



Gli Aggregati Riciclati : Economia Circolare nel Settore delle Costruzioni

Rimini 5 - 8 Novembre 2019

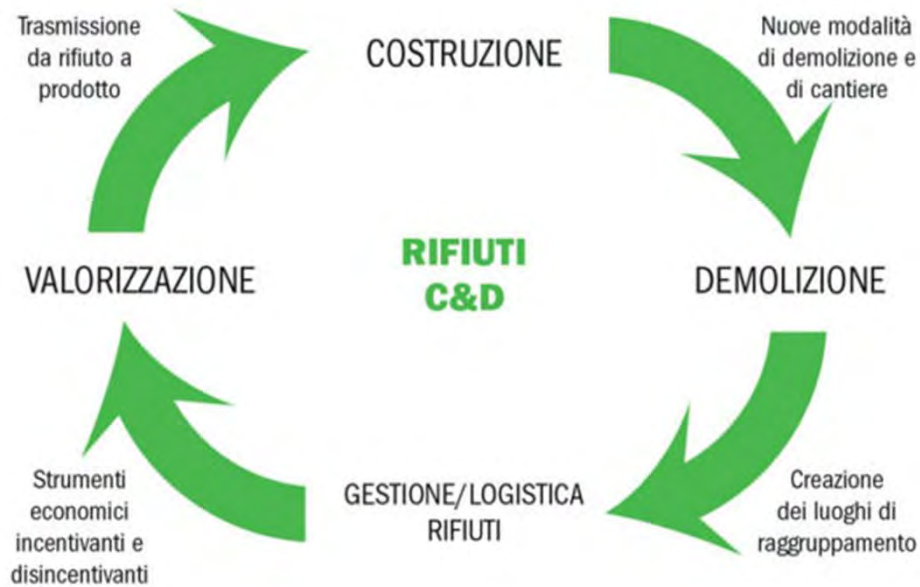
Relatore: Dott. Ing. Luisa Pani

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari





ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI



- I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D), ai sensi della legislazione italiana e all'art. 184 del decreto legislativo 152/06, sono considerati rifiuti speciali.
- C&D devono essere smaltiti in discarica, se invece abbandonati generano gravi conseguenze ambientali.
- In Italia, i C&D riciclati sono impiegati soprattutto come materiale di riempimento e per sottofondi stradali.
- In altri paesi europei il loro impiego è più ampio e redditizio, ad esempio in strutture più nobili come le costruzioni in calcestruzzo armato.

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

La Direttiva Europea 2008/98/CE impone che il **70%** delle macerie da costruzione e demolizione sia **riciclato**



In Italia tutte le stazioni appaltanti sono obbligate a rispettare i CAM secondo:

- L. 221/2015
- D.lgs. 50/2016



I **Criteri Ambientali Minimi (CAM)** individuano la soluzione progettuale migliore sotto il profilo ambientale tenuto conto della disponibilità di mercato.



Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector



La politica nazionale e regionale in materia di appalti pubblici verdi deve essere incisiva non solo nell'obiettivo di ridurre gli impatti ambientali, ma nell'obiettivo di promuovere modelli di produzione e consumo più sostenibili, "circolari " e nel diffondere l'occupazione "verde".

Novità molto importante per la Sardegna, il Prezzario Regionale 2019 contiene per la prima volta la voce **Aggregati Riciclati**.



