

# Recycled aggregates in the ready-mixed concrete: a sustainability chance to be sustained

## Aggregati di riciclo nel calcestruzzo preconfezionato: un'occasione di sostenibilità da sostenere

L. Baldini<sup>1</sup>, E. Euzor<sup>1</sup>, M. Francini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Unical SpA (Gruppo Buzzi Unicem) Casale Monferrato (AL), Italy*

**ABSTRACT:** The recycled aggregates offer a formidable lever to the sustainability of the concrete industry, replacing fresh rock extracted from quarries with materials from demolition (C & D) or tunneling, otherwise destined for landfill. This virtuous potential (re)cycle has difficulty to take off in Italy: the volumes involved are still a low percentage of the total RMC. In this paper we show some reasons that help us to explain this difficulty. In general, the replacement of quarry aggregates with recycled ones implies a lower cost and a certain performance deficit. If the resources necessary to compensate the latter exceed certain limits, it lacks the convenience of the deal. In this balance an important role is played by some technical factors (petrographic variability, fines quality) and operational needs (recipes adaptivity, plant versatility). Not least, the prejudices that still affect the prescribing and monitoring. / Gli aggregati di riciclo offrono una formidabile leva di sostenibilità alla filiera del calcestruzzo, consentendo di sostituire rocce fresche estratte da cava con materiali provenienti da demolizioni (C&D) o da tunnelling, altrimenti destinati a discarica. Questo potenziale (ri)ciclo virtuoso stenta a decollare in Italia: i volumi in gioco rappresentano ancora una bassa percentuale del calcestruzzo prodotto. In questo lavoro si mostrano alcune motivazioni tecniche che contribuiscono a spiegare tale difficoltà. In generale la sostituzione di aggregati di cava con aggregati riciclati comporta un minor costo e un certo deficit prestazionale. Se le risorse necessarie per compensare quest'ultimo superano certi limiti, viene a mancare la convenienza dell'operazione. In questo bilancio giocano un ruolo importante elementi tecnologici spesso trascurati (variabilità petrografica, qualità dei fini) ed esigenze operative (adattività delle ricette, versatilità degli impianti). Non ultimi, i pregiudizi che ancora influenzano le modalità prescrittive e di controllo.

**KEYWORDS:** ready-mixed concrete; recycled aggregates; muck; performance comparison; cost effectiveness; prescribing restrictions / calcestruzzo preconfezionato; aggregati di riciclo; smarino; confronto prestazionale; convenienza economica; limitazioni prescrittive

## 1 INQUADRAMENTO GENERALE

### 1.1 *Cenno storico*

Riciclare i materiali da costruzione è da secoli attività connaturata alla cultura civile di un paese, e la storia italiana non costituisce eccezione. Il riutilizzo dei materiali provenienti da costruzioni in disuso viene regolarmente attuato fin dall'antichità anche per gli edifici di grande importanza e valore architettonico. Unico scotto da pagare, una progressiva perdita di valore dei materiali ad ogni riuso, ben nota a chi, per esempio, riciclava vecchi capitelli in nuove tessiture murarie.

Negli ultimi decenni, e in particolare dal boom economico del secondo dopoguerra, questa sana abitudine ha perso campo sotto lo slogan del "meglio tutto nuovo" rafforzato dalla facile scusante dei rischi prestazionali associati al riuso.

La tendenza a rifiutare il riuso è diffusa ancora oggi in Italia, nonostante il recente fiorire delle istanze di sostenibilità ambientale e di economia cir-

colare, che non trovano ancora sufficiente riscontro nella pratica quotidiana dei cantieri.

### 1.2 *Contesto normativo*

L'attuale contesto normativo, specie se a confronto con il recente passato, lascerebbe in teoria ottimi spazi di manovra per la pratica del riuso nel campo degli aggregati. Prima di tutto, la direttiva comunitaria 98/2008/CE secondo la quale gli stati membri devono raggiungere entro il 2020 l'obiettivo di riciclare almeno il 70% dei rifiuti C&D (provenienti da costruzione e demolizione).

E poi le attuali normative tecniche specifiche del calcestruzzo, che non chiudono la strada al riuso: le più recenti norme europee infatti assimilano gli aggregati di riciclo a quelli di origine naturale nel contesto della marcatura CE, salvo consigliarne alcuni limiti di utilizzo.

In ogni caso le maggiori restrizioni nel nostro paese sono fissate dal combinato disposto della recente UNI 11104 e delle NTC 2008. Queste sanciscono

definitivamente la possibilità del riuso in Italia, e nel contempo ne definiscono importanti limitazioni: innanzitutto nella tipologia utilizzabile (solo aggregati grossi) e poi nella quantità percentuale massima, come sintetizzato nella tabella 1.

