







Studi e ricerche per un'economia circolare nel settore dei rifiuti da costruzione e demolizione

INDICAZIONI E CRITERI PFR L'UTILIZZO DEGLI AGGREGATI RICICLATI NEL SETTORE EDILE, STRADALE E AMBIENTALE

16 Aprile 2018

Prof.ssa Sabrina Sorlini, Ing. Luca Cominoli, Dott.ssa Alessandra Diotti

Università degli Studi di Brescia

COLLABORAZIONE ANCE-UNIVERSITA' DI BRESCIA

- ✓ Caratteristiche degli aggregati da C&D
- ✓ <u>Inquadramento delle normative</u> di settore riguardanti il recupero di aggregati da C&D e la caratterizzazione tecnica dei prodotti
- ✓ Analisi delle <u>linee guida</u> nazionali e internazionali sul recupero di aggregati da C&D
- ✓ <u>Review bibliografica</u> sulle diverse esperienze, anche a livello internazionale, di recupero degli aggregati riciclati in diversi campi: produzione di calcestruzzo e manufatti cementizi, costruzione di strade, opere di ripristino ambientale.
 - ✓ Focus sull'utilizzo per la <u>produzione di calcestruzzo</u> e manufatti cementizi
- Analisi di alcune esperienze sul recupero ed utilizzo di aggregati riciclati nei settori edile, stradale ed ambientale
- Elaborazione di un documento contenente indicazioni e criteri per il recupero degli
 aggregati da C&D nel settore edile (calcestruzzo), stradale e ambientale

AGGREGATI DA C&D (AR)

Materiale granulare utilizzato nelle costruzioni

NATURALE (AN)

Aggregato di origine minerale sottoposto unicamente a lavorazione meccanica



RICICLATO (AR)

Aggregato risultante dalla lavorazione di materiale inorganico utilizzato nelle costruzioni



ARTIFICIALE (AI)

Aggregato minerale derivante da un **processo industriale** che implica una modificazione termica o di altro tipo



Fonti: UNI EN 12620, UNI EN 13242, UNI EN 13043

ORIGINE

AGGREGATO NATURALE (AN)

Da **giacimenti naturali** o dalla frantumazione di rocce

AGGREGATO RICICLATO (AR)

Da processi di recupero di RIFIUTI DA COSTRUZUIONE e DEMOLIZIONE (C&D)



CATALOGO EER – Capitolo **17** "Rifiuti dalle attività di costruzione e demolizione"

EER	DESCRIZIONE			
17 01	Cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche			
17 02	Legno, vetro e plastica			
17 03	Miscele bituminose e catrame di carbone			
17 04	Metalli (incluse le loro leghe)			
17 05	Terra (compreso il terreno proveniente da siti contaminati), rocce e fanghi di dragaggio			
17 06	Materiali isolanti e materiali da costruzione contenenti amianto			
17 08	Materiali da costruzione a base di gesso			
17 09	Altri rifiuti dall' attività di costruzione e demolizione			
17 09 04	Rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione			

AGGREGATO ARTIFICIALE (AI)

Da impianti di (esempi):

- Incenerimento di rifiuti solidi urbani (ceneri pesanti)
- Centrali termoelettriche a carbone (ceneri volanti)
- Industrie di produzione di ferro e acciaio (scorie siderurgiche)
- Fonderie (sabbie di fonderia)

PRODUZIONE DEI RIFIUTI DA C&D IN ITALIA (ISPRA, 2017)

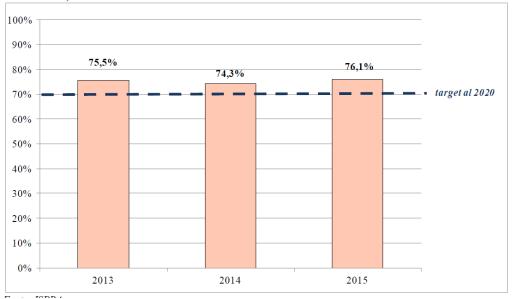
Nel 2015 : **132,4 milioni di tonnellate** di **rifiuti speciali (RS)** (93% RNP)

Rifiuti C&D= 54,1 milioni di tonnellate (40% RS)

RECUPERO di MATERIA

29 milioni di tonnellate, con una **percentuale di recupero** di oltre il 76%*

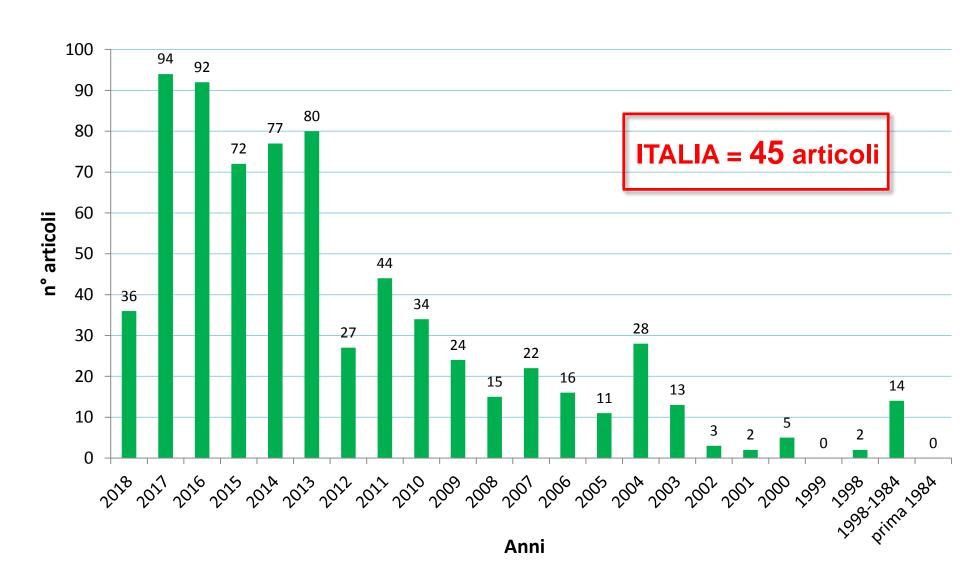
Figura 4.4 – Andamento della percentuale di preparazione per il riutilizzo, riciclaggio e delle altre forme di recupero di materia, escluso il backfilling, dei rifiuti da costruzioni e demolizioni, anni 2013-2015



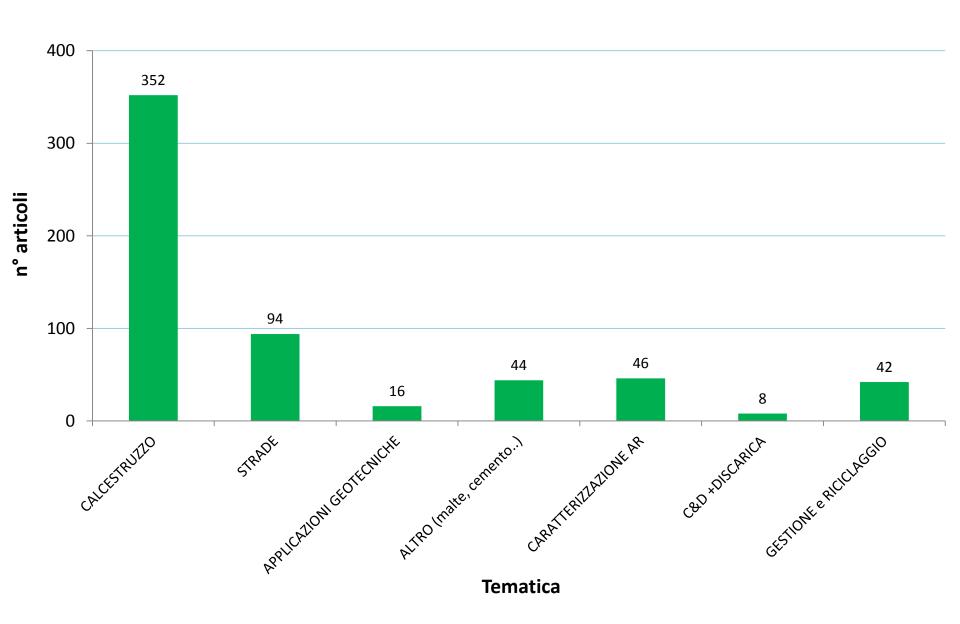
^{*}Calcolo eseguito secondo metodica 2011/753/UE: nel calcolo non sono considerate le terre e rocce da scavo e non sono considerate le operazioni di recupero R13, ovvero la messa in riserva

STUDI A LIVELLO INTERNAZIONALE

Dal 1998 al 2018 pubblicati \longrightarrow \approx 700 STUDI A LIVELLO INTERNAZIONALE



STUDI A LIVELLO INTERNAZIONALE



CARATTERISTICHE DEGLI AGGREGATI

CARATTERISTICHE FISICHE

PARAMETRI FISICI	NATURALI (AN)	RICICLATI (AR)	ARTIFICIALI (AI) *
FORMA	TondeggianteSuperficie liscia	 Frastagliata (causa maggior assorbimento d'acqua) 	FrastagliataStruttura spugnosaSuperficie ruvida
ASSORBIMENTO ACQUA (WA) UNI EN 1097-6	 Frazione fine 0,7% -1,2% Grossolana 0,3% -0,5% 	 Frazione fine 6% - 12% Grossolana 1,8% - 3% 	0,9 – 2,5 %
MASSA VOLUMICA DEI GRANULI (MV) UNI EN 1097-6	2500 – 2800 kg/m ³	<2100 – 2400 kg/m³	>> 2300 (3800) kg/m ³ secondo UNI 12620
RESISITENZA ALLA FRAMMENTAZIONE (Los Angeles) UNI EN 1097-2	 Rocce molto tenaci LA = 10% Rocce basaltiche LA = 20% Rocce compatte LA = 20-30% Rocce tenere LA > 30% 	Scarsa resistenza ad impatto LA ≈ 37% Assimilabile a ROCCE TENERE	18-23 %

* Scoria nera di prima fusione derivante da forno ad arco elettrico (EAF Slag)

Fonti:

⁻Tesi sperimentale di dottorato - Alice Toffano, "Caratterizzazione petrochimica e petrofisica di materiali inerti secondare da costruzione e demolizione, per la realizzazione di impasti ceramici ordinari e calcestruzzi", 2006-2009.

⁻ Caggiano et al., "Calcestruzzi confezionati con AR e cenere volante: risultati di una recente campagna sperimentale", Università di Salerno.

⁻ Sabrina Sorlini, "Il recupero delle scorie nell'edilizia", 2017.

COMPOSIZIONE CHIMICA

			Concentrazione sogli	a di contaminazione
Elemento		Valore medio	Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale [mg kg ⁻¹]	Siti ad uso commerciale ed industriale [mg kg ⁻¹]
Alluminio	[g/kg TS]	42	-	-
Calcio	[g/kg TS]	85	ı	-
Ferro	[g/kg TS]	13	1	-
Potassio	[g/kg TS]	16	1	-
Sodio	[g/kg TS]	11	-	-
Silicio	[g/kg TS]	260	ı	-
Magnesio	[g/kg TS]	3.7	ı	-
Solfati	[g/kg TS]	5.3	-	-
Arsenico	[mg/kg TS]	3.4	20	50
Bario	[mg/kg TS]	410	-	-
Cadmio	[mg/kg TS]	0.21	2	15
Cloruri	[mg/kg TS]	140	-	-
Cobalto	[mg/kg TS]	5.7	20	250
Cromo	[mg/kg TS]	23	150	800
Rame	[mg/kg TS]	18	120	600
Litio	[mg/kg TS]	13	-	-
Manganese	[mg/kg TS]	370	-	-
Molibdeno	[mg/kg TS]	0.80	-	-
Nichel	[mg/kg TS]	13	120	500
Fosforo	[mg/kg TS]	460	-	-
Piombo	[mg/kg TS]	33	100	1000
Antimonio	[mg/kg TS]	0.53	10	30
Selenio	[mg/kg TS]	<7	3	15
Stronzio	[mg/kg TS]	260	-	<u>-</u>
Vanadio	[mg/kg TS]	32	90	250
Zinco	[mg/kg TS]	67	150	1500
PCB _{tot}	[mg/kg TS]	0.017	0.06	5
Sum 16 IPA	[mg/kg TS]	5.9	10	100

Elementi **PRINCIPALI**

(g/kg)

Elementi in TRACCIA

(mg/kg)

 $^{\hbox{\scriptsize [1]}}$ IPA come Σ dei policiclici aromatici da 25 a 34 Tabella 1 parte IV D.Lgs 152/2006

COMPOSIZIONE CHIMICA

PARAMETRO	RICICLATO (AR) [mg/kg] EER 170904 Rifiuti non pericolosi
Silicio	300.000-400.000
Alluminio	502 – 12.020
Calcio	20.000-30.000
Cromo	5 – 278
Nichel	<1 – 87
Solfati	-
Piombo	<0,5 - 236
Vanadio	5,2 - 80
Arsenico	5 - 28
Rame	7-153
Vanadio	12-80
Ferro	211** - 13.000



Fonti

⁻ Alice Toffano, Tesi sperimentale di dottorato, 2006-2009.

