

# POTENZIALITÀ E CRITICITÀ NEL RICICLO DELLE SABBIE DI FONDERIA

Evento finale del progetto  
"Nuovi processi di riciclo per le sabbie di fonderia:  
innovazione finalizzata all'ottenimento di materiali ad alto valore aggiunto"



IUSS

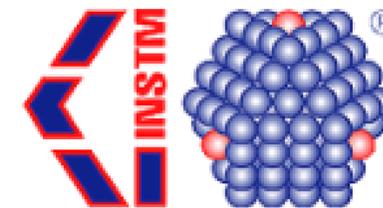


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA

Fondazione  
CARIPLO



ASSOFOND  
ASSOCIAZIONE ITALIANA FONDERIE



## Caratteristiche quali-quantitative e recuperi delle sabbie esauste da fonderia

**Sabrina Sorlini**

DICATAM, Università degli Studi di Brescia

29 Maggio 2023

# ATTIVITÀ SVOLTE

1. ANALISI DEI FLUSSI DEI RIFIUTI PRODOTTI DALLE FONDERIE
2. ELABORAZIONE DEI QUESTIONARI E DEI CERTIFICATI FORNITI DALLE FONDERIE
3. CAMPIONAMENTI E CARATTERIZZAZIONE CON TEST DI ECOTOSSICITÀ

# RIFIUTI PRODOTTI DALLE FONDERIE

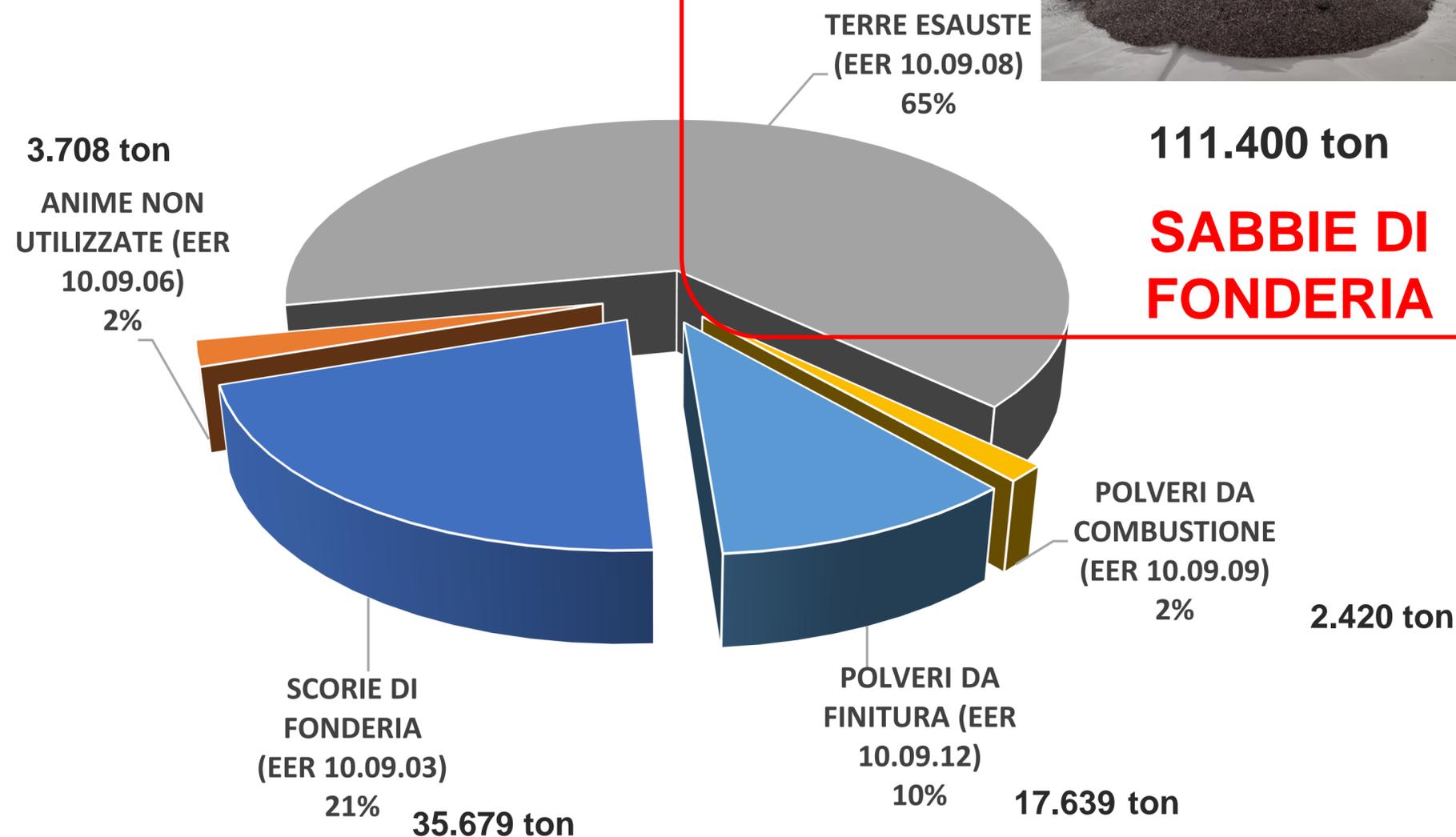
- 1. Scorie di fusione (EER 10 09 03 – 10 10 03)**
- 2. Forme e anime da fonderia utilizzate (EER 10 09 08 – 10 10 08)**  
→ **«terre esauste o sabbie di fonderia»**
- 3. Altri particolati (EER 10 09 12 – 10 10 12)**
- 4. Anime non utilizzate (EER 10 09 06 – 10 10 06)**
- 5. Polveri da combustione (EER 10 09 09 – 10 10 09)**

