

## L'UTILIZZO DI RICICLATI DA DEMOLIZIONE COME AGGREGATI GROSSI NEL CALCESTRUZZO

I temi della sostenibilità del settore delle costruzioni e della transizione verso l'utilizzo di materiali da costruzione più rispettosi dell'ambiente sono nati molti decenni fa, in particolare verso la fine del '900, ma solamente nell'ultimo decennio si è visto un impegno concreto con degli obiettivi comuni.

Nel 2015 infatti l'ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite) ha fissato 17 obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile, tra i quali 5 obiettivi trattano temi come:

- la **sostenibilità** delle città e delle comunità,
- la **riduzione dell'impiego delle risorse**,
- la **riduzione delle emissioni di gas a effetto serra** derivanti dalle attività umane,
- la **protezione dell'ecosistema terrestre** e della **biodiversità**,
- la creazione di collaborazioni tra i governi per **rafforzare i mezzi di attuazione**.



Mescolando assieme il cemento, la sabbia, la ghiaia e l'acqua si ottiene la miscela del calcestruzzo, che è caratterizzata da una consistenza relativamente fluida per consentirne il getto in opera. Il cemento bagnato con l'acqua genera la pasta cementizia che funge da legante per la sabbia e la ghiaia, rendendo il **calcestruzzo** indurito il **materiale edile più impiegato al mondo per la costruzione degli edifici** in particolare dalla seconda metà del 1800 a oggi per via della sua resistenza, versatilità e durabilità, diventando anche il materiale simbolo dell'architettura moderna.

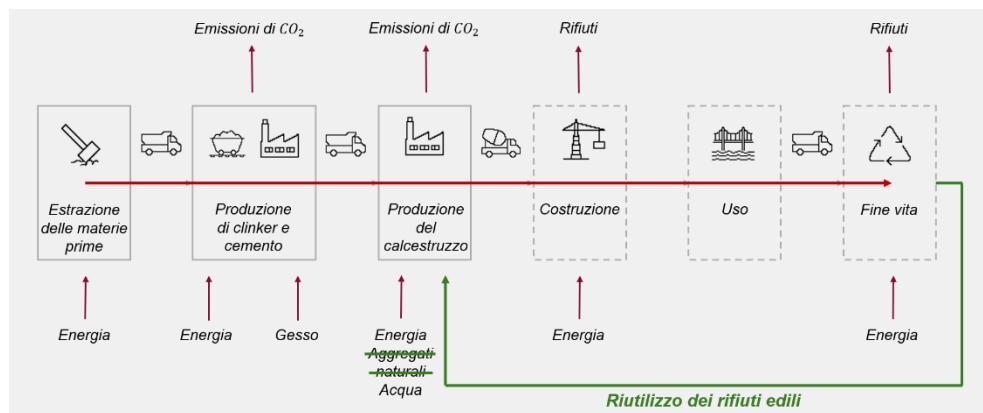
Nella miscela possono essere inoltre aggiunti altri componenti come gli additivi chimici e i minerali per migliorare la sua lavorabilità e per migliorare le proprietà meccaniche e fisiche del calcestruzzo.

| Cemento  | Sabbia<br>(aggregato fine) | Ghiaia<br>(aggregato grosso) | Acqua       |  |
|----------|----------------------------|------------------------------|-------------|--|
| ~ 300 kg | ~ 600 kg                   | ~ 1300 kg                    | ~ 150 litri | =  |
| +        | +                          | +                            |             |  |
|          |                            |                              |             | + Additivi chimici                       |
|          |                            |                              |             | + Aggiunte minerali                      |
|          |                            |                              |             | = <b>1 m<sup>3</sup> di calcestruzzo</b> |

Dal momento che il prelievo delle materie prime utili al confezionamento della miscela del calcestruzzo provoca l'alterazione del suolo e della biodiversità, e che la cottura del calcare e dell'argilla per ottenere il clinker utilizzato nel cemento provoca un alto tasso di emissioni di CO<sub>2</sub> ogni anno, il **calcestruzzo** è anche il **materiale edile con il più elevato impatto sull'ambiente**.

Osservando il ciclo di vita del calcestruzzo si nota come tutte le fasi avvengano in **senso lineare**, arrivando alla fase di fine vita del calcestruzzo per cui a seguito della demolizione dell'opera gli scarti vengono classificati come rifiuti speciali non pericolosi e vengono **portati nelle discariche** autorizzate.