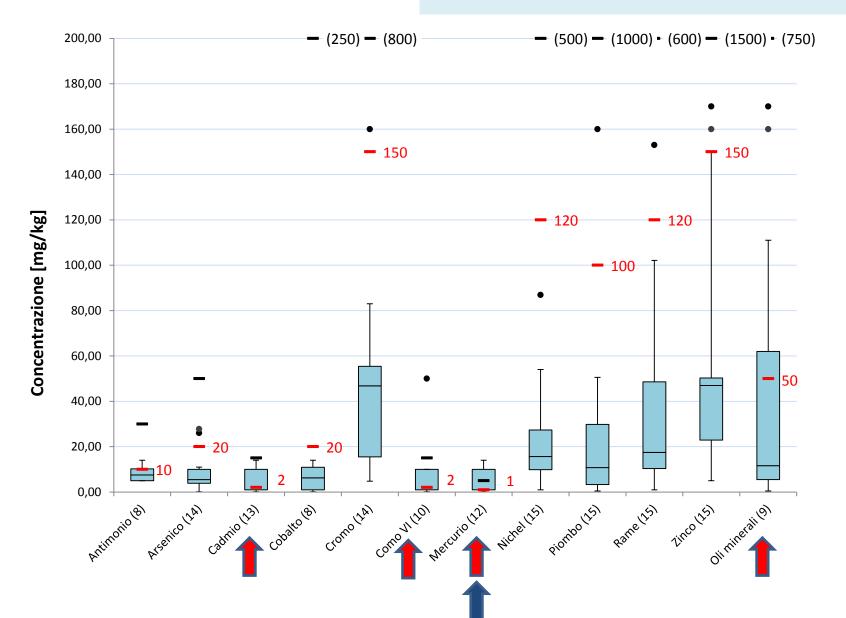
⁻Sabrina Sorlini , "Il recupero delle scorie nell'edilizia", 2017.

COMPOSIZIONE CHIMICA

D. Lgs. 152/2006 Parte IV, All. 5 Tab. 1

Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale

Siti ad uso commerciale e industriale



D.M. 05/02/98 s.m.i.: Procedure semplificate per rifiuti NON PERICOLOSI

Art. 3 (D.M. 05/02/98)

PRESTAZIONI TECNICHE

Le attività, i procedimenti e i metodi di riciclaggio e di recupero di materia individuati nell'allegato 1 devono garantire l'ottenimento di prodotti o di materie prime o di materie prime secondarie con caratteristiche merceologiche conformi alla NORMATIVA TECNICA DI SETTORE o, comunque, nelle forme usualmente commercializzate. In particolare, i prodotti, le materie prime e le materie prime secondarie ottenuti dal riciclaggio e dal recupero dei rifiuti individuati dal presente decreto non devono presentare caratteristiche di pericolo superiori a quelle dei prodotti e delle materie ottenuti dalla lavorazione di materie prime vergini.

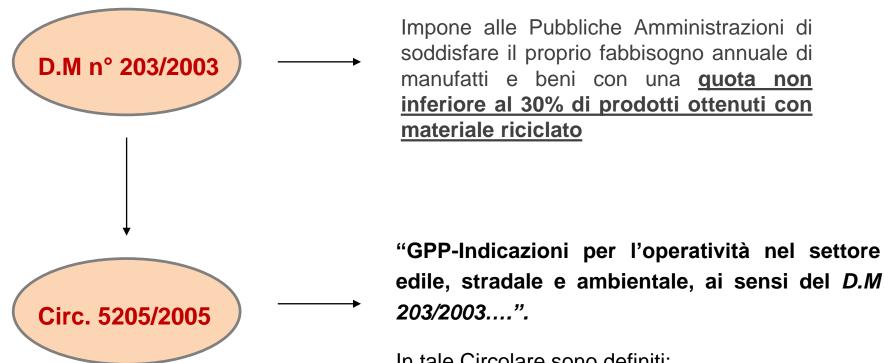


PRESTAZIONI TECNICHE NORMATIVE DI SETTORE PER LA MARCATURA CE

Le normative tecniche di settore per la marcatura CE di aggregati naturali o riciclati nel settore delle costruzioni sono:

UNI EN	N 12620:2008 "Aggregati per calcestruzzo"
	l 8520-1 "Istruzioni per l'applicazione della EN 12620 - PARTE 1: Designazione e criteri di formità"
□ UN	8520-2 "Istruzioni per l'applicazione della EN 12620 - PARTE 2: Requisiti
UNI EN	N 13139:2003 "Aggregati per malte"
UNI EN	N 13043:2004 "Aggregati per conglomerati bituminosi"
UNI EN	N 13055-1:2003 "Aggregati leggeri per calcestruzzi e malte"
UNI EN	N 13055-2:2005 "Aggregati leggeri per miscele bituminose, trattamenti superficiali e per applicazioni in strati legati e non legati"
UNI EN	l 13242:2008 "Aggregati per opere civili e stradali"
UNI EN	N 13450:2003 "Aggregati per massicciate ferroviarie"
UNI EN	N 13383-1:2003 "Aggregati grossi per opere idrauliche"

D.M. 203/2003 e Circolare 15/07/2005 n. 5205



- In tale Circolare sono definiti:
- alcuni dei possibili riutilizzi degli aggregati riciclati
- caratteristiche tecniche e prestazionali
- Aggregato riciclato (AR): risulta dal trattamento di rifiuti organici post-consumo derivanti dalla demolizione e manutenzione, anche parziale, di opere edili e infrastrutturali
- Indica limite di rifiuti inerti nell'AR (min 60%-max 100%)

CIRCOLARE 15/07/2005 n. 5205

Esempi di possibili riutilizzi degli AGGREGATI RICICLATI

- **A1** Aggregato riciclato per la realizzazione del corpo dei rilevati di opere in terra dell'ingegneria civile → *Allegato C1*
- **A2** Aggregato riciclato per la realizzazione di sottofondi stradali, ferroviari, aeroportuali, piazzali civili e industriali → Allegato C2
- A3 Aggregato riciclato per la realizzazione di strati di fondazioni delle infrastrutture di trasporto e piazzali civili e industriali → Allegato C3
- **A4** Aggregato riciclato per la realizzazione di recuperi ambientali, riempimenti e colmate → *Allegato C4*
- **A5** Aggregato riciclato per la realizzazione di **strati accessori** aventi funzioni antigelo, anticapillare, drenanti → *Allegato C5*
- A6 Aggregato riciclato per il confezionamento calcestruzzi con classe di resistenza Rck ≤15 MPa → UNI 8520-2

Allegato CI CORPO DEI RILEVATI

ALLEG CARATTERISTICHE PRESTAZIONA	ATO -C- ALI DEGLI AGGREGAT	I RICICLATE
Allegato CI CORPO DEI RILEVATI		Control of the Contro
PARAMETRO	MODALITÀ DI PROVA	LIMITE
Material i litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie spente e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242).	Separazione visiva sul trattenuto al setaccio 8 mm (rif. UNI EN 13285:2004)	> 70% in massa
Vetro e scorie vetrose	Idem	≤ 15% in massa
Conglomerati bituminosi	Idem	≤ 25% in massa
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente	Idem	≤ 15% in totale e ≤ 5% per ciascuna tipologia
Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie in plastica, etc.	Idem	≤ 0,1% in massa
Altri materiali (metalli, gesso*, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, etc.)	Idem	≤ 0,6 % in massa
Passante al setaccio da 63 mm	UNI EN 933/1 (**)	85 - 100%
Passante al setaccio da 4 mm	UNI EN 933/1 (**)	≤ 60%
Passante al setaccio da 0,063 mm	UNI EN 933/1 (**)	≤ 15%
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	>20
Dimensione massima D _{max}	UNI EN 933/1	= 125 mm
Ecocompatibilità	Test di cessione di cui all'All. 3 DM 05/02/1998	Il materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal DM 5 febbraio 1998
(*) Il gesso dev gocce di soluzio (**) La serie di 0,063 mm. Nota 1: La prep 1097/5).		o con della sovrastruttura 5, di fondazione I EN
Nota 2: I costitt calcestruzzo sci passanti al seta: Nota 3 (Freque ingegneria civil disomogeneità c	**************************************	Strato di sottofondo , Corpo del rilevato nire ; di
un periodo di ui Possono essere cui si riferisce.	erreno di sedime	otto

CIRCOLARE 15/07/2005 n. 5205

Tabella riassuntiva dei LIMITI di ACCETTABILITA' per la

COMPOSIZIONE delle miscele (% in massa)

Uso Materiale	Corpo dei rilevati	Sottofondi stradali	Strati di fondazione	Riempimenti e colmate	Strati accessori (Antigelo)	
Materiali litici, pietrisco, cls, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte, intonaci, scorie spente e loppe	> 70%	> 80%	> 90%	> 70%	> 80%	
Vetro e scorie vetrose	≤ 15%	≤ 10%	≤ 5%	≤ 15%	≤ 10%	
Conglomerati bituminosi	≤ 25%	≤ 15%	≤ 5%	≤ 25%	≤ 15%	
Altri rifiuti minerali di cui sia ammesso il recupero dalla legislazione vigente	≤15% tot. e ≤ 5% per tipologia	≤15% tot. e ≤ 5% per tipologia	≤ 5% per tipologia	≤15% tot. e ≤ 5% per tipologia	≤15% tot. e ≤ 5% per tipologia	
Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, Meteriali plastici cavi	≤ 0,1%	≤0,1%	≤0,1%	≤ 0,1%	≤0,1%	
Altri materiali (metalli, gesso, gomme, guaine)	≤ 0,6%	≤0,4%	≤ 0,4%	≤ 0,6%	≤ 0,4%	
Coeff. Los Angeles (%)(EN 1097-2)	non previsto	< 45	< 30	non previsto	non previsto	
Indice di Forma (%) (EN 933-4)	non previsto	≤ 40	≤ 40	non previsto	non previsto	
Indice di Appiattimento (%)	non previsto	≤ 35	≤ 35	non previsto	non previsto	
Ecocompatibilità	Il materiale dov	rà risultare confori	Ecocompatibilità II materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal D.M. 5 Febbraio 1998			

MATERIALI DEPERIBILI

punta ancora di più qualità dei materiali presenti nella miscela!

limitata allo **0,1%** in massa per tutti gli usi

il volume occupato inizialmente da questi materiali dopo la degradazione delle sostanze organiche crea vuoti interstiziali che provocano, nel tempo, cedimenti.

ECOCOMPATIBILITA' → il materiale deve risultare conforme al test di cessione previsto dal D.M. 05/02/98

CIRCOLARE 15/07/2005 n. 5205

Fissa le CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI degli AR (Allegato C)

Il materiale riciclato, per essere considerato idoneo all'impiego, deve essere caratterizzato da prove geotecniche di laboratorio per le quali si rimanda alle norme tecniche



UNI EN 13242: 2008

Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade



Specifica le **proprietà** degli aggregati ottenuti mediante:

- processo <u>naturale</u> o industriale oppure
- riciclati

per impiego in opere di <u>ingegneria civile</u> e nella <u>costruzione di strade</u>

CARATTERISTICHE DEGLI AGGREGATI RICICLATI (AR)

I diversi requisiti necessari alla marcatura CE dell'aggregato vengono suddivisi in **GEOMETRICI, FISICI E CHIMICI**

Requisiti <u>GEOMETRICI</u>

Caratteristica	Proprietà	Metodo di prova	
Dimensione dell'aggregato	Designazione dimensionale	d/D	UNI EN 933-1
Granulometria	Tolleranza/categoria	G_{xx}	UNI EN 933-1
Forms deali aggregati grassi	Coefficiente di appiattimento	Fl _{xx}	UNI EN 933-3
Forma degli aggregati grossi	Indice di forma	SI _{xx}	UNI EN 933-4
Contenuto in fini	Contenuto in fini	f_{xx}	UNI EN 933-1
Ovalità dai fini	Equivalente in sabbia	SE	UNI EN 933-8
Qualità dei fini	Valore di blu di metilene	MB	UNI EN 933-9

Esempi:

Designazione dimensionale

L'aggregato deve essere caratterizzato in termini dimensionali mediante l'espressione del rapporto d/D in cui d rappresenta la dimensione minima dei grani presenti, mentre D rappresenta la dimensione massima.

Indice di forma

Il valore dell'indice di forma esprime la percentuale di particelle di aggregato di forma allungata, definite dalla norma come "non cubiche", sul totale della massa della porzione di prova.

CARATTERISTICHE DEGLI AGGREGATI RICICLATI (AR)

Requisiti FISICI

Caratteristica	Proprietà	Proprietà		
Massa volumica dei granuli	Massa volumica dei granuli	MV	UNI EN 1097-6	
Assorbimento d'acqua	Assorbimento d'acqua	%WA	UNI EN 1097-6	
Resistenza alla frammentazione	Prova Los Angeles	LA	UNI EN 1097-2	
Resistenza alla levigabilità / abrasione / usura	Resistenza all'usura (micro Deval)	M_{DE}	UNI EN 1097-1	
	Resistenza al solfato di magnesio	MS	UNI EN 1367-2	
Resistenza al gelo/disgelo	Resistenza ai cicli gelo-disgelo	F	UNI EN 1367-1	
Durabilità alla reazione alcali-silice	Reattività alcali-silice	-	UNI 8520-22	
Stabilità di volume	Ritiro per essiccamento	%WS	UNI EN 1367-4	

Esempi:

Resistenza a cicli di gelo-disgelo

La prova di resistenza al gelo-disgelo consiste nel sottoporre l'aggregato a dieci cicli di gelo-disgelo terminati i quali si analizzano gli effetti sui granuli, in relazione soprattutto alla nascita di fessurazioni o eventuali perdite di massa.