Processi necessari, ma attualmente assenti

Mappatura dei rifiuti

Decreto End of Waste per i C&D

Demolizione selettiva





**Gruppo di Ricerca
Università di Cagliari**

**Associazioni di
Categoria**



**Pubblica
Amministrazione**



CASI STUDIO

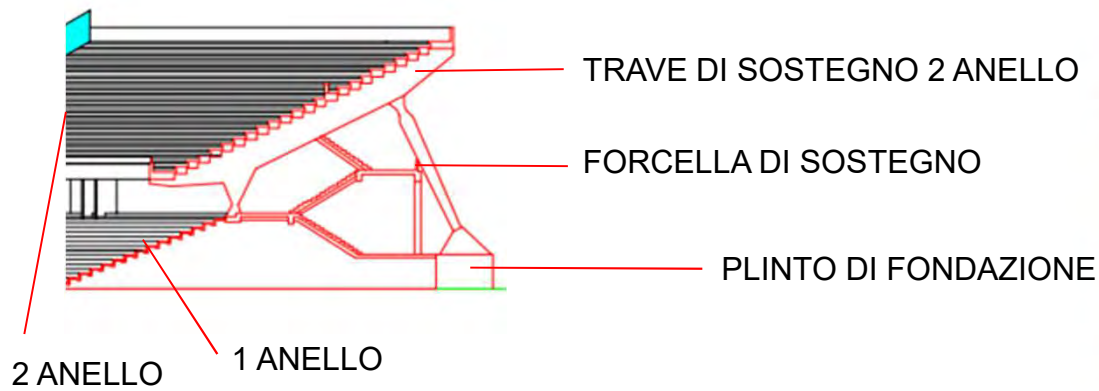
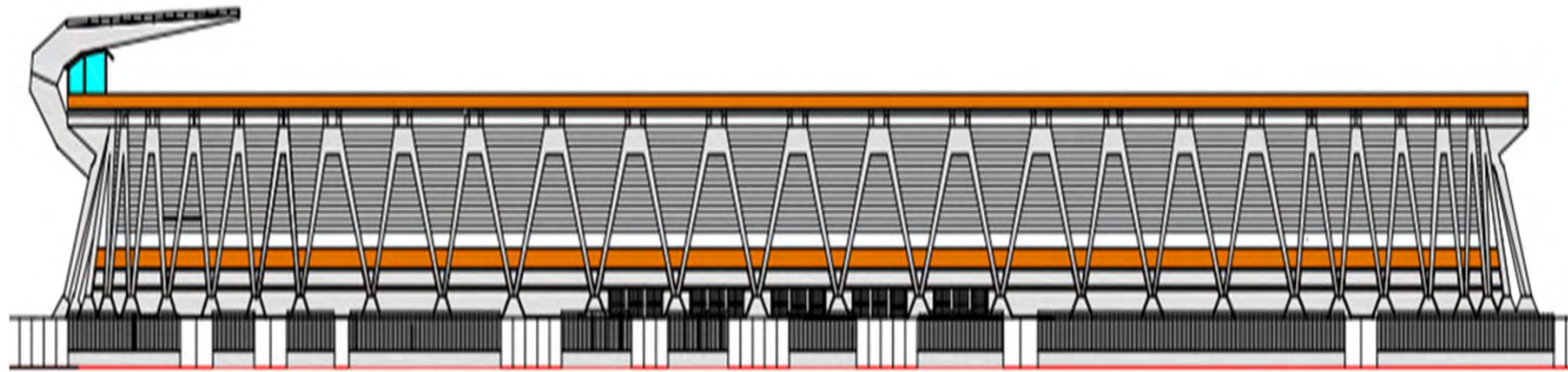
- **Riciclaggio delle macerie prodotte dalla demolizione di una grande struttura**
- **Uso degli aggregati riciclati in Aziende di prefabbricazione**
- **Uso di aggregati e calcestruzzo riciclato nella Pianificazione Urbanistica**



Caso Studio:

INDAGINE SPERIMENTALE SUGLI AGGREGATI RICICLATI – STADIO SANT’ELIA

➤ CARATTERIZZAZIONE DEL CALCESTRUZZO GENITORE



Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ CARATTERIZZAZIONE DEL CALCESTRUZZO GENITORE

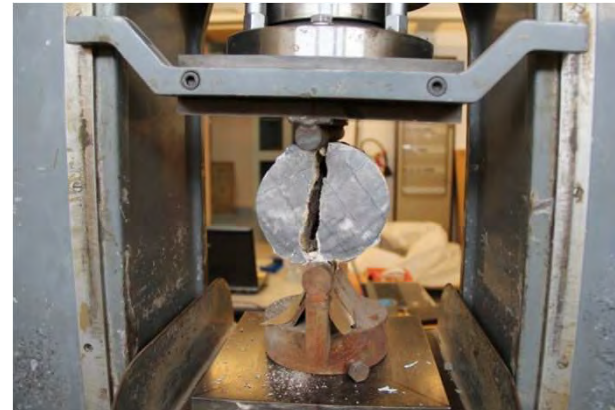


Carotaggi Trave e Plinto

Test di carbonatazione



Prova a compressione



Prova di trazione indiretta

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

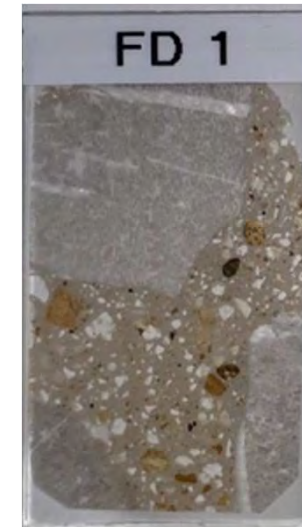
➤ CARATTERIZZAZIONE DEL CALCESTRUZZO GENITORE



