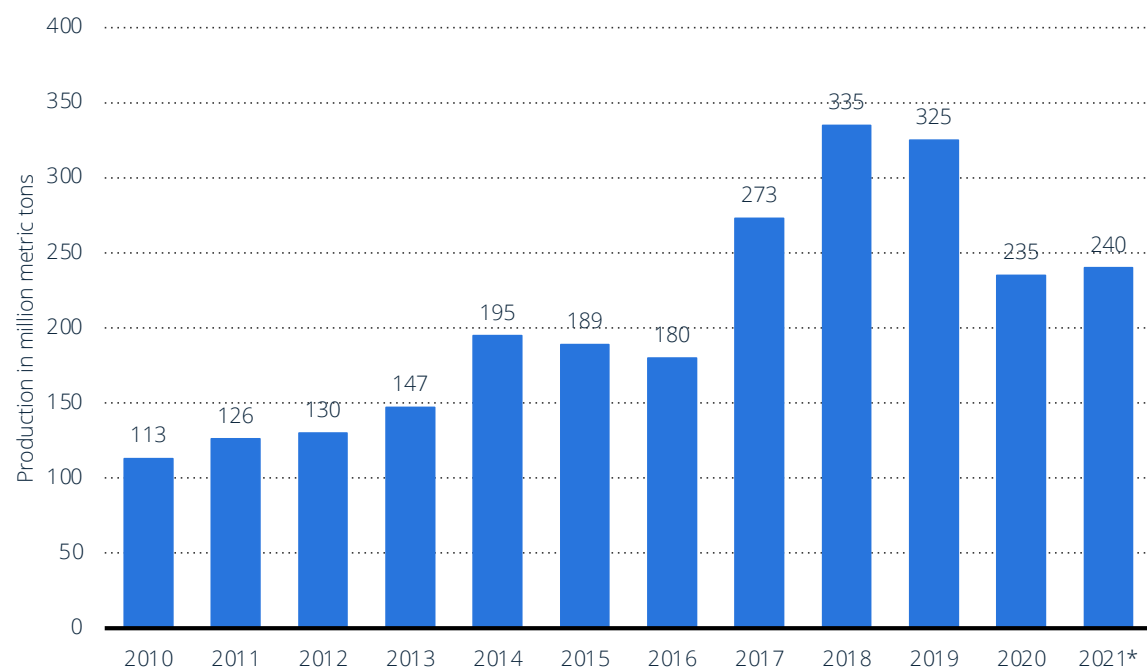


Sabbie da acciaieria: ostacoli tecnici e prospettive nel processo di recupero

Prof.ssa Laura E. Depero

Laboratorio di Chimica per le tecnologie, Università di Brescia, INSTM

Industrial sand and gravel production worldwide from 2010 to 2021 (in million metric tons)



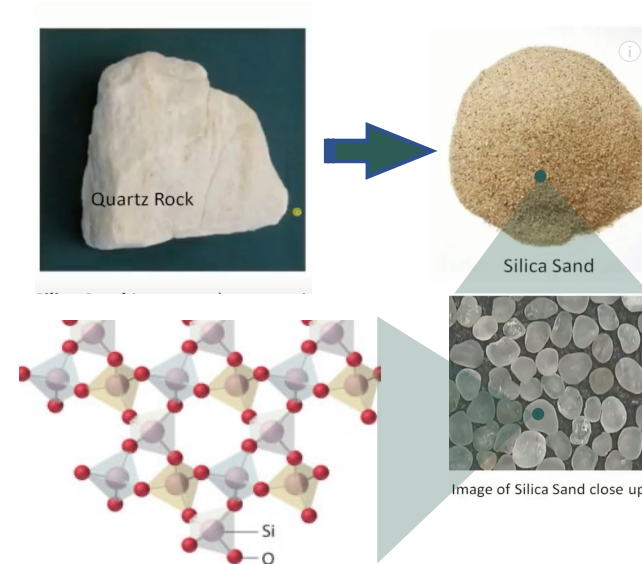
Sabbia e ghiaia vengono estratte dalla Terra: più di **330 milioni di tonnellate all'anno**, la maggior parte negli Stati Uniti, secondo la U.S. Geological Survey.

Note(s): Worldwide; 2010 to 2021

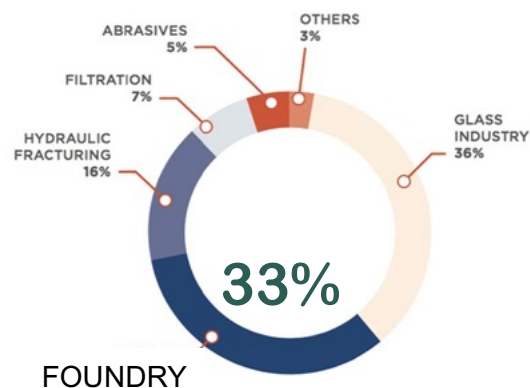
Further information regarding this statistic can be found on [page 8](#).

