



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI BERGAMO
Commissione Ecologia e Ambiente



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA**

Prof.ssa Sabrina Sorlini

*Professore ordinario in Ingegneria
Sanitaria-Ambientale*

Università degli Studi di Brescia
Dipartimento di Ingegneria Civile,
Architettura, Territorio, Ambiente e di
Matematica (DICATAM)

L'effetto sull'ambiente dell'utilizzo di aggregati non naturali

AGGREGATI NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI

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



ORIGINE

AGGREGATO NATURALE (AN)

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

AGGREGATO RICICLATO (AR)

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

AGGREGATO ARTIFICIALE (AI)

Da **impianti** di (esempi):

- Incenerimento di rifiuti solidi urbani (*ceneri pesanti*)
- Industrie di produzione di ferro e acciaio (*scorie siderurgiche*)
- Fonderie (*sabbie di fonderia*)

Decisione della Commissione 2014/955/UE

EER	DESCRIZIONE
10	Rifiuti provenienti da processi termici (scorie di acciaieria)
17	Rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione
19	Rifiuti prodotti da impianti di trattamento dei rifiuti , impianti di trattamento delle acque reflue fuori sito, nonché dalla potabilizzazione dell'acqua e dalla sua preparazione per uso industriale (scorie da incenerimento RSU)

RECUPERO DEI RIFIUTI

OPERAZIONI DI RECUPERO (D.Lgs. 152/06, allegato C)

- R1: utilizzazione principale come combustibile o altro mezzo per produrre energia
- R2: rigenerazione/recupero di solventi
- R3: riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche)
- R4: riciclo/recupero dei metalli o dei composti metallici
- R5: riciclo/recupero di altre sostanze inorganiche
- R6: rigenerazione degli acidi o delle basi
- R7: recupero dei prodotti che servono a captare gli inquinanti
- R8: recupero dei prodotti provenienti dai catalizzatori
- R9: rigenerazione o altri reimpieghi degli oli
- R10: spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura
- R11: utilizzazione di rifiuti ottenuti da una delle operazioni indicate da R1 a R10
- R12: scambio di rifiuti per sottoporli a una delle operazioni indicate da R1 a R11
- R13: messa in riserva di rifiuti per sottoporli a una delle operazioni indicate nei punti da R1 a R12 (escluso il deposito temporaneo, prima della raccolta, nel luogo in cui sono prodotti)

Regime ordinario

D.Lgs 152/2006, art 208 «Autorizzazione unica per i nuovi impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti»

Richiesta di autorizzazione alla Regione

Convocazione della conferenza dei servizi

Entro 90 giorni valutazione della attività

L'istruttoria si conclude 150 giorni dalla presentazione della domanda

Regime semplificato

D.Lgs 152/2006, art 216, modificato da art 2, comma 36 DLgs 4/2008 e art 30 del DLgs 20/2010 «Operazioni di recupero»

Richiede una preventiva comunicazione alla Provincia territorialmente competente e la successiva attesa di 90 giorni; allo scadere l'attività può iniziare

Le attività in regime semplificato sono specificate nel D.M 5/02/1998 (e modifiche D.M 186 5/04/2006) (rifiuti non pericolosi) e nel D.M. 161/2002 (rifiuti pericolosi)

D.M. 05/02/98 s.m.i.:

Procedure semplificate per rifiuti NON PERICOLOSI



CARATTERISTICHE TECNICHE

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

- 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 AMBIENTALI

CARATTERISTICHE 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 12620:2008** “*Aggregati per calcestruzzo*”
 - ❑ **UNI 8520-1** “*Istruzioni per l’applicazione della EN 12620 - PARTE 1: Designazione e criteri di conformità*”
 - ❑ **UNI 8520-2** “*Istruzioni per l’applicazione della EN 12620 - PARTE 2: Requisiti*”
- ❑ **UNI EN 13139:2003** “*Aggregati per malte*”
- ❑ **UNI EN 13043:2004** “*Aggregati per conglomerati bituminosi*”
- ❑ **UNI EN 13055:2016** “*Aggregati leggeri*”
- ❑ **UNI EN 13242:2008** “*Aggregati per opere civili e stradali*”
- ❑ **UNI EN 13450:2003** “*Aggregati per massicciate ferroviarie*”
- ❑ **UNI EN 13383-1:2003** “*Aggregati grossi per opere idrauliche*”



01234

Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050

08

0123-CPD-0456

EN 12620

Aggregates for concrete

REQUISITI GEOMETRICI

Particle size	Designation	(d/D)
Particle density	Declared value	(Mg/m ³)
Cleanliness		
Fines quality	Pass/fail threshold value and	(%)
	Category	(MB, SE)
Shell content	Category	(e.g. SC10)
Resistance to fragmentation/crushing	Category	(LA ₁₅)
Resistance to polishing	Category	(PSV ₅₀)
Resistance to abrasion	Category	(AAV ₁₀ , A _N 30)
Resistance to wear	Category	(M _{DE} 20)

REQUISITI FISICI

Chlorides	Declared value	(% C)
Acid soluble sulfates	Category	(e.g. AS _{0.2})
Total sulfur	Category	(e.g. S _{NR})
Water soluble sulfate content of recycled aggregate	Category	(SS _{0.2})
Constituents which alter the rate of setting and	Pass/fail threshold value	(Stiffening time in minutes and

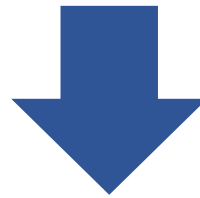
REQUISITI CHIMICI

Drying shrinkage	Pass/fail threshold value	(% WS)
Constituents which affect the the volume stability of air-cooled blastfurnace slag	Declared value	(Appearance)
Carbonate content	Declared value	(% CO ₂)
Water absorption	Declared value	(% WA)
Emission of radioactivity	Declared values as requested	
Release of heavy metals	} Threshold values valid in the place of use	
Release of polyaromatic carbons		
Release of other dangerous substances	e.g. substance X: 0,2 µm ³	
Durability against freeze-thaw	Declared value	(F or MS)
Durability against alkali-silica reactivity	Declared value as requested	

COMPATIBILITA' AMBIENTALE

TEST DI CESSIONE

Per le **operazioni di recupero R5** (realizzazione di rilevati e sottofondi stradali, massicciate ferroviarie, piazzali industriali, utilizzo per la copertura di discariche per RSU) il recupero è subordinato all'esecuzione del **TEST DI CESSIONE** sul rifiuto tal quale secondo il metodo in allegato 3 al **D.M. 186/2006** (modifica al DM 05/2/98) nel rispetto dei limiti imposti dal presente decreto.



Materiale **GRANULARE**



RECUPERO «DIRETTO»



OBBLIGO di esecuzione del test di cessione

Materiale **MONOLITA**



NESSUN OBBLIGO di esecuzione del test di cessione

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
pH	-	5,5-12

Non devono presentare caratteristiche di pericolo superiori a quelle dei prodotti e delle materie ottenuti dalla lavorazione di materie prime vergini (aggregati naturali)

COMPATIBILITA' AMBIENTALE

- ECOCOMPATIBILITA'

2013 → Parere dell'Istituto Superiore di Sanità sulla «*Classificazione dei rifiuti ai fini dell'attribuzione della caratteristica di pericolo **HP14 – Ecotossico***»

2018 → Nota metodologica ISPRA “*Approccio metodologico per la valutazione della caratteristica di pericolo HP14 -Ecotossico*”

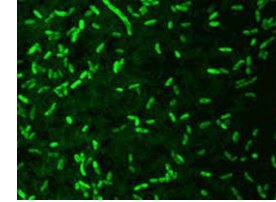
Dal 2019 → ISPRA adotta la Comunicazione CE 2018/C 124/01 "per intero", specificando che non sono appropriati i test con animali vertebrati

Entro Marzo 2020 → Pubblicazione di linee guida per la determinazione dell'HP14.

TEST DI ECOTOSSICITA'

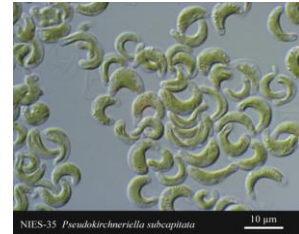
ISS e di ISPRA suggeriscono di verificare l'eventuale caratteristica di ecotossicità di un rifiuto attraverso la determinazione dell'effetto tossico in (Nota ISPRA, 2018):

- Batteri luminescenti (*Vibrio fischeri*) → tossicità acuta



- Alghe verdi unicellulari (*Pseudokirchneriella subcapitata*) → tossicità cronica

- Crostacei (*Daphnia magna*) → tossicità acuta



L'eluato prodotto tramite il test di cessione viene posto in contatto con le specie sopra riportate al fine di determinare l'eventuale effetto tossico.

