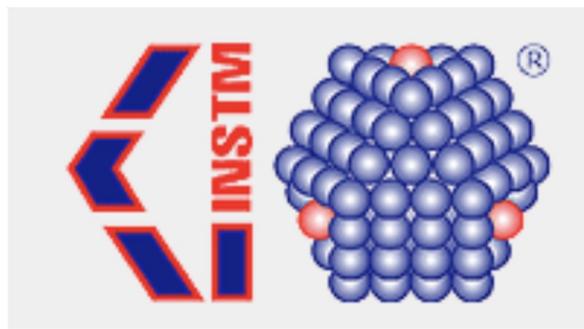




UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

Dipartimento di Ingegneria
“Enzo Ferrari”

Sabbie di fonderia: opportunità nel settore ceramico

Prof.ssa Cristina Siligardi, Prof.ssa Isabella Lancellotti, Prof.ssa Laura E. Depero*

Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari, Università di Modena e Reggio Emilia, INSTM

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

Le materie prime ceramiche, Sassuolo 16 Febbraio 2023

Le sabbie

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.

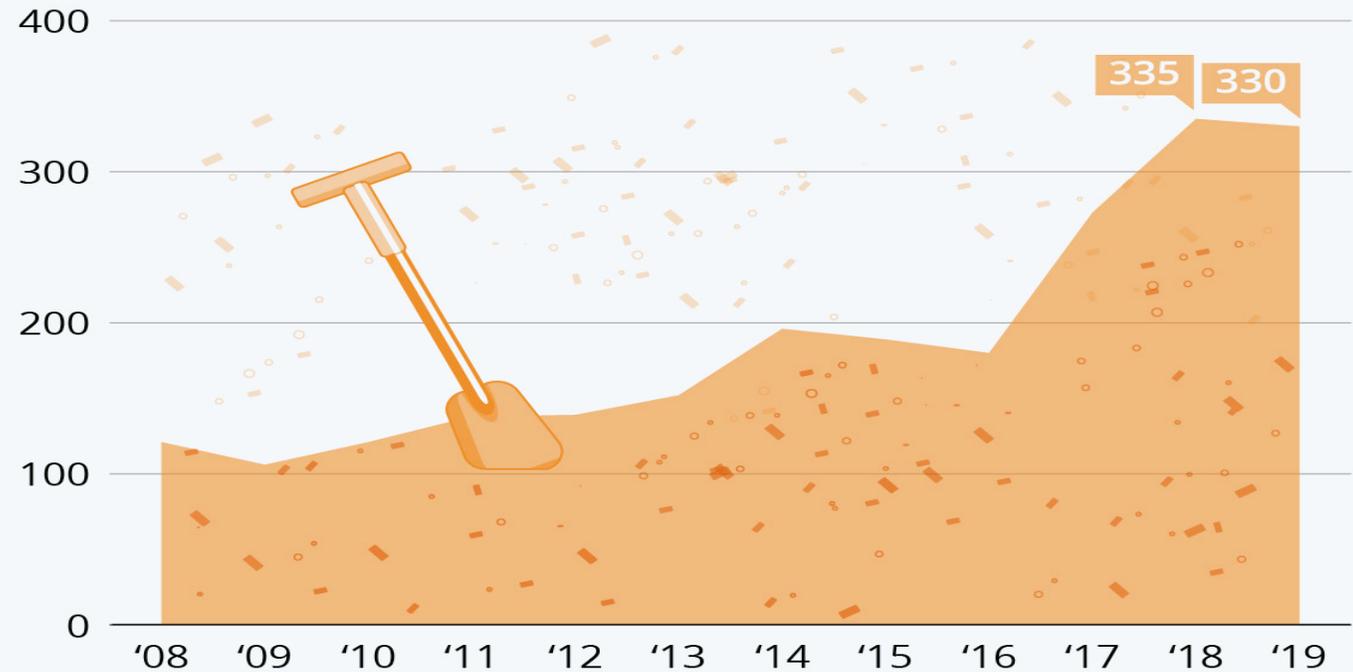
Diversi Paesi in via di sviluppo, a causa dell'esponenziale sviluppo urbano, hanno anche portato a maggiori preoccupazioni ambientali: l'estrazione della sabbia, che spesso avviene vicino ai fiumi, ha portato all'inquinamento, al rischio di inondazioni e all'erosione.

L'estrazione di queste sabbie è associata a rischi per la sicurezza e la salute.

Demand for Sand

Global annual industrial sand and gravel extraction (in million tonnes)

>330



Source: United States Geological Survey



Cosa sono le sabbie di fonderia?