Negli ultimi decenni si sta cercando di rendere il calcestruzzo meno impattante, e per **evitare il deperimento delle risorse naturali non rinnovabili** quali la sabbia e la ghiaia si stanno adottando diverse strategie come la sostituzione degli aggregati naturali con i rifiuti derivati dalle attività di demolizione attraverso una serie di trattamenti che consentono di passare dalla fase di fine vita alla fase di produzione del calcestruzzo, ottenendo un **processo di tipo circolare**.

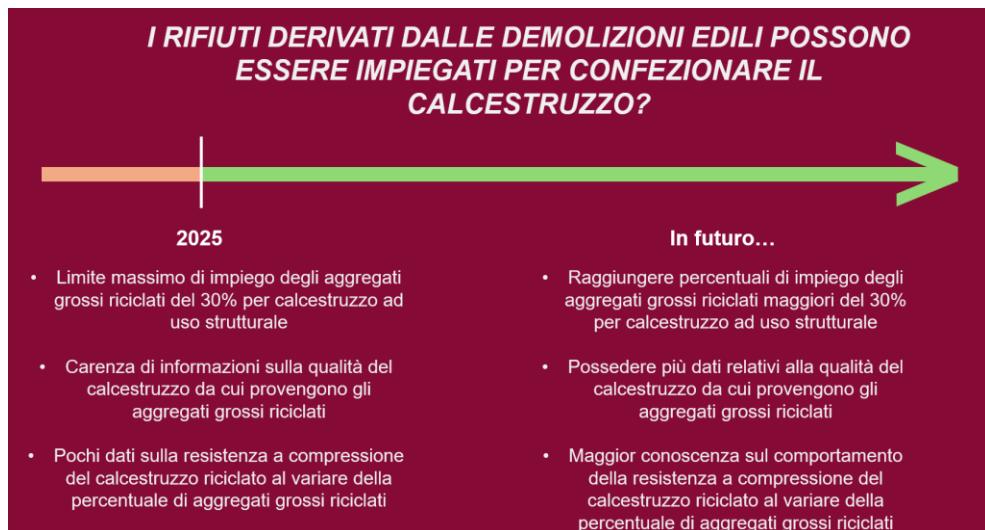


Il decreto ministeriale 17 gennaio 2018 (NTC 2018) fornisce la presente tabella in cui viene specificato che la percentuale massima di sostituzione degli aggregati grossi naturali con quelli riciclati è del 100% per calcestruzzo non strutturale, mentre si ha un massimo del 30% di sostituzione per calcestruzzo strutturale.

| D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018)   |   |   |
|---|---|---|
| Origine del materiale da riciclo  | Classe di resistenza del calcestruzzo     | Percentuale di impiego degli aggregati grossi riciclati |
| Demolizioni di edifici (macerie)  | = C8/10                                   | fino al 100%  |
| Demolizioni di solo calcestruzzo e c.a. (frammenti di calcestruzzo ≥ 90%, UNI EN 933-11:2009)               | ≤ C20/25                                  | fino al 60%   |
|   | ≤ C30/37                                  | ≤ 30%   |
|   | ≤ C45/55                                  | ≤ 20%   |
| Riutilizzo di calcestruzzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualificati – da qualsiasi classe | Classe minore del calcestruzzo di origine | fino al 15%   |
|   | stessa Classe del calcestruzzo di origine | fino al 10%   |

Ci si chiede se i rifiuti derivati dalle demolizioni edili possano essere impiegati per confezionare il calcestruzzo, e la risposta è **sì**, ma ad oggi la normativa fornisce il limite massimo di sostituzione della ghiaia del 30% per il calcestruzzo ad uso strutturale, inoltre persiste una carenza di informazioni sulla qualità del calcestruzzo da cui provengono gli aggregati grossi riciclati, e si hanno pochi dati sulla resistenza a compressione del calcestruzzo riciclato al variare della percentuale di aggregati grossi riciclati contenuti nella miscela.

Per il **futuro**, dunque, si mira a raggiungere percentuali di sostituzione della ghiaia maggiori del 30% per calcestruzzo ad uso strutturale, possedere più dati in merito alla qualità del calcestruzzo da cui provengono gli aggregati grossi riciclati, e una maggiore conoscenza del comportamento della resistenza a compressione del calcestruzzo riciclato al variare della percentuale di aggregati grossi riciclati contenuti nella miscela.



Per superare il limite del 30% di sostituzione della ghiaia imposto dalla normativa, nel laboratorio PROMAS (PRove MAteriali e Strutture) dell'Università di Udine sono stati confezionate 3 tipologie di miscele di calcestruzzo.