AGGREGATI RICICLATI DA RIFIUTI C&D

RIFIUTI DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE (C&D)

Elenco Europeo dei Rifiuti (EER) – Capitolo 17

“Rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione (compreso il terreno escavato proveniente da siti contaminati)”

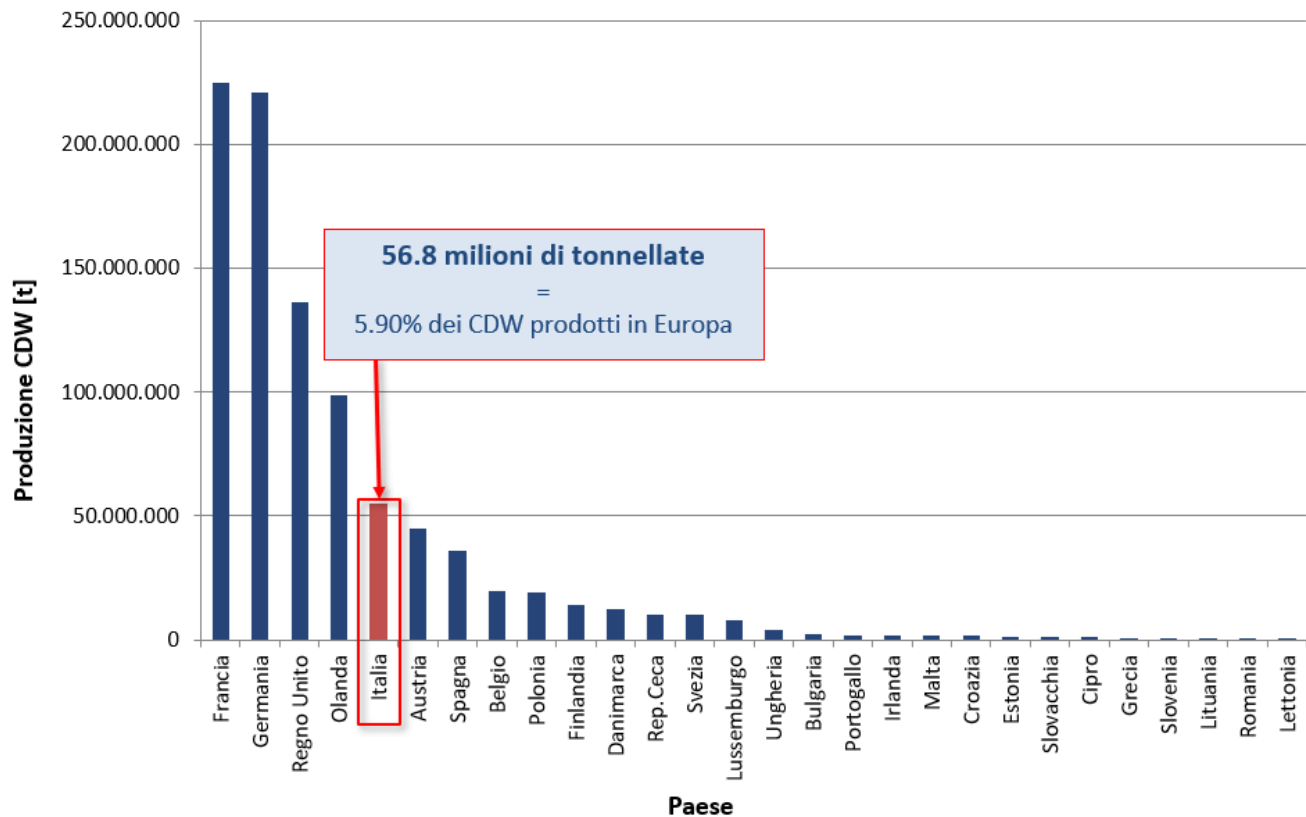
**FORTE ETEROGENEITA'
del materiale**

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

PRODUZIONE DEI RIFIUTI DA C&D IN ITALIA (ISPRA, 2019)

Nel 2017 : **138,9 milioni di tonnellate di rifiuti speciali (RS) (93% RNP)**

Rifiuti C&D= 56,8 milioni di tonnellate (40% RS)



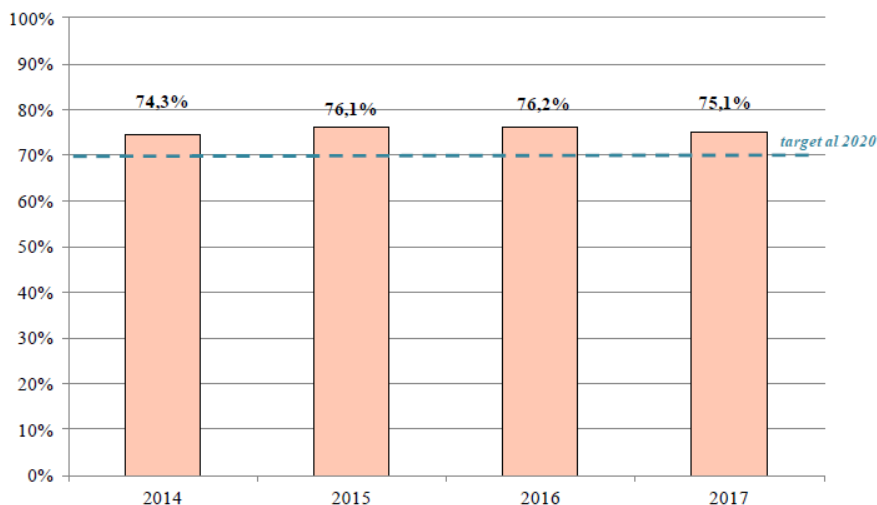
*Calcolo eseguito secondo metodica 2011/753/UE: nel calcolo non sono considerate le terre e rocce da scavo e non sono considerate le operazioni di recupero R13, ovvero la messa in riserva

RECUPERO DEI RIFIUTI DA C&D IN ITALIA



Direttiva 2008/98/CE (modificata dalla **Direttiva 851/2018**) - Art. 11

Entro il 2020 la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e altri tipi di recupero di materiale, incluse operazioni di colmatazione che utilizzano i rifiuti in sostituzione di altri materiali, **di rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi**, escluso il materiale allo stato naturale definito alla voce 17 05 04 dell'elenco dei rifiuti, **sarà aumentata almeno al 70% in termini di peso.**



Fonte: ISPRA 2019



**RECEMPIMENTO
CON D.LGS 116/2020**

2017

31,8 milioni di tonnellate di rifiuti C&D
recuperati

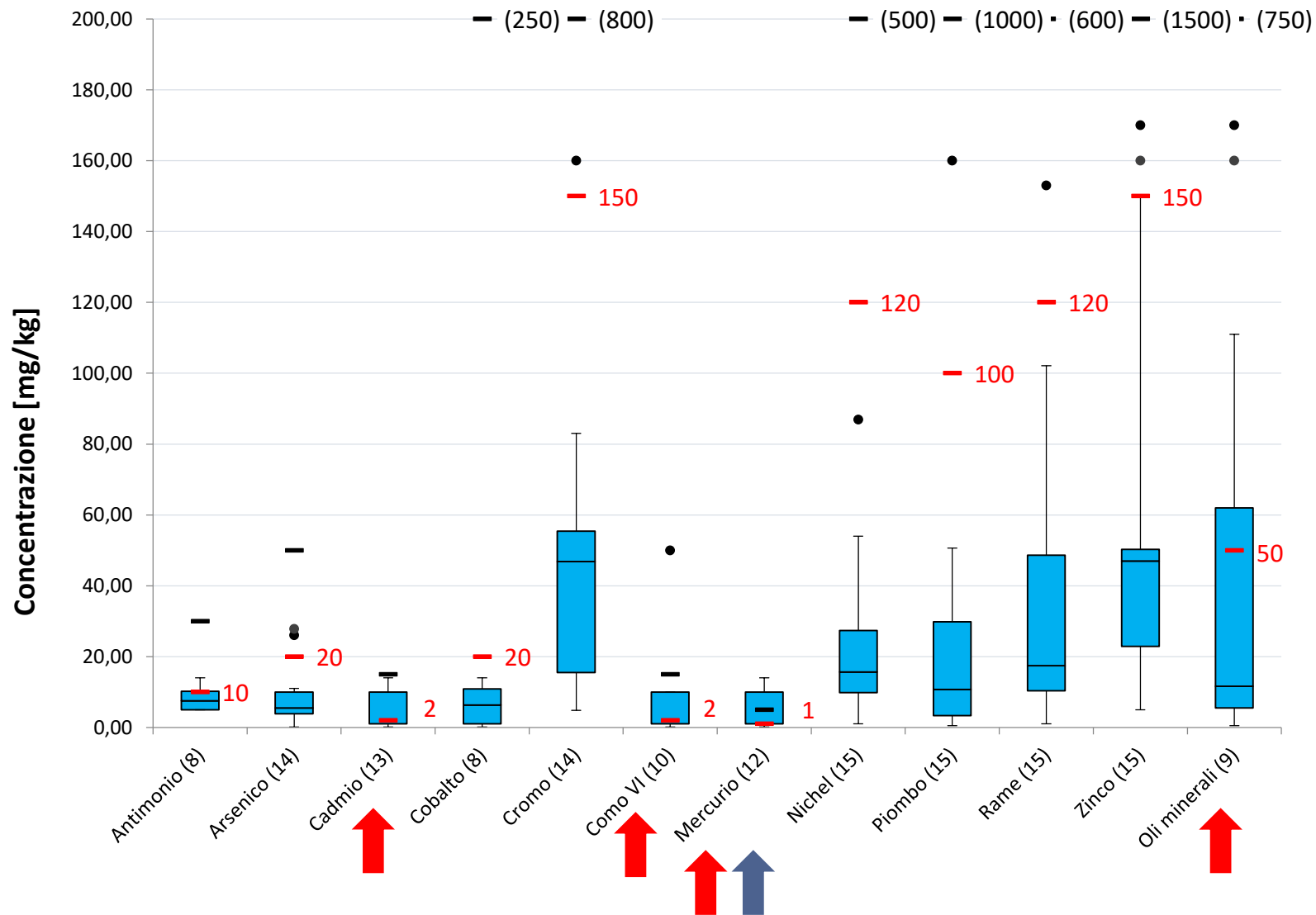
Tasso di recupero oltre il 75%*

CARATTERISTICHE DEGLI AGGREGATI

COMPOSIZIONE CHIMICA (elaborazione dati ANCE – 29 certificati)