Test Modulo Elastico



Analisi petrografica sulle sezioni sottili dei campioni



Identificazione	Profondità di carbonatazione (mm)	Densità media (kg/m ³)	Resistenza a compressione media (MPa)	Modulo elastico medio (MPa)	Resistenza a trazione media (MPa)
C. Fond.	10	2314	27.9	25335.3	2.04
C. Tr.	31	2270	21.0	18041.6	1.49

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ **GLI AGGREGATI RICICLATI - DEMOLIZIONE E LAVORAZIONE DELLE MACERIE**



Demolizione trave



Impianto di riciclaggio



Demolizione plinto



RA Trave

RA Plinto

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ GLI AGGREGATI RICICLATI – CARATTERIZZAZIONE DEGLI RA



Quartatura e Analisi Granulometrica



Determinazione dell'Assorbimento

Prova Los Angeles



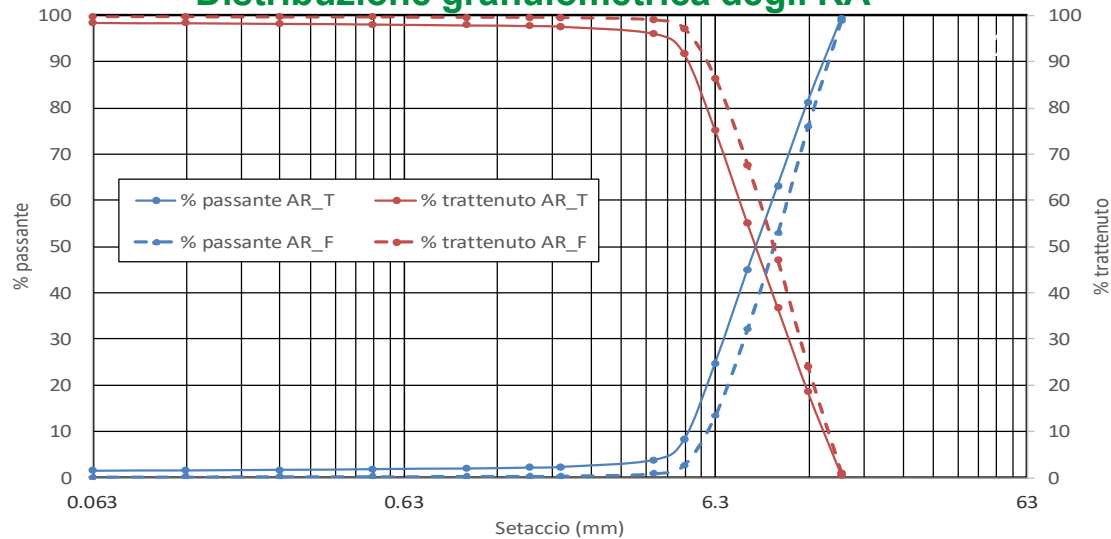
Indice di Appiattimento



Indice di Forma

**CARATTERIZZAZIONE DEGLI RA
in accordo con UNI EN 12620:
2008 e UNI 8520-1: 2015**

Distribuzione granulometrica degli RA



Risultati delle prove sugli RA

Proprietà	RA_F	RA_T
Dimensione granuli	4/16	4/16
Categoria granulometrica	G _C 90/15, G _T 17.5	G _C 90/15, G _T 17.5
Indice di appiattimento	4	4
Indice di forma	59	34
Densità saturazione a sup. asciutta	2.39 Mg/m ³	2.38 Mg/m ³
Densità apparente e vuoti	$\rho_b = 1.23 \text{ Mg/m}^3 \text{ v}\% = 45$	$\rho_b = 1.14 \text{ Mg/m}^3 \text{ v}\% = 49$
Percentuale dei fini	0.15%	0.59%
Percentuale di conchiglie	assente	assente
Resistenza alla frammentazione	39	39
Costituenti aggregati riciclati grossi	X = 0; R _c = 74%; R _u = 27%; R _b = 0; R _a = 0; R _g = 0	X = 0; R _c = 78%; R _u = 22%; R _b = 0; R _a = 0; R _g = 0
Contenuto di cloruri idrosolubili	0.005%	0.005%
Contenuto di cloruri solubili in acido	0.325%	0.325%
Contenuto dei solfati solubili in acido	0.43%	0.26%
Determinazione dei solfati	S < 0.1%	S < 0.1%
Contenuto dei solfati idrosolubili	SS = 0.148%	SS = 0.068%
Contaminanti leggeri	assente	assente
Acqua di assorbimento	WA ₂₄ = 7.0	WA ₂₄ = 6.7
Resistenza al gelo e disgelo	41%	42%
Resistenza al solfato di magnesio	2.56%	0%
Presenza di humus	assente	assente