- ❖ Le sabbie di fonderia sono **sabbie silicee** usate per gli stampi e anime dei getti di metalli ferrosi (ferro e acciaio) e non ferrosi (rame, alluminio, ottone).
- ❖ Il processo di fusione più comune utilizzato nell'industria della fonderia è il sistema **di colata in sabbia**.
- ❖ Diverse sabbie sono utilizzate nella fusione. La bontà del risultato è determinato dal modello e dai **tipi di sabbia** di stampaggio utilizzati.
- ❖ L'**industria automobilistica** e i suoi fornitori di parti sono fra i principali utilizzatori di sabbia.

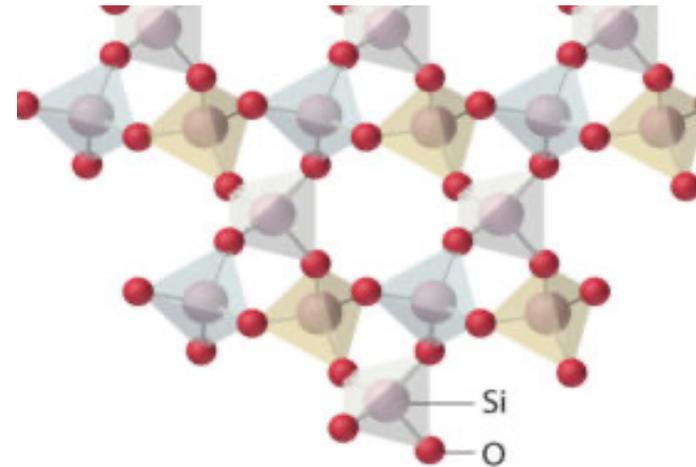
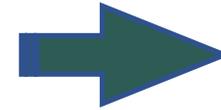


Image of Silica Sand close up

SILICA SAND INDUSTRIAL USES



Extraction - Mining and Crushing

Construction sand

Processing (washing, attrition, scrubbing, size classification, acid leaching, magnetic and gravity separation)

Cement, aerated concrete blocks

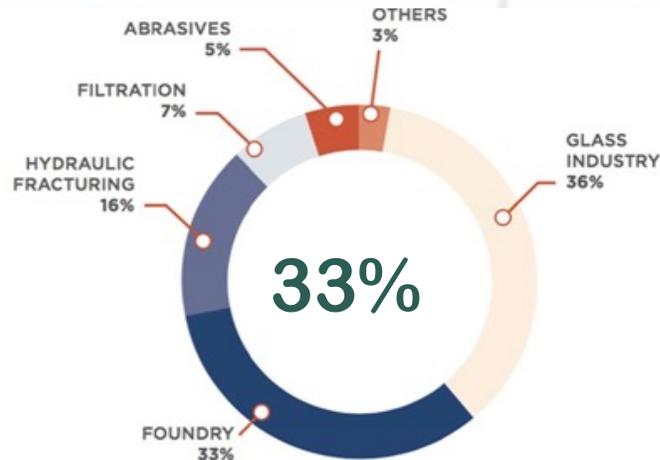
Tiles, white line markings

Glass sand

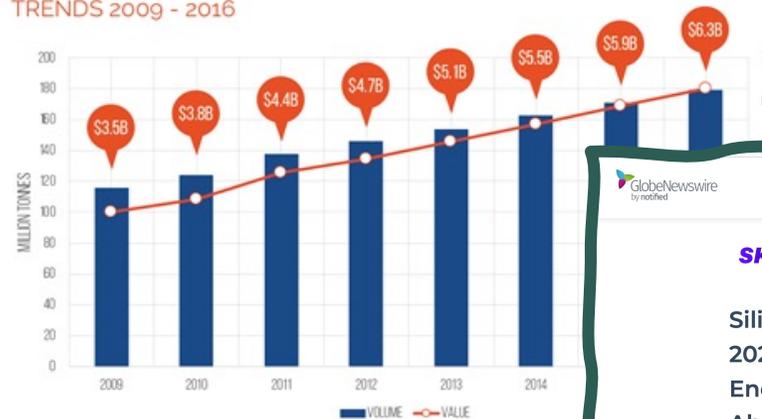
Foundry sand

Other industrial uses

Agricultural, horticultural & leisure uses



GLOBAL SILICA SAND MARKET VOLUME & VALUE TRENDS 2009 - 2016



GlobeNewswire by roadshow

ESG NEWS COVID-19 NEWS SERVICES* CONTACT US FRANÇAIS SIGN IN REGISTER

SKYQUEST

Silica Sand Market to Reach \$32.48 Billion By 2028 | Growing Shortage of Silica Sand Keeping Energy and Glass Making Companies Worried About Inflating Prices

Global silica sand market is valued at USD 21.60 billion in 2021 and is projected to attain a market size of 32.48 billion by 2028 at a CAGR of 6% during the forecast period, 2022-2028.