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

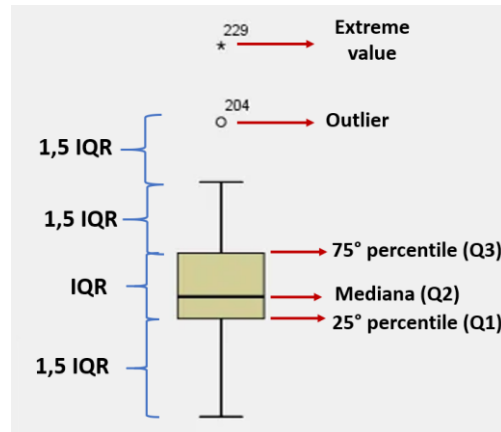
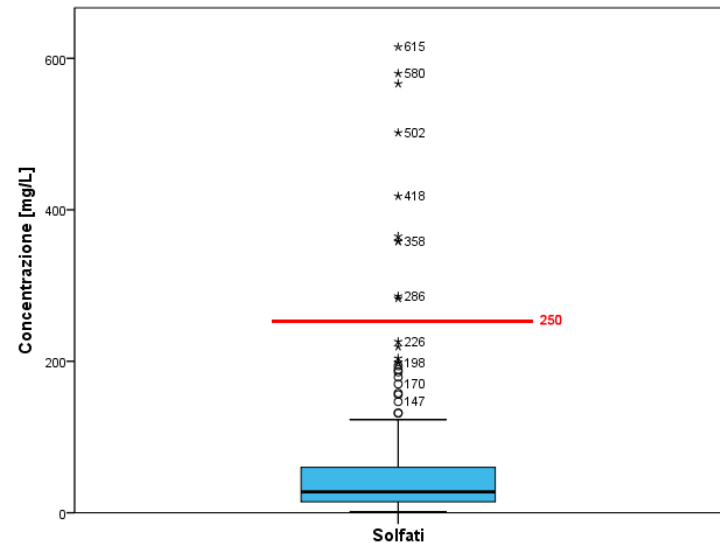
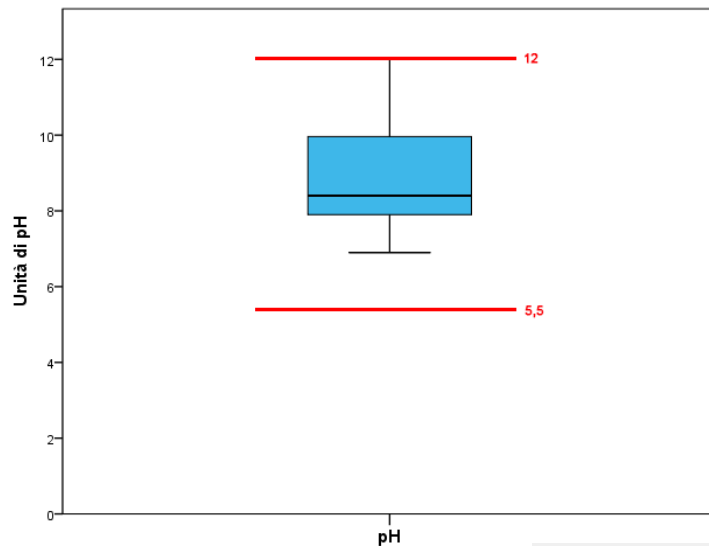
- Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale
- Siti ad uso commerciale e industriale



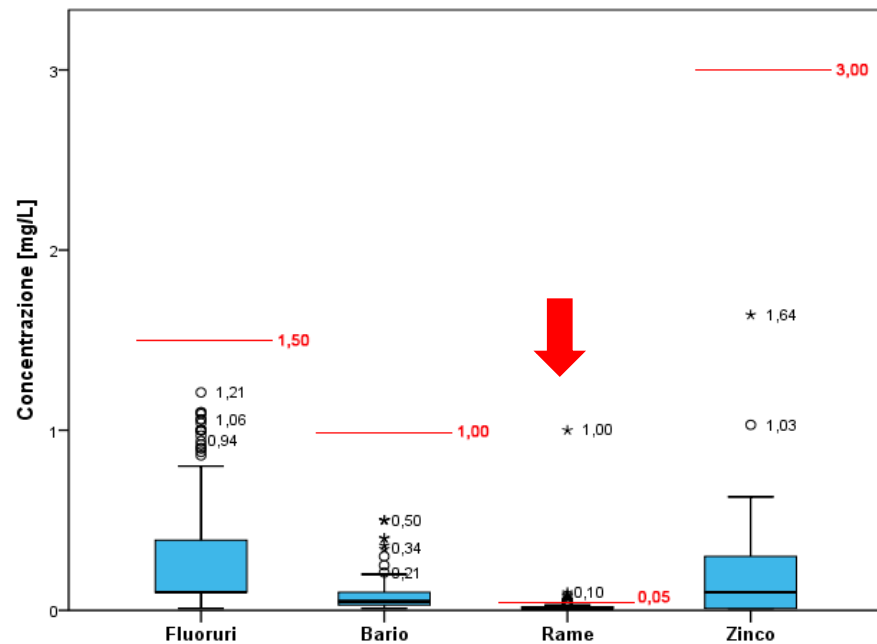
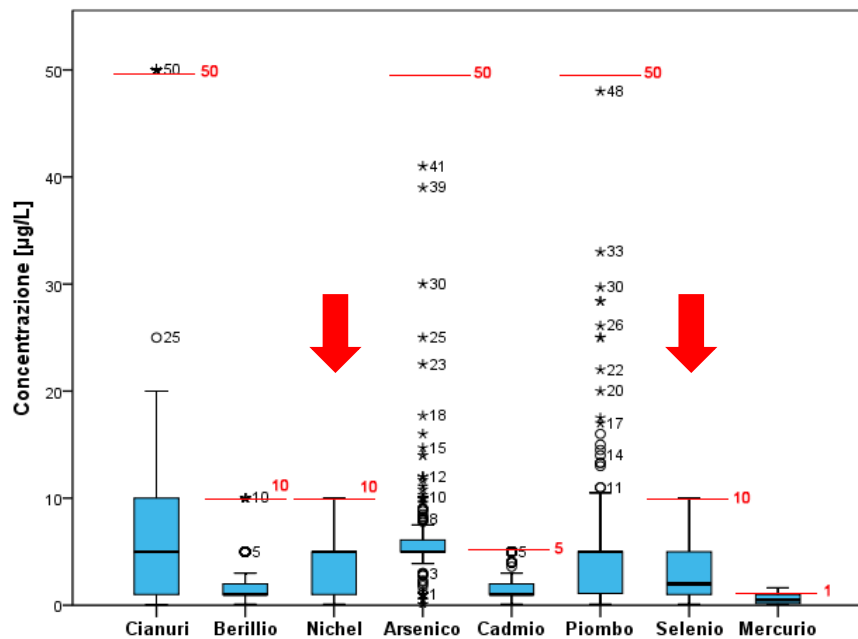
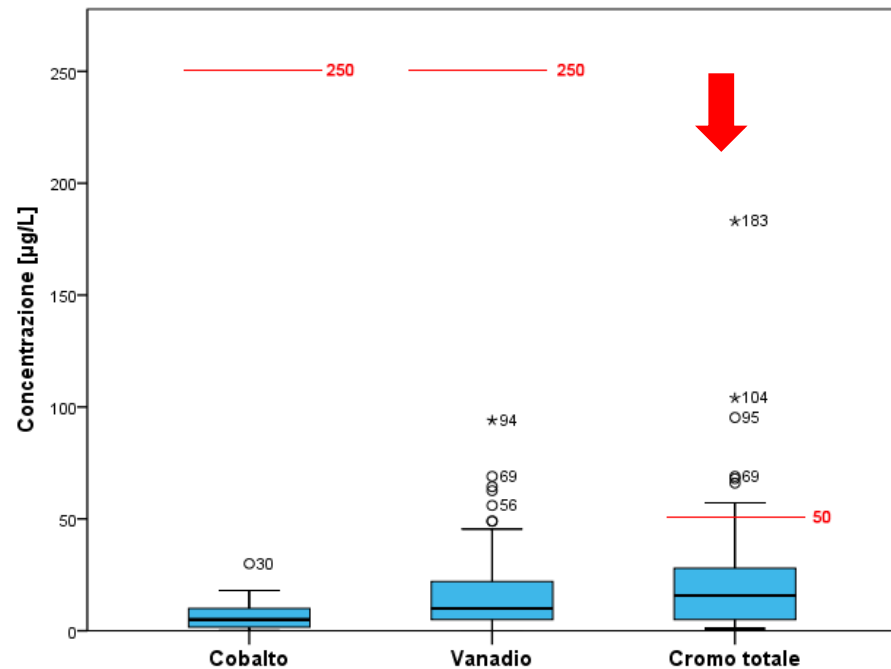
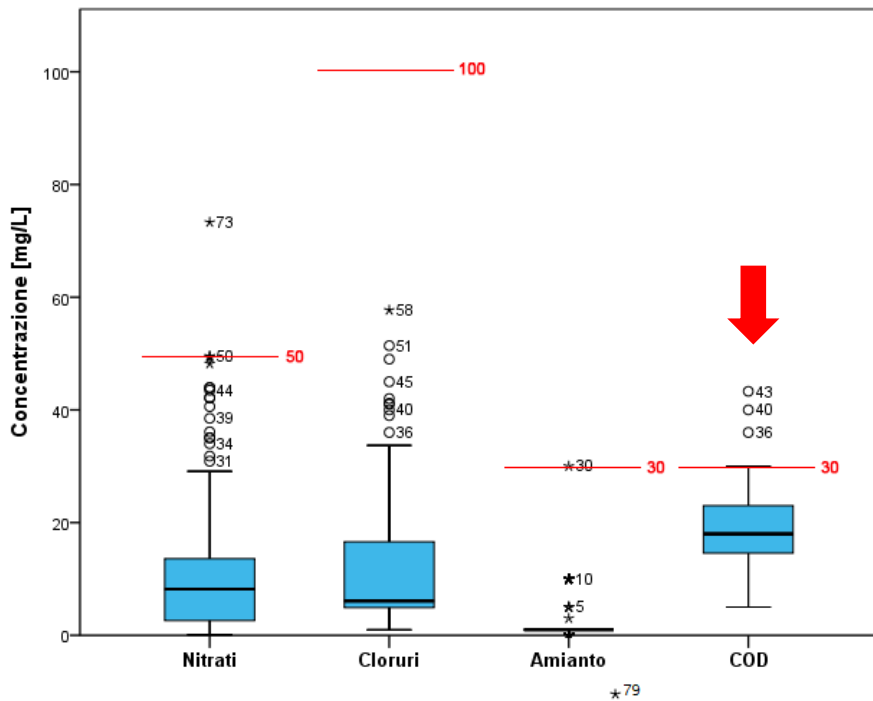
TEST DI CESSIONE SU AGGREGATI RICICLATI