Source(s): US Geological Survey; [ID 728756](#)

Le sabbie silicee sono una forma di sabbia composta principalmente da quarzo, che è un minerale di silice. Queste sabbie sono ampiamente presenti in diverse parti del mondo e **possono variare nella loro composizione e caratteristiche a seconda dell'origine geologica.**



Le sabbie silicee sono costituite principalmente da granuli di quarzo di **diverse dimensioni, arrotondati o angolari** a seconda dei processi di trasporto e deposizione. La **loro colorazione può variare** dal bianco al giallo, al marrone o addirittura al nero, a seconda delle impurità presenti.



Sono ampiamente utilizzate in molteplici settori industriali, tra cui la produzione di vetro, la produzione di ceramica, la produzione di cemento, la filtrazione dell'acqua, la produzione di materiali refrattari e molto altro ancora.

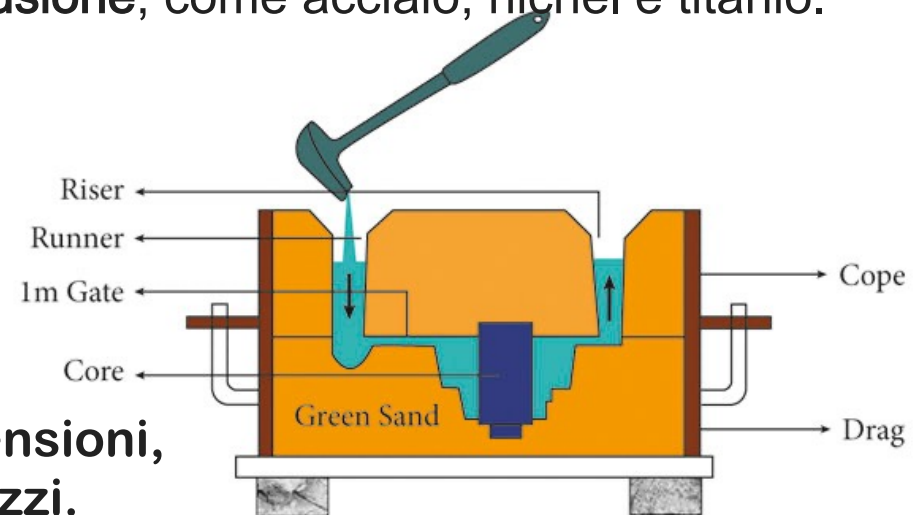
La loro elevata resistenza chimica e termica le rende particolarmente adatte per molte applicazioni industriali.

...e la colata in sabbia?

La **colata in sabbia**: metallo fuso è versato in una forma di sabbia. Dopo raffreddamento, si rompe la forma e si rimuove il grezzo. Possono **essere colati** in sabbia anche **metalli con alte temperature di fusione**, come acciaio, nichel e titanio.

La cavità nella forma si ottiene ricoprendo di sabbia un modello e rimuovendo in seguito il modello separando la forma in due parti.

E' possibile realizzare grezzi di varie dimensioni, da un singolo pezzo singolo a milioni di pezzi.



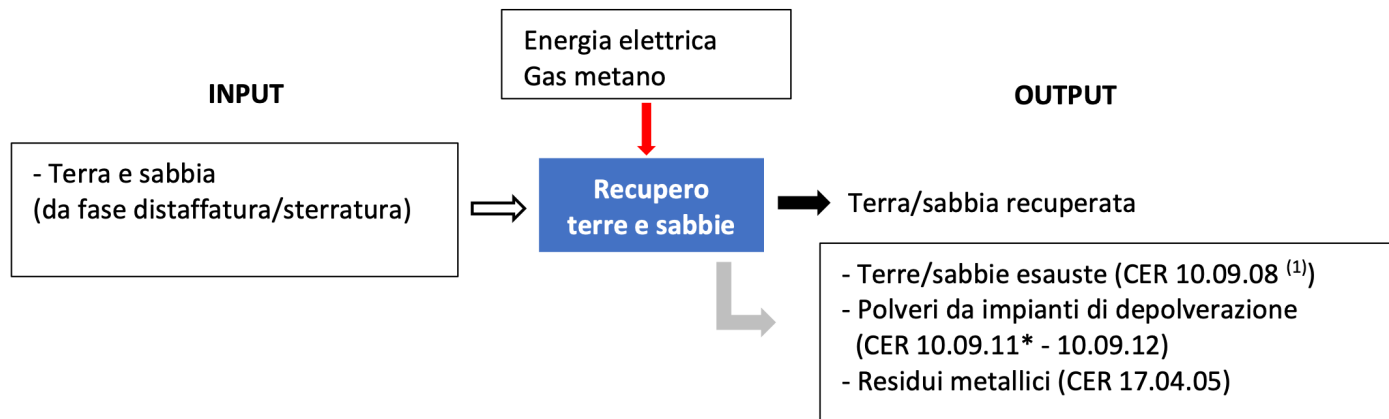
Advances in Materials Science and Engineering
Volume 2022, Article ID 7520308

Siccome la forma viene distrutta per rimuovere il grezzo, per ogni grezzo che si produce occorre costruire una forma nuova.

RECUPERO TERRE E SABBIE

Le sabbie vengono avviate al riutilizzo interno, previo idoneo trattamento di recupero/rigenerazione. Ad ogni ciclo, **una quota parte delle terre/sabbie in esubero deve essere “scartata”**.

Le caratteristiche chimico fisiche e qualitative di tali terre/sabbie scartate, anche se definite “esauste” sono le medesime di quelle rimesse in circolo.