Resistenza alla frammentazione

La resistenza alla frammentazione dell'aggregato grossolano viene ottenuta mediante il test "Los Angeles", che consiste nel valutare quanta frazione fine viene prodotta ponendo l'aggregato a contatto con una carica di sfere di acciaio.

CARATTERISTICHE DEGLI AGGREGATI RICICLATI (AR)

Requisiti <u>CHIMICI</u>

Caratteristica	Proprietà		Metodo di prova
	Contenuto di cloruri solubili in acqua	С	UNI EN 1744-1
	Contenuto di cloruri solubili in acido	-	UNI EN 1744-5
Composizione e contenute	Contenuto di solfati solubili in acqua		UNI EN 1744-1
Composizione e contenuto	Contenuto di solfati solubili in acido	As	UNI EN 1744-1
	Contenuto di zolfo totale	S	UNI EN 1744-1
	Contenuto di carbonato	%CO ₂	UNI EN 1744-1
Solubilità dei componenti in acqua	Solubilità dei componenti in acqua	-	UNI EN 1744-1
Perdita di massa dopo ignizione	Perdita di massa dopo ignizione	-	UNI EN 1744-1
Contenuto di calce libera	Contenuto di calce libera		UNI EN 1744-1
Costituenti che influenzano la stabilità di	Disintegrazione del silicato dicalcico	-	UNI EN 1744-1
volume di scorie raffreddate con aria	Disintegrazione del ferro	-	UNI EN 1744-1
volume di scorie rameddate con aria	Espansione delle scorie	-	UNI EN 1744-1
Influenza sul tempo di inizio presa del cemento	Influenza sul tempo di inizio presa del cemento	Α	UNI EN 1744-6
	Sostanza umica	-	UNI EN 1744-1
Componenti che alterano la velocità di presa e	Acido fulvico	-	UNI EN 1744-1
di indurimento del calcestruzzo	Contenuto di contaminanti leggeri		UNI EN 1744-1
	Contaminanti organici (metodo malta)	-	UNI EN 1744-1
Eluato per dilavamento aggregati	Eluato per dilavamento aggregati	-	UNI EN 1744-3

<u>N.B.</u>

L'attenzione della normativa europea nei confronti di aggregati di riciclo è testimoniata dal fatto che la norma UNI EN 1744-1, che raggruppa la grande maggioranza dei requisiti chimici degli aggregati, nella parte conclusiva, descriva le metodiche di analisi di alcuni parametri da valutare solo per aggregati di origine non naturale.

COMPATIBILITA' AMBIENTALE

TEST di CESSIONE

Per il recupero diretto (massicciate ferroviarie, recuperi ambientali, etc.), i rifiuti devono essere sottoposti a test di cessione (secondo la metodica UNI EN 12457-2) e rispettare i limiti imposti dal DM 186/2006 (modifica al DM 5/2/98) sulla lisciviazione di alcuni composti inquinanti.

Per le operazioni di <u>recupero R5</u> (realizzazione di rilevati e sottofondi stradali, massicciate ferroviarie, piazzali industriali, utilizzo per la copertura di discariche per RSU) e <u>R10</u> (utilizzo per recuperi ambientali) il recupero è subordinato all'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale secondo il metodo in allegato 3 al presente decreto

TEST DI CESSIONE

DM 5 febbraio 1998 smi con DM 186/2006 Allegato 3

Metodica – UNI EN 12457-2

- La granulometria del campione deve presentare almeno il 95% di frazione passante allo staccio da 4 mm.
- Il rapporto liquido/solido deve essere pari a 10 L/kg.

La durata del contatto tra rifiuto e agente lisciviante (acqua demineralizzata) deve essere

pari a 24 ore.



Dopo le 24 h, si lascia decantare per almeno 15', si filtra e il lisciviato sottoposto a caratterizzazione chimica.

TEST DI CESSIONE

Il DM 186/2006 definisce le **concentrazioni di inquinanti** che devono essere rispettate affinché il rifiuto possa essere recuperato.

Parametri	U.M.	Conc. limite
Nitrati	mg/L	50
Fluoruri	mg/L	1,5
Solfati	mg/L	250
Cloruri	mg/L	100
Cianuri	μg/L	50
Bario	mg/L	1
Rame	mg/L	0,05
Zinco	mg/L	3
Berillio	μg/L	10
Cobalto	μg/L	250
Nichel	μg/L	10

Parametri	U.M.	Conc. limite
Vanadio	μg/L	250
Arsenico	μg/L	50
Cadmio	μg/L	5
Cromo totale	μg/L	50
Piombo	μg/L	50
Selenio	μg/L	10
Mercurio	μg/L	1
Amianto	mg/L	30
COD	mg/L	30
рН	-	5,5-12

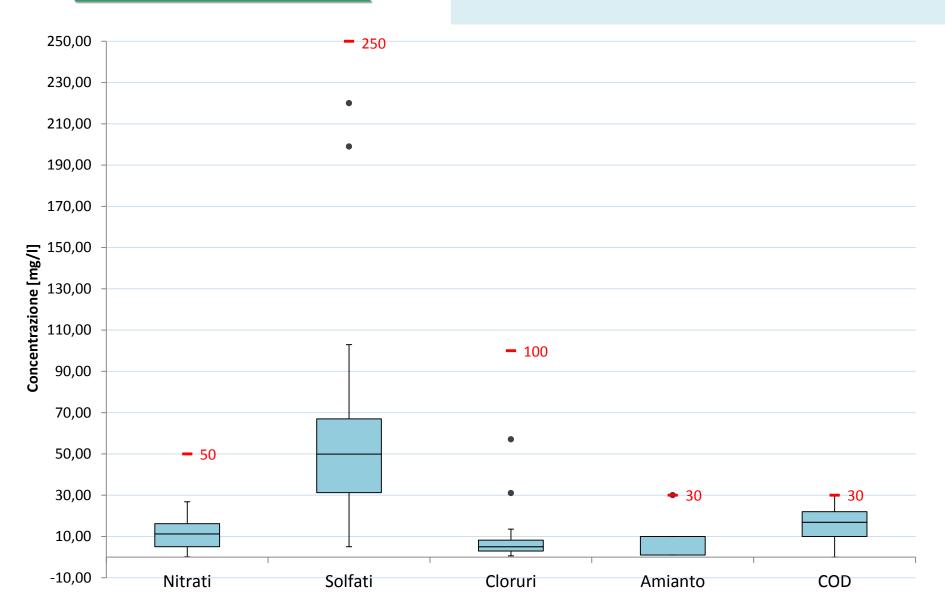
TEST DI CESSIONE DM 186/2006

ELEMENTO	U.M	Gestore 1	Gestore 2	LIMITI
Nitrati	[mg/l]	8,5-18,9	<5	50
Fluoruri	[mg/l]	0,1-0,92	0,1-0,8	1,5
Solfati	[mg/l]	9,5-103	5-80,8	250
Cloruri	[mg/l]	1-31	<5	100
Cianuri	[µg/l]	0,05-25	<10	50
Bario	[mg/l]	0,1-0,21	0,01-0,07	1
Rame	[mg/l]	0,01-0,093	<0,01	0,05
Zinco	[mg/l]	0,01-0,092	0,01-0,03	3
Berillio	[µg/l]	1-5	<1	10
Cobalto	[µg/l]	1,22-10	<5	250
Nichel	[µg/l]	2-9,8	<5	10
Vanadio	[µg/l]	5-43	19,2-56	250
Arsenico	[µg/l]	5-10	<5	50
Cadmio	[µg/l]	1-3	<1	5
Cromo totale	[µg/l]	34-183	5-29	50
Piombo	[µg/l]	5-79	<5	50
Selenio	[µg/l]	1-5	<10	10
Mecurio	[µg/l]	0,5-1	<1	1
Amianto	[mg/l]	-	<1	30
COD	[mg/l]	12,2-43,3	10-27,6	30
рН		9,2-11,9	7,9-10,9	5,5-12

Fonte:
-Dati gestori cave (25 analisi).

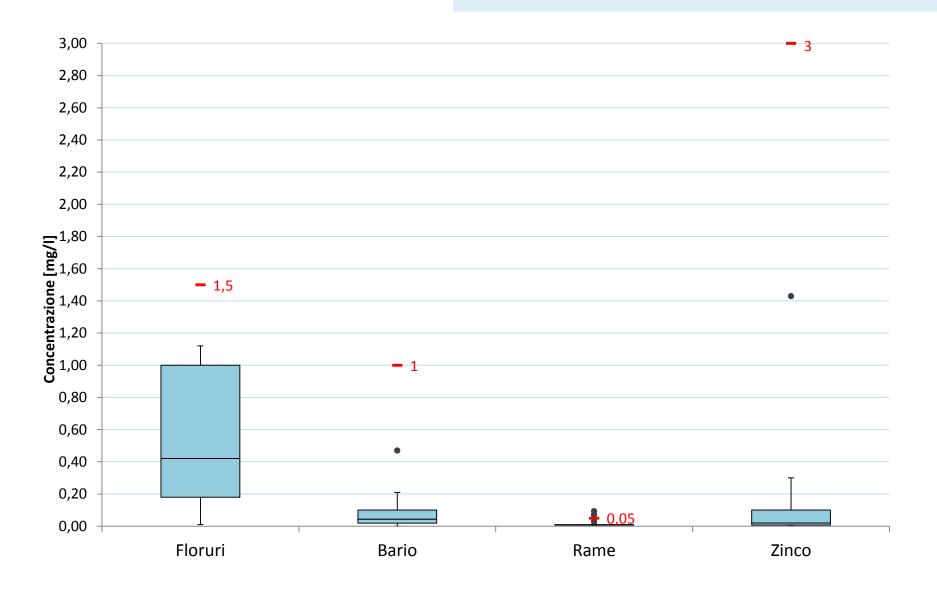
TEST DI CESSIONE

Concentrazione limite (D.M. 186/2006)



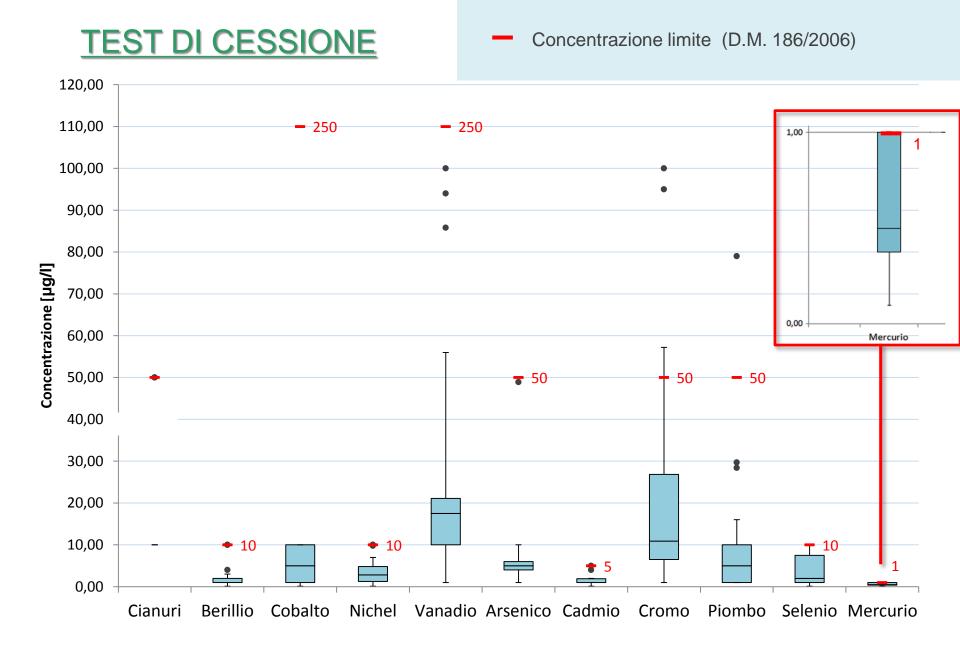
TEST DI CESSIONE

Concentrazione limite (D.M. 186/2006)



Fonte:

-Dati gestori cave (25 analisi).

