

# Caratteristiche meccaniche e ambientali degli aggregati riciclati

dott. Nicola Mondini – CaveTest Srl

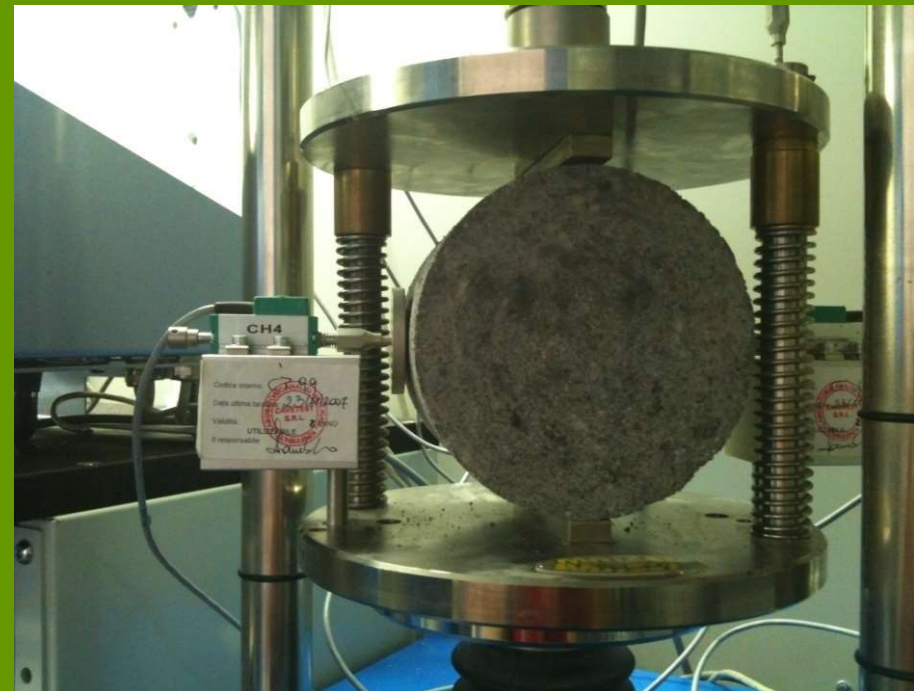
**XVI INTERFORUM**

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

**Ferrara, 20 Settembre 2012**

# Introduzione

Rifiuti o opportunità?



# Introduzione

Negli ultimi anni si è visto un crescente interesse ad eseguire ricerche su aggregati riciclati per impiegarli prevalentemente come sottofondi stradali o nel confezionamento di calcestruzzi di tipo non strutturale (revisioni delle EN 12620 e 13242).

# Introduzione

Ciò ha portato ad esempio alla revisione di due norme importantissime:

- EN 12620 Aggregati per calcestruzzo
- EN13242 Aggregati per costruzioni stradali