Elaborazione certificati impianti di trattamento

Elaborazione statistica, mediante metodologia box-plot, di **1.400 certificati di caratterizzazione chimica e test di cessione** eseguiti su rifiuti C&D e aggregati riciclati, collezionati da 3 impianti di trattamento di rifiuti C&D localizzati in Provincia di Brescia.



TEST DI CESSIONE SU AGGREGATI RICICLATI

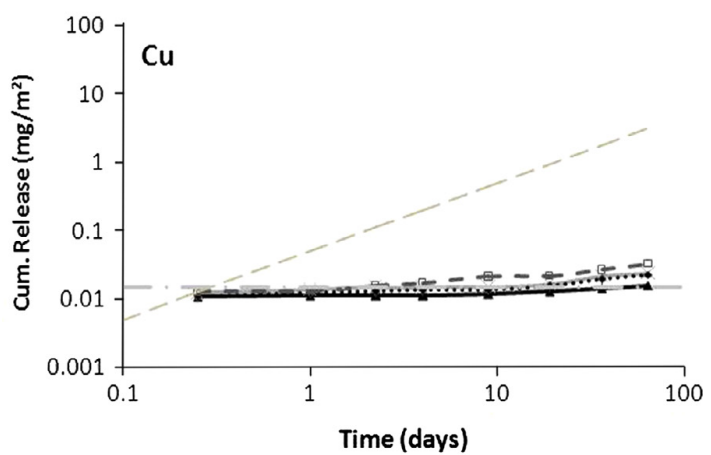
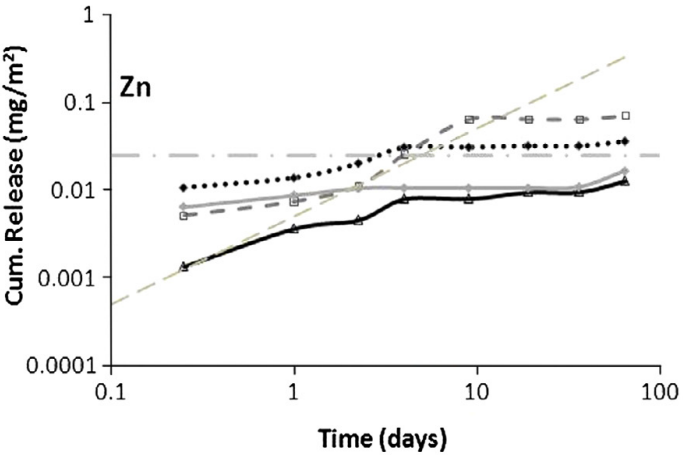
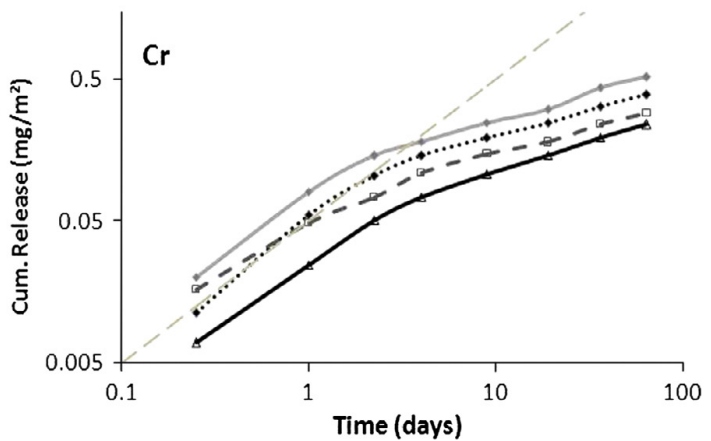
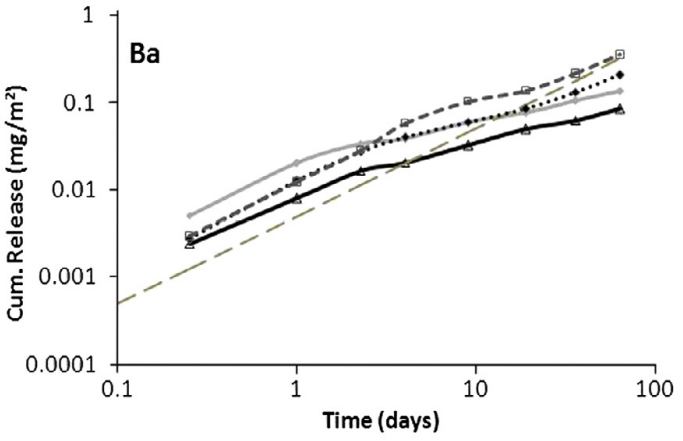
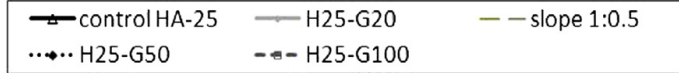
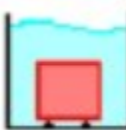
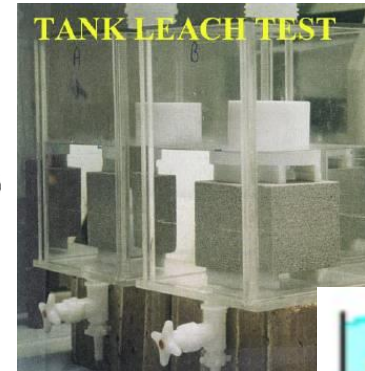


TEST DI CESSIONE SUL MONILITA

Fonte:
Galvin et al., 2014. Leaching assessment of concrete made of recycled coarse aggregate: Physical and environmental characterisation of aggregates and hardened concrete

Metodica NEN 7345

- L = 100 mm (cubi)
- maturazione = 56 gg
- H2O demineralizzata
- L/S 5:1
- Estrazioni= 0.25, 1, 2.25, 4, 9, 16, 36, 64 gg