Contenuto di malta residua negli RA

RMC (%)	RA_F	RA_T
Trattenuto al setaccio 4 mm	55.81%	49.67%
Trattenuto al setaccio 10 mm	45.82%	45.65%

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ CALCESTRUZZI RICICLATI - STUDIO DELLE MISCELE



Studio delle miscele



Slump Test T0



Slump Test T30

Proporzioni delle miscele di calcestruzzo

Notazione	a/c	Cemento (kg/m ³)	acqua (l/m ³)	NA fine (kg/m ³)	NA grosso (kg/m ³)	RA_F grosso (kg/m ³)	RA_T grosso (kg/m ³)	Additivo (kg/m ³)	Densità (kg/m ³)
NC	0.463	400	185	847.49	880.06	-	-	2.91	2322
RC_T30%	0.463	400	185	821.8	616.04	-	263.69	3.31	2293
RC_F30%	0.463	400	185	821.8	616.04	263.69	-	3.31	2287
RC_T50%	0.463	400	185	802.97	440.03	-	440.27	3.31	2298
RC_F50%	0.463	400	185	802.97	440.03	440.27	-	4.00	2283
RC_T80%	0.463	400	185	778.15	176.01	-	703.96	4.00	2268
RC_F80%	0.463	400	185	778.15	176.01	703.96	-	4.00	2229

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ CALCESTRUZZI RICICLATI - CARATTERIZZAZIONE DEGLI RC



Produzione cubetti e cilindri in RC



Resistenza a Compressione

Prestazioni meccaniche del RC

Notazione	Massa Volumica 28 gg (Kg/m ³)	Resistenza a compressione 14 gg (MPa)	Resistenza a compressione 28 gg (MPa)	Resistenza a trazione indiretta (MPa)	Modulo Elastico (MPa)
NC	2308	39	42	3.66	26037
RC_T30%	2308	42	45	3.78	23512
RC_F30%	2281	41	44	3.89	24902
RC_T50%	2266	44	44	3.90	23011
RC_F50%	2303	44	47	3.40	25509
RC_T80%	2265	43	47	3.85	23486
RC_F80%	2227	40	44	3.69	24043



ANALISI DEI RISULTATI

➤ **CARATTERIZZAZIONE DEGLI RA**

GLI AGGREGATI RICICLATI SONO IDONEI PER
L'IMPIEGO NEL CALCESTRUZZO STRUTTURALE

➤ **CARATTERIZZAZIONE DEGLI RC**

IL CALCESTRUZZO RICICLATO E' DI TIPO STRUTTURALE



GLI AGGREGATI RICICLATI E LE AZIENDE DI PREFABBRICAZIONE



Produzione di Blocchi in RC



Prova di Assorbimento



Resistenza a Compressione



GLI AGGREGATI RICICLATI E LE AZIENDE DI PREFABBRICAZIONE



Mix	Densità media (kg/m ³)	Assorbimento medio (g/(m ² · s ^{0.5}))	Resistenza a compressione (N/mm ²)
NA	2069	108.9	3.77
20% RA	2009	103.9	3.58
50% RA	2087	93.3	3.58
70% RA	2039	126.3	2.85
100% RA	1954	111.1	3.40



Prova di Assorbimento



Resistenza a Compressione

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector

➤ **GLI AGGREGATI RICICLATI E LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA**

Caso Studio

Uso degli RA nell'elaborazione e attuazione dei piani di utilizzo dei litorali e dei piani urbanistici comunali per tre comuni del Sud Sardegna, nel territorio del Sulcis.

Obiettivo

Definire un approccio metodologico per l'inclusione degli RA nella pianificazione su scala locale.

Metodologia

Elaborazione di:

- Un quadro logico della Valutazione Ambientale Strategica (VAS), considerando il Piano Urbanistico Comunale (PUC), il Piano di Utilizzo dei Litorali (PUL) e i Piani di Gestione dei siti della Rete Natura 2000 (PdG).
- Una metodologia per determinare la domanda di RA sulla base delle previsioni del PUC e del PUL.