Le revisioni sono specifiche per gli aggregati riciclati

# Caratteristiche aggregati

|   |  |                          |                        |                   |            |
|---|--|--------------------------|------------------------|-------------------|------------|
| Etichetta CE nr   | <b>4</b>   | aggiornata al:           | <b>10/09/12</b>        | Nome commerciale: | <b>MPS</b> |
| <b>CE</b>   |  |                          |                        |                   |            |
| CaveTest Srl<br>Via I Maggio, 19 - 25013 Carpenedolo (Bs)   |  |                          |                        |                   |            |
| 12<br>xyz - CPD - 0053  |  |                          |                        |                   |            |
| EN 13242:2002 + A1:2007   |  |                          |                        |                   |            |
| Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e costruzione di strade |  |                          |                        |                   |            |
| Forma delle particelle  | <i>FI</i>  | <b>SI40</b>              | <b>FI35</b>            |                   |            |
| Dimensioni delle particelle   | <i>d/D</i>   | <b>0/100</b>             |                        |                   |            |
|   | <i>cat.</i>  | <b>G<sub>85</sub></b>    | <b>GT<sub>10</sub></b> |                   |            |
| Massa volumica delle particelle   | <i>Mg/m<sup>3</sup></i>  | <b>2,40</b>              |                        |                   |            |
| Purezza   |  |                          |                        |                   |            |
| Contenuto in fini   | <i>f</i>   | <b>f5</b>                |                        |                   |            |
| Qualità dei fini  | <i>%MB,SE</i>  | <b>47 SE</b>             | <b>1 MB</b>            |                   |            |
| Percentuale di particelle frantumate  | <i>C</i>   | <b>C<sub>50/10</sub></b> |                        |                   |            |
| Resistenza alla frammentazione/frantumazione  | <i>LA</i>  | <b>LA<sub>40</sub></b>   |                        |                   |            |
| Stabilità di volume   | <i>V</i>   | <b>NPD</b>               |                        |                   |            |
| Assorbimento/soluzione di acqua   | <i>WA%</i>   | <b>5,6</b>               |                        |                   |            |
| Composizione/contenuto  |  |                          |                        |                   |            |
| <i>Calcestruzzi</i>   | <i>Rc</i>  | <b>Rc33</b>              |                        |                   |            |
| <i>Pietra naturale, calcestruzzi, vetro</i>   | <i>Rcng</i>  | <b>Rcug70</b>            |                        |                   |            |
| <i>Forati, piastrelle, mattoni</i>  | <i>Rb</i>  | <b>Rb30-</b>             |                        |                   |            |
| <i>Conglomerati bituminosi</i>  | <i>Ra</i>  | <b>Ra5-</b>              |                        |                   |            |
| <i>Vetro</i>  | <i>Rg</i>  | <b>Rg2-</b>              |                        |                   |            |
| <i>Altri</i>  | <i>X</i>   | <b>X1-</b>               |                        |                   |            |
| <i>Fristoli</i>   | <i>FL</i>  | <b>FL5-</b>              |                        |                   |            |
| Solfati solubili in acido   | <i>AS</i>  | <b>AS<sub>0,2</sub></b>  |                        |                   |            |
| Zolfo totale  | <i>%S</i>  | <b>S<sub>1</sub></b>     |                        |                   |            |
| Componenti che alterano la presa e l'indurimento delle miscele legate con leganti idraulici   | <i>Dichiarato</i>  | <b>assenti</b>           |                        |                   |            |
| Resistenza all'attrito  | <i>M<sub>DE</sub></i>  | <b>M<sub>DE</sub>50</b>  |                        |                   |            |
| Rilascio di metalli pesanti mediante lisciviazione  | <i>Dichiarato</i>  | <b>nei limiti</b>        |                        |                   |            |
| Rilascio di altre sostanze pericolose   | <i>Dichiarato</i>  | <b>nei limiti</b>        |                        |                   |            |
| Durabilità al gelo/disgelo  | <i>F, MS</i>   | <b>F<sub>4,2</sub></b>   |                        |                   |            |
| Origine: Costruzione e demolizione  | <i>Descrizione aggregato proveniente dall'attività di costruzione e demolizione.</i>                     |                          |                        |                   |            |
| Frantumazione: Frantumato   | <i>La produzione ed il deposito avvengono nella sede operativa di Via I Maggio 19 a Carpenedolo (Bs)</i> |                          |                        |                   |            |
| Provenienza: regione Lombardia  |  |                          |                        |                   |            |

# Caratteristiche aggregati

|                                      |             |             |           |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| Forma delle particelle               | <i>FI</i>   | SI40        | FI35      |
| Dimensioni delle particelle          | <i>d/D</i>  | 0/100       |           |
|                                      | <i>cat.</i> | $G_A 85$    | $GT_A 10$ |
| Massa volumica delle particelle      | $Mg/m^3$    | 2,40        |           |
| Purezza                              |             |             |           |
| Contenuto in fini                    | <i>f</i>    | f5          |           |
| Qualità dei fini                     | $\%,MB,SE$  | 47 SE       | 1 MB      |
| Percentuale di particelle frantumate | <i>C</i>    | $C_{50/10}$ |           |
| Resistenza alla frammentazione       | <i>LA</i>   | $LA_{40}$   |           |
| Stabilità di volume                  | <i>V</i>    | NPD         |           |
| Assorbimento/soluzione di acqua      | <i>WA %</i> | 5,6         |           |