July 25, 2022 08:21 EST | Source: SkyQuest Technology Consulting Pvt. Ltd.

...e la colata in sabbia?

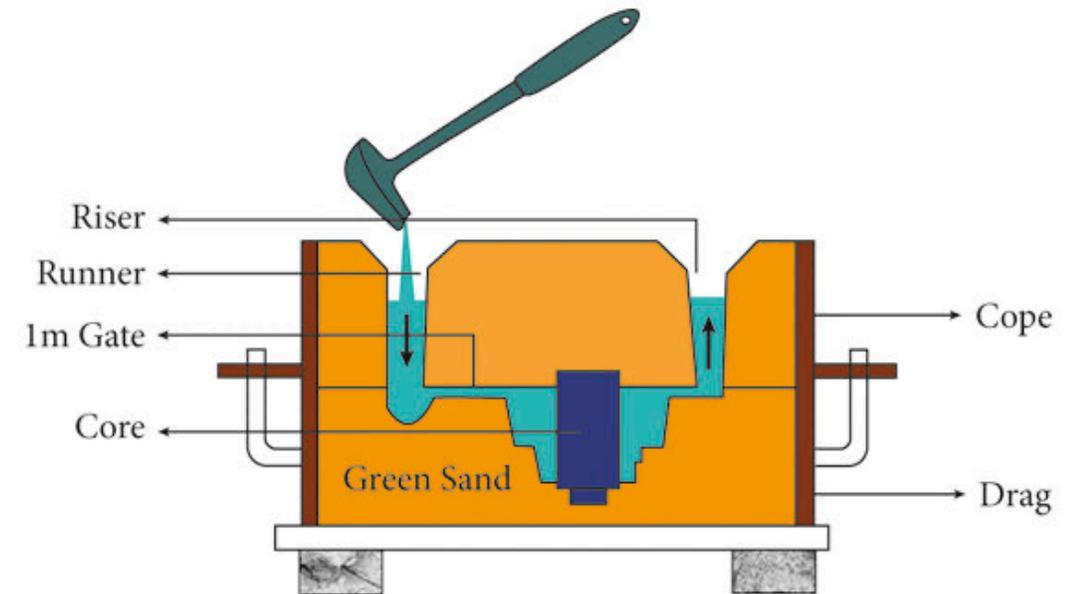
La **colata in sabbia** consiste nel versare il **metallo fuso** in una **forma di sabbia**, nel lasciar solidificare il metallo per poi rompere la forma e rimuovere il grezzo.

Quasi tutte le leghe metalliche **possono essere colate** in sabbia, compresi **metalli con alte temperature di fusione**, come acciaio, nichel e titanio.

Questo processo permette la realizzazione di grezzi di **varie dimensioni** e produzioni dal pezzo singolo a milioni di pezzi.

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

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



Manufacturing Process of Green Sand

River Sand
+
Bentonite (4-6)%
+
Water 4%

Mixing for
2 min.



Green Sand

Used in
molding



Molding Process

Reuse

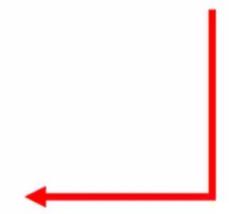


Used Sand

After number of
cycles



Waste Green Sand



?



discarica



Quale riutilizzo per le sabbie esauste?

Legato (stabilizzato):

Portland cemento
Asfalto
Agregati per il calcestruzzo



Confinato (contenuto, non stabilizzato):

Basi stradali
Otturazioni strutturali
Argini (anche non confinati)
Riempimenti generali (anche nonconfinati)