# RIFIUTI da FONDERIE in REGIONE LOMBARDIA

Anno 2018

65 produttori ~ 172.000 tonnellate

**FONDERIE DI  
METALLI  
FERROSI**  
(ghisa e acciaio)



Fonte: MUD

Anno di riferimento: 2018

# RIFIUTI da FONDERIE in REGIONE LOMBARDIA

## FONDERIE DI METALLI NON FERROSI

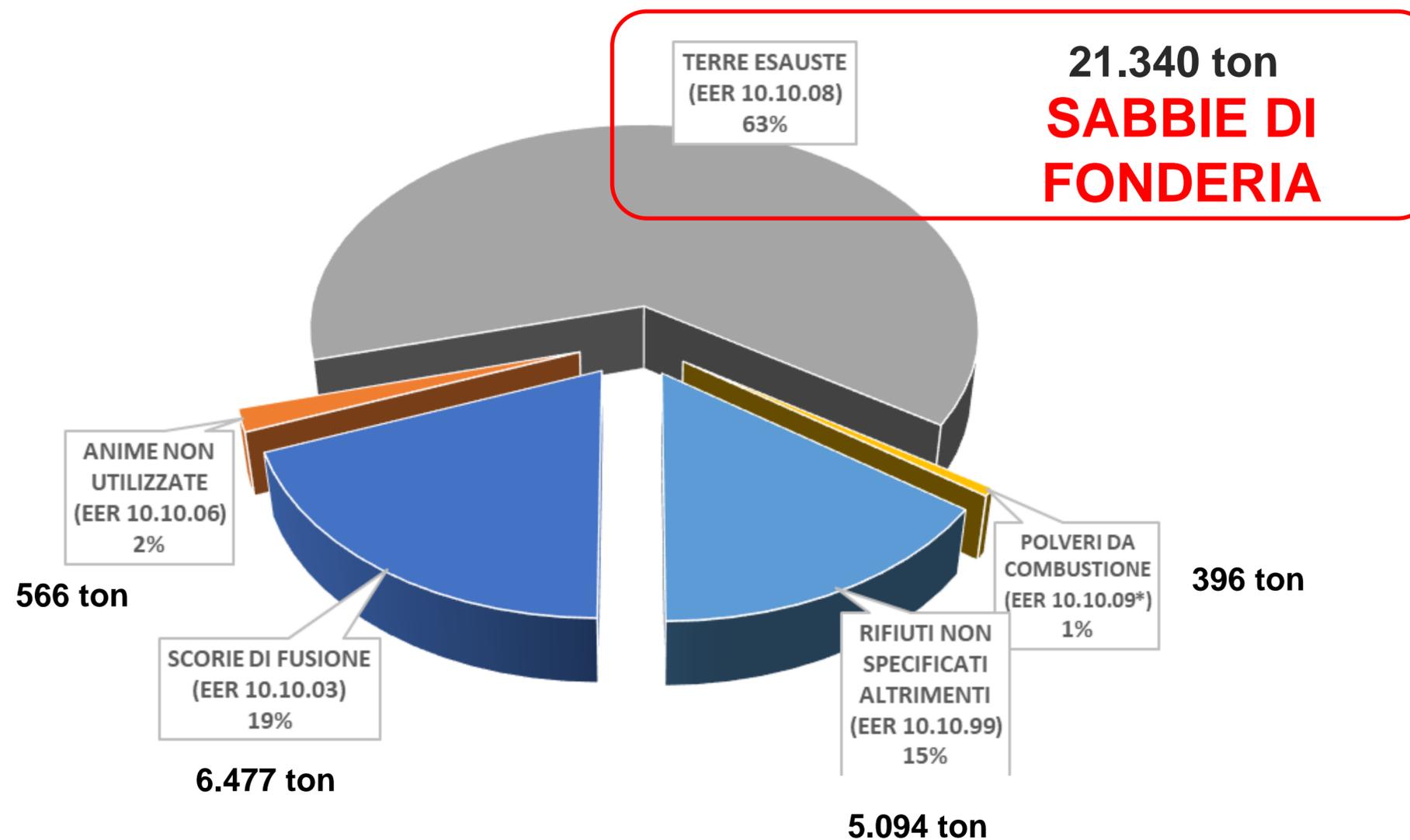
(rame, alluminio, zinco, microfusione, etc.)