# Caratteristiche aggregati

## Composizione/contenuto

|   |             |               |
|---|-------------|---------------|
| <i>Calcestruzzi</i>                         | <i>Rc</i>   | <b>Rc33</b>   |
| <i>Pietra naturale, calcestruzzi, vetro</i> | <i>Rcug</i> | <b>Rcug70</b> |
| <i>Forati, piastrelle, mattoni</i>          | <i>Rb</i>   | <b>Rb30-</b>  |
| <i>Conglomerati bituminosi</i>              | <i>Ra</i>   | <b>Ra5-</b>   |
| <i>Vetro</i>                                | <i>Rg</i>   | <b>Rg2-</b>   |
| <i>Altro</i>                                | <i>X</i>    | <b>X1-</b>    |
| <i>Frustoli</i>                             | <i>FL</i>   | <b>FL5-</b>   |

# Caratteristiche aggregati

La composizione dichiarata deve includere:

- $R_c$ : Calcestruzzi
- $R_c+R_u+R_g$ : calcestruzzo, materiale naturale, vetro
- $R_b$ : mattoni, piastrelle e forati
- $R_a$ : conglomerati bituminosi



# Caratteristiche aggregati

La composizione dichiarata deve includere:

- Rg: vetro
- FL: frustoli
- X: terra, metalli, legno, plastica, gomma, intonaco a base di gesso

# Caratteristiche aggregati

|  |                   |                   |
|--|-------------------|-------------------|
| Solfati solubili in acqua  | $SS$              | $SS_{0,2}$        |
| Solfati solubili in acido  | $AS$              | $AS_{0,2}$        |
| Zolfo totale   | $\%S$             | $S_1$             |
| Componenti che alterano la presa e l'indurimento<br>delle miscele legate con leganti idraulici | <i>Dichiarato</i> | <b>assenti</b>    |
| <b>Resistenza all'attrito</b>  | $M_{DE}$          | $M_{DE}50$        |
| <b>Rilascio di metalli pesanti mediante<br/>lisciviazione</b>                                  | <i>Dichiarato</i> | <b>nei limiti</b> |
| <b>Rilascio di altre sostanze pericolose</b>   | <i>Dichiarato</i> | <b>nei limiti</b> |
| <b>Durabilità al gelo/disgelo</b>  | $F, MS$           | $F_{4,2}$         |

# Caratteristiche aggregati

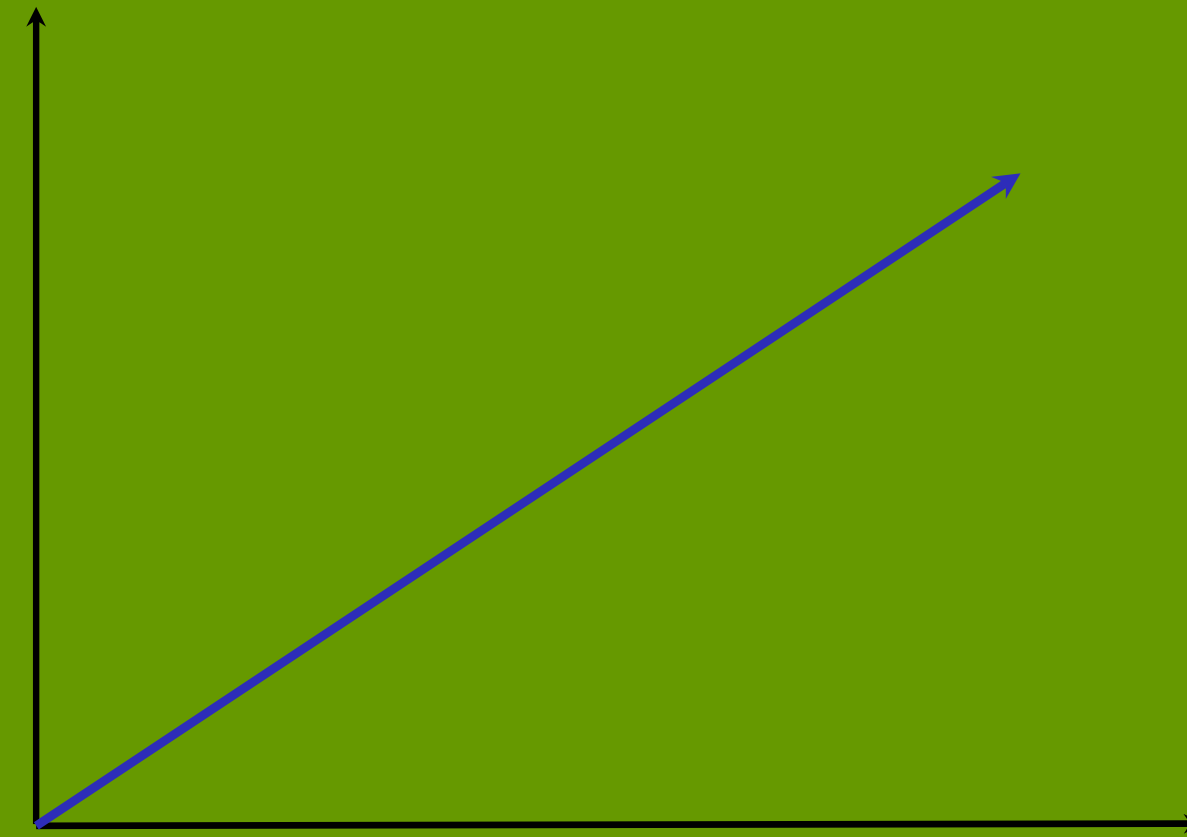
Rilascio di sostanze pericolose:

- Test di cessione in acqua ai sensi del D.M. 05/02/1998 e s.m.i.
- Solfati solubili in acqua:  $< 0,8 \%$  se utilizzati nelle stabilizzazioni a calce

# Caratteristiche aggregati

Caratteristiche meccaniche

$(LA - M_{DE} - F)$



Contenuto di cls e pietra naturale

# Caratteristiche aggregati

| Caratteristica             | Naturali | Riciclati da C&D | Ricilato da cls |
|----------------------------|----------|------------------|-----------------|
| Massa volumica             | 2,7      | 2,2              | 2,3             |
| Assorbimento               | 1,0 %    | > 7 %            | 4 – 6 %         |
| Equivalente in sabbia      | 60 – 85  | 30 – 50          | 40 - 60         |
| Sostanze organiche         | Assenti  | < 1%             | Assenti         |
| Indice di forma            | 10 – 20  | 10 – 30          | 10 – 30         |
| Frammentazione Los Angeles | 20 – 35  | 30 – 45          | 25 - 35         |
| Resistenza all'usura       | 8 - 25   | 25 - 55          | 15 - 30         |

# Normativa italiana

## UNI 8520-2:2005

| Origine del riciclato     | Rck del calcestruzzo | % impiego consentita |
|---------------------------|----------------------|----------------------|
| Costruzione e demolizione | $\leq 15$            | 100 %                |
|                           | qualunque            | 5 %                  |
| Calcestruzzo demolito     | $\leq 25$            | 100 %                |
|                           | qualunque            | 10 %                 |

# Normativa italiana

## Norme tecniche per le costruzioni

| Origine del riciclato                                  | Rck del calcestruzzo | % impiego consentita |
|--|----------------------|----------------------|
| Costruzione e demolizione                              | $\leq 15$            | 100 %                |
| Calcestruzzo demolito                                  | $\leq 35$            | 5 %                  |
|  | $\leq 25$            | 100 %                |
| Riutilizzo interno in stabilimenti di prefabbricazione | $\leq 55$            | 5 %                  |

# Calcestruzzo

Valutazione dell'impiego di varie tipologie di aggregati riciclati per il confezionamento di calcestruzzo strutturale:

- Riciclati da C&D
- Riciclati da solo calcestruzzo
- Riciclati da soil washing



# Calcestruzzo

**Rck 25 d25 S4 X0 cem 32,5R**

- Aggregati: 1.890 kg
- Cemento : 300 kg Cem II B-LL 32,5R.
- Acqua: 160 lt
- Additivo superfluidificante: dosato al 1%
- Rapporto acqua/cemento: 0.53