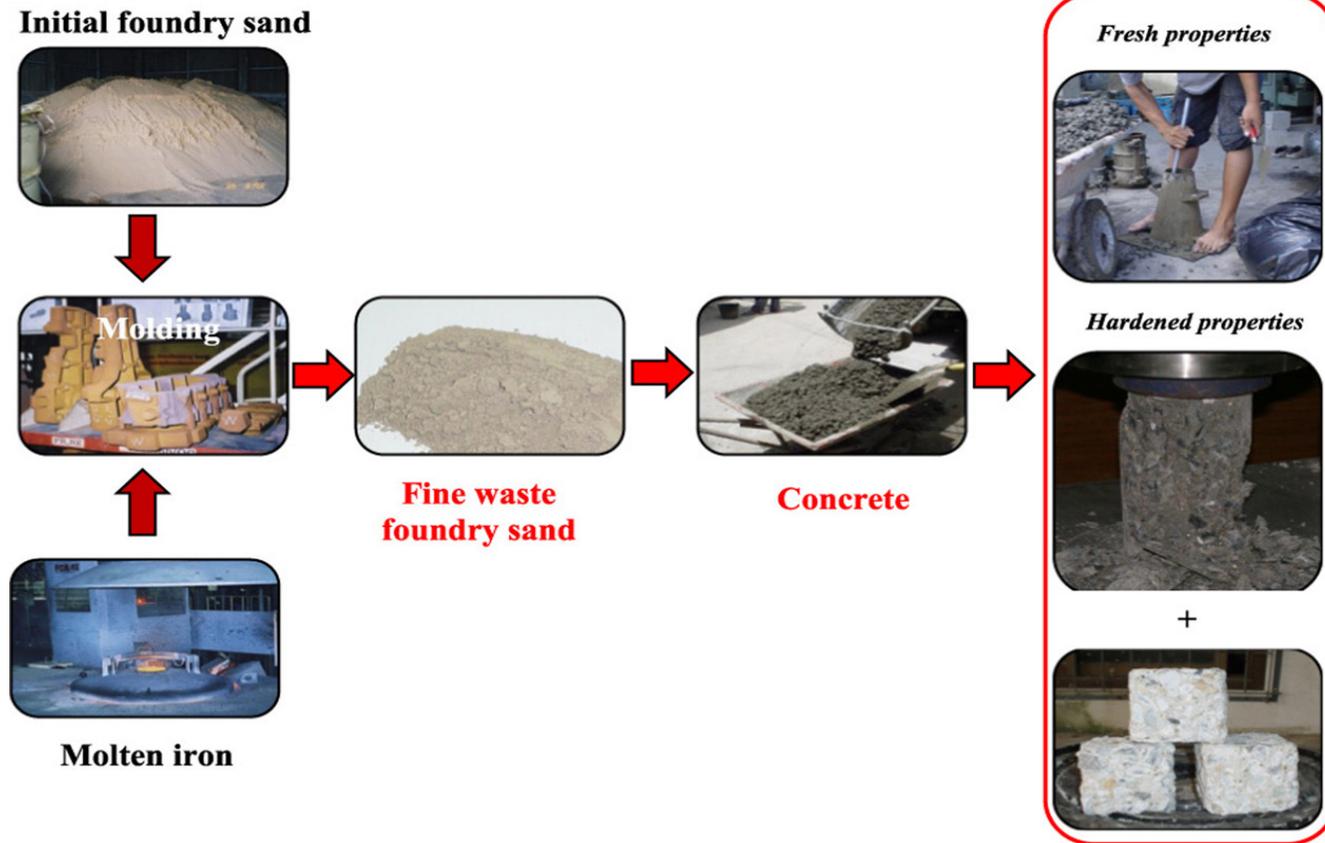
Non confinato:

Emendamenti
Compost
Terreno fabbricato



USO DI SABBIE DI FONDERIE NELLE COSTRUZIONI

- ❖ Le sabbie silicee sono un materiale di qualità migliore rispetto al materiale normalmente utilizzato per gli aggregati.
- ❖ Si riducono i costi associati al costo della materia prima.
- ❖ I progettisti possono promuovere costruzioni «green» e promuovere la sostenibilità dei loro progetti.





IL PROGETTO

New recycling process for the foundry sands

Progetto di ricerca coordinato dalla Scuola Universitaria Superiore IUSS di Pavia, con il coinvolgimento dell'Università di Brescia e del Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e la Tecnologia dei Materiali (INSTM).