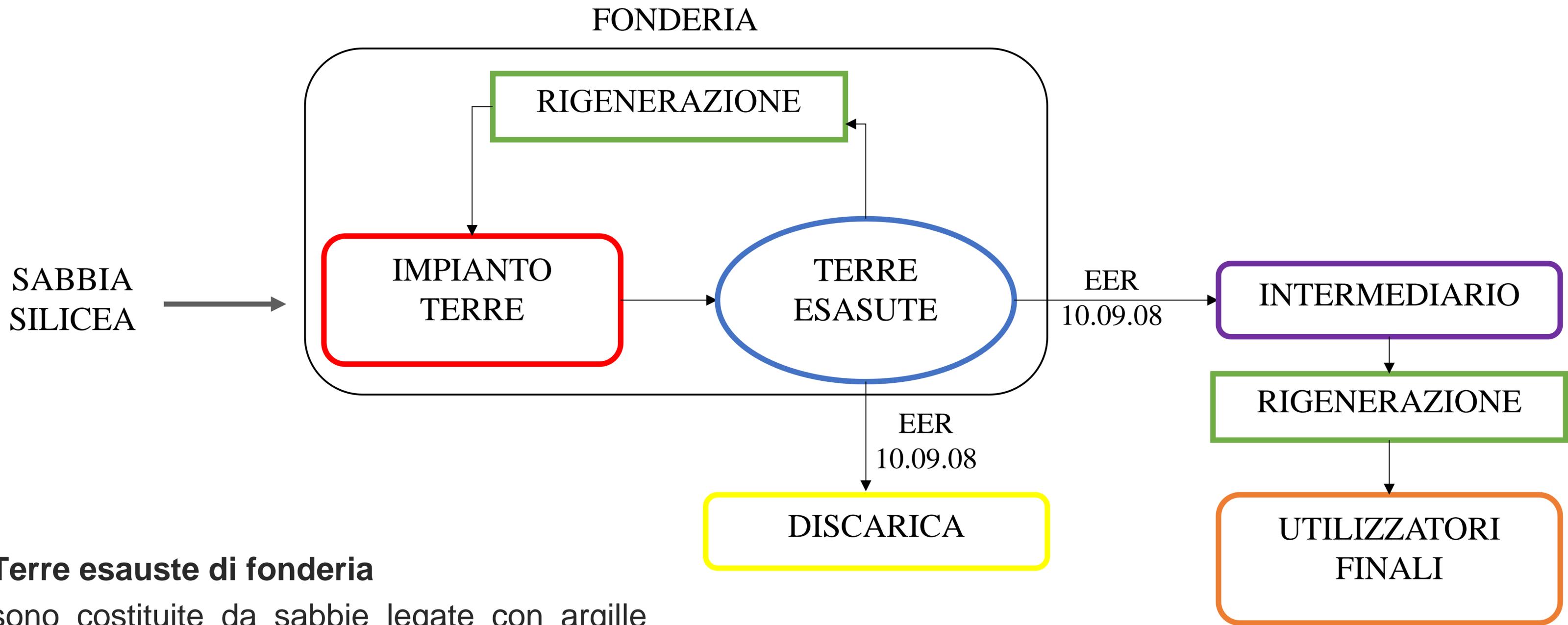
Fonte: MUD

Anno di riferimento: 2018

Anno 2018  
60 produttori ~ 34.000 tonnellate



# TERRE ESAUSTE DA FONDERIA: modalità di gestione



## Terre esauste di fonderia

sono costituite da sabbie legate con argille tipo bentonite e miscelate con vari minerali oppure agglomerate con silicati e cemento o leganti organici.

# TERRE ESAUSTE DI FONDERIA



Terre esauste da fonderie di metalli  
**FERROSI (10.09.08)**  
MUD 2018:  
**111.400** tonnellate prodotte  
**172.240** tonnellate gestite

**80% R5:**  
Riciclo/recupero di altre  
sostanze inorganiche

**3,4% D1:**  
Deposito in discarica

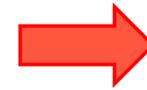
Terre esauste da fonderie di metalli  
**NON FERROSI (10.10.08)**  
MUD 2018:  
**21.346** tonnellate prodotte  
**33.611** tonnellate gestite

**99% R5:**  
Riciclo/recupero di altre  
sostanze inorganiche

**FONTE:** Aggiornamento del Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR), 2022

# TERRE ESAUSTE DI FONDERIA: focus Ferrosi

Provincia	N. aziende produttrici	Quantità prodotta (2018)	
		[ton]	[%]
Brescia	21	60.536	54,3
Bergamo	14	31.600	28,4
Varese	9	6.404	5,7
Milano	10	4.441	4,0
Lecco	2	3.024	2,7
Pavia	3	2.764	2,5
Monza	2	1.071	1,0
Brianza	2	1.071	1,0
Sondrio	1	918	0,8
Cremona	3	642	0,6
Como	0	0	0,0
Lodi	0	0	0,0
Mantova	0	0	0,0
<b>TOTALE</b>	<b>65</b>	<b>111.400</b>	<b>100,0</b>



**Brescia + Bergamo: 83% del totale lombardo**

- **Maggiori quantità (65%) gestite nel territorio regionale**
- **Veneto e Piemonte altre destinazioni principali**

Fonte: MUD  
Anno di riferimento: 2018

# TERRE ESAUSTE DI FONDERIA: gestione in Lombardia

	Quantità (2018) [ton]				Totale provincia
	R4	R5	R13	D1	
Brescia	120	76.059	29.861	6.080	112.120
Pavia	0	38.210	2.695	0	40.905
Mantova	0	13.660	836	0	14.496
Milano	0	3.058	2	0	3.060
Varese	0	2.000	205	0	2.205
Cremona	0	1.099	0	0	1.099
Monza	0	813	0	0	813
Brianza	0	813	0	0	813
Como	0	215	0	0	215
Bergamo	0	0	0	0	0
Lodi	0	0	0	0	0
Lecco	0	0	0	0	0
Sondrio	0	0	0	0	0
<b>TOTALE</b>	<b>120</b>	<b>135.114</b>	<b>33.599</b>	<b>6.080</b>	<b>174.913</b>

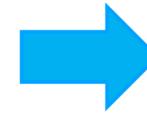
- Le province in cui vengono gestiti i maggiori quantitativi sono **Brescia** e **Pavia**
- I maggiori quantitativi sono avviati a **recupero di materia (R5** - Riciclo/recupero di altre sostanze inorganiche)
- I principali recuperatori sono:
  - cementifici** (Brescia)
  - aziende che si occupano di **recupero e cernita** di materiali o di trattamento e smaltimento rifiuti (Brescia, Pavia)
  - produttori di laterizi** (mattoni, tegole ed altri prodotti per l'edilizia in terracotta) (Pavia)

Fonte: MUD  
Anno di riferimento: 2018

# TERRE ESAUSTE DI FONDERIA: principali recuperi

D.M. 05/02/98 e modifiche D.M. 186/2006

«Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle  
procedure semplificate di recupero»



D.Lgs 152/2006184-Ter  
«Cessazione della qualifica di rifiuto»

**7.25 Tipologia:** terre e sabbie esauste di fonderia di seconda fusione dei metalli ferrosi [100299] [100910] [100912][100906] [**100908**] [161102] [161104].

**7.25.1 Provenienza:** fonderie di seconda fusione di ghisa e di acciaio.

**7.25.2 Caratteristiche del rifiuto:** sabbie e terre refrattarie miscelate con leganti inorganici (argille) e/o organici (resine furaniche, fenoliche e isocianati) il contenuto massimo di fenolo sul rifiuto tal quale è pari a 200 ppm; rifiuti di forme ed anime.