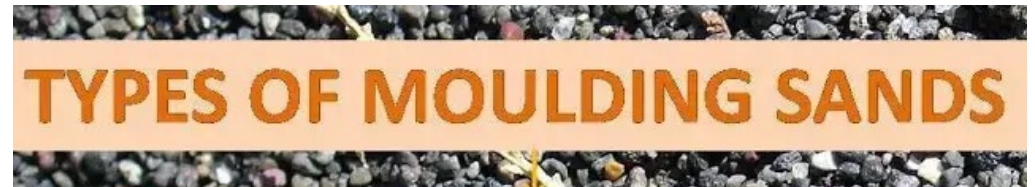
Nota (1) – Alle verifiche analitiche, le terre esauste si sono sempre rivelate NON pericolose

DOSSIER TERRE ESAUSTE

<https://www.openinnovation.regione.lombardia.it>

Il recupero delle terre/sabbie effettuato all'interno della fonderia prevede alcuni “**trattamenti**” effettuati per consentire il successivo utilizzo di terre/sabbie all'interno del ciclo produttivo della fonderia:

- setacciatura/vagliatura;
- de-ferrizzazione;
- “spogliatura” dai residui di legante (trattamento meccanico);
- “calcinazione” per eliminare i residui di legante (trattamento termico);
- “lavaggio” per eliminare i residui idrosolubili di legante (trattamento ad umido);
- depolverazione, per eliminare dalle terre/sabbie le “polveri”.



TYPES OF MOULDING SANDS

- 1. Sabbia verde:** La sabbia verde, anche conosciuta come sabbia naturale, è la sabbia più utilizzata nella colata. È essenzialmente una miscela di sabbia, argilla e acqua. L'argilla nella sabbia verde è di circa il 30% e quella di acqua è dell'8%. Questa sabbia è facilmente reperibile a basso costo.
- 2. Sabbia secca:** Se la sabbia verde viene cotta o essiccata in un forno, l'umidità presente nella forma verrà evaporata. Questa sabbia è conosciuta come sabbia secca.
- 3. Sabbia di loam:** La sabbia di loam è una miscela di sabbia, argilla e acqua. Contiene fino al 50% di argilla e il 18% di acqua. Questa sabbia viene utilizzata per colate di grandi dimensioni.
- 4. Sabbia di rivestimento:** È la sabbia principale che entra in contatto diretto con il metallo fuso. Viene utilizzata per realizzare le superfici dello stampo.
- 5. Sabbia di supporto:** Questa sabbia viene utilizzata per supportare la sabbia di rivestimento. Dopo aver versato la sabbia di rivestimento, l'intero cassero viene riempito con la sabbia di supporto. È principalmente sabbia usata.
- 6. Sabbia separatrice:** Questa sabbia è priva di umidità e argilla. Viene utilizzata per separare la parte superiore e inferiore dello stampo.
- 7. Sabbia per anime:** Questa sabbia viene utilizzata per realizzare le anime. È una miscela di sabbia di silice normale con olio. È anche conosciuta come sabbia oleosa.

UTILIZZI TERRE E SABBIE ESAUSTE

- Realizzazione di rilevati e sottofondi stradali;
- Produzione di conglomerati bituminosi;
- Produzione di laterizi e mattoni;
- Cementifici;
- Produzione di conglomerati per l'edilizia;
- Industria della ceramica;
- Industria del vetro.

Per alcune tipologie di riciclo vi sono già processi industriali, mentre per altri è stata dimostrato la potenzialità del processo

Sottofondi e rilevati stradali

CONDIZIONI PER IL RIUTILIZZO

Il materiale per i sottofondi e i rilevati stradali è un riempitivo che deve dare delle garanzie di stabilità. Attualmente alcuni materiali di scarto di fonderia possono essere utilizzati se superano il test di cessione.

OSTACOLI:

Nessuno. Studi e applicazioni pratiche ne hanno ampiamente dimostrato l'idoneità.

Dal punto di vista ambientale, la presenza di "inquinanti" quali resine organiche possono condizionare il risultato del test di cessione, in particolare per il parametro COD il cui limite è molto restrittivo (30 mg/l).

In caso di riutilizzo, il "risparmio" per l'utilizzatore non giustifica la responsabilità che grava sui direttori dei lavori che operano la scelta di sostituire gli inerti naturali con "un rifiuto"

VANTAGGI:

Considerati i costi di smaltimento di terre/sabbie esauste, il loro riutilizzo porterebbe notevoli vantaggi economici sia per il produttore che per il riutilizzatore, oltre agli indubbi vantaggi ambientali: riduzione dell'escavazione di inerti e azzeramento del ricorso allo smaltimento in discarica.

Conglomerati bituminosi

CONDIZIONI PER IL RIUTILIZZO

Per i conglomerati bituminosi esiste un decreto End of Waste (Decreto del Ministero dell'Ambiente del **28 marzo 2018, n. 69**) che prevede controlli sui rifiuti in ingresso all'impianto atti a verificare l'assenza di materiale diverso dal conglomerato bituminoso, nonché il rispetto di specifici parametri.

Tutti i materiali vengono macinati per avere una specifica granulometria, variabile a seconda del tipo di conglomerato.