Comuni oggetto di indagine



Le azioni previste dal PUC, PUL e Pdg sono:

- **A Carloforte**, per la sottozona F2 (insediamenti turistici spontanei), una espansione turistica delle parti del territorio interamente o parzialmente inedificate destinate a nuovi complessi turistici.
- **A Calasetta**, la realizzazione di piste ciclabili e pedonali che colleghino il centro con le aree costiere.
- **A Portoscuso**, la realizzazione di piste ciclabili e pedonali.

Sulla base delle previsioni decennali del PUC, si è stimata la quantità di RA per le nuove costruzioni, la manutenzione di edifici esistenti e la costruzione di piste ciclabili e pedonali.

I dati a disposizione per ogni zona o per ogni isolato sono le volumetrie esistenti e previste, gli indici fondiari e territoriali.

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector



Sulla base del PUC e del PUL, attualmente cogenti, è stata calcolata per una ipotetica costruzione la superficie coperta a partire dalla volumetria e la superficie complessiva.

Per la stima della quantità di materiale si è considerato che la quantità di aggregato necessaria per le **Nuove Costruzioni** sia pari a circa **2 t/m²** e per la **Manutenzione di costruzioni** esistenti pari a circa **0.1 t/m²**.

Il quantitativo di aggregati necessari per la realizzazione di **Piste ciclabili e pedonali** è pari a circa **0,5 t/m²**.

Si è considerato un peso degli aggregati da impiegare pari al 30% del peso del calcestruzzo da confezionare.

Le miscele di RC possono contenere RA grossi in luogo degli NA fino all'80% per gli edifici e pari al 100% per le piste ciclabili e pedonali

Quantità stimate di RA e C&DW da riciclare (previsione PUC decennale)

Comune	Calasetta		Carloforte		Portoscuso	
% sostituzione RA	30%	80%	30%	80%	30%	80%
RA nuove costruzioni (t)	8673	23127	15336	40897	18753	50008
RA manutenzione costruzioni esistenti (t)	152	404	342	911	486	1296
Comune	Calasetta		Carloforte		Portoscuso	
% sostituzione RA	100%		100%		100%	
RA sottofondi stradali (t)	34198		167872		66989	
Comune	Calasetta		Carloforte		Portoscuso	
RA totali (t)	43022	57729	183550	209675	86228	118794
C&D da riciclare (t)	86044	115458	367100	419359	172456	236587

Conclusioni



1. Il calcestruzzo riciclato prodotto con aggregati riciclati presenta prestazioni meccaniche equivalenti a quelle del calcestruzzo normale, anche quando la percentuale di sostituzione dell'aggregato naturale raggiunge l'80%.
2. Le prestazioni del calcestruzzo riciclato non sono correlate alle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo genitore, ma è fondamentale definire una composizione accurata della miscela.
3. I risultati preliminari dei test di durabilità sul calcestruzzo riciclato mostrano prestazioni ottimali anche a lungo termine.
4. Elementi prefabbricati come i blocchi di calcestruzzo, possono essere realizzati con RA, senza modifiche del processo di produzione. Le prestazioni dei blocchi in RC, realizzati con percentuali di sostituzione fino al 50%, non sono influenzate dalla presenza di RA, per percentuali di sostituzione superiori al 70% si possono osservare prestazioni leggermente inferiori.
5. La mappatura dei rifiuti e la demolizione selettiva dovrebbero essere promosse e applicate laddove possibile.
6. La sinergia fra le associazioni di categoria, il gruppo di ricerca dell'Università di Cagliari e l'Amministrazione Pubblica è necessaria per portare avanti progetti pilota che dimostrino la fattibilità di impiego degli RA nella produzione di calcestruzzo strutturale, nella realizzazione di elementi prefabbricati di calcestruzzo e non soltanto come materiale di riempimento e/o sottofondo stradale.

Recycled Aggregates: Circular Economy in the construction sector



RINGRAZIAMENTI:

- L'Impianto di riciclaggio di materie prime seconde:
Rifiuti Edili Recycle, Quartucciu (Cagliari).
- Il Produttore di Calcestruzzo:
Calcestruzzi s.p.a Italcementi, Quartu Sant'Elena (Cagliari).
- Le Aziende di Prefabbricazione:
Manufatti in Cemento di Roberto Farris, Villaspeciosa (Cagliari).
Vibrocemento srl, Monastir (Cagliari).
- La Ditta di Indagini Strutturali:
Secured Solutions s.r.l. Spin-Off UNICA
- Per il supporto finanziario **Sardegna Ricerche (fondi POR FESR 2014/2020 - ASSE PRIORITARIO I "RICERCA SCIENTIFICA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE).**

Grazie a Voi per l'Attenzione