**7.25.3 Attività di recupero:**

**a) cementifici [R5];**

b) produzione di calce idraulica [R5];

c) processi di rigenerazione delle sabbie di fonderia esauste [R5];

**d) industria dei laterizi della ceramica e dell'argilla espansa [R5];**

e) produzione di conglomerati per l'edilizia [R5];

f) industria vetraria [R5]

g) industria ceramica [R5]

**h) produzione conglomerati bituminosi [R5];**

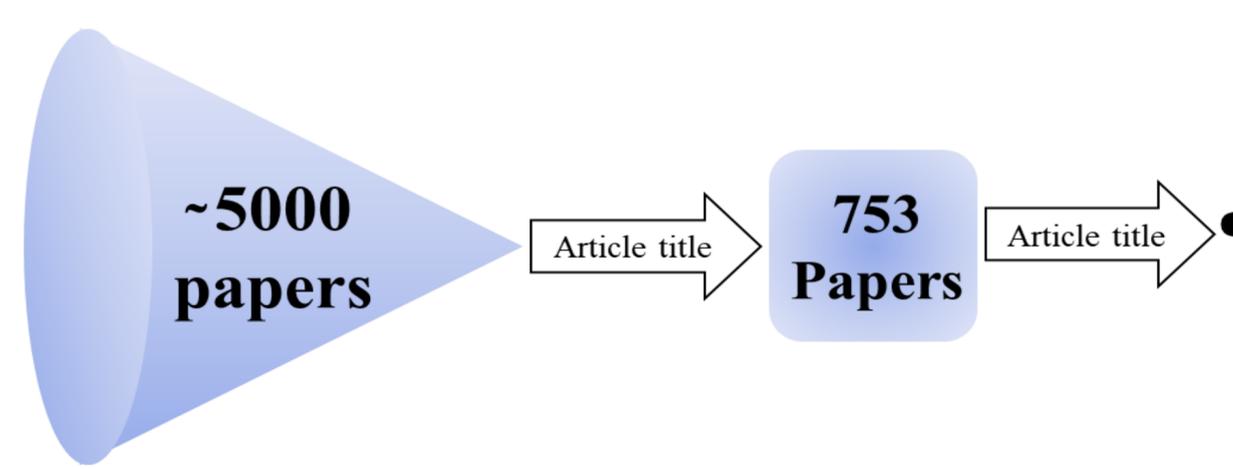
**i) utilizzo per rilevati e sottofondi stradali [R5] (il recupero è subordinato all'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale secondo il metodo in allegato 3 al presente decreto);**

- **CEMENTIFICI**
- **SETTORE LATERIZI**
- **CONGLOMERATI BITUMINOSI**
- CONGLOMERATI CEMENTIZI
- VETRERIE
- SETTORE CERAMICO
- **SOTTOFONDI**
- **RILEVATI STRADALI**

**USI "NON LEGATI"**

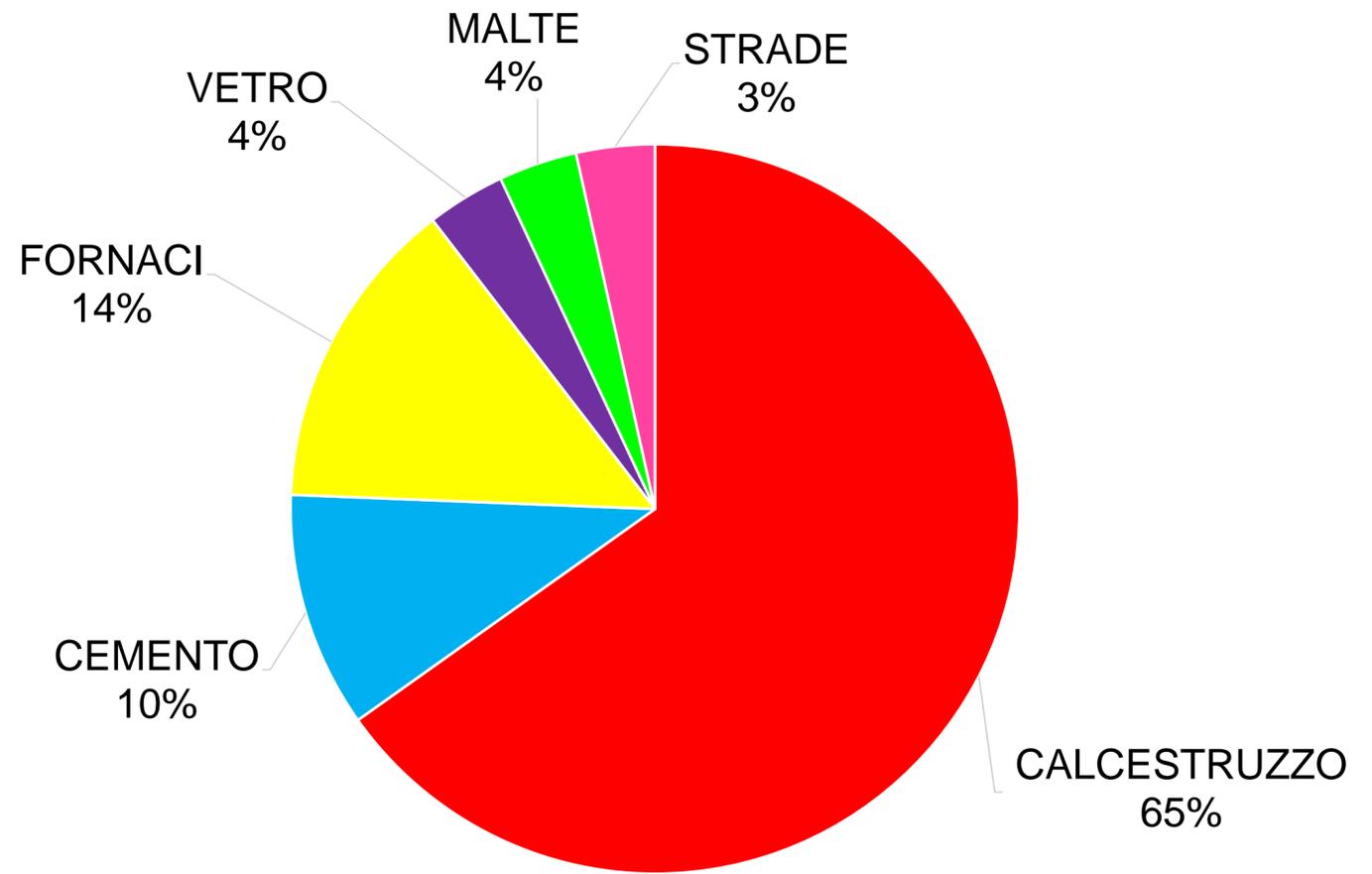
# TERRE ESAUSTE DI FONDERIA: recuperi in letteratura