OSTACOLI:

L'utilizzo di terre/sabbie esauste non comporta alcun problema tecnico. Da verificare la presenza di problemi sull'idoneità del prodotto, dovuti all'eventuale presenza nel materiale in ingresso di residui di resine fenoliche e/o furaniche. Questi residui di resina nella preparazione dei conglomerati bituminosi con temperatura di 130 - 150 gradi, non bruciano, a differenza di quanto avviene in altri utilizzi industriali (di cottura del clincker, produzione di vetro).

VANTAGGI:

Si utilizzano sabbie e materiali rocciosi di costo generalmente molto basso e, attualmente, il riutilizzo comporta comunque per il produttore del rifiuto un costo. La gestione come "non rifiuto" comporterebbe un sicuro risparmio per il settore della fonderia.

CONDIZIONI PER IL RIUTILIZZO

Ci sono consolidate esperienze industriali e i residui silicei vengono impiegati nel ciclo produttivo del laterizio in parziale sostituzione delle sabbie silicee di origine fluviale. Dal punto di vista qualitativo, si ha un miglioramento dovuto alla migliore qualità del quarzo delle sabbie utilizzate in fonderia. Vi sono maggiori possibilità di un riciclo in quanto vi sono già delle BAT consolidate.

OSTACOLI:

Il processo è ad alta temperatura, 1.200 gradi, quindi anche in questo caso molti microinquinanti si inertizzano, ma non è mai stato fatto uno studio che valuti le conseguenze sul prodotto di eventuali microinquinanti non inertizzati. Un altro ostacolo è dato dal fatto che le sabbie di fonderia sono particolarmente abrasive e quindi il loro utilizzo comporta una manutenzione della fornace più frequente.

Esistono, inoltre, problemi di natura culturale ma soprattutto mancanza di conoscenza delle potenzialità tecniche ed economiche offerte dal riutilizzo delle terre/sabbie di fonderia.

VANTAGGI:

il riutilizzo comporta maggiori costi di manutenzione rispetto all'impiego di sabbia vergine, quindi il recupero risulterebbe vantaggioso qualora vi fossero dei significativi incrementi nei costi di cavazione della sabbia naturale.

Cemento e conglomerati cementizi

CONDIZIONI PER IL RIUTILIZZO

- 1) tenore di silice > 65% o meglio 70% (cosa in genere verificata);
- 2) quantità di cromo molto bassa, meglio se attorno a 300-400 ppm (tenori maggiori di cromo creano problemi sul prodotto);
- 3) COD basso, inferiore al 5%;
- 4) granulometria necessariamente inferiore a 5 mm. Il settore riutilizza sabbie/terre associate al codice CER 10.09.08, ma non le frazioni fini derivanti dalle fasi di depolverazione delle emissioni che in genere presentano un COD maggiore.

Per l'utilizzo dei residui di terre/sabbie per la produzione di conglomerati cementizi, in particolare le malte refrattarie, pur in presenza di studi scientifici positivi, non sono segnalate evidenze di mercato.

OSTACOLI: Presenza nel residuo di quantità di cromo eccessiva (> di 500-600 ppm). COD > 5%.

VANTAGGI: sensibile riduzione del costo di conferimento per il produttore del residuo.

Ceramica

CONDIZIONI PER IL RIUTILIZZO

Al momento, non sono definite schede tecniche applicabili alle terre e sabbie di fonderia.

Nessuna impresa ceramica usa scarti di fonderia nel proprio ciclo produttivo. Si sono fatte delle sperimentazioni su materiali provenienti da filiere “affini” come quella del vetro o con materiali provenienti da pietra e marmo macinati. Anche in questo caso ci sono deversi studi accademici, ma nessuno di tali materiali è stato utilizzato su scala industriale.

OSTACOLI:

Ci sono due fattori critici: il cromo esavalente e la presenza di frazioni “respirabili” di silice libera cristallina. Le granulometrie della silice sono quasi sempre superiori; si tratta di verificare che le frazioni “respirabili”, ove presenti, siano nei limiti definiti dalle norme di tutela dei lavoratori.

Stessi problemi presenti nel settore del vetro: potenzialità a livello di letteratura accademica, ma mancanza di BAT e, di prassi consolidate.

VANTAGGI:

Molti materiali utilizzati nell'industria ceramica si importano principalmente dall'Ucraina. Solo questo fatto, considerando i problemi geopolitici, la dipendenza dall'estero e i costi di trasporto, renderebbero assai interessante la sostituzione di questo materiale con materiali locali di riciclo.