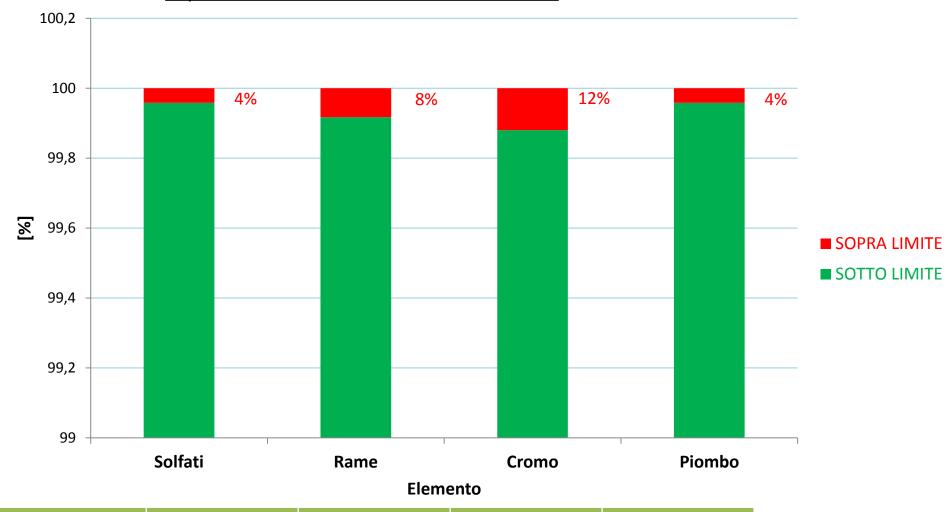


Fonte:

-Dati gestori cave (25 analisi).

TEST DI CESSIONE

% di <u>superamento del limite di concentrazione</u> secondo D.M. 05/02/98 s.m.i.



	SOLFATI [mg/L]	RAME [mg/L]	CROMO [μg/L]	PIOMBO [μg/L]
Limite di concentrazione	250	0.05	50	50
n° campioni	24	24	25	24

Fonte:
-Dati gestori cave (25 analisi).

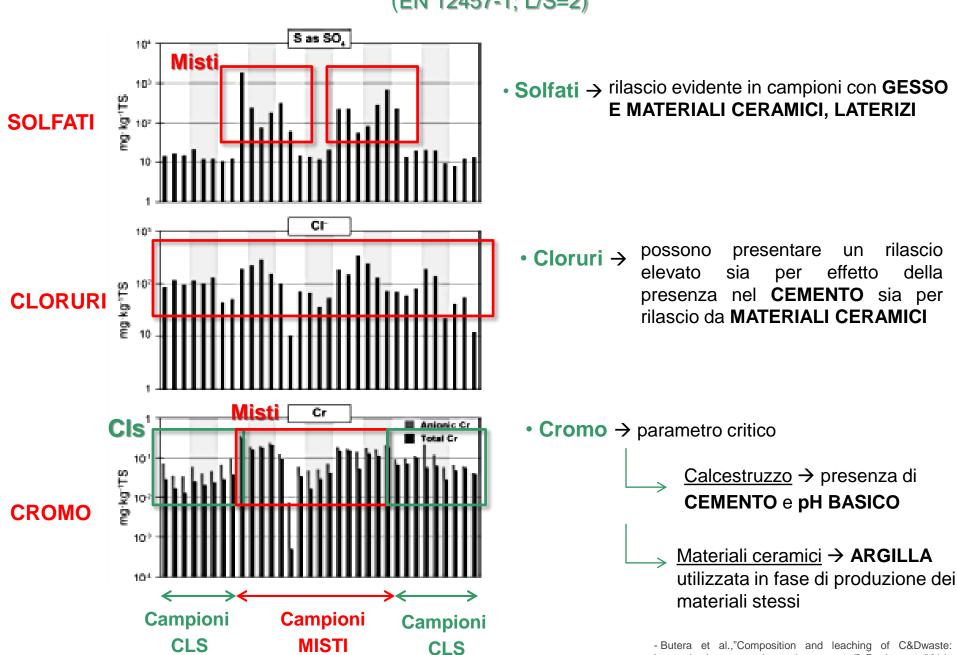
TEST DI CESSIONE (EN 12457-1)

- Butera et al.,"Composition and leaching of C&Dwaste: inorganic elements and organic compound", Danimarca, 2014.

Elemento		Valore medio	LIMITI
Alluminio	[mg/L]	1,6	-
Calcio	[mg/L]	395	-
Ferro	[mg/L]	0,085	-
Potassio	[mg/L]	125	-
Sodio	[mg/L]	90	-
Silicio	[mg/L]	6	-
Magnesio	[mg/L]	0,049	-
Solfati	[mg/L]	75	250
Arsenico	[µg/L]	16	50
Bario	[mg/L]	0,8	1
Cadmio	[µg/L]	1	5
Cloruri	[µg/L]	55	100
Cobalto	[µg/L]	9,5	250
Cromo	[µg/L]	55	50
Rame	[mg/L]	0,05	0,05
Litio	[µg/L]	190	-
Manganese	[µg/L]	6	-
Molibdeno	[µg/L]	15	-
Nichel	[µg/L]	35,5	10
Fosforo	[µg/L]	60	-
Piombo	[µg/L]	9,5	50
Antimonio	[µg/L]	36	-
Selenio	[µg/L]	32	10
Stronzio	[µg/L]	7500	-
Vanadio	[µg/L]	18,5	250
Zinco	[mg/L]	0,13	3
COD	[mg/L]	17,5	30
рН		11,92	5,5-12

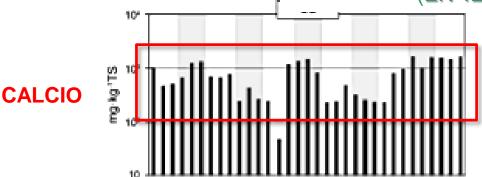
TEST DI CESSIONE

(EN 12457-1; L/S=2)



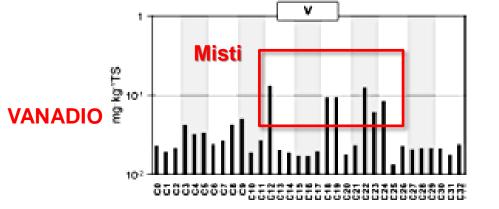
TEST DI CESSIONE





• Calcio → rilasciato in misura elevata:

- sia in campioni costituiti da CLS
- sia in materiali con MURATURA



pН

Vanadio → Rilasci generalmente contenuti

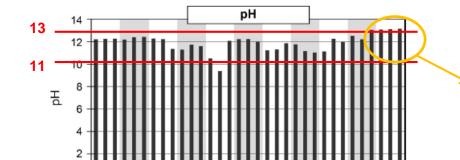


però:

parametro critico in campioni con materiali CERAMICI e LATERIZI

argille primarie per la produzione

nei pigmenti di rivestimento



MISTI

CLS

CLS

- pH → Valori compresi tra 11 e 13
 - Campioni cls "recente" preconfezionato

pH più **elevato** per la presenza di Ca (OH)₂ bassi livelli di carbonatazione

COMPATIBILITA' AMBIENTALE

ECOCOMPATIBILITÀ

Per il recupero diretto (massicciate ferroviarie, recuperi ambientali, etc.), i rifiuti devono essere sottoposti a test di cessione (secondo la metodica UNI EN 12457-2) e rispettare i limiti imposti dal DM 186/2006 (modifica al DM 5/2/98) sulla lisciviazione di alcuni composti inquinanti.

ECOCOMPATIBILITA'

Nel 2013, l'Istituto Superiore di Sanità ha emanato un Parere sulla «Classificazione dei rifiuti ai fini dell'attribuzione della caratteristica di pericolo **H14 – Ecotossico**» che, pur non essendo cogente, rappresenta un'analisi interessante sulla possibile ecotossicità dei rifiuti.

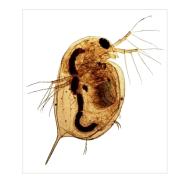
TEST DI ECOTOSSICITA'

Il Parere dell'Istituto Superiore di Sanità suggerisce di verificare l'eventuale caratteristica di ecotossicità di un rifiuto attraverso la determinazione dell'effetto inibitorio di:

- Batteri luminescenti (Vibrio fischeri) → tossicità acuta
- Alghe verdi unicellulari (*Pseudokirchneriella sub-capitata*) → <u>tossicità</u>

cronica

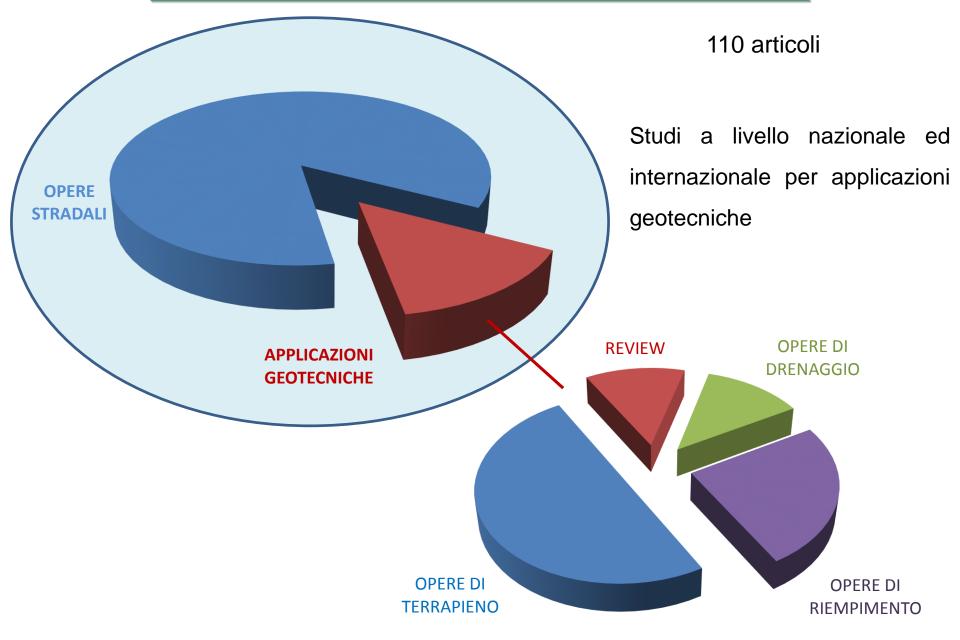
• Crostacei (Daphnia Magna) → tossicità acuta



Daphnia Magna

L'eluato prodotto tramite il test di cessione viene posto in contatto con le specie sopra riportate per 24-48 al fine di determinare l'eventuale effetto inibitorio sul loro sviluppo / vita.

APPLICAZIONI STRADALI E GEOTECNICHE



APPLICAZIONI GEOTECNICHE- ASPETTI AMBIENTALI

• Opere stradali e geotecniche

Valutare il comportamento di rilascio degli inquinanti :

Nella condizione IN SITO

a seguito di **COMPATTAZIONE**

Aumento densità del materiale



Investigare se tale fenomeno possa influenzare il rilascio

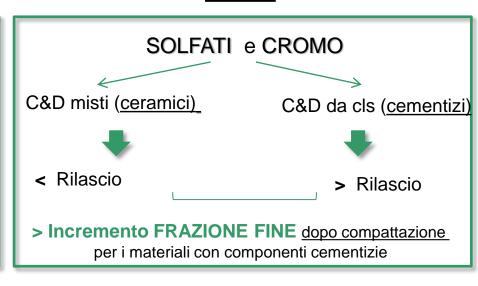


PRIMA

DOPO

Rilascio elevato di:

- SOLFATI → in tutti i materiali composti da gesso e materiali ceramici
- CROMO → nei materiali con <u>cls frantumato</u> e in
 C& D misti (ceramici e malte)
- CLORURI → dovuti alla presenza di sale antighiaccio nei mesi invernali (fino a 3000-8000 mg/l)



LINEE GUIDA IN ITALIA

- Linee guida analizzate:
 - Bologna, 2004
 - Trento, 2011
 - Bolzano, 2016
 - Veneto, 2012
 - Lazio, 2012
 - Liguria, 2015

Livello PROVINCIALE

Livello REGIONALE

SNPA - Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 2016

 Principale problematica riscontrata nel recupero dei rifiuti inerti: assenza sul piano normativo di dettagliati regolamenti tecnici e ambientali univoci dei materiali riciclati prodotti nella gestione di tali rifiuti.

 Obiettivo: definizione di criteri e indirizzi tecnici condivisi per il recupero dei rifiuti inerti con particolare riferimento agli aspetti relativi alle caratteristiche dei materiali di recupero utilizzati per la formazione di rilevati e sottofondi stradali e alle verifiche necessarie per assicurare che tali materiali siano impiegati in modo corretto nel rispetto della tutela ambientale.