\*Scopus.it



- «foundry sand concrete» **131 Papers**
- « foundry sand cement» **22 Papers**
- «foundry sand furnace, tiles, bricks» **28 Papers**
- «foundry sand glass» **7 papers**
- «foundry sand mortar» **7 Papers**
- «foundry sand pavement, asphalt, road» **7 Papers**

## DESTINAZIONI D'USO



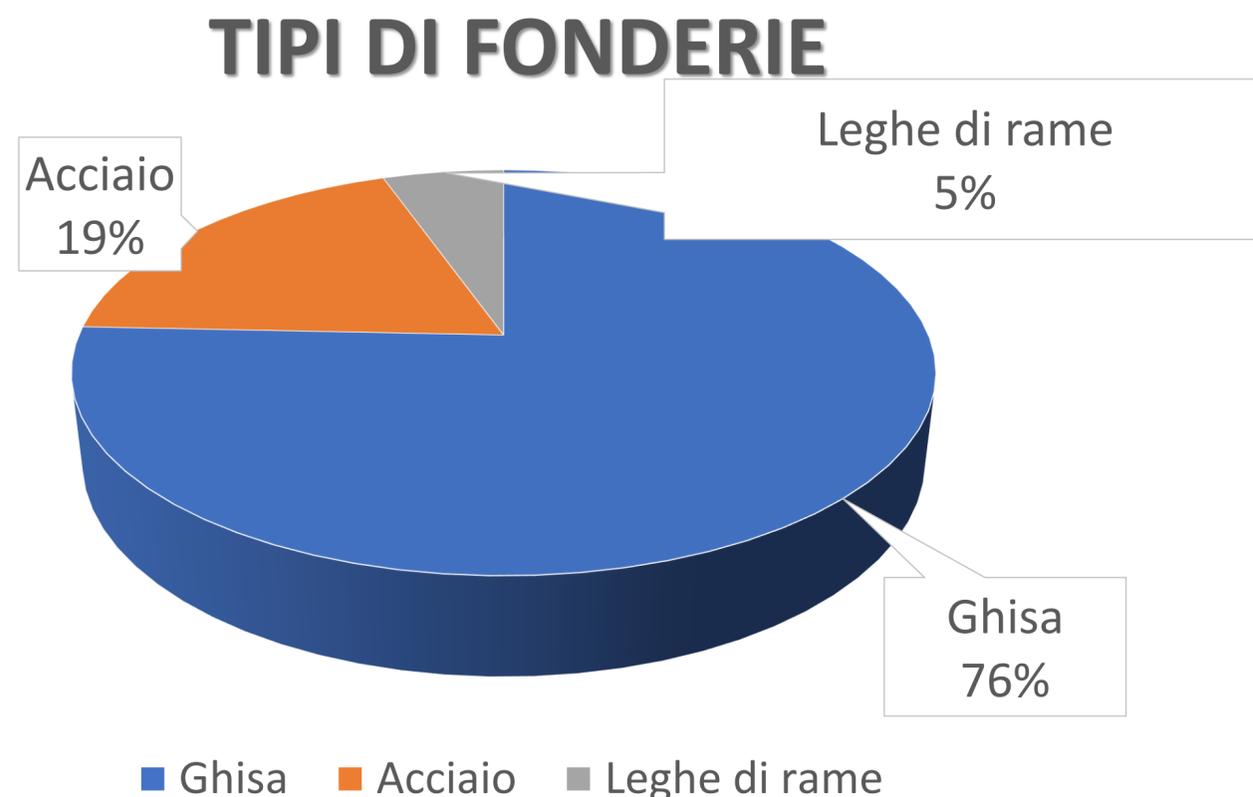
## RECUPERO NEL CALCESTRUZZO:

- GRANULOMETRIA  
- LAVORABILITA' 
- RESISTENZA MECCANICA  
- DURABILITA' 
- ASSORBIMENTO D'ACQUA 
- RESISTENZA ALL'ABRASIONE 
- TEST DI CESSIONE: idoneità al recupero (non richiesto dalla normativa)

# INDAGINE PRESSO LE FONDERIE LOMBARDE

QUESTIONARI COMPILATI: **37 fonderie**

- **27** fonderie di **ghisa**
- **8** fonderie di **acciaio**
- **2** fonderie di **leghe di rame**



- Alcune fonderie acquistano diversi tipi di sabbie
- Diversi sistemi di formatura (leganti inorganici (argille) e/o organici (resine furaniche, fenoliche e isocianati))

- ANALISI CHIMICHE SUL RIFIUTO TAL QUALE: **36 analisi**
- ANALISI SUGLI ELUATI DEI TEST DI CESSIONE: **25 analisi**  
(11 per il recupero + 14 per il conferimento in discarica)