CONDIZIONI PER IL RIUTILIZZO

L'impiego nell'industria del vetro è stato oggetto di studi che ne individuano fattibilità e potenzialità. Il riutilizzo potrebbe essere condizionato da alcune caratteristiche delle terre/sabbie, ed in particolare:

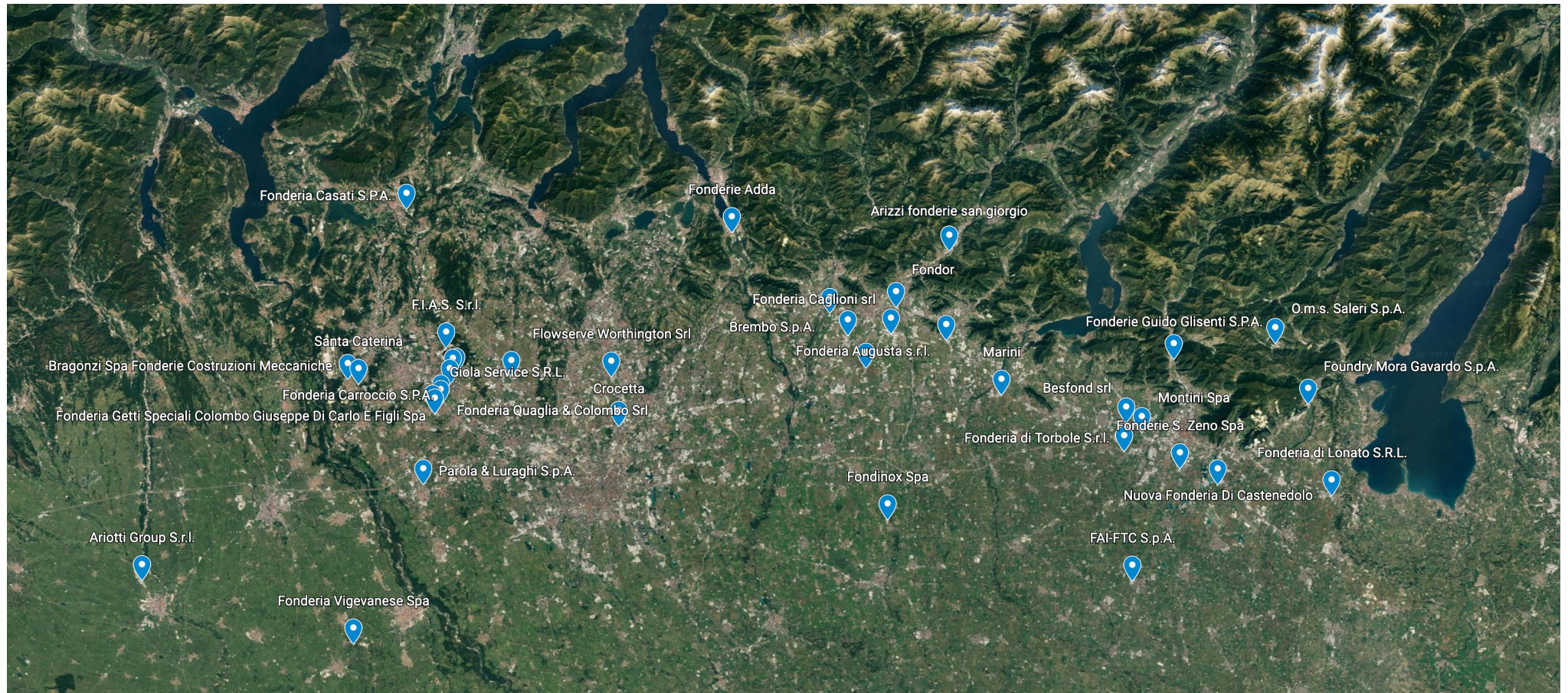
- 1) La presenza di ferro, che produce diversi di colore. Più bassa è la quantità di ossidi di ferro e maggiore è il costo della sabbia. In generale
- 2) La sabbia deve avere una granulometria specifica (normalmente compresa tra 200 e 700 μm) e non deve contenere minerali alto fondenti.

OSTACOLI:

- Quantità di cromo eccessiva, in quanto gli ossidi di cromo sono materiali altofondenti che oltre ad aumentare i costi di produzione, possono creare problemi nel prodotto sia strutturale che di colore e potrebbero esserci microinquinanti presenti dopo la fase di lavaggio.
- É necessario che il riciclo sia “validato” con verifiche su scala industriale e nessuna impresa vuole correre rischi. Occorre, pertanto, definire delle BAT precise e validate.
- Logistica. La maggior parte delle vetrerie sono sorte vicino a cave di sabbia; nel caso di utilizzo di residui di fonderia devono essere tenuti in conto i costi della logistica;
- Problemi “culturali” ad introdurre modifiche di processo.

VANTAGGI: Dato i più elevati costi di materia prima nel settore del vetro l'interesse economico di un potenziale mercato è elevato