Table 1. Usability limits of recycled aggregates in RMC, according to NTC 2008 and UNI 11104 / Limiti di utilizzabilità degli aggregati di riciclo nel calcestruzzo preconfezionato secondo NTC 2008 e UNI 11104.

Classi Esposiz.	C8/10	≤ C20/25	≤ C30/37
X0	100% (A* e B**)	60% (A*)	30% (A*)
XC1-2-3	-	-	30% (A*)
XD1	-	-	20% (A*)
XF2-3-4	-	-	20% (A*)
XA1	-	-	20% (A*)
Altre	-	-	-

\* Aggregati di riciclo di tipo A (demolizioni di calcestruzzo)

\*\* Aggregati di riciclo di tipo B, (demolizioni miste, macerie)

### 1.3 Ostacoli al riuso

Le norme sopra citate costituiscono allo stesso tempo una promettente apertura e un'indiretta chiusura al pieno riuso. Tra gli ostacoli, oltre alla preclusione all'uso degli aggregati fini da riciclo, vi è l'apparente diversità dell'iter approvativo dei calcestruzzi con aggregati di riciclo rispetto a quelli ordinari (quantità contabilizzate, necessità di prove di laboratorio documentate, etc.). La documentazione di qualifica teoricamente richiesta dalle NTC è compatibile con una forte convenienza economica all'uso oppure con un preciso obbligo da parte del committente, ma non ne incoraggia certamente l'uso nelle situazioni di sostanziale equivalenza tecnico-economica.

Esistono poi ostacoli diversi, non legati a vincoli normativi ma a carenze del sistema: 1) vi è ancora una sostanziale assenza di domanda di calcestruzzo con aggregati riciclati e una conseguente scarsità di offerta degli aggregati stessi; 2) i costi di acquisto e gestione degli aggregati di riciclo di tipo "A" sono spesso simili o maggiori rispetto a quelli naturali; 3) si percepisce un'incertezza degli addetti ai lavori sulle caratteristiche tecniche degli aggregati riciclati, con frequenti incompatibilità tra le loro proprietà e i requisiti normativi o di commessa. Quest'ultimo punto si sposa anche con l'opinione diffusa -e non del tutto infondata- che essi presentino una maggiore eterogeneità prestazionale rispetto a quelli di origine naturale.

A monte di tutto vi è certamente un deficit italiano nella cultura del riuso, già visibile a partire dalle specifiche fissate dai grandi committenti ed enti appaltanti, non sempre lungimiranti. Un chiaro segnale che la strada da fare è ancora molta proviene dagli stessi produttori di calcestruzzo, i quali utilizzano assai raramente gli aggregati di riciclo, e quasi mai si sentono spinti a pubblicizzare tale scelta, nono-

stante la dovizia di norme che invitano il settore a scegliere questa strada virtuosa.

## 2 ANALISI TECNICA

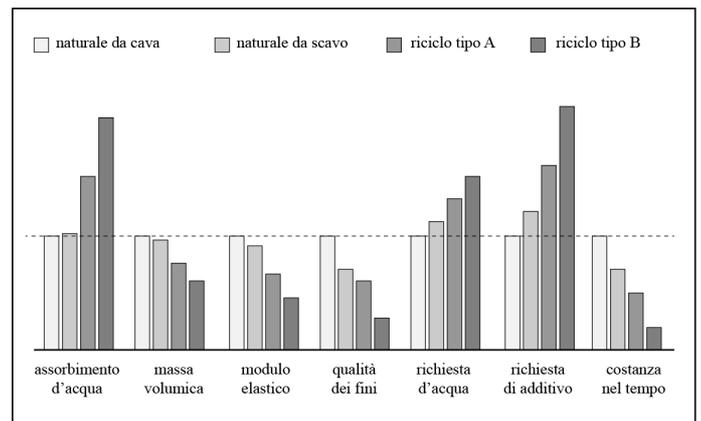
### 2.1 Proprietà degli aggregati a confronto

Sebbene nessuna normativa tecnica associ proprietà o prestazioni particolari all'origine da riciclo, è evidente che gli aggregati da C&D mostrano per loro natura alcune differenze nelle proprietà tecniche rispetto ai più comuni aggregati naturali.

Le differenze sono dovute: a) a diversità sostanziali nel tipo di materiale frantumato; b) a oggettive difficoltà di selezione e trattamento presso l'impianto di produzione; c) alla relativa novità del concetto stesso di riciclo da demolizione, che lo rende per certi versi un'attività ancora in fase sperimentale.