# Calcestruzzo

| Miscela   | Caratteristiche                    | % Naturale | % Riciclato |
|-----------|------------------------------------|------------|-------------|
| Miscela 1 | Cls di riferimento                 | 100        | 0           |
| Miscela 2 | Aggregato da Soil washing          | 0          | 100         |
| Miscela 3 | Aggregato da Soil washing          | 80         | 20          |
| Miscela 4 | Aggregato da calcestruzzo demolito | 90         | 10          |
| Miscela 5 | Aggregato da calcestruzzo demolito | 70         | 30          |
| Miscela 6 | Aggregato da C&D                   | 95         | 5           |
| Miscela 7 | Aggregato da C&D                   | 85         | 15          |
| Miscela 8 | Aggregato da C&D                   | 70         | 30          |

# Calcestruzzo

Sono stati confezionati 8 provini cubici con spigoli di 150 mm per ogni miscela, per un totale di 64 provini, dopo 24 h sono stati scasserati e messi in una vasca termoregolata (20 °C) e umidità del 100% per la stagionatura e maturazione. La misura della resistenza a compressione è stata eseguita con cadenza a 3, 7, 21 e 28 giorni.

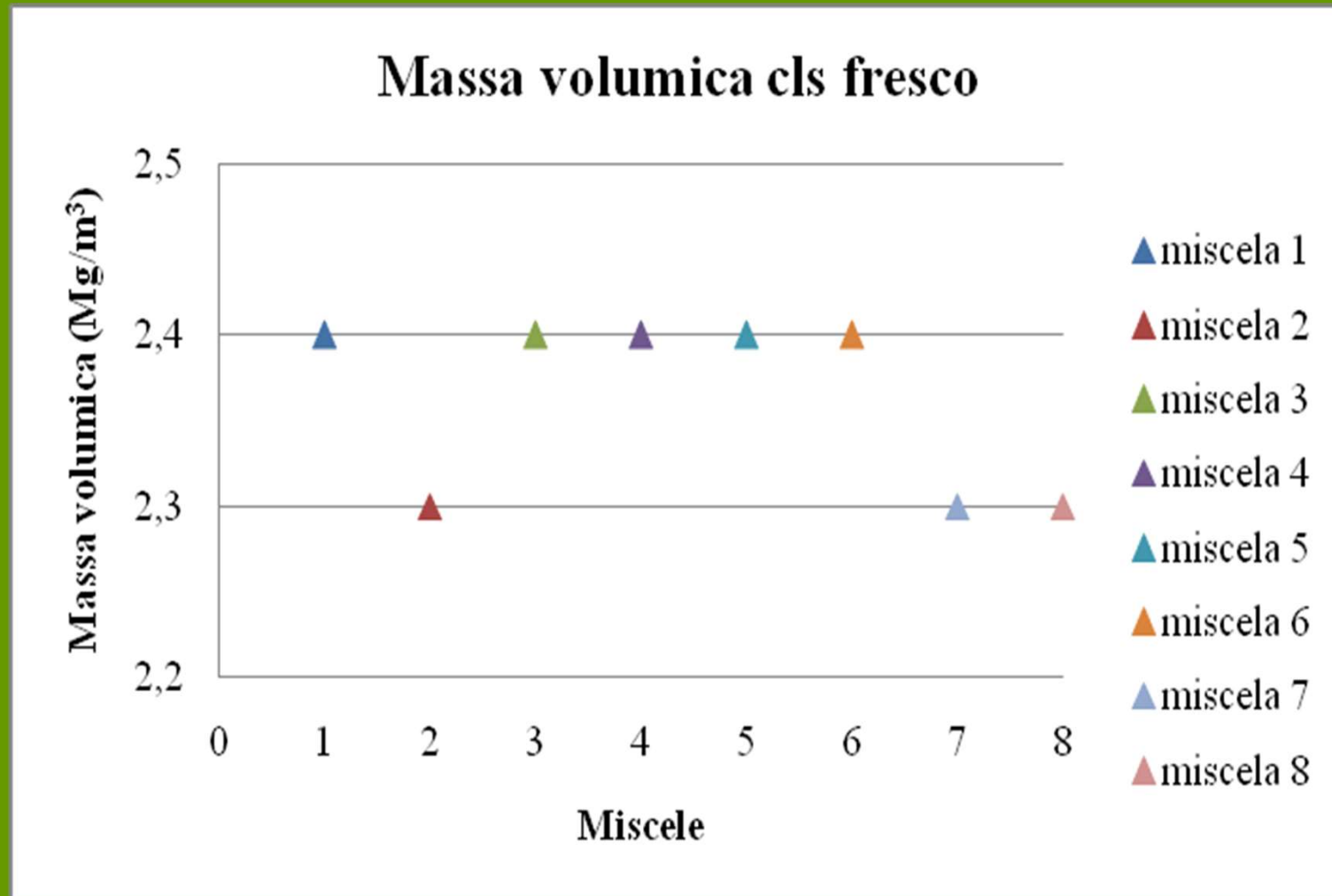
# Calcestruzzo

Gli impasti sono stati ripetuti per tre volte. Questo ha comportato una mole di dati non indifferente, considerando che per ognuna delle otto miscele sono stati confezionati per 3 volte 8 provini ciascuna. In tutto sono state quindi effettuate prove a compressione per un totale di 192 risultati utili.