5 importanti obiettivi



Aumentare

il mercato delle **sabbie di fonderia riciclate**



Evitare

che le sabbie di scarto finiscano in **discarica**



Incrementare

l'utilizzo di **sabbie da fonderia**



Creare

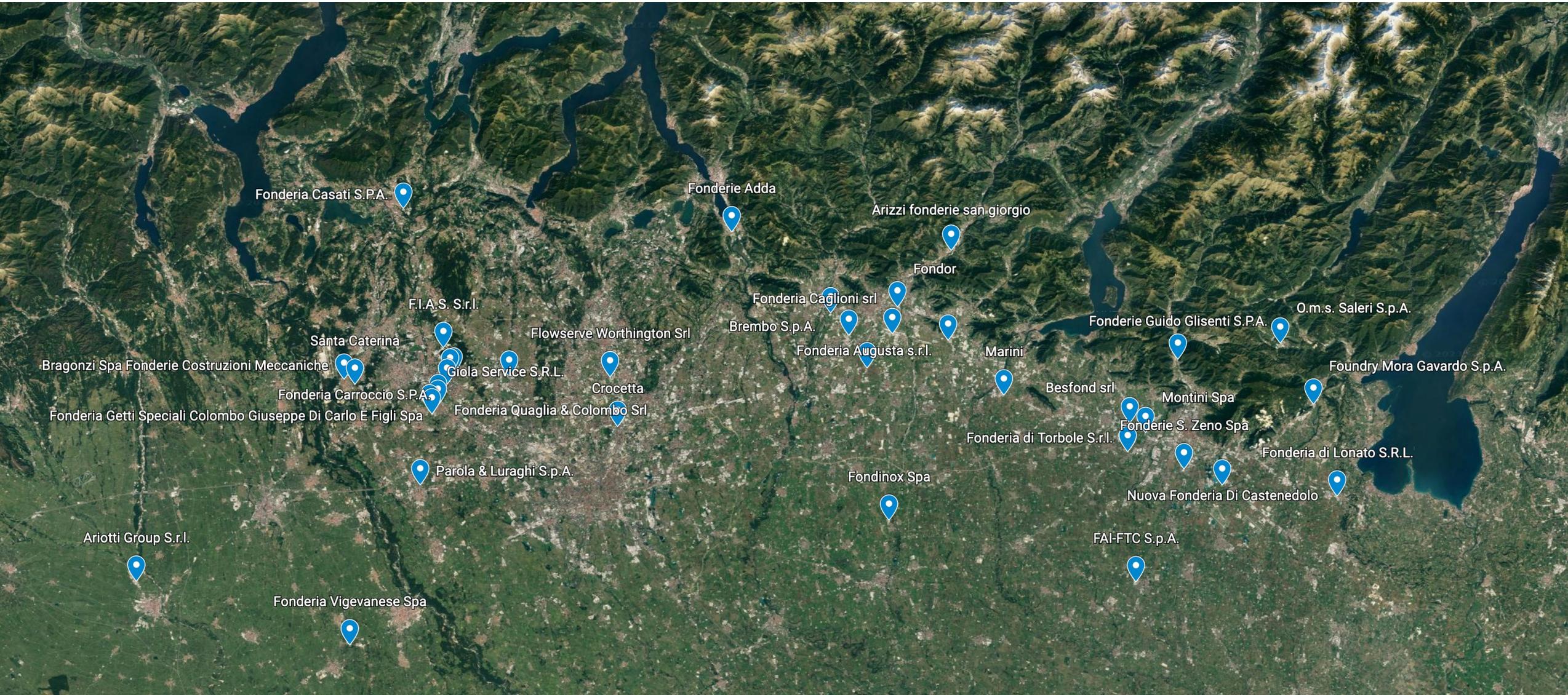
nuove opportunità di lavoro di questo nuovo mercato