Linea guida su modalità operative per la gestione e il controllo dei rifiuti da attività di C&D

Elenco di rifiuti inerti provenienti da attività di C&D smaltibili senza caratterizzazione

Codice	Descrizione	Restrizioni
17 01 01	Cemento	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione demolizione (Rifiuti contenenti
17 01 02	Mattoni	una percentuale minoritaria di metalli, plastica, terra, sostanze organiche,
4.5.4.0.5	Mattonelle e	legno, gomma, ecc., ed i rifiuti d cui al codice 17 09 04. L'origine dei rifiuti

Tabella 2.1. Rifiuti inerti provenienti da attività di costruzione e demolizione smaltibili senza caratterizzazione.

	deve essere nota.
ni,	 Esclusi i rifiuti prodotti dalla costruzione e dalla demolizione provenienti da costruzioni contaminate da sostanze pericolose inorganiche o organiche, ad esempio a causa dei processi produttivi adottati nell'edificio, dell'inquinamento del suolo, dello stoccaggio e dell'impiego di pesticidi o di altre sostanze pericolose, eccetera, a meno che non sia possibile escludere che la costruzione demolita fosse contaminata in misura significativa. Esclusi i rifiuti prodotti dalla costruzione e dalla demolizione provenienti da
	1

costruzioni trattate, coperte o dipinte con materiali contenenti sostanze

pericolose in quantità notevole.). 17 02 02 Vetro Esclusi i primi 30 cm di suolo, la torba e purché non provenienti da siti 17 05 04 Terra e rocce contaminati

Classificazione aggregati in base all'origine

17 01 03

17 01 07

ceramiche

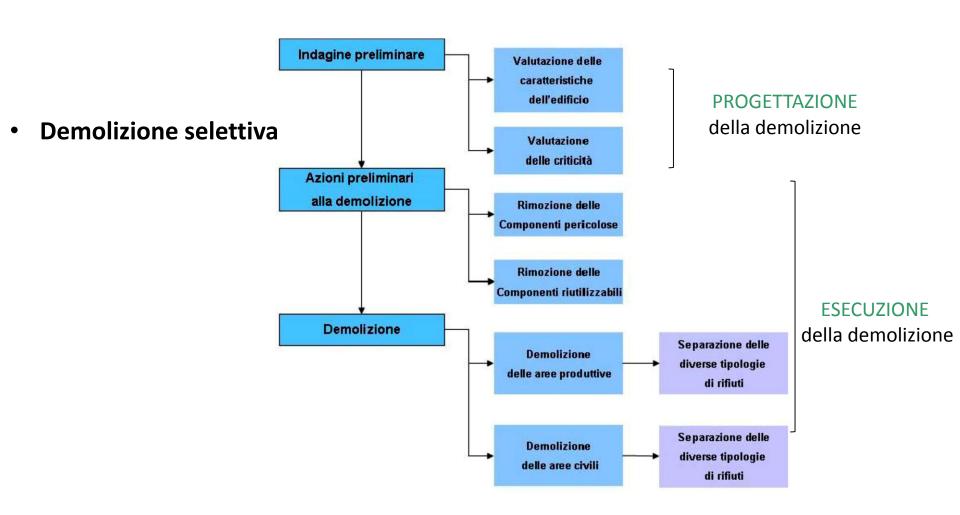
Miscugli di

mattonelle e ceramiche

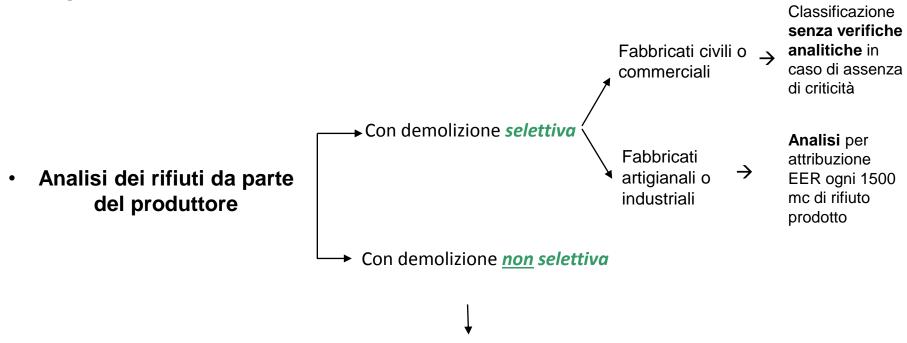
cemento, matton

Termine	Significato
AGGREGATO NATURALE	Aggregato di origine naturale che sia stato sottoposto solo a lavorazione meccanica
AGGREGATO RICICLATO	Aggregato risultante dalla lavorazione di materiale derivato da processi di recupero
AGGREGATO ARTIFICIALE O INDUSTRIALE	Aggregato minerale risultante da un processo industriale che implichi una modificazione termica o di altro tipo

Aspetti fondamentali:



Aspetti fondamentali:



- Analisi a prescindere dalla destinazione d'uso dell'edificio, su partite di volume max 500 mc
- Profilo chimico minimo richiesto conforme alla tipologia di edificio
- Deve essere dimostrata l'assenza di amianto nel rifiuto

 Caratteristiche impianto di recupero rifiuti da C&D Impianti fissi
Impianti mobili

Insieme di strutture tecnologiche uniche (ovvero macchinari che svolgono una operazione) per attività in sito *limitata nel tempo* (max. 120 giorni)

Caratteristiche ambientali e di qualità dei prodotti: per gli aggregati riciclati l'impianto è tenuto a predisporre, per ogni lotto di materiale , la <u>qualificazione</u> dello stesso seguendo le procedure e i metodi previsti dalla Norma UNI EN 13285:2010 "Miscele non legate - Specifiche". Le <u>caratteristiche</u> che devono essere <u>rispettate da tali prodotti sono contenute all'allegato C della Circolare Ministeriale 15 luglio 2005, n. UL/2005/5205.</u>

Caratteristiche prestazionali dei prodotti: I prodotti derivanti dal recupero dei rifiuti da costruzione e demolizione devono riportare obbligatoriamente la marcatura CE, il livello di attestazione di conformità deve rispondere ai contenuti del "sistema 4" o del "sistema 2+" in funzione del tipo di uso previsto e delle specifiche norme di riferimento applicabili (UNI EN 12620, 13242, 13043).

Relativamente agli <u>aggregati per calcestruzzi</u>, a quanto sopra <u>vanno aggiunte le prescrizioni previste dal D.M.</u> <u>14/1/2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"</u>.

 Prodotti dal recupero dei rifiuti da C&D

Frequenza prove

Nota 3 allegato C alla Circolare 5205/2005

Linee guida Paesi Europei

- Linee guida per migliorare la gestione dei rifiuti da C&D in Portogallo, 2010
- Gestione dei rifiuti da C&D in Germania, 2015
- Gestione dei rifiuti da C&D nel Regno Unito, 2016
- Il criterio End-of-Waste per i rifiuti da C&D Consiglio dei Ministri Nordico, 2016

Linee guida Paesi Europei

• Linee guida PORTOGALLO, 2010

Diminuire la produzione di rifiuti da C&D

Azioni strategiche

Progettazione

- favorire il recupero dei materiali
- favorire la demolizione selettiva
- ottimizzare l'utilizzo di materiali in modo da ridurre gli scarti

Costruzione

- utilizzo di materiali prefabbricati
- ridurre la produzione di imballaggi
- richiedere la fornitura di imballaggi riciclabili

Demolizione

- demolizione selettiva
- rimozione dei materiali riutilizzabili prima della demolizione tradizionale

Linee guida Paesi Europei

- Gestione dei rifiuti da C&D nel REGNO UNITO, 2016
- Strumenti chiave per la gestione dei rifiuti
 - Obbligo di separazione delle frazioni in situ o in strutture dedicate
- Obbligo di raccolta e gestione separata dei rifiuti da C&D pericolosi

Targets

- Inghilterra, Nord Irlanda, Scozia: 70% di recupero entro 2020
- *Galles:* **90%** deve essere preparato per riuso, riciclo o recupero entro 2019/2020 e proposto target di <u>riduzione della produzione di rifiuti da C&D 1,4% ogni anno</u>
- Evitare di smaltire in discarica il 90% dei rifiuti da C&D attualmente smaltiti con l'obiettivo di raggiungere lo zero percento di rifiuti smaltiti entro 2020
- Per il calcestruzzo: incrementare frazione di aggregati riciclati/secondari al 25%

Protocollo UE





Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione

Settembre 2016

Protocollo UE

L'obiettivo generale del presente protocollo è aumentare la fiducia nel processo di gestione dei rifiuti C&D e nella qualità dei materiali riciclati da tali rifiuti. Ciò sarà possibile mediante:

- a) una migliore identificazione, separazione alla fonte e raccolta dei rifiuti;
- b) una migliore logistica dei rifiuti;
- c) un miglior trattamento dei rifiuti;
- d) la gestione della qualità;
- e) condizioni politiche e condizioni quadro adeguate.



Percezione, consapevolezza e accettazione del pubblico

MAGGIORE QUALITÀ PERCEPITA/AFFIDABILITÀ DEL PROCESSO DI GESTIONE DEI RIFIUTI C&D E DEI MATERIALI RICICLATI C&D

Il criterio End-of-Waste per i rifiuti da C&D - Consiglio dei Ministri Nordico, 2016

- Procedura backward* con diversi rapporti L/S a seconda degli scenari di utilizzo finale dei materiali da recuperare
- Limiti trovati si confrontano con i valori di cessione dei materiali da recuperare.
 Test di cessione previsti:
 - Percolation test (CEN/TS 14405)
 - pH dependance test (CEN/TS 14429 o CEN/TS 14997)
 - Batch leaching test (EN 12457:1, 2 o 3)
- Necessità di fissare restrizioni e condizioni di utilizzo nei criteri di End of Waste in quanto nel caso di uso senza restrizioni (scenario worst case) si ottengono limiti molto stringenti che potrebbero essere rispettati da pochi materiali recuperati

Procedura backward: analisi in modalità inversa permette il calcolo della massima concentrazione ammissibile in sorgente compatibile con il livello di rischio ritenuto accettabile per il recettore esposto.

ANALISI DI RISCHIO

Scopo: proteggere il suolo, le acque superficiali e profonde (RECEPTOR) da sostanze che potrebbero essere rilasciate da materiale da C&D reinserito nell'ambiente (SOURCE)

- I criteri dovrebbero includere <u>valori limite</u> sia in termini di contenuto che di lisciviazione, in grado i tutelare la salute dell'uomo e la qualità dell'ambiente (qualità di acqua e suolo)
- Criteri test di cessione coerenti con <u>UNI EN 12920:2009</u> «Caratterizzazione dei rifiuti -Metodologia per la determinazione del comportamento alla lisciviazione dei rifiuti in condizioni specificate»
- Valutazione SCENARI REALI: valutando lo scenario peggiore di utilizzo senza limiti e restrizioni si
 otterranno valori limite di lisciviazione così rigidi che solo pochi, se non nessuno, degli aggregati
 riciclati potranno soddisfarli.

Modello Concettuale di Analisi di Rischio



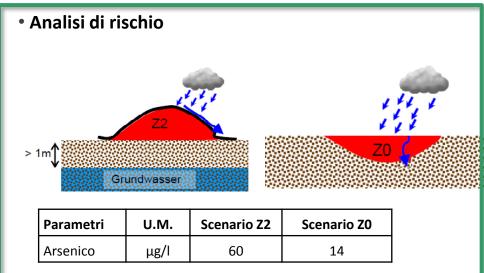
SIGNIFICATIVITA' DEI TEST DI CESSIONE

Aspetti ambientali



Europa

- Nuovi test di cessione
 - 1. "pH dependence" CEN 14429
 - 2. "Percolation test" CEN 16637-3
 - "Monolith test" CEN 16637-2



Considerazioni emerse dall'analisi delle linee guida

- Necessità di adottare sistemi di registrazione dei rifiuti da C&D più efficienti per determinare una percentuale di recupero più veritiera
- Azioni suggerite dalle linee guida per incrementare recupero:
 - Dal punto di vista <u>gestionale</u>:
 - **Demolizione selettiva** con riduzione delle analisi richieste sui rifiuti prodotti dalla demolizione di edifici civili e micro ristrutturazioni, previa verifica dell'assenza di componenti pericolose
 - Impianti di recupero: standard elevati sui trattamenti da adottare e sulle relative prestazioni; scelta tra impianti fissi e mobili dovrebbe tenere in considerazione sia la % di recupero raggiungibile che gli impatti ambientali generati
 - Dal punto di vista normativo e degli appalti pubblici:
 - **Tipologia di recupero**: sviluppare una metodologia di valutazione dell'impiego più idoneo dal punto di vista prestazionale e ambientale basata sull'Analisi di Rischio; al tempo stesso, concordare con Enti un test di cessione specifico per ogni applicazione che tenga in considerazione le condizioni reali di utilizzo
 - Aggiornamento degli strumenti tecnici (Capitolati d'Appalto)
 - Dal punto di vista <u>economico</u>:
 - Individuare politiche e strategie adeguate per aumentare la competitività degli aggregati riciclati rispetto quelli naturali
 - Politiche di sensibilizzazione al recupero, a sostegno alle imprese che effettuano recupero ed incentivi per favorire la demolizione selettiva

Recupero degli aggregati riciclati nel CALCESTRUZZO

Luca Cominoli

Recupero degli aggregati riciclati nel CALCESTRUZZO

Outlines

- Inquadramento normativo
 - Gli aggregati riciclati nelle Norme Tecniche per le Costruzioni
- Principali problematiche tecnologiche e caratteristiche meccaniche
- Calcestruzzi realizzati con aggregati di riciclo
 - Esperienze ed applicazioni

Inquadramento normativo

• **Decreto Ministeriale 17.1.2018**, "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"

Marcatura CE

- UNI EN 12620: 2008, "Aggregati per calcestruzzo"
- **UNI 8520-1: 2015**, "Aggregati per calcestruzzo Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 Designazione e criteri di conformità"
- UNI 8520-2: 2016, "Aggregati per calcestruzzo Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 Requisiti"
- **UNI EN 206: 2016,** "Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- UNI 11104: 2016, "Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206"

Decreto Ministeriale 17-01-2018

Cap. 11 - Materiali e prodotti per uso strutturale

#11.2 - Calcestruzzo #11.2.9 - Componenti del calcestruzzo

#11.2.9.2 – Aggregati

Sono idonei alla produzione di calcestruzzo per uso strutturale gli aggregati ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali, ovvero provenienti da processi di riciclo conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 12620 [...]

È consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo, secondo i limiti di cui alla Tab.11.2.III, a condizione che la miscela di calcestruzzo confezionata con aggregati riciclati, venga preliminarmente qualificata e documentata, nonché accettata in cantiere, attraverso le procedure di cui alle presenti norme.

I metodi di prova da utilizzarsi sono quelli indicati nelle Norme Europee Armonizzate.

Decreto Ministeriale 17-01-2018

Tab. 11.2.III

Origine del materiale da riciclo	Classe del calcestruzzo	percentuale di impiego		
demolizioni di edifici (macerie)	= C 8/10	fino al 100%		
demolizioni di solo calcestruzzo e c.a.	≤ C20/25	fino al 60%		
(frammenti di calcestruzzo ≥ 90%,	≤ C30/37	≤ 30%		
UNI EN 933-11:2009)	≤ C45/55	≤ 20%		
Riutilizzo di calcestruzzo interno ne-	Classe minore del cal- cestruzzo di origine	fino al 15%		
gli stabilimenti di prefabbricazione qualificati - da qualsiasi classe	Stessa classe del calce- struzzo di origine	fino al 10%		



Frazioni fini

Classe esposizione ambientale

UNI EN 12620: 2008

NORMA EUROPEA

Aggregati per calcestruzzo

UNI EN 12620

SETTEMBRE 2008

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente norma europea specifica le proprietà di aggregati e filler ottenuti mediante la lavorazione di materiali naturali, industriali o riciclati e miscele di detti aggregati per la confezione di calcestruzzo. Si applica ad aggregati aventi massa volumica dopo essiccazione in stufa maggiore di 2,00 Mg/m³ (2 000 kg/m³) per tutti i calcestruzzi, compreso il calcestruzzo in conformità alla EN 206-1 e il calcestruzzo utilizzato in strade o altre pavimentazioni e per l'utilizzo in prodotti prefabbricati di calcestruzzo.

I processi di riciclo devono essere conformi alla UNI EN 12620

UNI EN 12620: 2008

<u>Stabilisce</u> quali sono i requisiti che gli aggregati (qualsiasi sia la tipologia) devono soddisfare:

- Requisiti geometrici (dimensioni aggregati, granulometria, ...)
- Requisiti fisici (resistenza alla frammentazione, all'usura, assorbimento d'acqua, massa volumica, ...)
- Requisiti chimici (contenuto cloruri, solfati, ...)

<u>Prescrive</u> un sistema di controllo della produzione mirato a soddisfare la conformità (prove di tipo iniziale e controllo di produzione in fabbrica) ai requisiti necessari alla marcatura CE

UNI EN 12620: 2008

Regolamento Europeo 305/2011:

anche gli aggregati di riciclo (come quelli naturali) devono essere marcati CE rispettando caratteristiche minime fissate in funzione della destinazione d'uso



0123

Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050

- (

0123-CPD-0456

EN 12620

Aggregates for concrete

Particle shape Declared value Particle size Designation (d(D))Particle density (Mg/m³) Declared value Cleanliness Pass/fs() threshold value and Fines quality Category (MB, SE) Shell content Category (e.g. SC₁₀) Resistance to Category (LA_{10}) fragmentation/crushing Resistance to polishing (PSV_{vs}) Category Resistance to abrasion (AAV11, Au30) Category Resistance to wear Category $(M_{DE}20)$ Composition/content Composition of coarse Categories $(Rc_{10}, XG_{0.2})$ recycled aggregate Chlorides Declared value (% C) Acid soluble sulfates (e.g. AS az) Category Total sulfur (e.g. Sun) Category $(SS_{0.2})$ Water soluble sulfate content Category of recycled aggregate Constituents which after the Pass/fail threshold value (Stiffening time rate of setting and in minutes and hardening of concrete compressive atrength 5%) influence of recycled Category (Aus) aggregates on initial setting time of cement Carbonate content

Declared value

(% CO₂)

CE conformity marking, consisting of the "CE"symbol given in Directive 93/68/EEC.

Identification number of the inspection body

Name or identifying mark and registered address of the producer

Last two digits of the year in which the marking was affixed

Number of the EC certificate

No. of European Standard

Description of product and

information on product and on regulated characteristics

UNI 8520-2: 2016

NORMA ITALIANA Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 - Parte 2: Requisiti

UNI 8520-2

Necessaria per l'applicazione in Italia della UNI EN 12620

MAGGIO 2016

Aggregates for concrete - Additional provisions for the application of EN 12620 - Part 2: Requirements

La norma contiene le istruzioni complementari per l'applicazione in Italia della EN 12620. Specifica le caratteristiche e i requisiti degli aggregati e filler, definiti e classificati in conformità della UNI EN 12620, destinati alla confezione di calcestruzzi di adeguata resistenza e durabilità, in funzione della destinazione d'uso.

UNI 8520-2: 2016

Origine degli aggregati

(riferimento al punto H.3.3 della UNI EN 12620:2008)

Gli aggregati destinati alla produzione di calcestruzzo possono provenire da: giacimenti naturali, rocce frantumate, scorie siderurgiche, processi industriali, riciclo di materiali da costruzione e demolizione.

In appendice A sono trattate le principali tipologie di aggregati di origine industriale con storicità d'uso.

Sono ritenuti idonei per l'uso in calcestruzzo conforme alla UNI EN 206 gli aggregati grossi riciclati, classificati secondo il prospetto 20 della UNI EN 12620:2008, appartenenti alle seguenti tipologie:

Tipo A: Rc₉₀, Rcu₉₅, Rb₁₀₋, Ra₁₋, FL₂₋, XRg₁₋

Tipo B: Rc₅₀, Rcu₇₀, Rb₃₀₋, Ra₅₋, FL₂₋, XRg₂₋

Le regole di utilizzo sono riportate nella UNI 11104.

Funzione della percentuale di costituenti

UNI 8520-2: 2016

5.8 (A) Classification of the constituents of coarse recycled aggregates

Strettamente legata alla modalità di demolizione

Costituente	Composizione
Rc	Calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo, malta ed elementi di muratura calcestruzzo.
Ru	Aggregato non legato, pietra naturale e aggregato legato idraulicamen
Rb	Elementi di muratura in argilla (mattoni e mattonelle), elementi muratura di silicato di calcio e calcestruzzo aerato non flottante
Ra	Materiali bituminosi
Rg	Vetro
FL	Materiale flottante in volume (carta, legno, fibre tessili, cellulosa, resi alimentari, sostanze organiche eccetto bitume, polistirolo, etc.).
х	Altro: Coesivo (argilla e terra) Vario: metalli (ferrosi e non ferrosi) Legno non flottante, plastica e gomma Malta di gesso

Ad esempio Rc90 rappresenta una categoria in cui il contenuto in massa di costituente a base di calcestruzzo è maggiore o uguale al 90%

Table 20 — Categories for constituents of coarse recycled aggregates

Constituent	Content	Category
	Percentage by mass	
Rc	≥ 90	Rc 90
	≥ 80	Rc 80
	≥ 70	Rc 70
	≥ 50	Rc 50
	< 50	Rc Declared
	No requirement	Rc _{NR}
Rc + Ru	≥ 95	Rcu ₉₅
	≥ 90	Rcu ₉₀
	≥ 70	Rcu 70
	≥ 50	Rcu 50
	< 50	Rcu Declared
	No requirement	Rcu _{NR}
Rb	≤ 10	Rb 10-
	≤ 30	Rb 30-
	≤ 50	Rb 50-
	> 50	Rb Declared
	No requirement	Rb™
Ra	≤1	Ra 1.
	≤ 5	Ra₅.
	≤ 10	Ra 10-
X + Rg	≤ 0,5	XRg 0,5-
	≤1	XRg₁.
	≤2	XRg 2.

UNI EN 206: 2016

Rispetto le precedenti versioni include alcune regole applicative per i calcestruzzi con aggregati da riciclo, calcestruzzi fibrorinforzati ed auto-compattanti(SCC)

Definisce i massimi rapporti di sostituzione di aggregato da riciclo rispetto al naturale, in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo, e dalla tipologia di aggregato riciclato.

E.3 Recommendation for the use of coarse recycled aggregates

- (1) This clause provides recommendations for the use of coarse recycled aggregates with $d \ge 4$ mm.
- (2) Table E.2 gives limits for the replacement of natural normal-weight coarse aggregates by coarse recycled aggregates in relation to exposure classes. Table E.2 is valid for coarse recycled aggregates conforming to EN 12620 and the categories stated in Table E.3.

Table E.2 — Maximum percentage of replacement of coarse aggregates (% by mass)

	Exposure classes							
Recycled aggregate type	х0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1	All other exposure classes ^a				
Type A: $(Rc_{90}, Rcu_{95}, Rb_{10-}, Ra_{1-}, FL_{2-}, XRg_{1-})$	50 %	30 %	30 %	0 %				
Type B b: (Rc ₅₀ , Rcu ₇₀ , Rb ₃₀₋ , Ra ₅₋ , FL ₂₋ , XRg ₂₋)	50 %	20 %	0 %	0 %				

Type A recycled aggregates from a known source may be used in exposure classes to which the original concrete was designed with a maximum percentage of replacement of 30 %.

b Type B recycled aggregates should not be used in concrete with compressive strength classes > C30/37.

UNI 11104: 2016

NORMA ITALIANA Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206

UNI 11104

LUGLIO 2016

Corretta il 17 gennaio 2017 Definisce le massime percentuali di sostituzione dell'aggregato grosso con aggregato grosso riciclato in relazione alla sua tipologia, alla classe di esposizione e alla classe di resistenza del calcestruzzo

Concrete - Specification, performance, production and conformity - Additional provisions for the application of EN 206 $\,$

prospetto

Massima percentuale di sostituzione dell'aggregato grosso con aggregato grosso riciclato in funzione della tipologia di aggregato, della classe di resistenza e della classe di esposizione

Tipologie di aggregato		Classe di resistenza	% massima di sostituzione												
			Classe di esposizione												
			X0	XC1 XC2 XC3	XC4	XS1	XS2 XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2 XF3 XF4	XA1	XA2	хаз
	Ross Rouse	≥C12/15 ≤C20/25	60%	.*:		*:	*:	*	*			***	::*	27.5	
Tipo A	Rc ₉₀ ,Rcu ₉₅ , Rb ₁₀₋ ,Ra ₁₋ ,FL ₂₋ , Rg _{1.}	≤ C30/37	30%	30%	nk:	2:	÷	20%				20%	20%	940	300
		≤ C45/55	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Tipologie	e di aggregato	Classe di resistenza	% massima di sostituzione												
			Classe di esposizione non applicabile												
Tipo A	Rc ₉₀ ,Rcu ₉₅ , Rb ₁₀ ,Ra ₁₋ ,FL ₂₋ , Rg ₁₋ Rc ₅₀ ,Rcu ₇₀ , Rb ₃₀₋ ,Ra ₅₋ , FL ₂₋ , XRg ₂₋	C8/10	≤ 100%												

Rc: calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo e malta;

Ru: aggregati non legati, aggregati naturali, aggregati legati con leganti idraulici;

Rb: frammenti di mattoni o tegole in argilla, frammenti di mattoni silicei, frammenti di calcestruzzo aerato non galleggiante;

Ra: materiali bituminosi:

Rg: vetro;

FL: materiale lapideo galleggiante (in volume);

X: altri materiali: coesivi (argilla e terra); metalli ferrosi e non ferrosi; gesso, plastica e gornma, legno non galleggiante.