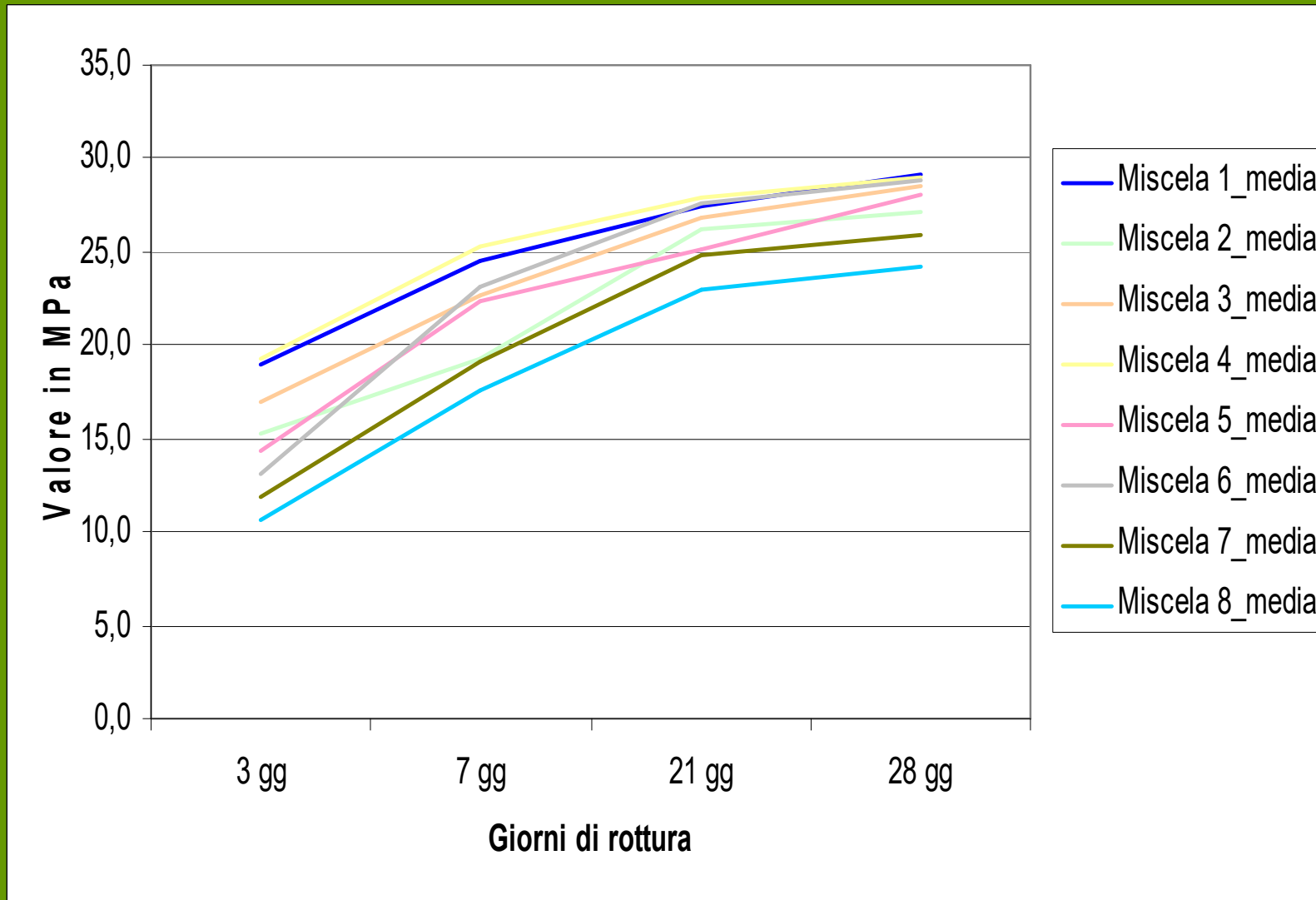
# Calcestruzzo

| Valori di <i>Slump Test</i> (S4 160-210 mm) |           |           |           |
|---|-----------|-----------|-----------|
|   | 1° misura | 2° misura | 3° misura |
| Miscela 1                                   | 200       | 190       | 188       |
| Miscela 2                                   | 190       | 185       | 189       |
| Miscela 3                                   | 170       | 192       | 190       |
| Miscela 4                                   | 185       | 185       | 190       |
| Miscela 5                                   | 190       | 185       | 188       |
| Miscela 6                                   | 180       | 190       | 190       |
| Miscela 7                                   | 170       | 180       | 177       |
| Miscela 8                                   | 170       | 182       | 185       |

# Calcestruzzo



# Calcestruzzo



# Calcestruzzo

Tabella 3: Riepilogo delle resistenze medie a 28 gg e della deviazione standard delle tre serie

| Denominazione della miscela       | Resistenza a compressione in MPa | Dev. Standard in MPa |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Miscela 1 (agg. Naturale 100%)    | 29,2                             | 0,06                 |