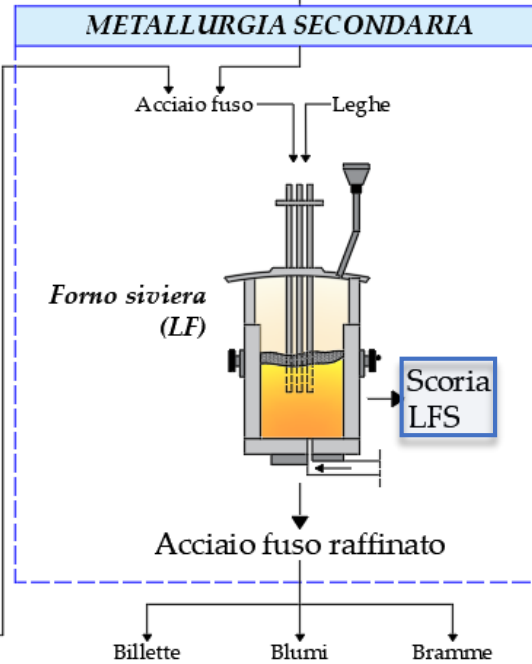
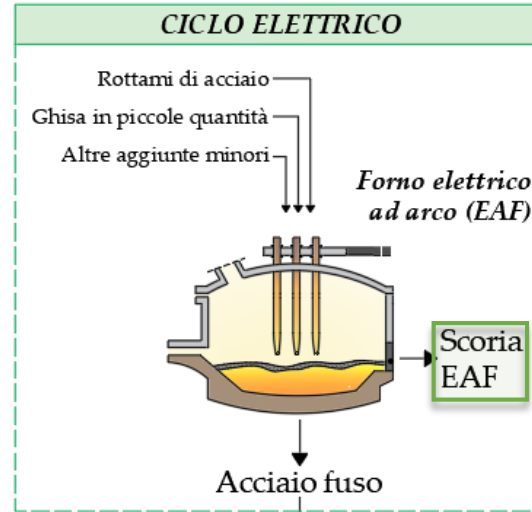
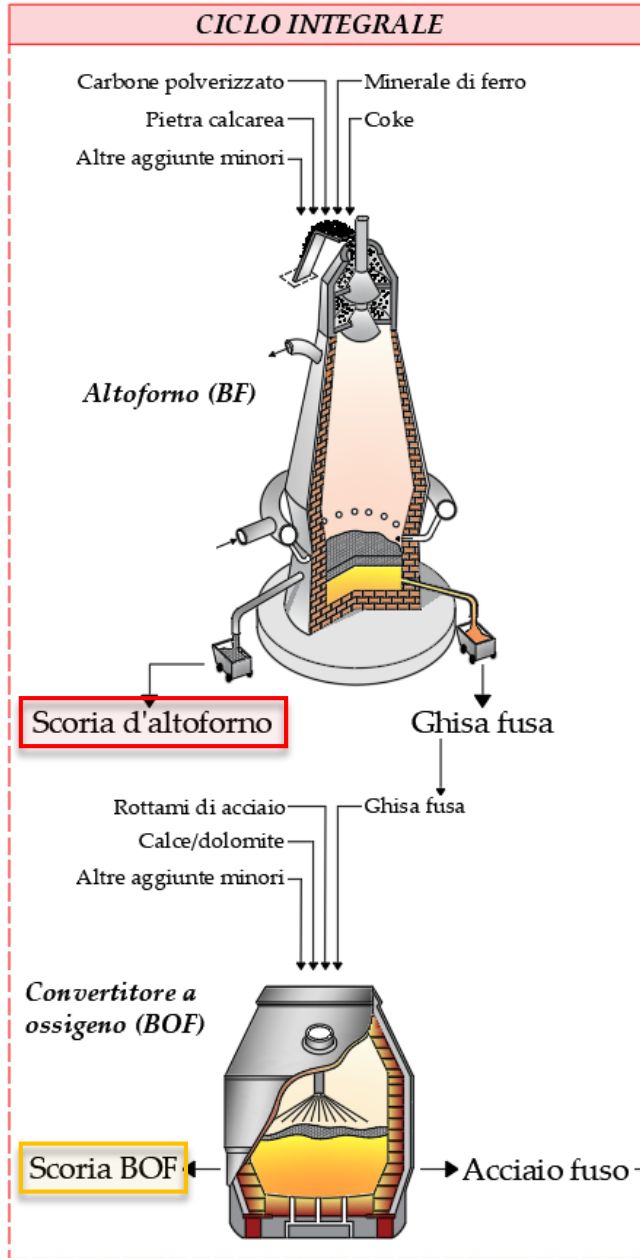


Aumento della percentuale di sostituzione provoca un aumento di porosità del materiale, una maggiore permeabilità e una diminuzione della densità:

RILASCIO MAGGIORE

SCORIE DI ACCIAIERIA

PROCESSI PRODUTTIVI



La scoria d'altoforno (BFS) si divide in due tipologie principali:

- Scoria granulata d'altoforno (GBS);
- Scoria d'altoforno raffreddata ad aria (ABS).

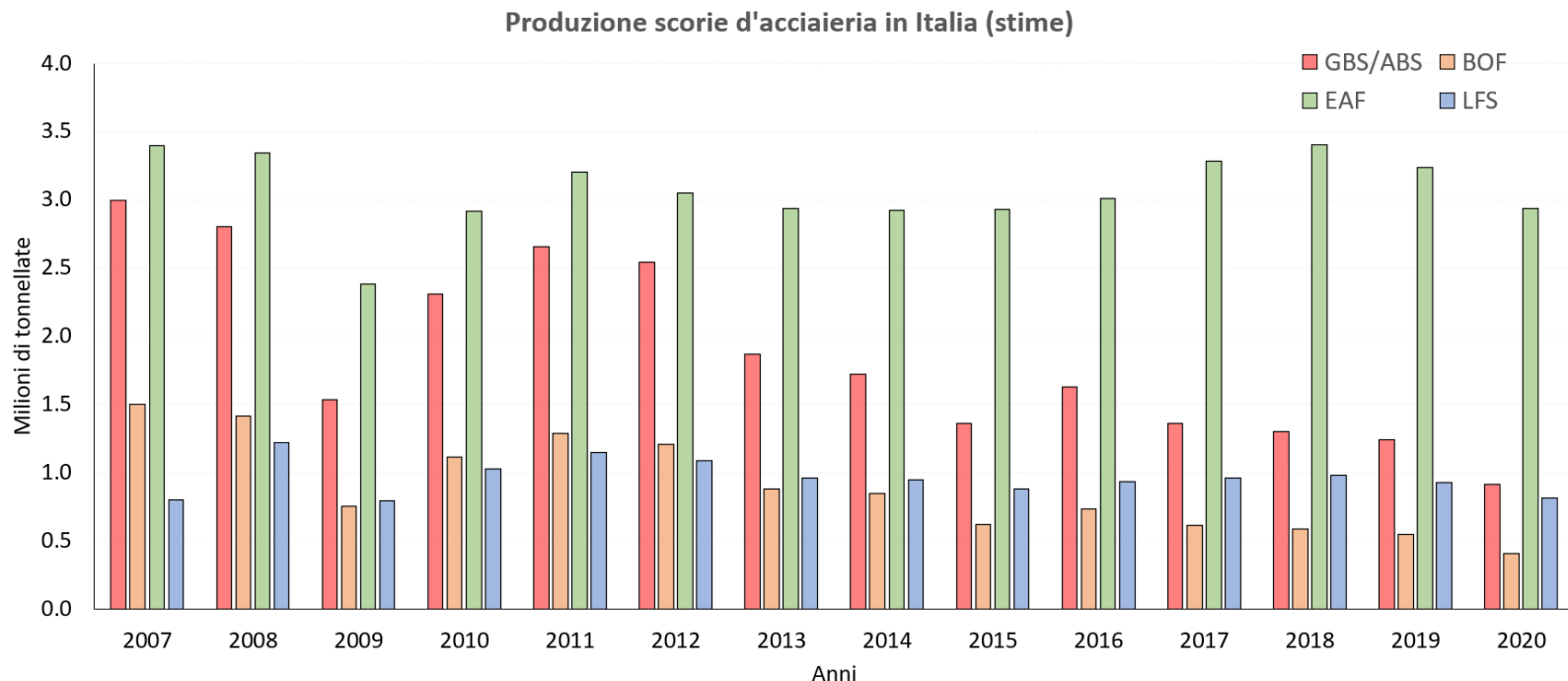
Scoria da convertitore a ossigeno (BOF).

La scoria da forno elettrico ad arco (EAF o *scoria nera*) si divide in due tipologie:

- Derivante dalla produzione di acciaio al carbonio (EAF-C);
- Derivante dalla produzione di acciaio inossidabile/alto legato (EAF-S).

Scoria da metallurgia secondaria in forno siviera (LFS o *scoria bianca*).

PRODUZIONE DI SCORIA DA ACCIAIERIA IN ITALIA (STIME)



* GBS/ABS (~ 250 ÷ 300 kg di scorie per tonnellata di ghisa prodotta)

BOF (~ 100 ÷ 150 kg di scorie per tonnellata di acciaio prodotto)

* EAF (~ 150 ÷ 180 kg di scorie per tonnellata di acciaio prodotto)

LFS (~ 30 ÷ 80 kg di scorie per tonnellata di acciaio raffinato)

Codici EER di classificazione delle scorie:

- 10.02.01: "Rifiuti del trattamento delle scorie";
- **10.02.02: "Scorie non trattate";**
- 10.09.03: "scorie di fusione";

Percentuale di recupero delle scorie di acciaieria in Italia si aggira intorno al **40-50%**:

- **GBS**: riutilizzate principalmente come aggiunta al calcestruzzo in parziale sostituzione del legante cementizio o aggiunta al clinker per la produzione di cemento Portland;
- **ABS**: riutilizzate principalmente come aggregato per la costruzione di strade o per la produzione di calcestruzzo;
- **BOF**: riutilizzate principalmente come aggregato per la costruzione di strade;
- **EAF**: **riutilizzate principalmente come aggiunta al calcestruzzo in parziale sostituzione dell'aggregato naturale o del cemento;**
- **LFS**: molto eterogenee e con caratteristiche tali da essere molto difficili da riutilizzare → tentativi di riutilizzo nel calcestruzzo e nella stabilizzazione dei suoli.

