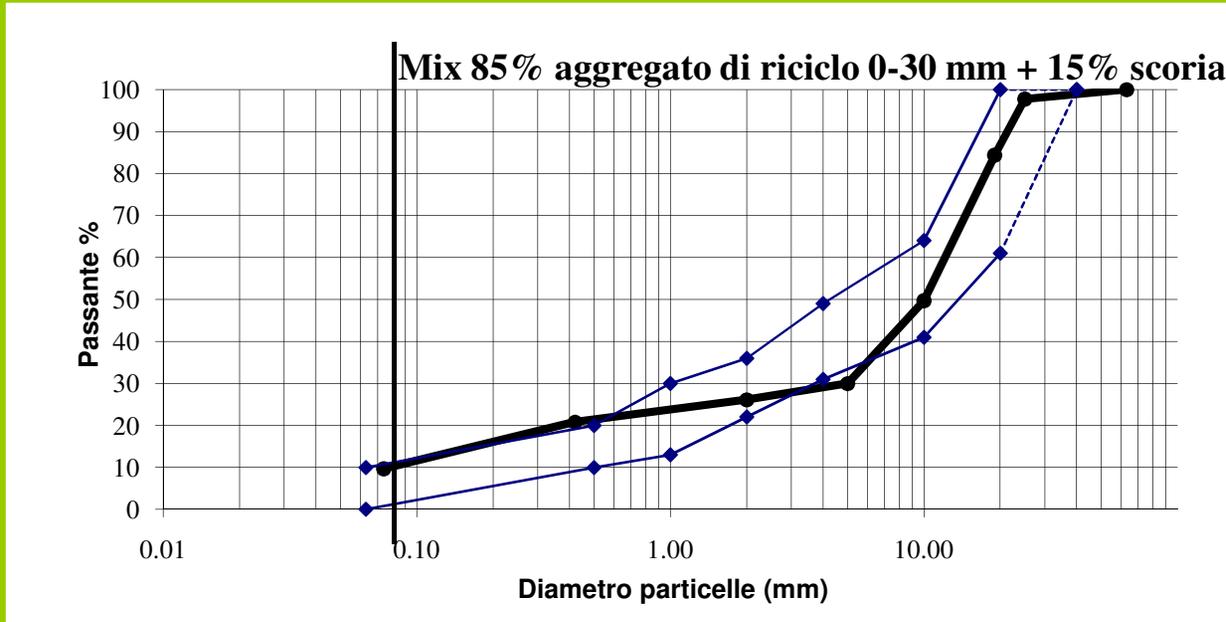
Dopo aver analizzato i tre materiali separatamente, si è proceduto con lo studio delle due miscele così composte:

- Mix aggregato di riciclo 0-30 mm (85%) + scoria di fonderia (15%)
- Mix aggregato di riciclo 0-70 mm (75%) + scoria di fonderia (25%)

Sulle miscele così composte sono state operate le seguenti analisi:

- **Classificazione UNI 10006**
- **Prova CBR (CNR-UNI 10009)**
- **Prova di resistenza a compressione (CNR B.U. n° 29)**

Le analisi granulometriche a seguito della correzione con le scorie di fonderia, hanno evidenziato un buon assortimento, soprattutto nella miscela composta dall'85% di riciclato 0-30 mm + 15% di scorie.



Le prove CBR eseguite sulle due miscele hanno fornito valori di indice di portanza molto buoni, di gran lunga superiori a quelli ottenuti sul materiale riciclato tal quale.

- Aggregato di riciclo 0-30 mm (CBR medio 56)
- Mix 85% aggregato di riciclo 0-30 mm + 15% scorie (CBR medio 120)
- Aggregato di riciclo 0-70 mm (CBR medio 52)
- Mix 75% aggregato di riciclo 0-70 mm + 25% scorie (CBR medio 110)

I valori di resistenza a compressione sono risultati essere :

• **Mix 85% aggregato di riciclo 0-30 mm + 15% scorie di fonderia**

N° 3 provini portati a compressione dopo 7 gg di mat. in ambiente umido

Resistenza media 0.419 Mpa

N° 3 provini portati a compressione dopo 7 giorni di mat. in ambiente aerato

Resistenza media 1.132 Mpa

N°3 provini portati a compressione dopo 28 giorni di mat. in ambiente aerato

Resistenza media 1.436 Mpa

• **Mix 75% aggregato di riciclo 0-70 mm + 25% scoria di fonderia**

N° 3 provini portati a compressione dopo 7 giorni di mat. in ambiente umido

Resistenza media 0.451 MPa

Si tratta di risultati molto buoni (soprattutto per i provini maturati in ambiente aerato), in relazione al fatto che i provini sono stati realizzati senza cemento o altri tipi di leganti

Per potere avere un parametro di comparazione, sono stati preparati dei provini con solo aggregato di riciclo + 2% di cemento (portland 320) e sottoposti a compressione.

Per la preparazione di tali provini è stato utilizzato solo aggregato di riciclo 0-30 mm +2% cemento, questo perché la normativa sui misti cementati (CNR B.U. n° 29) prevede che la preparazione dei provini avvenga sul materiale passante al crivello n. 25 . In tal senso si sarebbe utilizzato aggregato di riciclo simile, senza più avere la distinzione fra il 0-30 mm e 0-70 mm.

I provini sottoposti a prova di compressione hanno fornito valori medi di resistenza a rottura pari a 0.958 Mpa (dopo 7 gg mat. in ambiente umido) e 1.197 Mpa (dopo 28 gg mat. in ambiente umido) .

Confrontando i valori di resistenza a compressione fra le miscele aggregati di riciclo + scorie , aggregati di riciclo + cemento e solo scorie si osserva che i provini confezionati senza cemento e fatti maturare in ambiente aerato raggiungono valori di resistenza a compressione superiori a quelli ottenuti con aggiunta di cemento.