CAMPIONI DA 38 FONDERIE



Tipologia dei campioni

- A** Sabbia di scarto – Rifiuto CER 10.09.08
Anime e/o forme

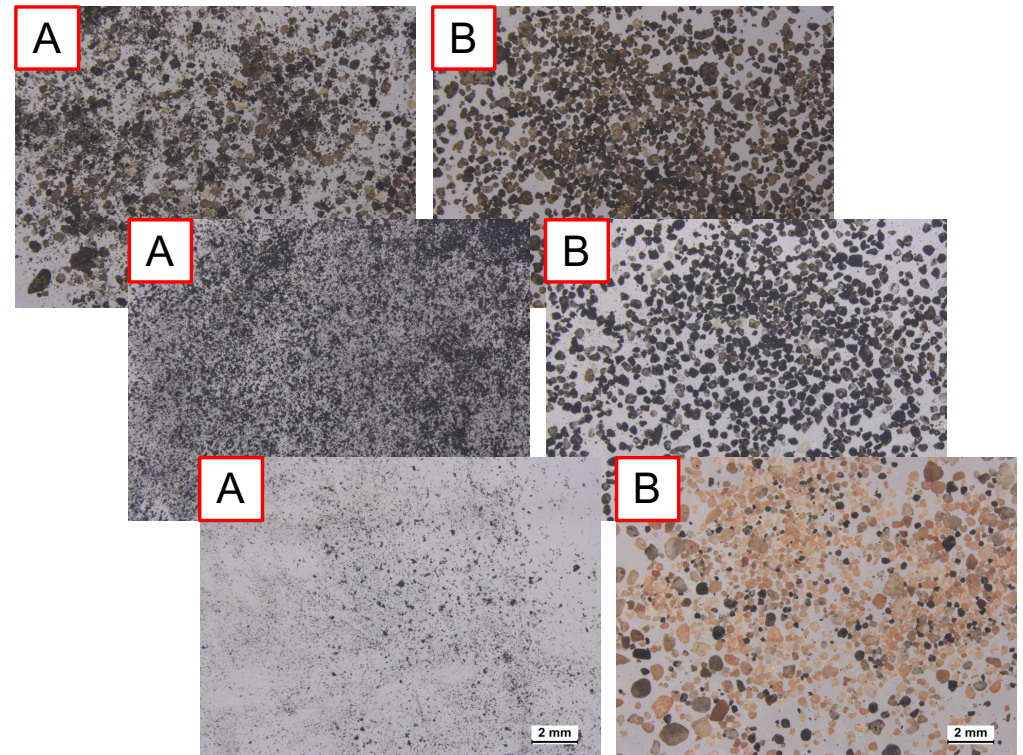


- B** Sabbia riutilizzata in fonderia dopo trattamento

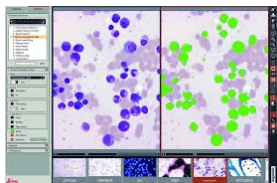
Es: Trattamento termico

Formatura a verde

Formatura in sabbia-resina



Tecniche di analisi chimico-fisiche



Analisi immagine → granulometria

Diffrazione dei raggi X → Identificazione delle fasi cristalline



Raman portatile → Identificazione gruppi funzionali

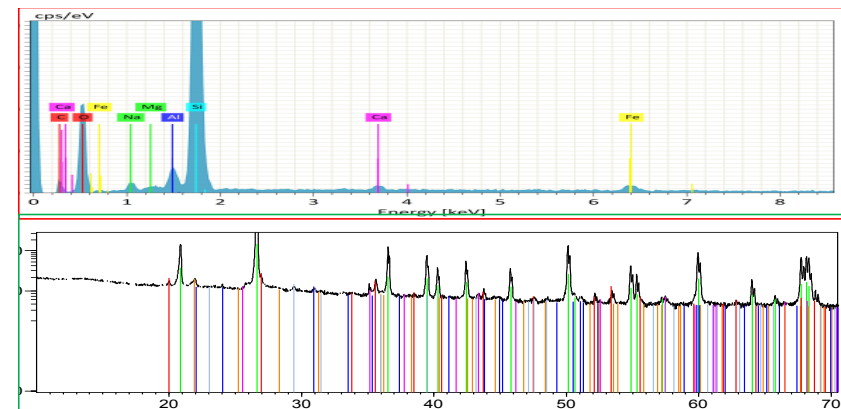
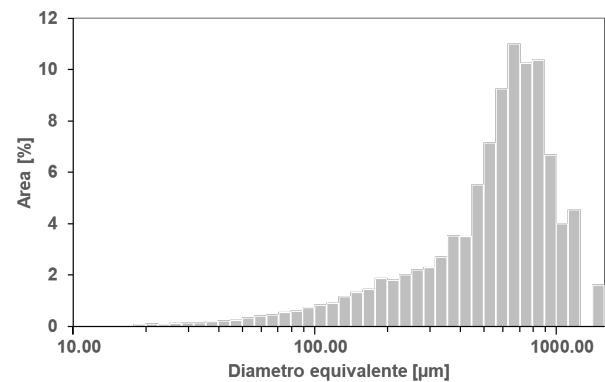
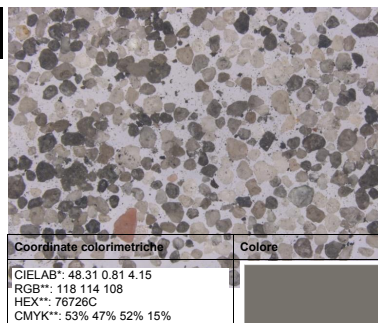
Fluorescenza dei raggi X → Analisi chimica elementare