Supportare

le autorità pubbliche per la **gestione dei rifiuti**

CAMPIONI DA 38 FONDERIE



Tipologia dei campioni

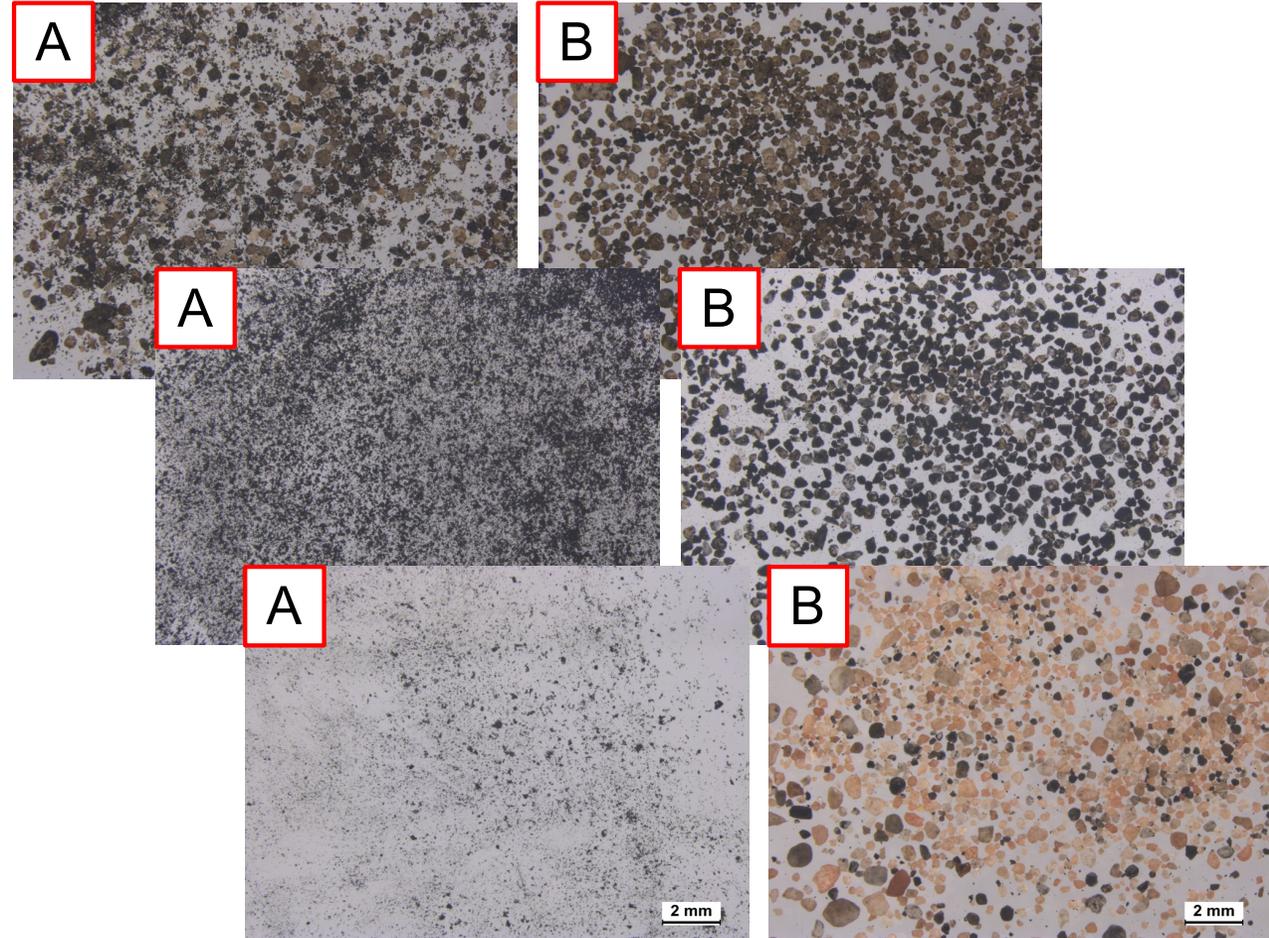
A Sabbia di scarto – Rifiuto CER 10.09.08
Anime e/o forme



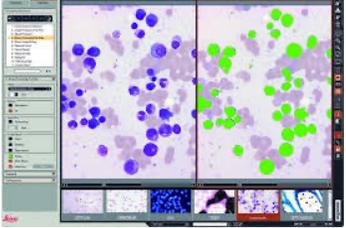
Formatura a verde
Formatura in sabbia-resina

B Sabbia riutilizzata in fonderia dopo trattamento

Es: Trattamento termico



Tecniche di analisi chimico-fisiche



Analisi d'immagine → Analisi granulometrica



Diffrazione dei raggi X → Identificazione delle fasi cristalline



Raman portatile → Identificazione gruppi funzionali

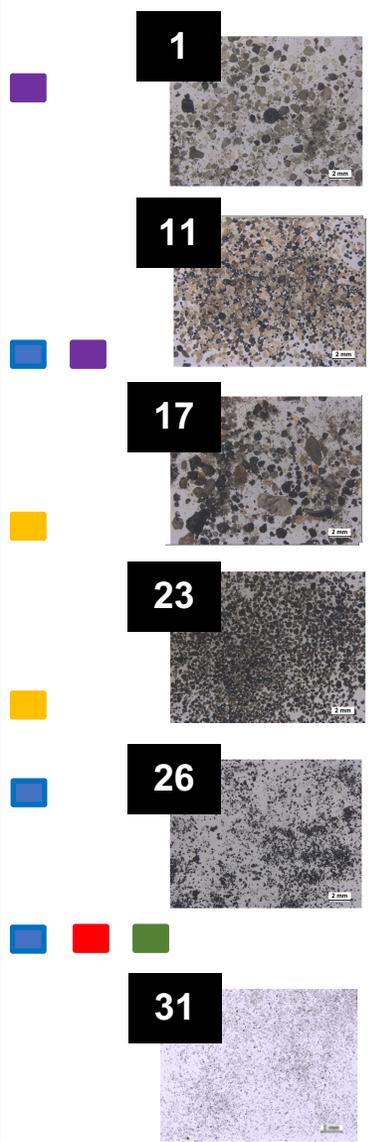
Fluorescenza dei raggi X → Analisi chimica elementare



Colorimetro → Identificazione coordinate colorimetriche

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	+



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
Ceramici: 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 amorphe con contenuto di metalli, carbonio, ecc. Granulometrica maggiore di 300 micron.	11A (elevato contenuto di metalli, granulometria non fine)	50 kg

Progetto Cariplo INSTM-UNIMORE-UNIBO

Il progetto ha riguardato l'introduzione della sabbia da fonderia, in impasti da **grès porcellanato** e laterizio, dove la sabbia è stata sostituita al 10%, 50% e 100% con la sabbia da fonderia denominata **31A** e in geopolimeri con sostituzione del metacaolino con 30%, 50% e 70% con sabbia denominata **17A**.