# RISULTATI INDAGINE: Composizione chimica

Parametro	Unità di misura	N. analisi	Intervallo
Sostanza secca	%	36	80 – 100
Residuo a 550 °C	%	30	78 – 100
pH		31	4,5 – 11,1
Arsenico	mg/kg	37	0,53 – <15
Bario	mg/kg	16	<5 – 991
Cadmio	mg/kg	37	0,17 – <11
Cobalto	mg/kg	29	0,62 – 21
<b>Cromo totale</b>	<b>mg/kg</b>	<b>36</b>	<b>1 – 22.206</b>
Cromo VI	mg/kg	37	<0,1 – <10
Mercurio	mg/kg	34	0,16 – <5
Molibdeno	mg/kg	17	1,7 – 50
<b>Nichel</b>	<b>mg/kg</b>	<b>37</b>	<b>&lt;1 – 222</b>
Piombo	mg/kg	37	<1 – 194
<b>Rame</b>	<b>mg/kg</b>	<b>37</b>	<b>&lt;1 – 3.234</b>
Vanadio	mg/kg	13	0,9 – 45
Zinco	mg/kg	37	<1 – 928
Benzene	mg/kg	2	0,712 – 0,88
Toluene	mg/kg	2	1,66 – 1,7
<b>Fenoli totali</b>	<b>mg/kg</b>	<b>30</b>	<b>0,7 – 82</b>
<b>Oli minerali</b>	<b>mg/kg</b>	<b>9</b>	<b>&lt;10 – 1.350</b>
Idrocarburi Leggeri C <sub>≤</sub> 12	mg/kg	9	7,3 – <100
<b>Idrocarburi pesanti C<sub>&gt;</sub> 12</b>	<b>mg/kg</b>	<b>17</b>	<b>40 – 570</b>

Analisi chimica su terre esauste

(EER 10.09.08 -10.10.08)

- Rifiuti non pericolosi
- Ampia variabilità nella composizione chimica dovuta al tipo di colata e alla tipologia di formatura impiegata
- Talvolta presenza significativa di:
  - ✓ cromo totale, nichel, rame
  - ✓ oli minerali, idrocarburi, fenoli

# RISULTATI INDAGINE: Test di cessione

Parametro	Unità di misura	Limite D.M. 186/2006	N. analisi	Intervallo	Non conformità [numero e [%]]
Cloruri	mg/L	100	25	<1 – 75,3	0
Nitrati	mg/L	50	11	0,22 – 29,8	0
<b>Fluoruri</b>	<b>mg/L</b>	<b>1,5</b>	<b>25</b>	<b>&lt;0,1 – 15,4</b>	<b>15 [60%]</b>
Solfati	mg/L	250	25	3 – 221	0
Cianuri totali	µg/L	50	11	<5 – <30	0
Antimonio	mg/L	-	14	0,001 – <0,01	n.p.
Bario	mg/L	1	25	0,002 – <1	0
<b>Rame</b>	<b>mg/L</b>	<b>0,05</b>	<b>24</b>	<b>0,001 – &lt;0,1</b>	<b>3 [13%]</b>
Zinco	mg/L	3	25	0,003 – 2,6	0
Molibdeno	mg/L	-	14	<0,001 – 0,143	n.p.
Berillio	µg/L	10	12	<0,09 – <5	0
Cobalto	µg/L	250	12	<0,21 – <100	0
<b>Nichel</b>	<b>µg/L</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>&lt;0,24 – 300</b>	<b>5 [20%]</b>
Vanadio	µg/L	250	11	<0,4 – 64	0
Arsenico	µg/L	50	25	0,743 – 11,2	0
<b>Cadmio</b>	<b>µg/L</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>&lt;0,081 – &lt;10</b>	<b>1 [4%]</b>
Cromo totale	µg/L	50	25	<0,1 – 36	0
<b>Piombo</b>	<b>µg/L</b>	<b>50</b>	<b>25</b>	<b>&lt;0,26 – &lt;100</b>	<b>1 [4%]</b>
Selenio	µg/L	10	25	<0,86 – <10	0
Mercurio	µg/L	1	25	<0,031 – <1	0
Amianto	mg/L	30	12	Assente – <10	0
<b>COD</b>	<b>mg/L</b>	<b>30</b>	<b>13</b>	<b>&lt;1 – 792</b>	<b>5 [38%]</b>
DOC	mg/L	n.p.	9	16,8 – 228	n.p.
<b>pH</b>	<b>-</b>	<b>5,5&lt;&gt;12</b>	<b>23</b>	<b>3,9 – 11</b>	<b>3 [13%]</b>
Conducib. elettr.	µS/cm	-	16	101 – 1.100	n.p.

# CAMPIONAMENTI

**36 fonderie** → l'85% delle terre esauste ferrose del totale regionale

- **26 fonderie di ghisa**
- **8 fonderie di acciaio**
- **2 fonderie di leghe di rame**