Recupero degli aggregati riciclati nel calcestruzzo

Outlines

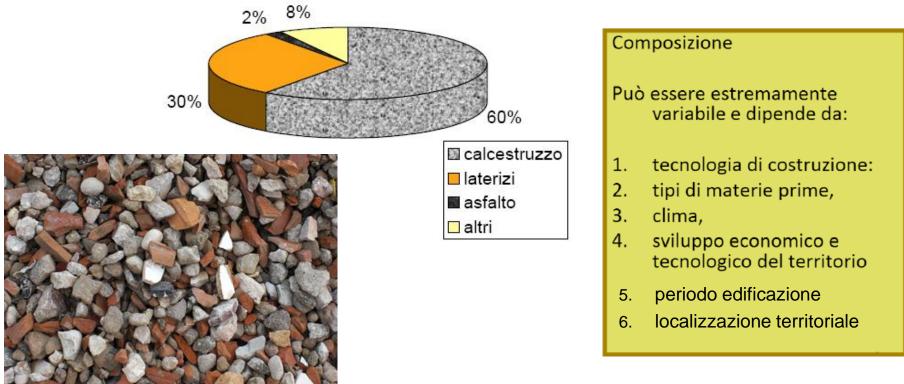
Inquadramento normativo

Gli aggregati riciclati nelle Norme Tecniche per le Costruzioni

- Principali problematiche tecnologiche e caratteristiche meccaniche
- Calcestruzzi realizzati con aggregati di riciclo

Esperienze ed applicazioni

Le proprietà fisiche e meccaniche di un RCA (Recycled Concrete Aggregate) sono fortemente influenzate dalla qualità dell'aggregato riciclato



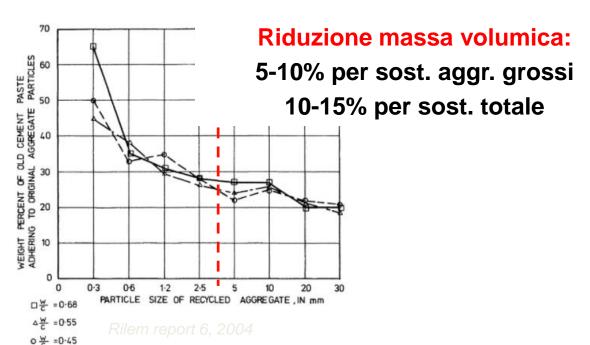
Mix design del calcestruzzo deve essere accuratamente studiato sia per le proprietà allo stato fresco che indurito

Massa Volumica di un RCA

Dipende dalla porosità e dallo spessore della pasta cementizia rimasta a contatto con gli aggregati originali in seguito al recupero o all' eventuale presenza di impurità.

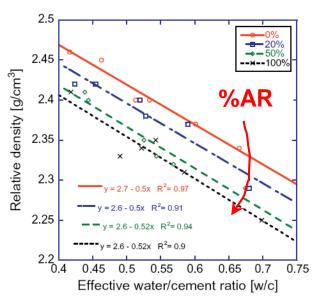
Porosità pasta cemento





massa volumica





Assorbimento acqua di un RCA

E' la proprietà che differenzia maggiormente gli aggregati naturali da quelli di riciclo. Dipende principalmente dalla presenza e dalla qualità della malta cementizia solidale all'aggregato originale naturale.

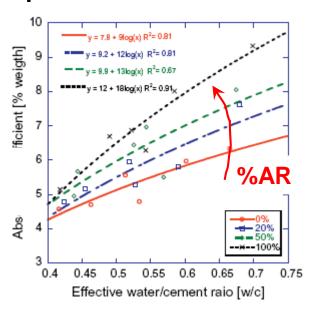
Incremento assorbimento:

10-15% per sost. aggr. grossi 15-25% per sost. totale

Table 1. Water absorption (%) at 24h of both natural and recycled aggregates.									
Type	Sand (0-2 mm	N1 (2-10 mm)	N2 (10-20 mm)	N3 (20-31.5 mm)					
Natural	1.20	0.70	0.50	0.30					
Recycled	12.20	6.00	3.00	1.80					

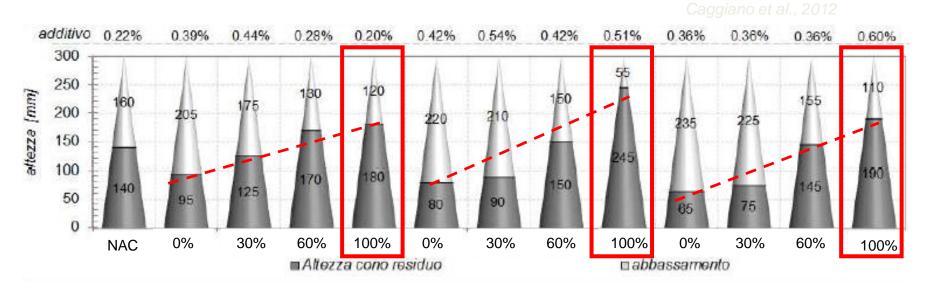
Caggiano et al., 2011

Elevati assorbimenti acqua influenzano negativamente rapporto a/c e lavorabilità



Calcestruzzo con aggregati riciclati allo stato fresco

Maggiore assorbimento di acqua dell'aggregato riciclato provoca una maggiore richiesta di acqua per confezionare un calcestruzzo avente la stessa lavorabilità di un calcestruzzo «tradizionale»



Rapida perdita lavorabilità (15%-20%)

Tempi di inizio e fine presa brevi

Aggiunta acqua (5%-15%) o additivi superfluidificanti

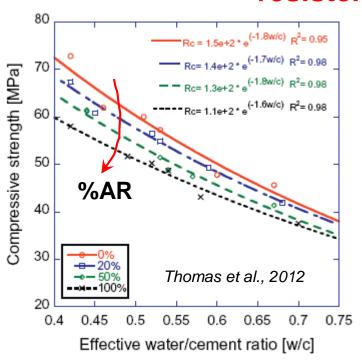
Calcestruzzo con aggregati riciclati allo stato indurito: resistenza a compressione

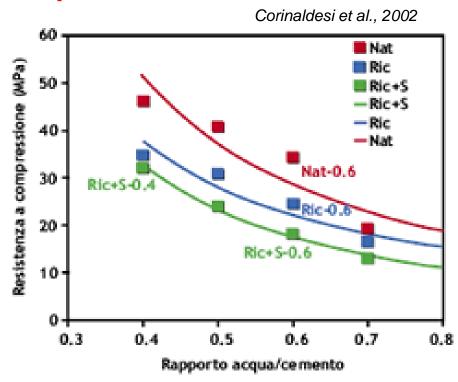
Maggiore porosità e minore massa volumica degli aggregati riciclati possono provocare decremento delle prestazioni meccaniche del calcestruzzo.

Resistenza compressione calcestruzzo funzione:

- rapporto a/c;
- resistenza conglomerato/macerie da cui provengono aggregati riciclati e dalla quantità di fine riciclato presente;
- relazione (in termini di rapporto a/c) tra cls riciclato e cls originale

Calcestruzzo con aggregati riciclati allo stato indurito: resistenza a compressione





a **bassi rapporti a/c** il calcestruzzo con aggregati riciclati sviluppa una resistenza meccanica migliore, maggiore è la classe del calcestruzzo di origine ad **alti rapporti a/c** la resistenza del vecchio aggregato non influisce su quella del calcestruzzo riciclato che da esso deriva

Problematiche tecnologiche e caratteristiche meccaniche

Calcestruzzo con aggregati riciclati allo stato indurito: resistenza a compressione



per rapporti a/c alti (> circa di 0,6) elemento debole è interfaccia tra nuova e vecchia pasta di cemento, per cui la resistenza è la stessa indipendentemente dal tipo di aggregato usato

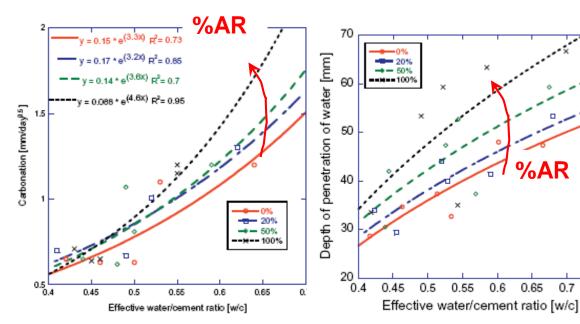
per **rapporti a/c bassi** (< circa di 0,5) elemento debole è interfaccia aggregato originalevecchia pasta cemento, per cui la resistenza dipende dal tipo di aggregato usato

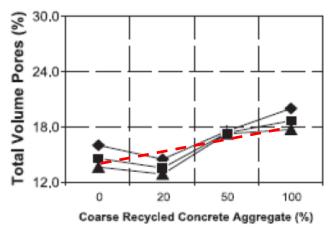
Problematiche tecnologiche e caratteristiche meccaniche

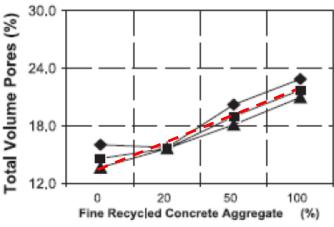
Calcestruzzo con aggregati riciclati allo stato indurito:

durabilità

La durabilità del calcestruzzo dipende dalla sua porosità e permeabilità legata alla possibilità da parte degli agenti aggressivi (ioni salini, gas, ...) di penetrare nel materiale e quindi di deteriorarlo







Come risolvere le problematiche tecnologiche



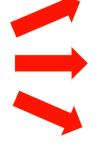
Migliorando la qualità dell'aggregato riciclato

attenzione ai processi di demolizione

pulizia dell'AR o doppia frantumazione

evitare/limitare presenza di impurità

Progettando una miscela a «prestazione»



contenere rapporto a/c

utilizzo della sola frazione grossolana

utilizzo fluidificanti

Recupero degli aggregati riciclati nel calcestruzzo

Outlines

Inquadramento normativo

Gli aggregati riciclati nelle Norme Tecniche per le Costruzioni

- Principali problematiche tecnologiche e caratteristiche meccaniche
- Calcestruzzi realizzati con aggregati di riciclo

Esperienze ed applicazioni

Review bibliografica

- **COPPOLA L., MONOSI S., SANDRI S., BORSOI A.**, "Riciclaggio delle strutture di c.a. e c.a.p. demolite per il confezionamento di nuovi calcestruzzi", Italia, 1995.
- CORINALDESI V., MORICONI G., "I materiali inerti da demolizioni nelle malte e nei calcestruzzi: nuove prospettive", Italia, 2002.
- CORINALDESI V., MORICONI G., "Riciclaggio dei materiali da demolizione nella produzione del calcestruzzo", Italia, 2005.
- **TOFFANO A.**, "Caratterizzazione petrochimica e petrofisica di materiali inerti secondari da costruzione e demolizione, per la realizzazione di impasti ceramici ordinari e calcestruzzi", Italia, Tesi di Dottorato 2006.
- **CORINALDESI V., MORICONI G.**, "Utilizzazione di aggregati in calcestruzzo riciclato in prefabbricazione", Italia, 2007.
- **FERRARI G., MOROTTI A.**, "Prospettive d'impiego dei calcestruzzi confezionati con aggregati riciclati", Italia, 2008.
- RICHARDSON A., ALLAIN P., VEUILLE M., "Concrete with crushed, graded and washed recycled construction demolition waste as a coarse aggregate replacement", Inghilterra/Francia, 2010
- LA MARCA F., MARCOCCIO C., ZAMBITO P., "Calcestruzzo strutturale con aggregati riciclati", Italia, 2011.

Review bibliografica

- CAGGIANO A., FAELLA C., LIMA C., MARTINELLI E., PEPE M., REALFONZO R., "Calcestruzzi confezionati con aggregati riciclati e cenere volante: risultati di una recente campagna sperimentale", Italia, 2012.
- **WAGIH A.M., EL-KARMOTY H.Z., EBID M., OKBA S.H.**, "Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete", Egitto, 2012.
- THOMAS C., SETIEN J., POLANCO J.A., ALAEJOS P., SANCHEZ DE JUAN M., "Durability of recycled aggregate concrete", Spagna, 2012.
- MANZI S., MAZZOTTI C., BIGNOZZI M.C., "Concrete Demolition Waste: Sustainable Source for Structural Concrete", Italia, 2013.
- **AHMED SHAIKH F.U., NGUYEN H.L.**, "Properties of concrete containing recycled construction and demolition wastes as coarse aggregates", Australia, 2013.
- **LETELIER V., MORICONI G.**, "L'effetto degli aggregati in calcestruzzo riciclato sul comportamento di nodi trave-pilastro in c.a. sotto l'azione di carichi ciclici", Italia, 2015.
- MORICONI G., "Calcestruzzo strutturale con aggregati riciclati", Italia, 2016.
- **ZORDAN A., PELLEGRINO C., FALESCHINI F., ZANINI M.A., PASINATO S.**, "Eco-aggregati riciclati: performance meccaniche e sostenibilità ambientale", Italia, 2016.
- LETELIER V., TARELA E., OSSES R., CÀRDENAS J., MORICONI G., "Mechanical properties of concrete with recycled aggregates and waste glass", Cile, 2016

Tratto da Recycling concrete aggregate in precast concrete production

Corinaldesi, Moriconi – Università delle Marche

I fase:

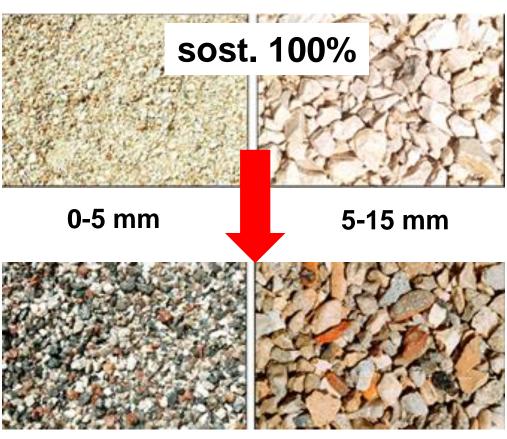
sostituzione completa dell'aggregato naturale con aggregato riciclato da macerie di demolizione (70% cls, 27% laterizio, 3% vario)

Caratteristiche AR Massa volumica:

2200 kg/mc vs. 2600 kg/mc

Assorbimento acqua:

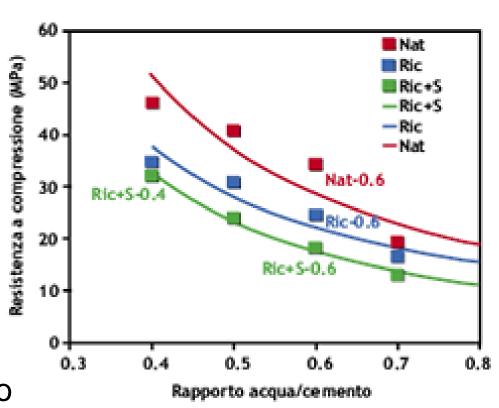
8,1% vs. 2,0%



differenze meno marcate in termini di resistenza a compressione per valori crescenti di a/c



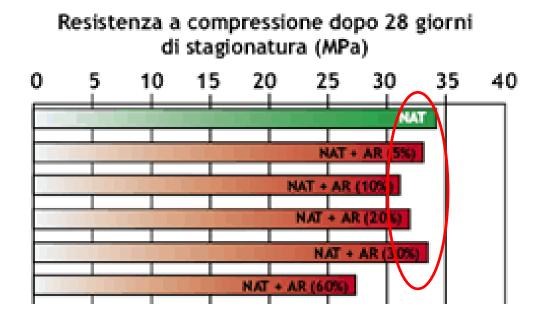
«anello debole» matrice cementizia e non minor resistenza aggregato riciclato



II fase:

Sostituzione della sola frazione grossolana (5-15 mm) variandone la percentuale a parità di a/c = 0,6

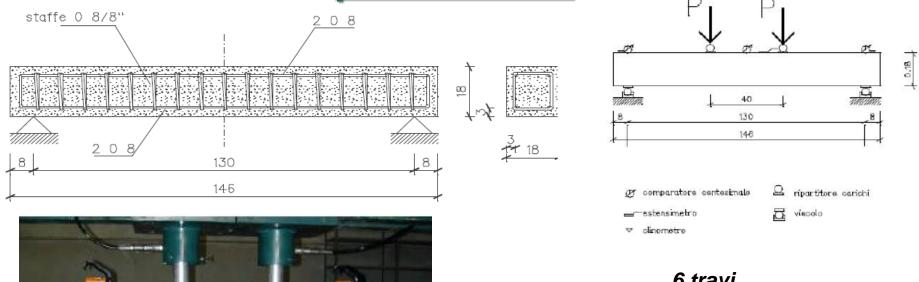
Miscele	Acqua	Cemento	Additivo Superfludif.	Sabbia Naturale (0-5)	Frantumato Naturale (5-15)	Cls riciclato (0-12)	Aggregato riciclato (5-15)
NAT	200	340	2.0	710	1060		
NAT+AR (5%)	200	340	2.0	710	970		77
NAT+AR (10%)	200	340	2.0	710	880		155
NAT+AR (20%)	200	340	2.0	710	710		310
NAT+AR (30%)	200	340	2.0	710	530		465
NAT+AR (60%)	200	340	2.0	710			930



Riduzione resistenza a compressione contenuta (-10%) per dosaggi di aggregato riciclato fino al 30%

Utilizzo di AR nella produzione di calcestruzzo

prefabbricato



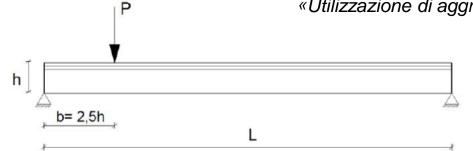
6 travi

2 cls tradizionale C45/55 2 RCA sostituzione 20% aggr. grosso 2 RCA sostituzione 30% aggr. grosso

Stessa percentuale armatura

Comportamento simile fino a rottura per tutte le travi Riduzione resistenza contenuta (-5%) per aggr. riciclato 20% Riduzione resistenza (-10%) per aggr. riciclato 30%

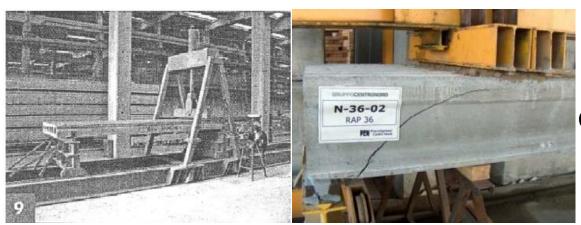
V. CORINALDESI G. MORICONI «Utilizzazione di aggregati in calcestruzzo riciclato in prefabbricazione» 2007



4 lastre 420x120x20 cm

2 tradizionali C40/50 2 RCA sostituzione 30% aggr. grosso

Cavi pretesi 7x0,5" – no armatura taglio



Identico comportamento fino a rottura determinata da resistenza a taglio



V. LETELIER, G.MORICONI

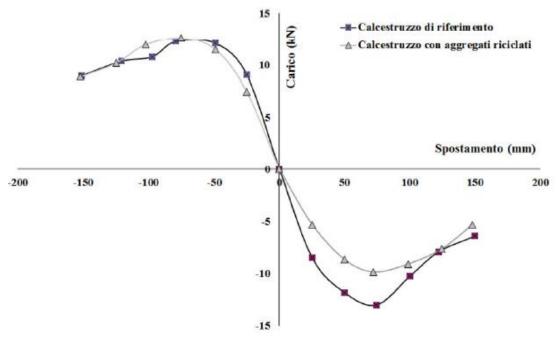
«L'effetto degli aggregati in calcestruzzo riciclato sul comportamento di nodi trave pilastro in c.a. sotto l'azione di carichi ciclici», 2015



2 nodi

1 tradizionale C25/30 1 RCA sostituzione 30% aggr. grosso con aggregati provenienti da macerie differenti

Stessa percentuale armatura



Applicazioni in situ

Juventus Stadium

Realizzazione: da 2009 a 2011

La realizzazione ha visto il **recupero dei materiali** dismessi del vecchio Stadio "Delle Alpi" che sono stati poi reimpiegati nel nuovo cantiere:

40.000 metri cubi di calcestruzzo frantumati ed utilizzati come **sottofondo del rilevato strutturale del nuovo impianto**



Palaghiaccio di Torino

Il Palaghiaccio di Torino, costruito nell'ambito delle realizzazioni olimpiche per Torino 2006, rappresenta un interessante esempio di applicazione di materiali riciclati

In particolare l'aggregato riciclato è stato utilizzato per la realizzazione di tutto il **sottofondo sia interno che esterno della struttura**. L'opera ha visto l'impiego di **20.000 metri cubi di aggregati riciclati**.



Applicazioni in situ

Berlino «4-story building Humboldt University"

nuovo edificio di ricerca e di laboratorio per le scienze della vita costruito quasi interamente utilizzando un calcestruzzo preconfezionato prodotto con aggregati di calcestruzzo riciclato. Gli aggregati riciclati sono stati ottenuti frantumando vecchi calcestruzzi in frantoi e mulini a impatto nella granulometria richiesta per realizzare un calcestruzzo preconfezionato.

3.800 metri cubi di calcestruzzo preconfezionato

Silos di Copenaghen

Intervento a Copenaghen di recupero e riconversione in abitazioni di due ex silos gemelli situati sul lungomare di Copenaghen. Riutilizzo in loco del calcestruzzo, derivante da una attenta fase di decostruzione e ricostruzione.





CONCLUSIONI E PROPOSTE FUTURE

✓ NUOVI TEST DI CESSIONE

Caratterizzazione del comportamento a lisciviazione mediante test adeguati



Nuove modalità di esecuzione del test di cessione

- simulare in laboratorio le condizioni "reali" di recupero
- •V erificare/validare in situ il comportamento del materiale in condizioni reali



Analisi di rischio

valutazione dei rischi specifici su target ambientali

CONCLUSIONI E PROPOSTE FUTURE

✓ APPROFONDIMENTI SPERIMENTALI

Sviluppo di attività di ricerca sperimentali per acquisire dati sulle caratteristiche degli AR e sulle opere derivanti dalla loro applicazione



- Studio delle caratteristiche chimiche e del rilascio di inquinanti in funzione di:
 - diverse tipologie di AR e dei materiali in esso presenti;
- Studio del rilascio di inquinanti in **condizioni di laboratorio simulate** e riferite a specifici scenari di recupero;
- Studio del rilascio di inquinanti in condizioni reali;
- Studio sulle caratteristiche qualitative degli AR provenienti da **impianti fissi e mobili**, al fine anche di <u>individuare fasi di trattamento aggiuntive atte a migliorare la qualità dell'aggregato riciclato prodotto.</u>

CONCLUSIONI E PROPOSTE FUTURE

✓ APPROFONDIMENTI SPERIMENTALI

UTILIZZO NEL CALCESTRUZZO:

- Valutazione della miscela ottimale con possibile riscontro applicativo in manufatti di **prefabbricazione leggera**;
- Verifica dell'idoneità in applicazioni civili.

UTILIZZO IN **APPLICAZIONI GEOTECNICHE**:

- Valutare l'influenza delle **diverse tipologie di materiali** presenti nell'aggregato riciclato;
- Valutare il livello di costipamento sulla stabilità chimica dei manufatti e sul rilascio di inquinanti in condizioni reali.

ESPERIENZE ED APPLICAZIONI

PRATICHE

APPLICAZIONI PRATICHE:

CASO STUDIO 1 - Interconnessione A4-A35 BREBEMI
 Riciclaggio A FREDDO

• CASO STUDIO 2 - Cantiere industriale (Lograto)

CASO STUDIO 3 – Impianto di trattamento dei C&D (Berline)





CASO STUDIO 1 - Interconnessione A4-A35 BREBEMI

Riciclaggio A FREDDO

Realizzazione STRATO DI BASE (15 cm)



- 6 cm di filler intermedio
- 4 cm di manto d'usura drenante

strati con <u>% inferiore/nulla</u> di AR → garantire prestazionalità elevata

A35 BREBEMI

BRENNERO

(valida alternativa: scorie di acciaieria)





riutilizzo 100% del FRESATO della PREESISTENTE
PAVIMENTAZIONE



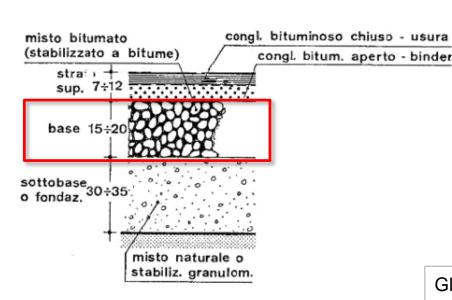
RICICLAGGIO IN SITU

Gli **AGGREGATI FRESATI** (Dmax = 32 mm) vengono **combinati** con:

• cemento → classe 32.5

nunto di rammollimento > 60°C

- acqua → esente da impurità dannose (alcali, oli, acidi...)
- emulsione bituminosa → con 60% bitume residuo e





CASO STUDIO 1 - Raccordo A4-A35 BREBEMI

✓ POSA IN OPERA DELLA MISCELA

FASE 1 : Stesa e livellamento

STESA del fresato d'asfalto sulla superficie del corpo stradale

Soluzione livellata con macchina movimento terra " Grader"

raggiungere quota per lo **SPESSORE FINALE COSTIPATO DI PROGETTO**

FASE 2 : Misura dell'umidità

Motor Grader

+ ALTA: attendere che si abbassi **UMIDITA**' + BASSA: raggiungere il valore previsto

Campionamento a metà spessore

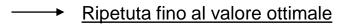
(autobotte H₂O)



CASO STUDIO 1 - Raccordo A4-A35 BREBEMI

FASE 3 : Spandimento del cemento con un sistema di distribuzione controllato elettronicamente

Taratura del macchinario spandilegante → **prova di spargimento**





TRENO DI RICICLAGGIO

- 1. autobotte per l'emulsione
- 2. macchina stabilizzatrice (pulvimixer)
- 3. livellatrice "Grader"

MISCELARE fresato, cemento ed emulsione

RIPRISTINO DEI PIANI



CASO STUDIO 1 - Raccordo A4-A35 BREBEMI

FASE 4 : Operazioni costipamento

Dopo miscelazione e risagomatura



COMPATTAZIONE

rullo **vibrant**e : peso > 18 tonnellate

rullo **gommato**: carico statico > 25 tonnellate



Addensamento uniforme in ogni punto

evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato steso

✓ VANTAGGI

- Conglomerato con 100 % materiale riciclato
- Risparmio energetico → stesa a FREDDO
- Risparmio di trasporto → fresato già in sito
- Risparmio bitume → già in parte contenuto nel fresato



CASO STUDIO 2 - Cantiere industriale (Lograto)





Quota 0 su cui appoggiare : massetto di cls (15 cm) asfalto

35.000 - 40.000 m³ di materiale utilizzato

Il rifiuto C&D ha subito un **semplice** processo di **trattamento** :

- una rapida fase di vagliatura grossolana;
- seguita da frantumazione.

frazioni con d_{max}>80 mm → ri-selezionate e ri-frantumate



AR ottenuto → molto eterogeneo e ricco di impurità

Per l'utilizzo in tale applicazione sarebbe sconveniente effettuare un trattamento di selezione più spinto

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

sabrina.sorlini@unibs.it

luca.cominoli@unibs.it