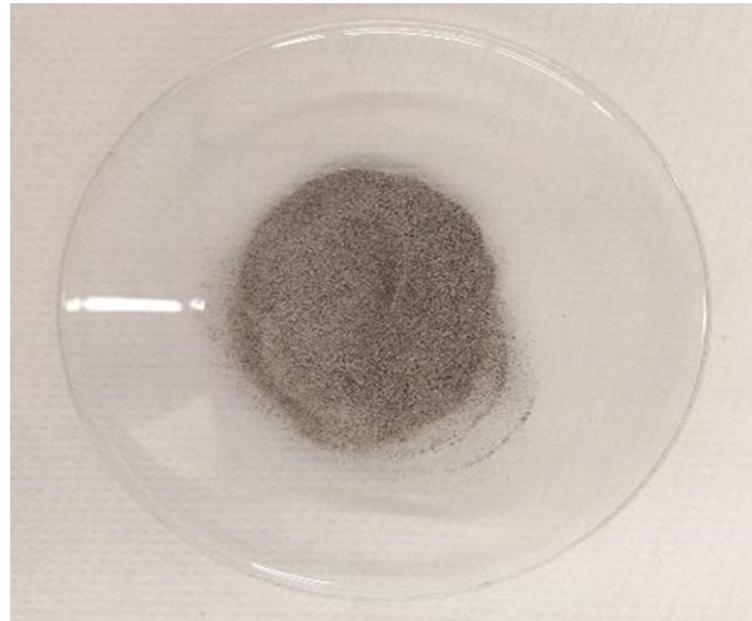
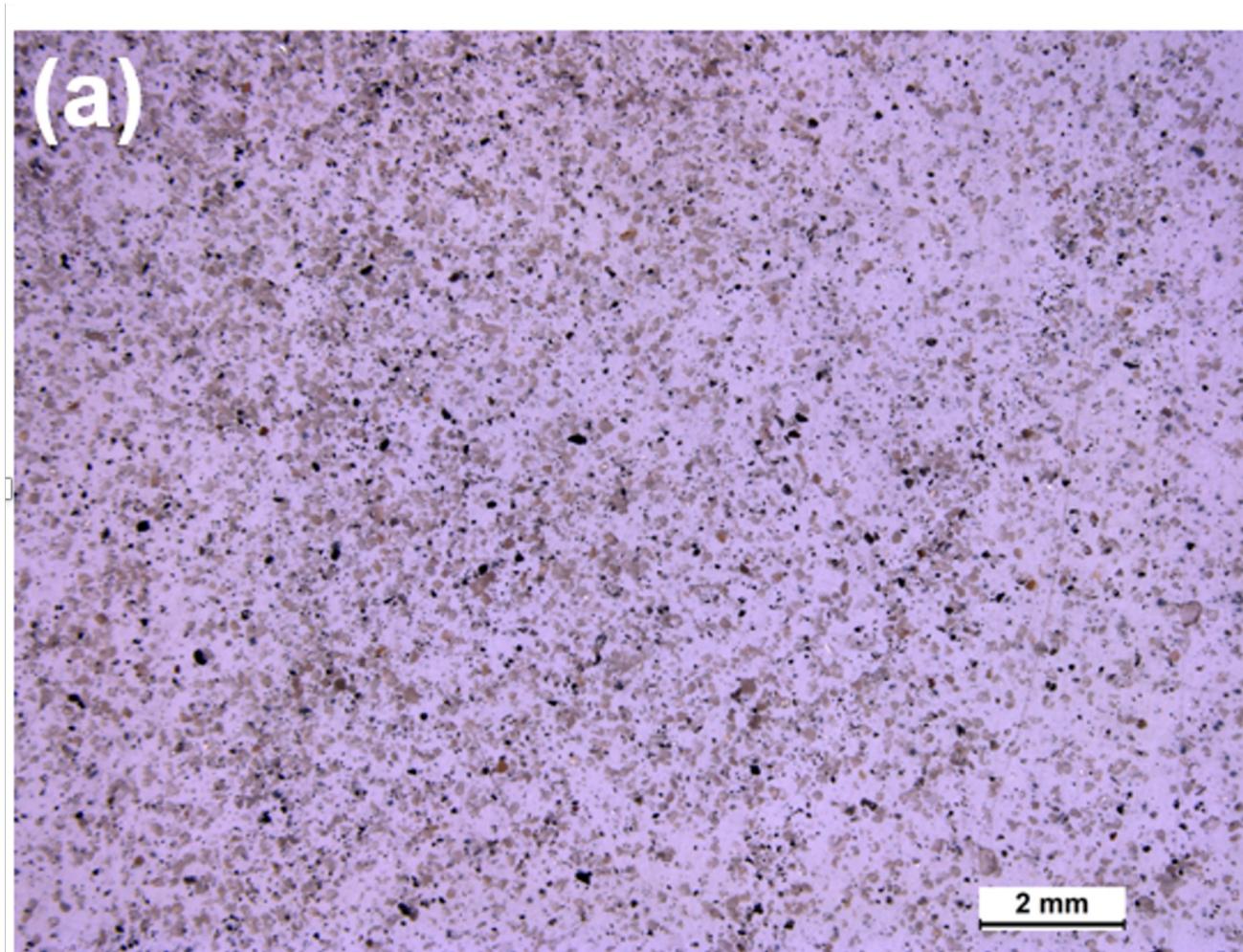