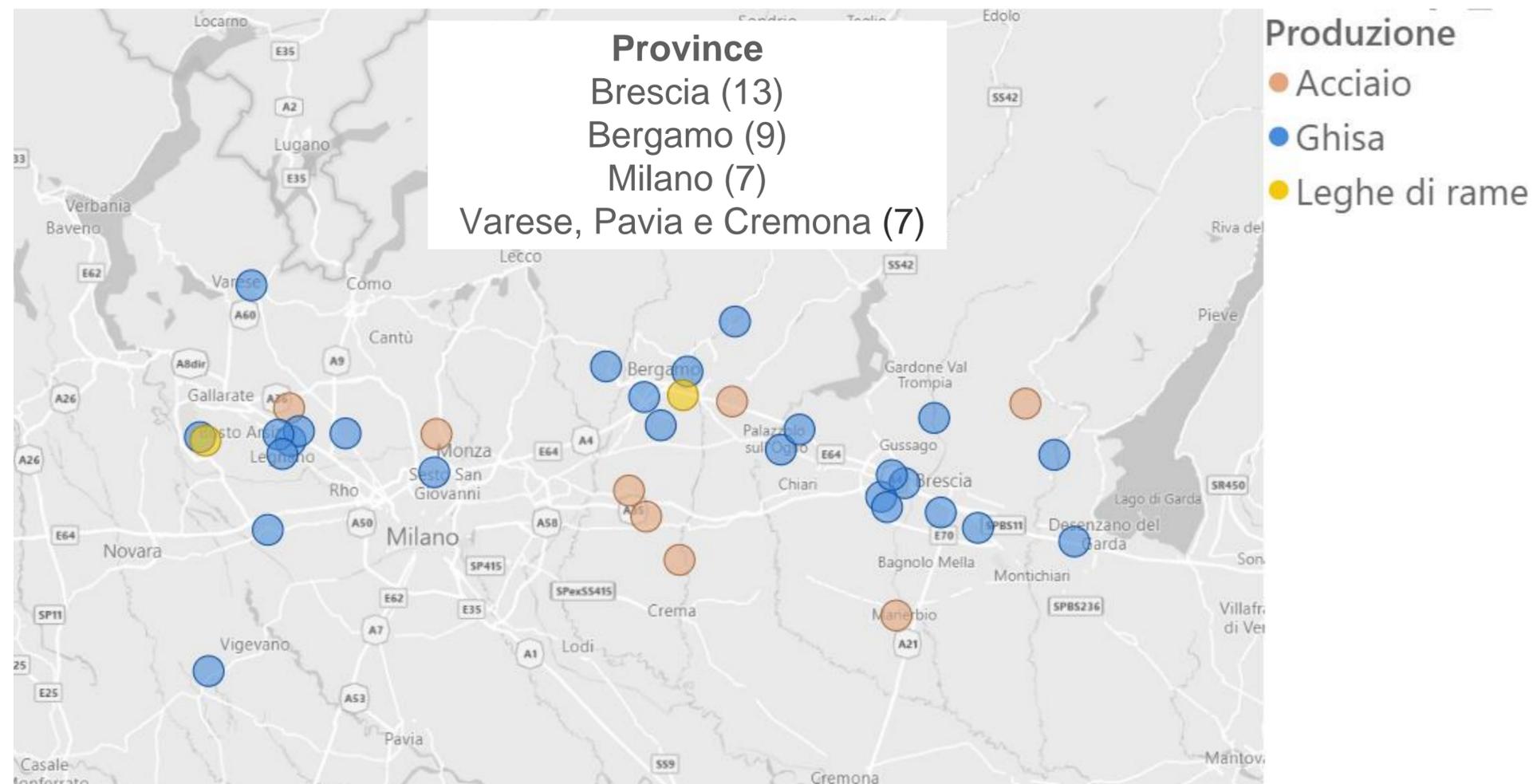
## CAMPIONAMENTI secondo UNI 10802:2013

Rifiuti - Campionamento manuale,  
preparazione del campione ed analisi degli  
eluati

Analisi chimiche e scelta di 25 campioni

Test di **cessione**

Test di **ecotossicità**



# TEST DI CESSIONE e DI ECOTOSSICITÀ

## CESSIONE

UNI EN 12457-2:2004

Caratterizzazione dei rifiuti - Lisciviazione - Prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e di fanghi

Granulometria **< 4 mm**

Tempo di contatto **24 h** ± 0,5 h

Lisciviante **acqua distillata**

L/S **10L/kg**

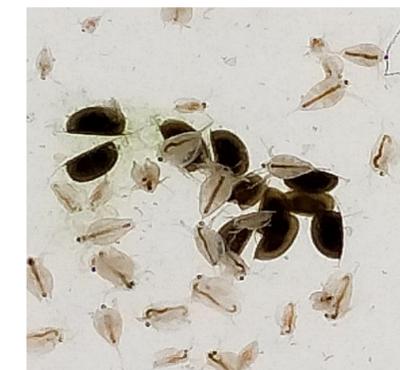
+ Test di cessione con minori rapporti L/S secondo quanto indicato da ISPRA



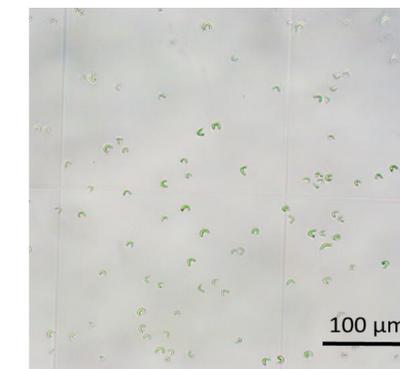
## ECOTOSSICITÀ

3 diversi organismi testati:

1. *Daphnia magna* (UNI EN ISO 6341)



2. *P. subcapitata* (UNI EN ISO 8692)



3. *A. fischeri* (UNI EN ISO 11348)