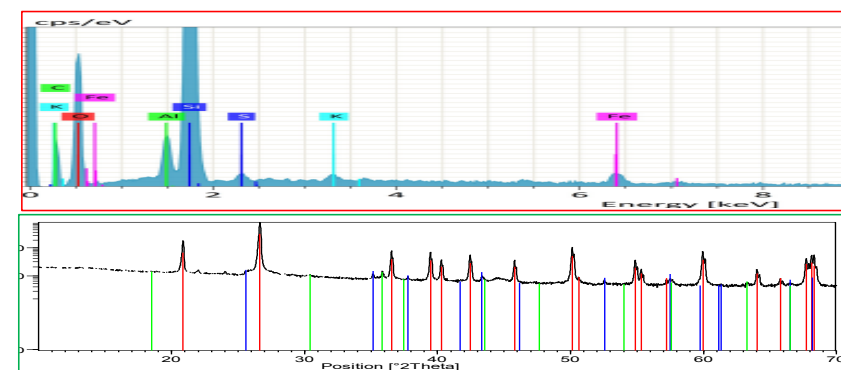
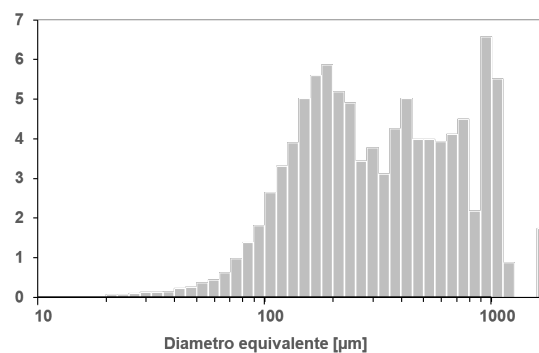
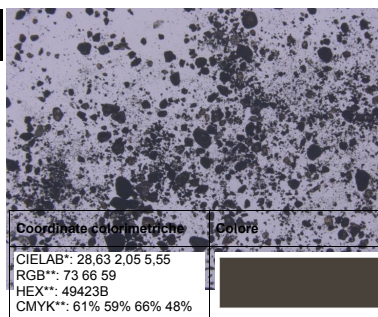
Colorimetro → Identificazione coordinate colorimetriche

TRE ESEMPI:

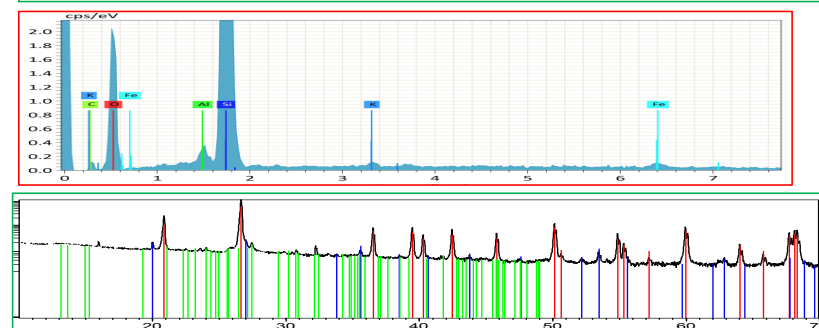
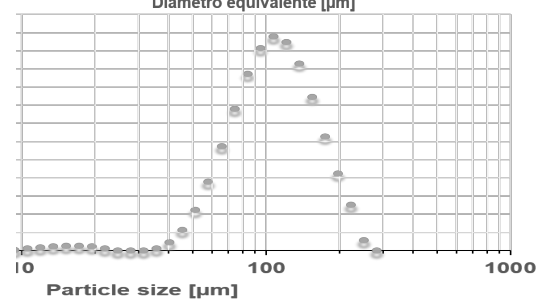
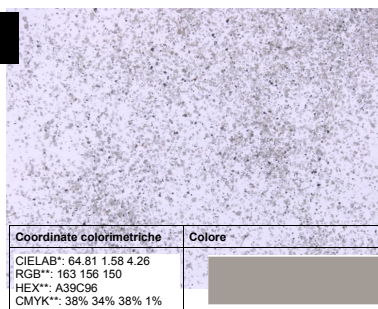
1



4



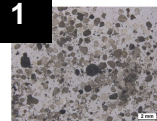
31



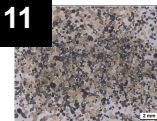
Risultati dell'analisi elementare

Campione	Concentrazione elementare relativa [wt%]												Contenuto carbonio
	Na	Mg	Al	Si	S	P	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	
1	3	1	5	87	-	-	-	-	2	-	-	3	+
2	-	4	6	55	-	-	-	-	-	-	19	16	+
3	-	1	2	89	2	-	-	-	1	-	-	6	++
4	-	-	6	87	1	-	-	1	-	-	-	5	+++
6	5	1	3	87	-	-	-	-	-	-	2	2	++
7	1	1	6	85	-	1	-	1	1	-	-	3	+
8	2	2	8	81	-	-	-	1	2	-	-	3	+++
9	2	2	10	70	-	-	-	1	2	-	-	14	++
10	2	1	13	74	-	-	-	3	2	-	-	5	++
11	4	2	4	59	-	-	-	-	-	-	19	11	+
12	1	2	4	71	-	-	-	-	-	-	14	8	+
13	3	2	14	69	1	-	-	2	3	1	<1	6	+++
14	2	3	13	66	<1	-	-	2	2	<1	<1	11	++
15	1	1	6	75	5	-	-	-	1	-	3	8	+++
16	2	1	10	79	<1	-	-	2	2	-	-	3	++
17	-	1	13	65	2	-	-	2	4	-	-	14	+
18	2	1	5	88	-	-	-	<1	1	-	-	3	+
19	-	8	15	2	-	-	-	-	-	1	47	27	+
20	5	6	4	31	26	-	-	1	2	-	-	24	+++
21	3	4	19	54	1	-	-	3	6	-	-	9	+++
22	-	-	2	97	-	-	-	-	-	-	-	1	++
23	-	-	1	98	1	-	-	-	-	-	-	-	++
24	3	2	11	79	-	-	-	-	2	-	-	3	++
25	-	-	6	88	2	-	-	1	-	-	-	3	++
26	3	3	21	60	2	-	-	1	4	-	-	5	+++
27	2	1	7	76	1	-	-	2	2	-	3	6	+++
28	1	2	5	85	-	-	-	-	2	-	-	5	++
29	1	1	8	85	<1	-	-	<1	1	-	<1	3	++
30	2	2	9	79	-	-	-	1	1	-	-	5	++
31	-	-	2	95	-	-	-	1	-	-	-	2	+
32	2	2	10	80	-	-	-	-	2	-	-	4	++
33	2	2	11	77	1	-	-	1	3	-	-	4	+++
34	1	1	5	81	2	-	-	3	1	-	-	5	++
35	-	-	1	99	-	-	-	-	-	-	-	-	++
36	2	2	13	72	1	-	-	2	3	-	-	4	+++
37	6	2	14	47	1	-	4	1	5	-	-	18	+++
38	-	1	2	86	3	-	-	-	1	-	4	4	++
39	1	1	4	79	-	-	-	1	-	-	1	13	+