Il MIX 0 è il campione di controllo confezionato con aggregati grossi di origine 100% naturale, mentre per il MIX 1 e il MIX 2 si sono considerate percentuali di sostituzione della ghiaia rispettivamente del 50 e del 100% per osservare come si comporta il calcestruzzo riciclato superando il limite imposto del 30%. Inoltre, si sono considerate due classi di resistenza diverse del calcestruzzo donante, ovvero del calcestruzzo da cui provengono gli aggregati grossi riciclati, rispettivamente ordinaria ed elevata, per valutare se e come la resistenza del calcestruzzo donante possa influenzare la resistenza del calcestruzzo riciclato.

Tutti i provini cubici confezionati sono stati testati dopo un periodo di stagionatura di 3, 7, 28, 56 e 90 giorni tramite la macchina di prova che è composta da due piastre in acciaio di cui quella superiore comprime il provino fino al suo punto di rottura, fornendo il valore in kN della forza di compressione massima applicata. Prendendo in considerazione la resistenza a compressione a 28 giorni di stagionatura, che è la resistenza che viene considerata per i calcoli strutturali, si nota che il MIX 2, nonostante sia composto dal 100% di aggregati grossi di riciclo, presenta una resistenza a compressione di 40,3 MPa che è superiore alla resistenza di 32,7 MPa del MIX 1, che invece ha una percentuale di sostituzione solo del 50%, questo in virtù del fatto che il calcestruzzo da cui provengono gli aggregati grossi del MIX 2 ha una resistenza elevata.

|       | Acqua<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Cemento<br>Portland<br>ordinario<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | a/c<br>[ - ] | Aggregati<br>grossi<br>naturali<br>[%] | Aggregati<br>grossi<br>riciclati<br>[%] | Rc del cls<br>donante |
|-------|-------------------------------|--|--------------|--|---|-----------------------|
| MIX 0 | 160                           | 355,1  | 0,45         | 100                                    | 0                                       | /                     |
| MIX 1 | 160                           | 355,1  | 0,45         | 50                                     | 50                                      | ordinaria             |
| MIX 2 | 160                           | 355,1  | 0,45         | 0                                      | 100                                     | elevata               |

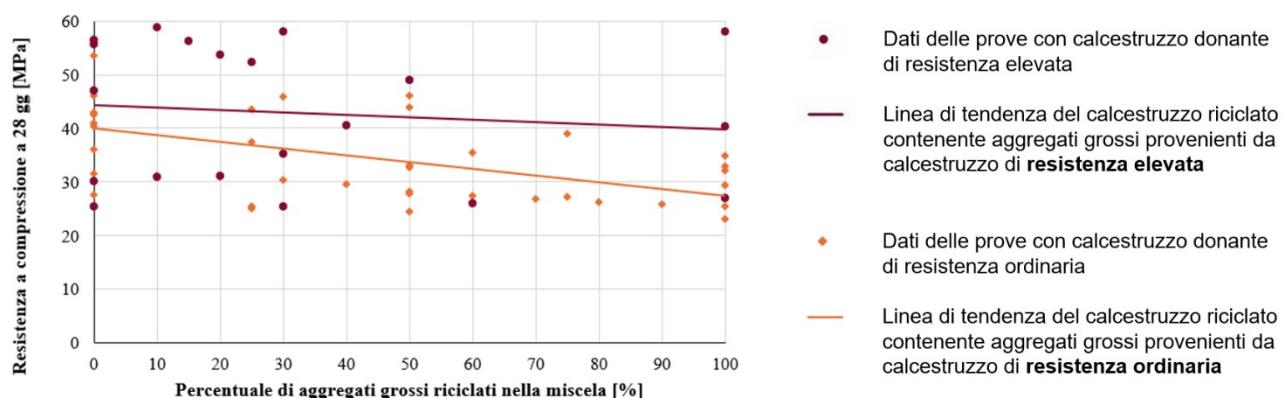
|       | RCA<br>[%] | Slump<br>[mm] | Classe<br>slump | Rem<br>3 gg<br>[MPa] | Rem<br>7 gg<br>[MPa] | Rem<br>28 gg<br>[MPa] | Rem<br>56 gg<br>[MPa] | Rem<br>90 gg<br>[MPa] |
|-------|------------|---------------|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| MIX 0 | 0          | 210           | S4              | 38,8                 | 48,6                 | 56,6                  | 60,2                  | 63,2                  |
| MIX 1 | 50         | 210           | S4              | 19,3                 | 27,1                 | 32,7                  | 34,4                  | 36,1                  |
| MIX 2 | 100        | 210           | S4              | 23,3                 | 33,4                 | 40,3                  | 44,8                  | 47,5                  |