Per quanto riguarda il costo, gli aggregati di riciclo di tipo B, provenienti da macerie, sono talvolta significativamente più economici di quelli di origine naturale, mentre quelli di tipo A, provenienti da solo calcestruzzo demolito, non sempre hanno costi davvero concorrenziali con gli aggregati naturali. Questo a causa della relativa economicità -in Italia- del reperimento di rocce di origine naturale, compresa la coltivazione di quelle in banco, su cui non gravano particolari misure dissuasive di tipo fiscale.

Figure 1. Aggregate properties: qualitative comparison / Proprietà degli aggregati – confronto qualitativo



La figura 1 rende conto, a titolo esemplificativo e in maniera qualitativa, delle principali differenze mostrate da aggregati di varia origine rispetto ad alcuni parametri tecnici particolarmente importanti per l'utilizzo in calcestruzzo. Non è presa in considerazione la distribuzione dimensionale (la "curva granulometrica" cara a generazioni di *mix designers*) perché indipendente dall'origine del materiale e legata in primo luogo al processo produttivo. Notevole importanza è invece attribuita alle caratteristiche che influenzano la reologia degli impasti fluidi, cioè la qualità dei fini e le quantità di acqua e di additivo

necessarie per ottenere la consistenza desiderata e poterla mantenere per un tempo ragionevole.

## 2.2 Confronto prestazionale in calcestruzzo

Interessante, ma nient'affatto sorprendente perché conseguenza diretta dei parametri prima citati, è l'analisi dell'impatto degli aggregati da riciclo sulle prestazioni e sui costi degli impasti di calcestruzzo ordinario. Di seguito riportiamo, a titolo meramente esemplificativo e tuttavia sostanzialmente rappresentativo, l'esito di alcune prove di confronto tra impasti nei quali è stata operata la sostituzione totale o parziale degli aggregati naturali (impasti "N") con aggregati di riciclo (impasti "R") e con aggregati da smarino di galleria di discreta qualità (impasti "T"). Questi ultimi meritano un discorso a parte, perché spesso hanno buone caratteristiche fisico-meccaniche ma mostrano alcune proprietà variabili nel tempo e per questo vengono spesso indirizzati a discarica a causa della rigidità di alcune specifiche tecniche di commessa.

Il confronto sperimentale è avvenuto a parità di target prestazionali, con il preciso intento di valutare l'entità delle correzioni necessarie per compensare il deficit prestazionale connesso con l'uso degli aggregati riciclati. Questo approccio nasce dalla consapevolezza che, restando all'interno delle limitazioni d'uso imposte dalle norme, è praticamente sempre possibile ottenere prestazioni equivalenti con entrambi i tipi di aggregati, agendo opportunamente sulla progettazione della miscela.

In primo luogo si veda la tabella 2, che mostra gli esiti della sostituzione degli aggregati per un calcestruzzo C8/10 di consistenza S4, per il quale è consentito l'uso del 100% di aggregato grosso riciclato di tipo "B". Si può notare in questo caso una certa convenienza economica della sostituzione, per il fatto che gli aggregati di riciclo "B" e di smarino hanno qui costi inferiori di quasi un terzo rispetto a quelli naturali.

Table 2. Experimental comparison of three C8/10 concrete mixtures / Confronto sperimentale su tre miscele C8/10.

Impasto (S4 - X0 - D32)		10N	10R	10T
Aggr. F. naturale	kg/m <sup>3</sup>	1120	980	1090
Aggr. G. naturale	kg/m <sup>3</sup>	900	-	-
Aggr. G. riciclo "B"	kg/m <sup>3</sup>	-	850	-
Aggr. G. marino	kg/m <sup>3</sup>	-	-	900
CEM 32,5 IV/A	kg/m <sup>3</sup>	130	155	135
Ceneri volanti	kg/m <sup>3</sup>	60	60	60
Superfluidificante	kg/m <sup>3</sup>	1,9	3,0	2,2
Acqua d'impasto	kg/m <sup>3</sup>	160	185	162
Slump	mm	185	190	195
Res compr. 7 g	MPa	7,3	6,9	8,0
Res compr. 28 g	MPa	14,7	14,2	15,2
Costo miscela	% (N)	100	97	93

Si veda poi la tabella 3, relativa a calcestruzzi ordinari C20/25, per il quale è consentito l'uso del 60% di aggregato grosso riciclato di tipo "A".