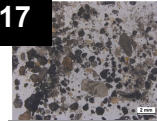
1



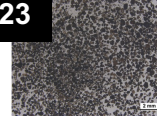
11



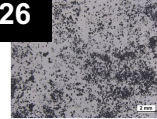
17



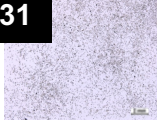
23



26



31



Prof. Bernardo (UNIPD)

Numero sabbie: 3 Quantità richiesta: 2kg

Caratteristiche richieste	Campione	Quantità inviata (kg)
massimo contenuto di carbonio	26A	0.6
massimo contenuto di elementi extra rispetto a Si, C e O	11A	2
minimo contenuto di carbonio	31A	1.2

Prof.ssa Siligardi (UNIMORE)

Numero sabbie:1 Quantità richiesta: 2 kg

Caratteristiche richieste	Campione	Quantità inviata
Ceramiche: minore quantità possibile di cromofori	31A (basso contenuto metalli, colore chiaro)	2 kg

Prof.ssa Lancellotti (UNIMORE)

Numero sabbie:1 Quantità richiesta: 2 kg

Caratteristiche richieste	Campione	Quantità inviata
Geopolimeri: maggiore contenuto di allumina (oltre ovviamente alla silice) e maggior contenuto di amorfo.	17A 23A	2 kg

Prof. Artioli (Opigeo)

Numero sabbie: 1 o più Quantità richiesta: 2 kg

Caratteristiche richieste	Campione	Quantità inviata
Alto contenuto di silice, e basso contenuto di metalli, incluso alluminio proveniente da aggiunte di bentonite Distribuzione granulometrica fine, per quanto possibile.	31A (elevato contenuto Si, basso contenuto metalli, granulometria fine)	2/3 kg
Altre caratteristiche	Da scegliere	

Prof. Colombo (UNIPD)

Numero sabbie: 2 Quantità richiesta: 50 kg

Caratteristiche richieste	Campione	Quantità inviata
Sabbia a maggior contenuto di fase amorfa e ad alto contenuto di silice e allumina. Granulometrica maggiore di 300 micron.	1A (alto contenuto Si e Al, granulometria maggiore)	50 kg
Sabbie cristalline e/o amorfe con contenuto di metalli, carbonio, ecc. Granulometrica maggiore di 300 micron.	11A (elevato contenuto di metalli, granulometria non fine)	50 kg

Vantaggi

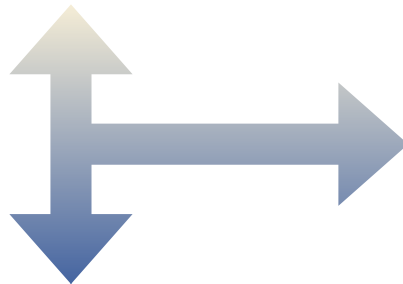
- Sostenibilità ambientale
- Riduzione della dipendenza dalle importazioni
- Valorizzazione dei sottoprodotti
- Riduzione dei costi e dell'energia necessaria nei processi

Ostacoli all'utilizzo

- Contaminazione chimica, grande eterogeneità e morfologia delle sabbie
- Requisiti tecnici e normative/regolamenti
- Costi di gestione e complessità logistica
- Mancanza di Best Available Techniques (BAT) e costi di trattamento elevati
- Accettazione del mercato e cambiamento dei processi consolidati
- Classificazione come "rifiuto" e necessità di autorizzazioni

The future belongs to young people
with an education and the
imagination to create.

— Barack Obama —



DOTTORATO IN TRANSIZIONE ENERGETICA E SISTEMI PRODUTTIVI SOSTENIBILI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

Dip. di Ingegneria Meccanica e Industriale
Coordinatrice: prof. Marialuisa VOLTA

www.unibs.it/pnrr-aziende

**Grazie a Fondazione Cariplo
e a tutti voi per l'attenzione.**