STUDIO SPERIMENTALE: Test di cessione su scorie granulare

Risultati analisi chimiche su eluati da test di cessione secondo UNI EN 12457-2:2004 di scorie EAF-C (SA) e aggregati naturali (AN) in forma granulare sciolta

Parametri		SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	LIMITE D.M. 186/2006
Arsenico	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	50
Bario	mg/L	0.25	0.27	0.16	0.17	0.23	0.016	0.019	0.011	< 0.01	0.010	1
Berillio	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	10
Cadmio	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	5
Cianuri	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	50
Cloruri	mg/L	3.5	9.2	5.7	4.8	5.8	2.0	3.9	2.2	1.6	4.8	100
Cobalto	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	250
Cromo totale	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	29	12	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	50
Fluoruri	mg/L	0.65	0.21	0.26	0.31	0.64	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	1.5
Mercurio	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	1
Nichel	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	10
Nitrati	mg/L	0.77	5.0	1.1	1.7	1.9	0.42	1.6	0.43	0.36	2.0	50
Piombo	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	50
Rame	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	0.05
Selenio	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	10
Solfati	mg/L	1.6	1.0	26.2	7.0	9.7	0.30	0.31	0.37	0.37	2.7	250
Vanadio	µg/L	217	228	157	68	189	27	21	14	< q.l.	25	250
Zinco	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	3
COD	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.	30
pH	-	10.8	10.2	10.5	11.3	10.9	8.4	8.3	8.3	8.1	8.2	5.5-12

TEST DI CESSIONE SCORIE DA CALCESTRUZZO MONOLITICO

Risultati analisi chimiche su eluati da test di cessione secondo UNI EN 15863:2015 di monoliti di calcestruzzo contenenti scorie EAF-C (SA) o aggregati naturali (NA)

Parametri		C-SA-6h	C-SA-18h	C-AN-6h	C-AN-18h
Arsenico	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Amianto	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Bario	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Berillio	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Cadmio	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Cianuri	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Cloruri	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Cobalto	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Cromo totale	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Fluoruri	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Mercurio	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Nichel	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Nitrati	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Piombo	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Rame	mg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Selenio	µg/L	< q.l.	< q.l.	< q.l.	< q.l.
Solfati	mg/L	8	6	3	5
Vanadio	µg/L	32	34	22	22
Zinco	mg/L	< q.l.	0,06	< q.l.	< q.l.
COD	mg/L	19	17	6	13
pH	-	9,4	9,9	8,0	7,6

q.l. = quantification limit

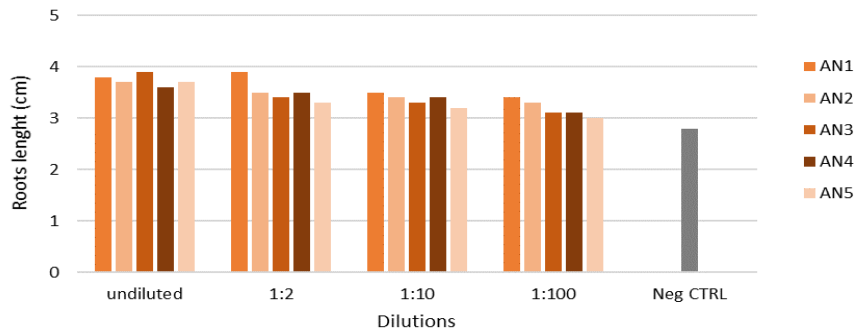
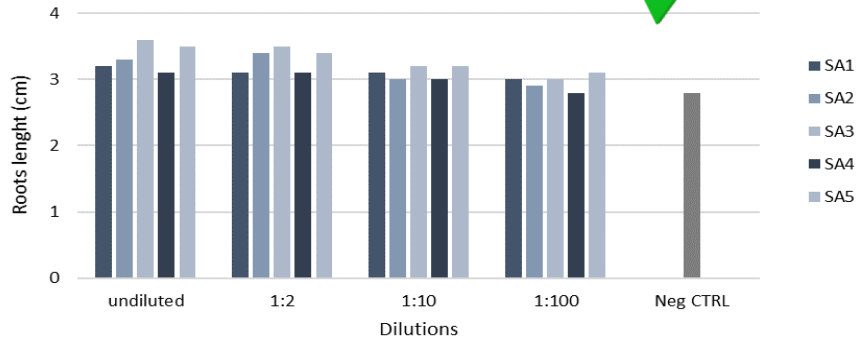
TEST DI ECOTOSSICITA'

Granulari

Immobilizzazione *Daphnia magna* (EC50 %)

	24 h	48 h		24 h	48 h
SA1	0	0	AN1	0	0
SA2	0	0	AN2	0	0
SA3	0	0	AN3	0	0
SA4	10,4	4,7	AN4	0	0
SA5	60,2	57,8	AN5	0	0

Lunghezza radici *Allium cepa*

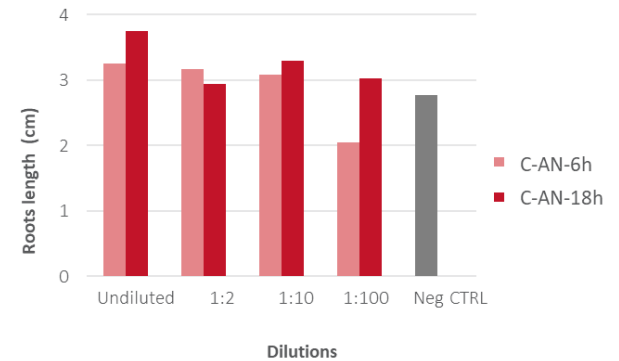
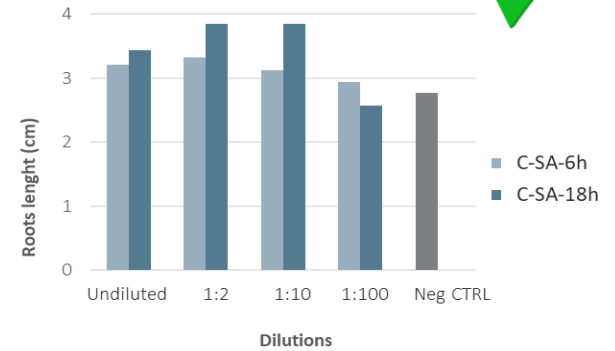


Monoliti

Immobilizzazione *Daphnia magna* (%)

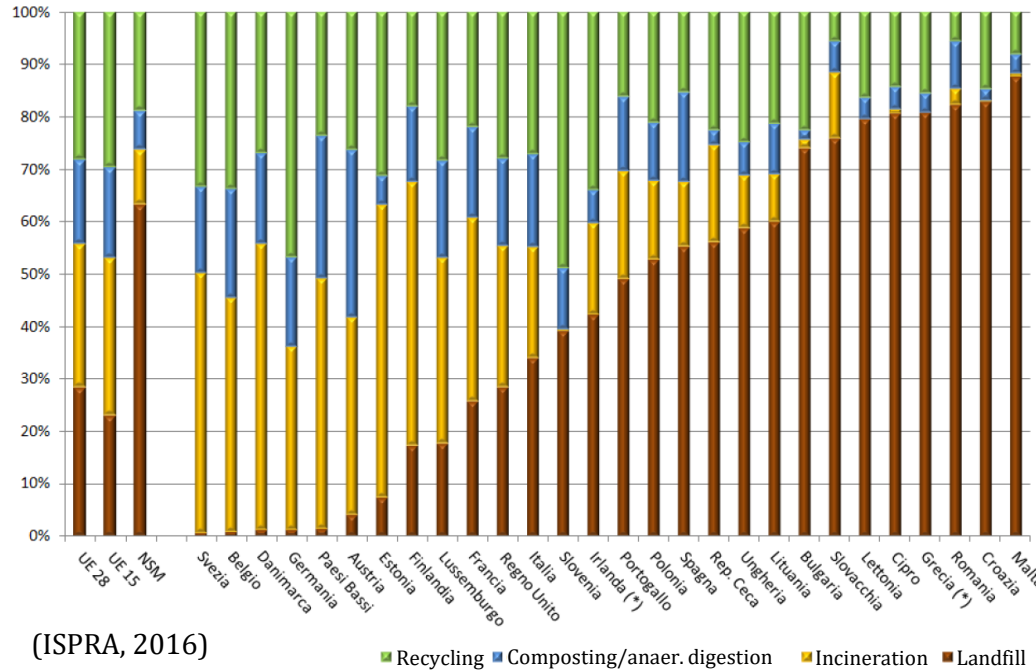
	24 h	48 h
C-SA-6h	0	0
C-SA-18h	0	7
C-NA-6h	0	0
C-NA-18h	0	0