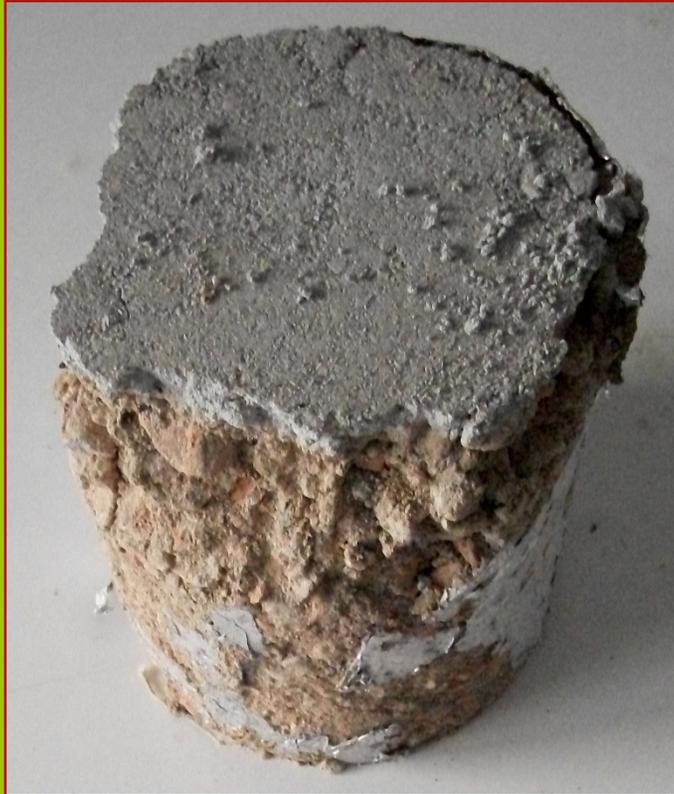
| | scoria | | 85% aggregato di riciclo 0-30 mm + 15% scoria | | | Aggregato di riciclo 0-30 mm + 2% cemento | |
|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|--|-------------------------|-------------------------|--|-------------------------|
| PROVA ESEGUITA | 7 gg in ambiente umido | 7 gg in ambiente aerato | 7 gg in ambiente umido | 7 gg in ambiente aerato | 28 gg in ambiente umido | 7 gg in ambiente umido | 28 gg in ambiente umido |
| RESISTENZA A COMPRESSIONE MPa | 0.26 | 1.4 | 0.419 | 1.132 | 1.436 | 0.958 | 1.196 |

| PROVA ESEGUITA | AGGREGATO 0-30 mm tal quale | MIX AGGREGATO 0-30 mm (85%) + SCORIA (15%) | AGGREGATO 0-70 mm tal quale | MIX AGGREGATO 0-70 mm (75%) + SCORIA (25%) |
|----------------|-----------------------------|--|-----------------------------|--|
| INDICE CBR % | 56 % | 120 % | 52 % | 110 % |



Provini del mix 85% aggregato di riciclo 0-30 mm + 15% scoria di fonderia sottoposti a compressione

Laboratorio Geotecnico Dr. Antonio Mucchi (Autorizzato ai sensi art. 59 D.P.R. 380/2001)



Provini del mix 75% aggregato di riciclo 0-70 mm + 25% scoria di fonderia sottoposti a compressione



Provini del mix aggregato di riciclo 0-30 mm + 2% cemento
sottoposti a compressione

CAMPI PROVA

I materiali analizzati sono stati testati anche in sito dopo la loro posa in opera e adeguata compattazione con rullo ferro – gomma.

Sono stati realizzati tre campi prova utilizzando le scorie di fonderia, aggregato di riciclo 0-30 mm t.q. e miscela 85% aggregato di riciclo 0-30 mm + 15% scoria di fonderia su cui sono state eseguite prove di carico su piastra (CNR B.U. 146/92).



85% aggregato di riciclo 0-30 mm

scoria

aggregato di riciclo 0-30mm t.q.

+ 15% scoria



Prova di carico su piastra su aggregato di riciclo 0-30 mm



Prova di carico su piastra su miscela
aggregato 0-30 mm + scoria



Campo prova su scoria di fonderia

I valori di modulo di deformazione M_d calcolati nell'intervallo di carico 0.15 - 0.25 MN/m² vengono di seguito riportati:

| CAMPO PROVA | MODULO DI DEFORMAZIONE M_d |
|--|--|
| Scoria di fonderia | 80.4 MN/m² |
| Aggregato di riciclo 0-30 mm | 81.1 MN/m² |
| 85% aggregato di riciclo 0-30 mm + 15% scoria | 118.4 MN/m² |

Da queste prove di carico su piastra si può chiaramente intuire come le scorie di fonderia abbiano buone prestazioni geotecniche, sia utilizzate tal quale o miscelate con aggregati di riciclo, così come dimostrato anche dalle prove di laboratorio precedentemente descritte.

Si specifica che le prove di carico su piastra sono state eseguite il giorno successivo alla preparazione dei campi prova dove il materiale si presentava ancora umido (umidità necessaria per ottenere una adeguata compattazione) condizione penalizzante ai fini della determinazione del modulo di deformazione M_d che sicuramente aumenterà con il progressivo essiccamento dei materiali, come messo in evidenza dai test di laboratorio.

Sulla base dei test eseguiti si ritiene che i materiali in oggetto siano idonei ad essere utilizzati per la realizzazione di rilevati stradali in alternativa ai tradizionali inerti di cava, così come previsto dal D.M. 203/2003 , che impone alle Pubbliche Amministrazione l'utilizzo di almeno il 30% di riciclato nella realizzazione di opere infrastrutturali.