| Miscela 2 (agg. Soil Was. 100%)   | 27,2                             | 1,48                 |
| Miscela 3 (agg. Soil Was. al 20%) | 28,6                             | 0,10                 |
| Miscela 4 (agg. da cls al 10%)    | 29,0                             | 0,60                 |
| Miscela 5 (agg. da cls al 30%)    | 28,0                             | 0,10                 |
| Miscela 6 (agg. da C&D al 5%)     | 28,4                             | 1,83                 |
| Miscela 7 (agg. da C&D al 15%)    | 25,9                             | 0,96                 |
| Miscela 8 (agg. da C&D al 30%)    | 24,2                             | 0,60                 |



# Misti cementati

La norma 10006 prevede la possibilità di utilizzo degli aggregati riciclati per la formazione di strati di sottofondo stradale miscelati con cemento per aumentarne le caratteristiche di portanza

# Misti cementati

## *Road Research Lab. (inglese)*

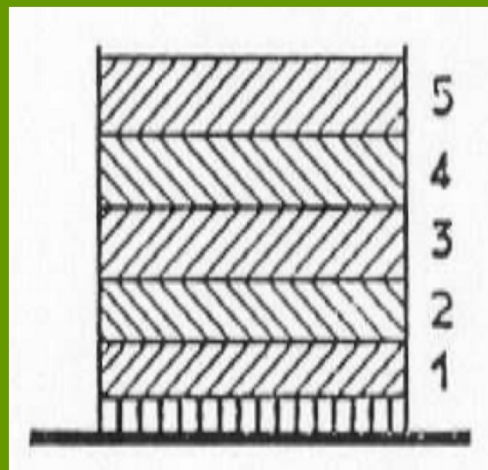
|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Pezzatura massima     | 80 mm  |
| Passante al 5,0 mm    | > 50 % |
| Passante 0.075 mm     | < 15 % |
| Equivalente in sabbia | > 40%  |
| Limite di liquidità   | < 40 % |
| Indice di plasticità  | <18 %  |