In questo caso il costo maggiore degli aggregati di tipo "A" e il non trascurabile deficit prestazionale, specialmente per quanto riguarda la richiesta d'acqua e il mantenimento di consistenza, annullano di fatto la convenienza economica della miscela con aggregati di riciclo. Soltanto lo smarino continua ad essere conveniente, perché il suo minor costo per tonnellata non è accompagnato da significativi deficit prestazionali.

Table 3. Experimental comparison of three C20/25 concrete mixtures / Confronto sperimentale su tre miscele C20/25.

Impasto (S4 - X0 - D32)		25N	25R	25T
Aggr. F. naturale	kg/m <sup>3</sup>	1000	940	940
Aggr. G. naturale	kg/m <sup>3</sup>	870	370	370
Aggr. G. riciclo "A"	kg/m <sup>3</sup>	-	520	-
Aggr. G. marino	kg/m <sup>3</sup>	-	-	550
CEM 32,5 IV/A	kg/m <sup>3</sup>	290	310	295
Ceneri volanti	kg/m <sup>3</sup>	60	60	60
Superfluidificante	kg/m <sup>3</sup>	2,9	4,2	3,2
Acqua d'impasto	kg/m <sup>3</sup>	160	170	163
Slump t <sub>0</sub>	mm	205	210	210
Slump t <sub>30</sub>	mm	185	170	190
Res compr. 7 g	MPa	28,9	25,6	27,8
Res compr. 28 g	MPa	37,9	35,5	36,5
Costo miscela	% (N)	100	103	96

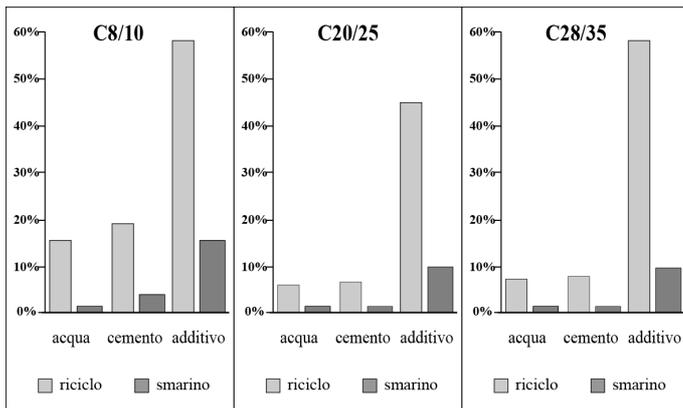
La tabella 4 mostra infine che al crescere delle prestazioni del calcestruzzo i deficit prestazionali dell'aggregato di riciclo, specialmente per gli effetti della maggior richiesta d'acqua e di additivo, risultano ancora una volta determinanti.

Table 4. Experimental comparison of three C28/35 concrete mixtures / Confronto sperimentale su tre miscele C28/35.

Impasto (S5 - XC2 - D32)		35N	35R	35T
Aggr. F. naturale	kg/m <sup>3</sup>	980	920	980
Aggr. G. naturale	kg/m <sup>3</sup>	840	360	360
Aggr. G. riciclo "A"	kg/m <sup>3</sup>	-	510	-
Aggr. G. marino	kg/m <sup>3</sup>	-	-	580
CEM 32,5 IV/A	kg/m <sup>3</sup>	320	345	320
Ceneri volanti	kg/m <sup>3</sup>	60	60	60
Superfluidificante	kg/m <sup>3</sup>	3,1	4,9	3,4
Acqua d'impasto	kg/m <sup>3</sup>	160	172	161
Slump t <sub>0</sub>	mm	205	210	210
Slump t <sub>30</sub>	mm	185	175	190
Res compr. 7 g	MPa	35,8	34,1	36,0
Res compr. 28 g	MPa	43,2	41,6	42,8
Costo miscela	% (N)	100	105	98

La figura 2 mostra in modo sinottico gli incrementi percentuali dei dosaggi di cemento, acqua e additivi che si hanno con aggregati di riciclo e smarino rispetto all'impasto (N) con aggregati naturali

Figure 2. Percentage increases of dosages / Incrementi percentuali dei dosaggi



### 2.3 Compensare i deficit prestazionali

Pur essendo sempre possibile -nel caso di calcestruzzi di tipo ordinario- compensare con semplici modifiche della miscela il deficit prestazionale legato all'uso di aggregati alternativi, tali aggiustamenti spesso rendono non conveniente il ricorso ad aggregati di riciclo quando le prestazioni meccaniche o reologiche siano appena più che minime. Se pensiamo poi a calcestruzzi con maggiore fluidità o con mantenimento esteso dello slump, allora il deficit aumenta.