Lunghezza radici *Allium cepa*



**SCORIE DA INCENERIMENTO
RIFIUTI SOLIDI URBANI
(RSU)**

PRODUZIONE e DESTINO SCORIE DA INCENERIMENTO RSU



Residui solidi da incenerimento RSU

- Ceneri pesanti e scorie (Bottom Ash)
- Sabbie esauste (solo per forni a letto fluido)
- Ceneri volanti (Fly Ash)
- Residui derivanti dal trattamento delle emissioni gassose

Produzione specifica delle Bottom Ash

- 150-250 kg/t_{RSU incenerito} (forni a griglia)
- 50-110 kg/t_{RSU incenerito} (forni a letto fluido)

Europa

- Quantità di RSU avviati ad incenerimento (nel 2015): 64 milioni di ton (Eurostat, 2017)
- Produzione di ceneri pesanti e scorie (Bottom Ash): 19 milioni di ton

Italia

- Negli ultimi 10 anni il quantitativo di RSU incenerito è incrementato da 3.950.000 ton (2006) a 5.580.000 ton (2015)

- **Produzione di Bottom Ash: 1,2 milioni di ton (ISPRA, 2018)**



**Il 50% è stato recuperato
essenzialmente per la produzione di
cemento (ENEA, 2009)**

COMPOSIZIONE CHIMICA

Scorie EER 190112 (190111*)

- sostanze inerti originariamente presenti nel rifiuto
(vetro, ceramica, ecc.)
- residui metallici minerali
(metalli con T ebollizione > T forno)
- limitato contenuto di composti organici incombusti

Ceneri volanti EER 190114 (190113*)

- elevato contenuto di metalli
(ricondensazione dei vapori metallici sul particolato più fine)
- microinquinanti organoclorurati
(processi di riformazione sulla superficie del particolato captato)

Concentrazione su base secca (g/kg) dei principali metalli nei residui (Cernuschi, 2005)

Elemento	Scorie	Ceneri volanti
As	0,005-0,03	0,04-0,1
Cd	0,001-0,04	0,3-0,8
Cr _{tot}	0,1-4	0,3-1,1
Cu	0,2-2	1,3-3,2
Hg	< 0,002	< 0,002-0,005
Ni	0,03-0,5	0,1-2,9
Pb	0,1-3,3	5,5-19
Se	< 0,0008	0,001-0,02
Zn	0,3-5	14-27

STUDIO SPERIMENTALE: residui solidi analizzati

Provenienza	Tipo di rifiuto	Pretrattamento	Aggregato industriale	Codifica	Granulometria [mm]
Forno a griglia (A)	Bottom Ash (EER 19 01 12)	Vagliatura + rimozione metalli	Bottom Ash fine non lavata	BA0-10(A)	0-10
			Bottom Ash media non lavata	BA10-20(A)	10-20
			Bottom Ash grossolana non lavata	BA20-30(A)	20-30
		Vagliatura + rimozione metalli + lavaggio	Bottom Ash fine lavata	WBA0.063-2(A)	0.063-2
			Bottom Ash media lavata	WBA2-10(A)	2-10
			Bottom Ash grossolana lavata	WBA2-20(A)	2-20
			Bottom Ash lavata	WBA2-31.5(A)	2-31.5
Forno a griglia (B)	Bottom Ash (EER 19 01 12)	Vagliatura + rimozione metalli	Bottom Ash fine non lavata	BA0-10(B)	0-10
		Vagliatura + rimozione metalli + maturazione	Bottom Ash fine maturate	ABA0-10(B)	0-10
Forno a letto fluido (C)	Bottom Ash (EER 19 01 12)	Vagliatura + rimozione metalli	Bottom Ash	BA0.075-10(C)	0.075-10
	Sabbia esausta (EER 19 01 19)	-	Sabbia esausta	ES0-2(C)	0-2

WBA2-20(A)



WBA0.063-2(A)

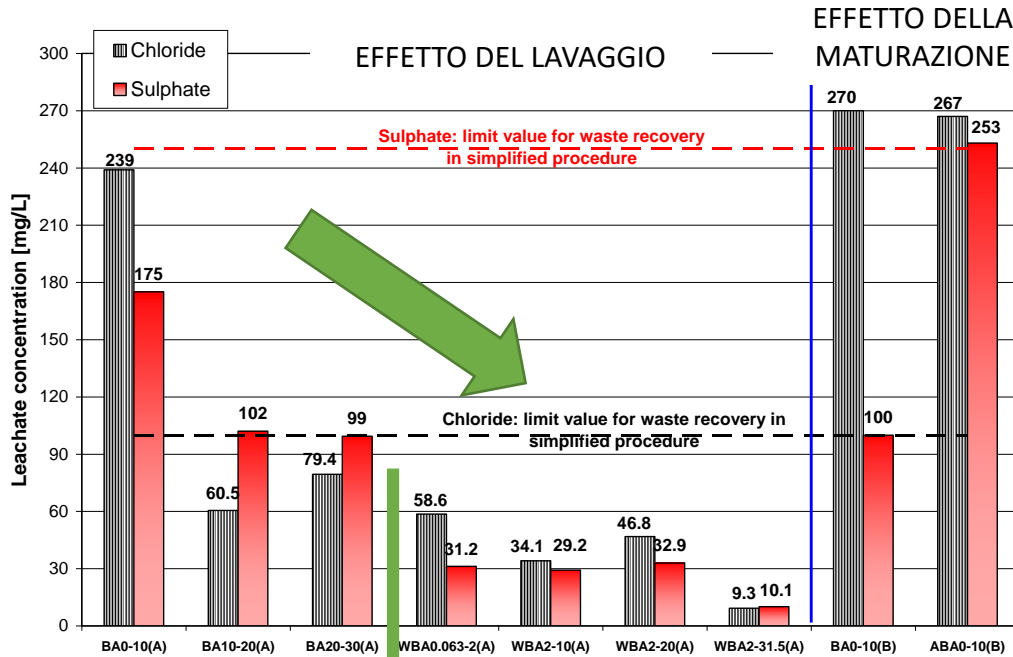
BA0.075-10 (C)

ES0-2(C)



Tutti i residui sono classificato come **rifiuti non pericolosi** in accordo con la normativa italiana.

Effetto dei pretrattamenti

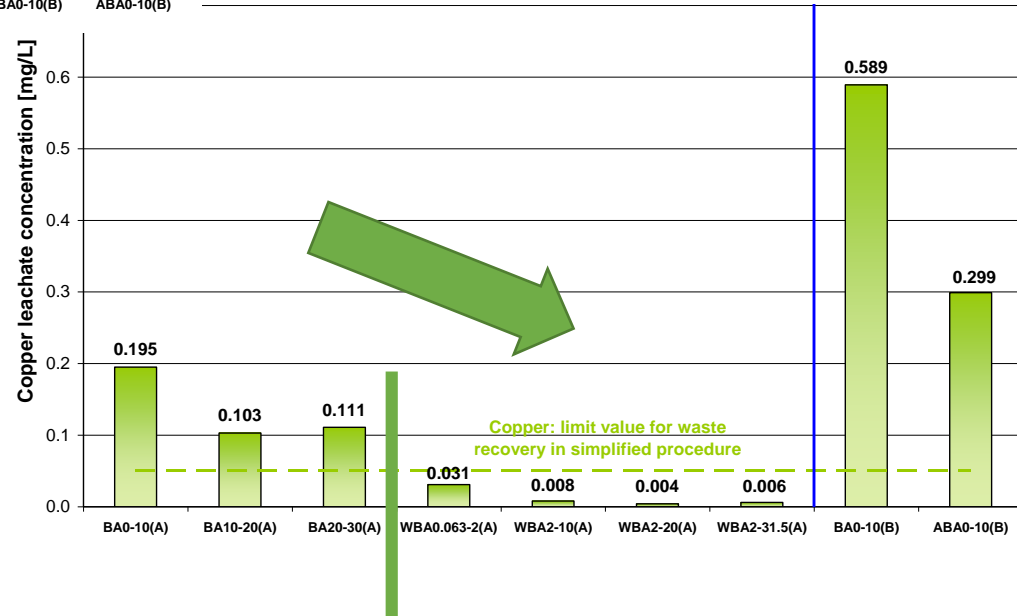


- **Maturazione:** riduzione di rame, zinco e nichel; leggera rimozione degli altri inquinanti