## *ITALFERR*

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| Passante al 6,3 mm     | $\geq 85 \%$ |
| Passante allo 0,063 mm | $\leq 35 \%$ |
| Sostanze organiche     | < 2 %        |
| Equivalente in sabbia  | > 50%        |
| Nitrati                | assenti      |
| Indice di plasticità   | <10 %        |

# Misti cementati

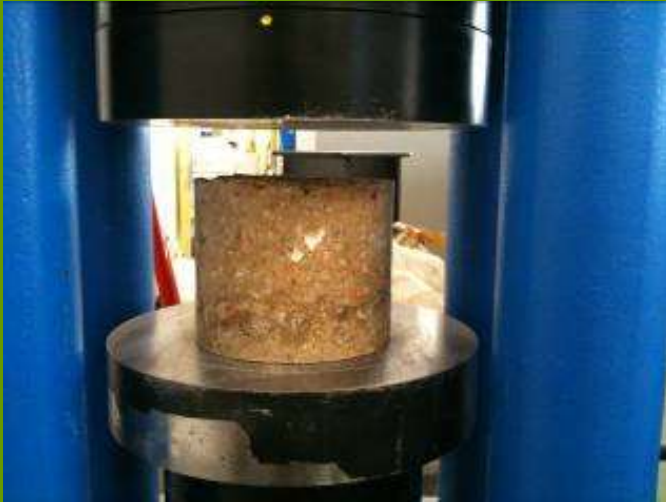
La miscela d'impasto (aggregato + acqua + cemento) è determinata sperimentalmente in laboratorio mediante l'esecuzione di prove di compressione semplice e di trazione indiretta.



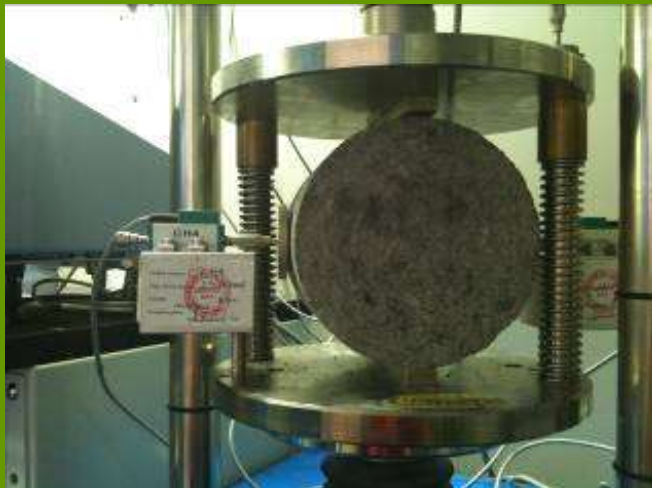
# Misti cementati

I provini vengono confezionati in stampi CBR privi di disco spaziatore compattando 5 strati di materiale passante al setaccio con apertura 25 mm con energia di compattazione di 2685 Kj/m<sup>3</sup> ( Proctor Modificata ). Le prove vengono eseguite dopo 7 giorni di maturazione in ambiente controllato ( umidità > 90% e T = 20 °C)

# Misti cementati



Resistenza a  
compressione



Resistenza a  
trazione  
indiretta



# Misti cementati

| Aggregato naturale + cemento     |                        | Aggregato da C&D + cemento       |                        |
|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Resistenza a compressione a 7 gg | 98 kg/cm <sup>2</sup>  | Resistenza a compressione a 7 gg | 45 kg/cm <sup>2</sup>  |
| Resistenza a trazione indiretta  | 0,68 N/mm <sup>2</sup> | Resistenza a trazione indiretta  | 0,38 N/mm <sup>2</sup> |

Valori normali:

$R_c$  tra 25 e 45 kg/cm<sup>2</sup> \_  $R_{ti} > 0,25$  N/mm<sup>2</sup>

**Grazie per l'attenzione**  
**dott. Nicola Mondini – CaveTest Srl**

**XVI INTERFORUM**

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

**Ferrara, 20 Settembre 2012**