Un discorso a parte merita quel particolare handicap prestazionale rappresentato dalla variabilità nel tempo, che negli aggregati di riciclo si può pensare di ridurre ma non certo di abbattere a livelli trascurabili.

Le normative di prodotto ammettono sempre un certo range di variazione delle principali proprietà degli aggregati (petrografiche, chimico-fisiche, dimensionali). Possiamo star certi che gli aggregati di riciclo sfrutteranno sempre al massimo questa possibilità, a causa della loro stessa origine da riuso.

Per compensare questo indubbio svantaggio tecnico ben difficilmente saranno efficaci preventive progettazioni *ad abundantiam* delle miscele. Sovradosaggi cautelativi di additivo o di cemento possono in teoria controbilanciare impreviste cadute di resistenza o fluidità, ma molto più facilmente avranno l'effetto di minare l'equilibrio reologico dell'impasto a fronte delle mutabili condizioni. Gli effetti più frequenti saranno eccessiva segregazione o, di contro, forte viscosità.

L'unica vera *chance* nei confronti della variabilità nel tempo è la modifica adattiva e continua delle ricette, con la quale un tecnologo competente può gestire senza problemi -e senza importanti costi aggiuntivi- anche aggregati di riciclo dalle proprietà piuttosto mutevoli. Questa diffusa e intelligente contromisura è particolarmente efficace con gli aggregati di riciclo da smarino, che spesso hanno discreta qualità petrografica ma sono affetti da una certa ineliminabile variabilità.

La leva dell'adattività progettuale, però, si scontra spesso con specifiche di commessa prescrittive anziché prestazionali, basate sulla convinzione di poter prevedere le prestazioni del calcestruzzo in opera -in qualsiasi momento e condizione- a partire da una ricetta preliminarmente qualificata e opportunamente "blindata" nel tempo. Tali forzature prescrittive, oltre che deboli nei loro presupposti tecnologici, risultano poco lungimiranti e certamente nocive allo sviluppo futuro del riuso. Per un'ampia diffusione degli aggregati di riciclo, infatti, qualsiasi rigidità di tipo prescrittivo e compositazionale costituirà sempre un ostacolo ben difficile da superare.

### 3 CONCLUSIONI

With the exception of the low strength concretes, which are made with recycled aggregates from rubble and often have a robust economic convenience, the use of recycled aggregates in structural concrete seldom show clear economic advantages that would justify their unilateral adoption by the concrete manufacturer.

The cost of recycled aggregate is a bit lower than the natural one, but it is often offset by the higher cost of the other components required to achieve the same mechanical and rheological performances.

To take off a virtuous (re)cycle, regulatory and fiscal impulses should be strengthened. It is also necessary to finally consolidate the transition to a fully performance system of requirements and controls. This is the only way to manage with satisfaction and effectiveness the recycled aggregates, certainly more sustainable than the natural ones but suffering from a physiological variability that must be managed with an equally flexible technological approach.

Se si eccettuano i calcestruzzi di bassa prestazione realizzati con aggregati da riciclo di macerie, che hanno spesso una loro robusta convenienza economica, l'uso di aggregati di riciclo in calcestruzzi strutturali ben di rado mostra lampanti vantaggi economici che ne possano giustificare l'adozione unilaterale da parte del produttore di calcestruzzo.

I minori costi legati al prezzo dell'aggregato riciclato, un po' più basso di quello naturale, sono spesso più che compensati dal maggior costo degli altri componenti necessari per raggiungere la parità di prestazioni meccaniche e reologiche.

Affinché un (ri)ciclo virtuoso prenda davvero piede, è necessario che si rafforzino gli impulsi istituzionali di tipo normativo e fiscale, ma anche che finalmente si consolidi il passaggio verso un sistema di requisiti e controlli pienamente prestazionale. Questa è l'unica via che consentirà di gestire con soddisfazione ed efficacia gli aggregati di riciclo e di smarino, certamente più sostenibili ma allo stesso

tempo affetti da una certa fisiologica variabilità che deve essere gestita con un approccio tecnologico altrettanto flessibile.

## REFERENCES

European Commission (DG ENV) 2010 - *Service Contract on Management of construction and demolition waste*

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 2010. *I rifiuti da scavo, demolizione e costruzione: iniziative di riduzione, recupero e riciclo.*

Atecap 2013. *Rapporto sull'utilizzo di aggregati riciclati*

Anpar, 2010. *Rapporto sul settore del riciclaggio dei rifiuti inerti.*

Legambiente 2016. *L'innovazione nei cantieri e nei capitolati per ridurre il prelievo da cava e l'impatto sull'ambiente. Secondo rapporto dell'Osservatorio Recycle*