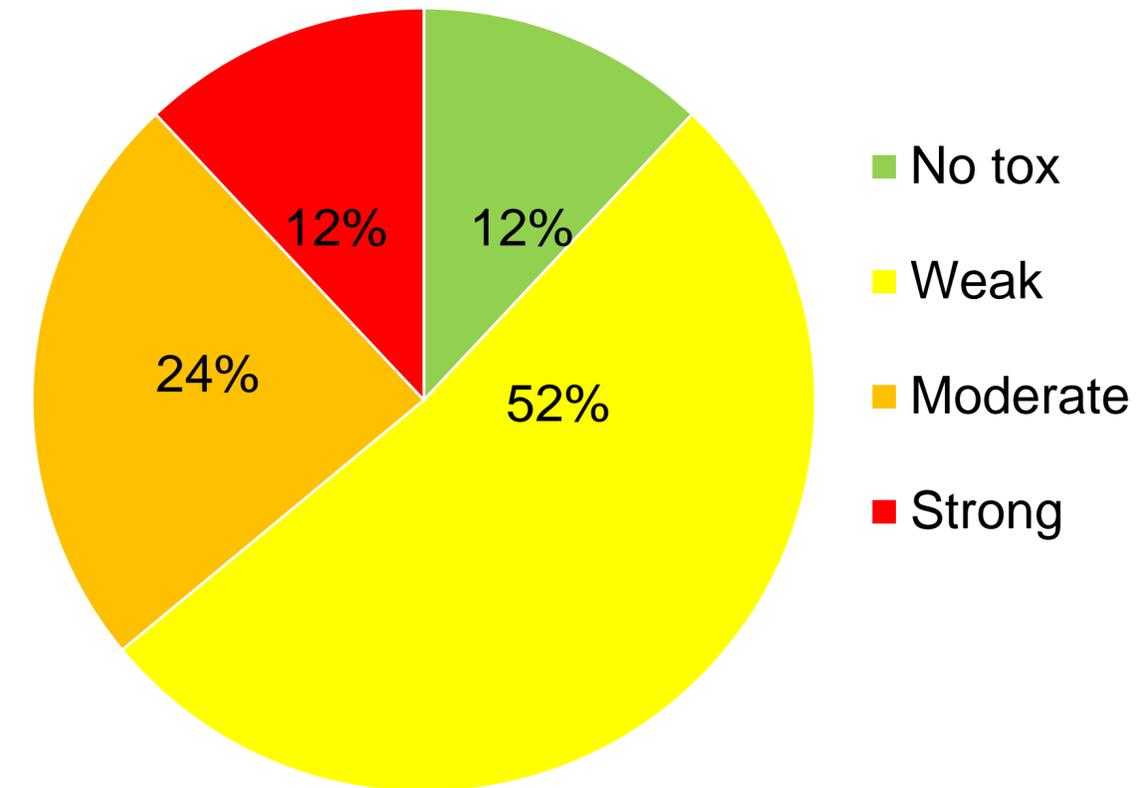


# TEST DI ECOTOSSICITÀ

## EcoScore system (Lors, Ponge, and Damidot 2018)

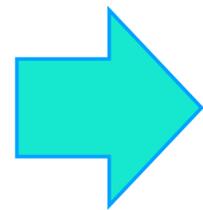
EcoScore	Intensity of toxicity
0	No
$0 < ES \leq 33$	Weak
$33 < ES \leq 67$	Moderate
$67 < ES \leq 100$	Strong

EcoScore system		
Sample	EcoScore	Intensity of toxicity
34	0	No tox
35	0	No tox
39	0	No tox
12	22	Weak
3	22	Weak
17	22	Weak
24	22	Weak
27	22	Weak
28	22	Weak
29	22	Weak
30	22	Weak
1	33	Weak
9	33	Weak
15	33	Weak
16	33	Weak
32	33	Weak
26	39	Moderate
10	44	Moderate
7	56	Moderate
14	56	Moderate
18	56	Moderate
31	56	Moderate
4	78	Strong
11	89	Strong
6	100	Strong



# CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE

- **Lombardia caso studio significativo** → notevoli quantità di sabbie esauste da fonderia (soprattutto Brescia e Bergamo)
- La maggior parte vengono **gestite nel territorio lombardo**
- **Variabilità** nella composizione **chimica** e nel comportamento al **rilascio** di **inquinanti** delle terre esauste → presenza di metalli pesanti e componenti organiche
- Recuperi più attuati: **cementifici, produzione di laterizi**
- I **test di ecotossicità** (*Daphnia magna*, *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Vibrio fischeri*) hanno evidenziato una **variabilità** tra campioni non tossici (la maggioranza), campioni mediamente tossici e altamente tossici
- Sulla base di questi primi risultati non è possibile indicare con certezza il legame tra effetti sugli organismi e presenza di inquinanti nelle terre



- Necessità di ulteriori approfondimenti
- Investigare nuove forme di recupero **DIVERSE** dalle **APPLICAZIONI NON LEGATE**

Fondazione  
**CARIPLO**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA



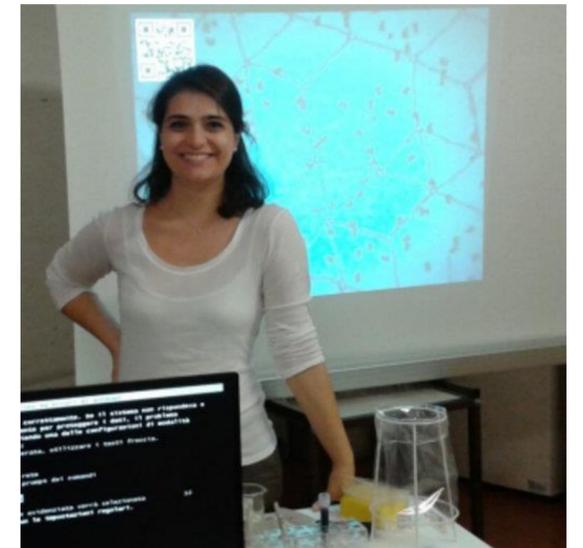
**B+LabNet**



Alessandro Abbà



Flavio Cioli



Carlotta Alias

# TESI E PUBBLICAZIONI

- Recupero e smaltimento delle terre di fonderia: caso studio della Fonderia di Torbole S.r.l.  
Studentessa: Simona Paderni  
Corso di studi: Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio  
Data conseguimento titolo: 14/02/2022
- Recupero di sabbie di fonderia nel settore delle costruzioni: valutazione dell'ecotossicità  
Studentessa: Clerici Lara  
Corso di studi: Laurea in Ingegneria Civile  
Data conseguimento titolo: 21/03/2022
- Cioli, F.; Abbà, A.; Alias, C.; Sorlini, S. Reuse or Disposal of Waste Foundry Sand: An Insight into Environmental Aspects. Appl. Sci.2022, 12, 6420. <https://doi.org/10.3390/app12136420>

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

**sabrina.sorlini@unibs.it**