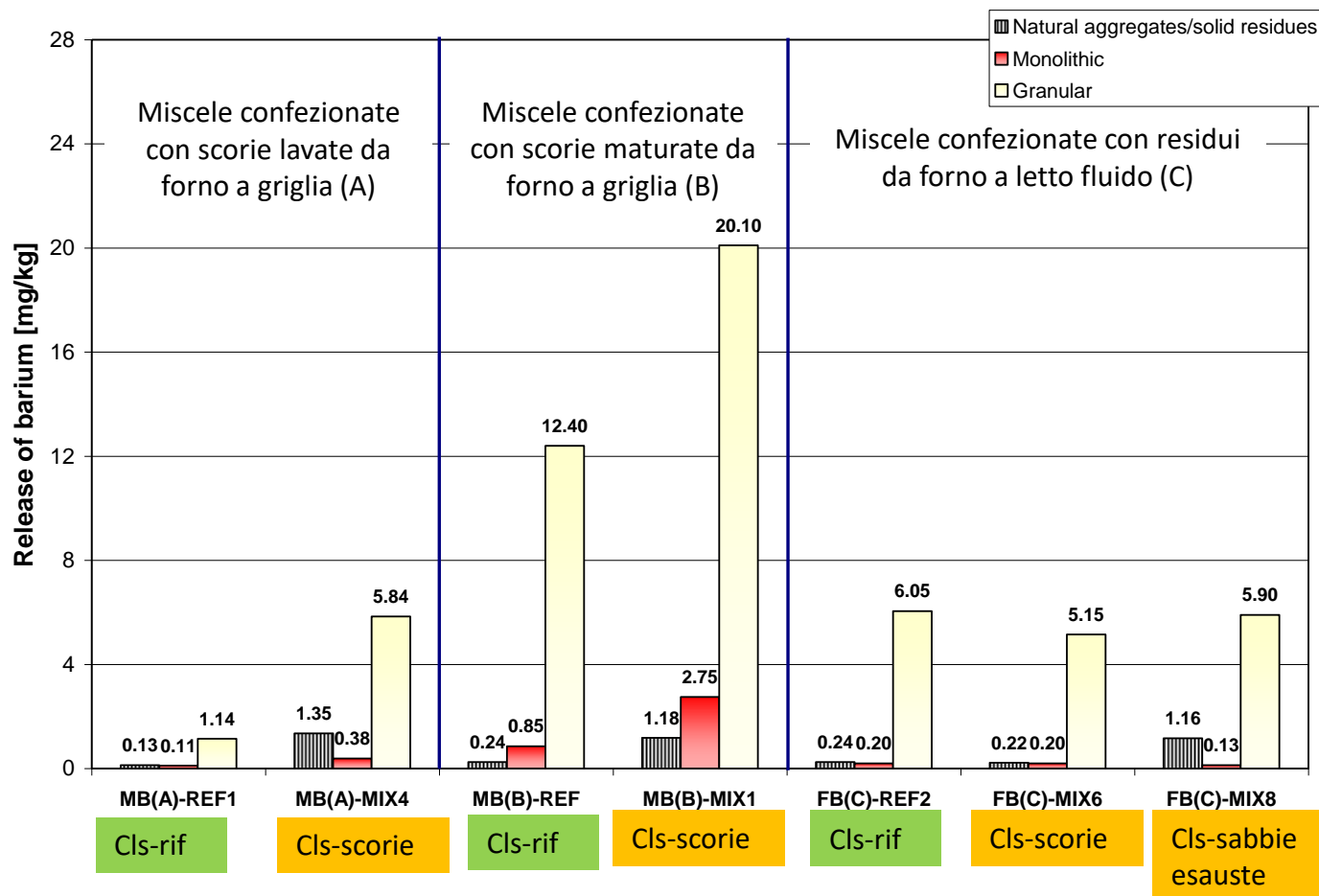


EFFETTO DEL LAVAGGIO EFFETTO DELLA MATURAZIONE

- **Lavaggio:** molto efficace nella riduzione degli inquinanti



TEST di CESSIONE CALCESTRUZZO MONOLITICO



UNI EN
12457-2



	Rilascio [mg/L]	
	CEM 32.5R	CEM 42.5R
SO ₄ ²⁻	177	439
Ba	0.484	0.875
Cr _{TOT}	0.356	0.270
pH	12.1	12.3

**Più elevato del limite del
DM 186/06**

- **Effetto dell'inglobamento nel cls** → il rilascio di inquinanti diminuisce (anche per rame, cromo, cloruro) → effetto dell'inertizzazione nel conglomerato cementizio
- **Effetto della frantumazione del cls** → aumento significativo del rilascio (anche per solfati, cromo e COD) → effetti dell'aggiunta di cemento e dell'aumento della superficie di esposizione

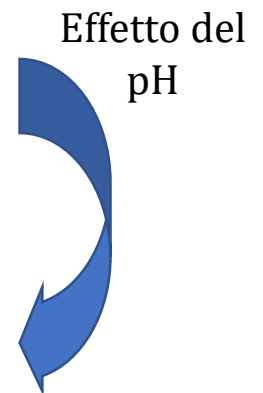
Ecotossicità

- Test di tossicità (24 h) con **Daphnia magna**
- UNI EN ISO 6341
- **Eluati dal test di cessione UNI EN 12457-2** → sottoposti a test di tossicità
- Residui testate: **aggregate naturali e Bottom Ash lavate da forno a griglia (A)**




Eluati testati (granulometria in mm)		pH	Conducibilità [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Daphnie immobilizzate	
				24 h	48 h
#1	Sabbia naturale (0-6)	9.0	72.0	0	0
#2	Mista getto (0-18)	8.9	69.2	0	0
#3	Ghiaia fine (6-12)	9.1	65.2	0	0
#4	Ghiaia media (12-20)	9.1	69.0	0	0
#5	WBA(0.063-2)(A)	11.7	1,293	10/10	
#6	WBA(2-10)(A)	10.3	650	10/10	



Eluati testati (granulometria in mm)		pH modificato	Conducibilità [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Daphnie immobilizzate	
				24 h	48 h
#5	WBA(0.063-2)(A)	7.2	760	0	0
#6	WBA(2-10)(A)	7.3	612	0	0



CONCLUSIONI

MATERIALE	ASPETTI POSITIVI	ASPETTI NEGATIVI
 <p>AGGREGATI RICICLATI DA C&D</p>	<ul style="list-style-type: none">• Risparmio di risorse naturali• Inserimento sul mercato di nuovi materiali alternativi• Riduzione dei volumi di rifiuti da smaltire in discarica	<ul style="list-style-type: none">• Possibile rilascio di contaminanti nell'ambiente circostante (Cr, SO₄, Cl, COD ...)• pH alcalino -> influenza il rilascio di determinati contaminanti• Rilascio di Cr → calcestruzzo e materiali ceramici (argilla)• Rilascio di SO₄ → gesso e materiali ceramici• Rilascio di Cl → cemento e materiali ceramici• Rilascio di COD → sostanza organica contenuta principalmente nei C&D misti• Calcestruzzo con AR → aumento di porosità del materiale, maggiore permeabilità e diminuzione della densità → RILASCIO MAGGIORE

CONCLUSIONI

MATERIALE	ASPETTI POSITIVI	ASPETTI NEGATIVI
<p data-bbox="127 339 359 434">SCORIE DI ACCIAIERIA</p> 	<ul data-bbox="459 287 1116 833" style="list-style-type: none">• Risparmio di risorse naturali• Inserimento sul mercato di materiali alternativi all'aggregato naturale• Riduzione dei volumi di rifiuti da smaltire in discarica• Caratteristiche fisico-meccaniche• Rilascio contaminanti confrontabile con AN	<ul data-bbox="1149 339 1870 782" style="list-style-type: none">• pH alcalino -> influenza il rilascio di determinati contaminanti• Presenza di elementi come FeO e MgO in forma libera che danno luogo ad instabilità volumetrica e fenomeni espansivi• Densità maggiore di circa il 30% rispetto all'aggregato naturale
<p data-bbox="69 986 413 1080">SCORIE DA INCENERIMENTO</p> 	<ul data-bbox="459 972 1116 1296" style="list-style-type: none">• Risparmio di risorse naturali• Inserimento sul mercato di materiali alternativi all'aggregato naturale• Riduzione dei volumi di rifiuti da smaltire in discarica	<ul data-bbox="1149 943 1870 1325" style="list-style-type: none">• pH alcalino -> influenza il rilascio di determinati contaminanti• necessità di pretrattamenti (ad esempio lavaggio) per ridurre il rilascio di inquinanti ed ottenere buone prestazioni del calcestruzzo

Ringraziamenti

**Presentazione realizzata con la collaborazione di Alessandro Abbà,
Alessandra Diotti, Alan Piemonti, Carlotta Alias**

SCORIE incenerimento RSU

- **Dottorato di ricerca** *«Il recupero dei rifiuti speciali nel settore delle costruzioni: studio delle possibilità di recupero e valutazione dei meccanismi di lisciviazione»*, finanziato da PBR Maclodio (Università di Pavia, Dottorando Alessandro Abbà) (2005-2008)

RIFIUTI da DEMOLIZIONE

- **Dottorato di ricerca:** *"La caratterizzazione ambientale e tecnica dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione e degli Aggregati Riciclati prodotti al fine dell'impiego nel calcestruzzo, nelle costruzioni stradali e nelle opere geotecniche"*, finanziato dalle aziende Gruppo Gatti S.p.A., Esse Emme S.r.l. e Fasanini S.r.l. (Università di Brescia, Dottoranda Alessandra) (2018-2021)
- Dottorato di ricerca: *"Studio di soluzioni sostenibili per l'impiego di materiali di riciclo nel settore delle costruzioni"*, finanziato da ANCE Brescia (Università di Brescia, Dottorando Andrea Piccinali) (2020-2023)

SCORIE ACCIAIERIA

- **Dottorato di ricerca:** *"Valorizzazione dei rifiuti industriali, con particolare riferimento alle scorie di fonderia e acciaieria, come nuovi materiali per l'edilizia"*, finanziato da ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) e da Regione Lombardia (Università di Brescia, Dottorando Alan Piemonti) (2019-2022)
- Progetto Eco-health waste B+Labnet Università di Brescia (2015-2020)