I nostri dati raccolti però sono statisticamente pochi per poter trarre delle conclusioni su quanto evidenziato, per cui sono stati raccolti i dati provenienti da altre 12 prove sperimentali in letteratura svolte da altri studiosi tra il 2005 e il 2024. Tali prove raccolte sono state suddivise tra calcestruzzo riciclato contenente aggregati grossi provenienti da calcestruzzo di resistenza ordinaria e tra calcestruzzo riciclato contenente aggregati grossi provenienti da calcestruzzo di resistenza elevata proprio per comprenderne gli effetti sulla resistenza del calcestruzzo riciclato e per via delle poche informazioni possedute sul calcestruzzo donante.

I dati raccolti sono stati utilizzati per realizzare il seguente **grafico** dove in ascissa è presente la percentuale di aggregati grossi riciclati contenuti nella miscela, mentre in ordinata vi è la resistenza a compressione a 28 giorni di stagionatura del calcestruzzo riciclato.

Con due diversi colori sono stati riportati i valori raccolti, a partire dai quali sono state rispettivamente generate la linea di tendenza di colore bordeaux per il calcestruzzo confezionato con aggregati grossi provenienti da calcestruzzo di resistenza elevata e la linea di tendenza di colore arancione per il calcestruzzo confezionato con aggregati grossi provenienti da calcestruzzo di resistenza ordinaria.

Si osserva che, all'aumentare della percentuale di sostituzione della ghiaia con gli aggregati grossi di riciclo, la resistenza a compressione a 28 giorni del calcestruzzo riciclato contenente aggregati grossi provenienti da calcestruzzo di resistenza ordinaria decade più velocemente rispetto alla resistenza del calcestruzzo che contiene aggregati grossi provenienti da calcestruzzo di resistenza elevata.



Due esempi di opere realizzate con il calcestruzzo riciclato portati nella tesi sono:

- l'Hong Kong Wetland park, un luogo turistico che ospita gallerie d'arte, teatri, bar, eccetera, costruito nel 2006 per la cui costruzione è stato impiegato calcestruzzo riciclato contenente il 100% di aggregati grossi riciclati per la realizzazione delle travi orizzontali delle fondazioni e il 20% di aggregati grossi riciclati per la realizzazione degli elementi strutturali verticali;
- due torri costruite nel 2015 a Shanghai, di cui la torre A è stata costruita con calcestruzzo riciclato contenente il 30% di aggregati grossi riciclati provenienti dalla frantumazione della pavimentazione di un terminal container, per cui si tratta di calcestruzzo donante di resistenza elevata, mentre la torre B è stata costruita con il calcestruzzo ordinario. La scelta di impiegare aggregati grossi riciclati è motivata anche dalla distanza che sussiste tra le cave di estrazione della ghiaia dal luogo di costruzione delle torri, ovvero di circa 224 km, per cui l'utilizzo di aggregati grossi di riciclo è dovuto a motivi ambientali, economici e logistici.

Le due torri sono un esempio utile per osservare nel corso del tempo se il calcestruzzo riciclato abbia la stessa durabilità del calcestruzzo ordinario.



Hong Kong Wetland Park

Hong Kong (Cina), 2006



Torre A (con calcestruzzo riciclato) e  
Torre B (con calcestruzzo ordinario)

Shanghai (Cina), 2015

Per concludere, il calcestruzzo riciclato può essere impiegato per uso strutturale con percentuali di sostituzione maggiori del 30% preferendo l'impiego di calcestruzzo riciclato i cui aggregati grossi riciclati provengono da calcestruzzo di resistenza elevata.

La ricerca contenuta nella tesi rientra nel progetto europeo SITAR (Supportare l'Industria delle Costruzioni nella Transizione verso pratiche rispettose del clima nella Regione Alpina) del programma di cooperazione territoriale europea Interreg Italia-Austria di cui fanno parte la professoressa Somma Giuliana e l'ingegnere Runcio Edoardo.



*NOTA: Le fonti delle informazioni e delle immagini impiegate per la stesura della presente sintesi della tesi fanno riferimento alla bibliografia della tesi di laurea di De Giorgio Alice.*