Foto sabbia studiata 31A

Caratterizzazioni eseguite sulla sabbia 31A

- Analisi morfologica (Leica EZ4 D)
- Analisi chimica (**XRF** Bruker)
- Analisi granulometrica (Mastersizer 2000 Light Diffractometer)
- Analisi mineralogica (**XRD** PW3710 Philips, Almelo, The Netherlands)
- Prove di cessione (norma UNI 10802, secondo la metodica prevista dalla norma UNI EN 12457-2)

Analisi morfologica, microscopio ottico

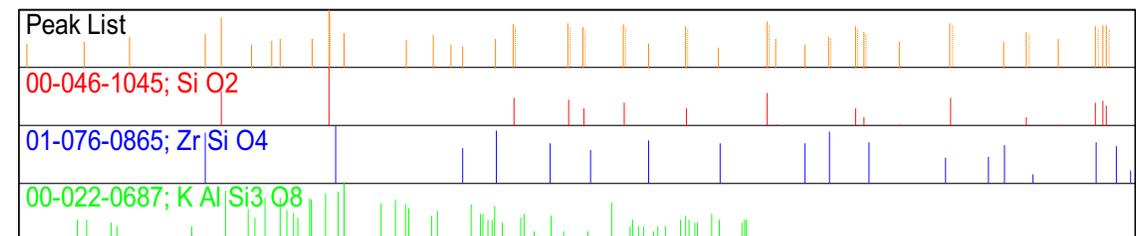
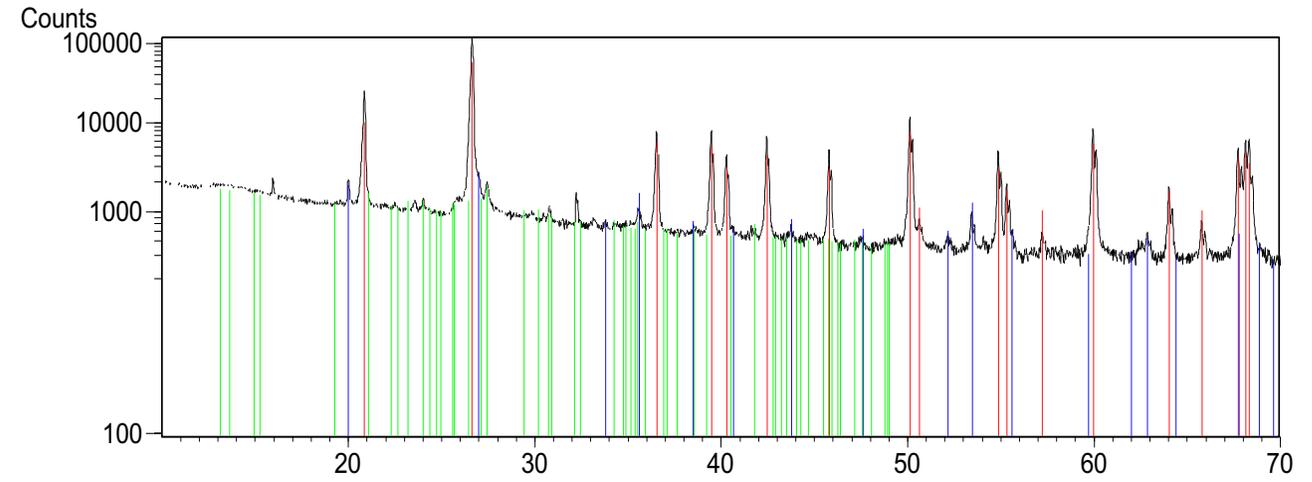


Risultati caratterizzazioni sabbia: analisi chimica (XRF) e mineralogica (XRD)

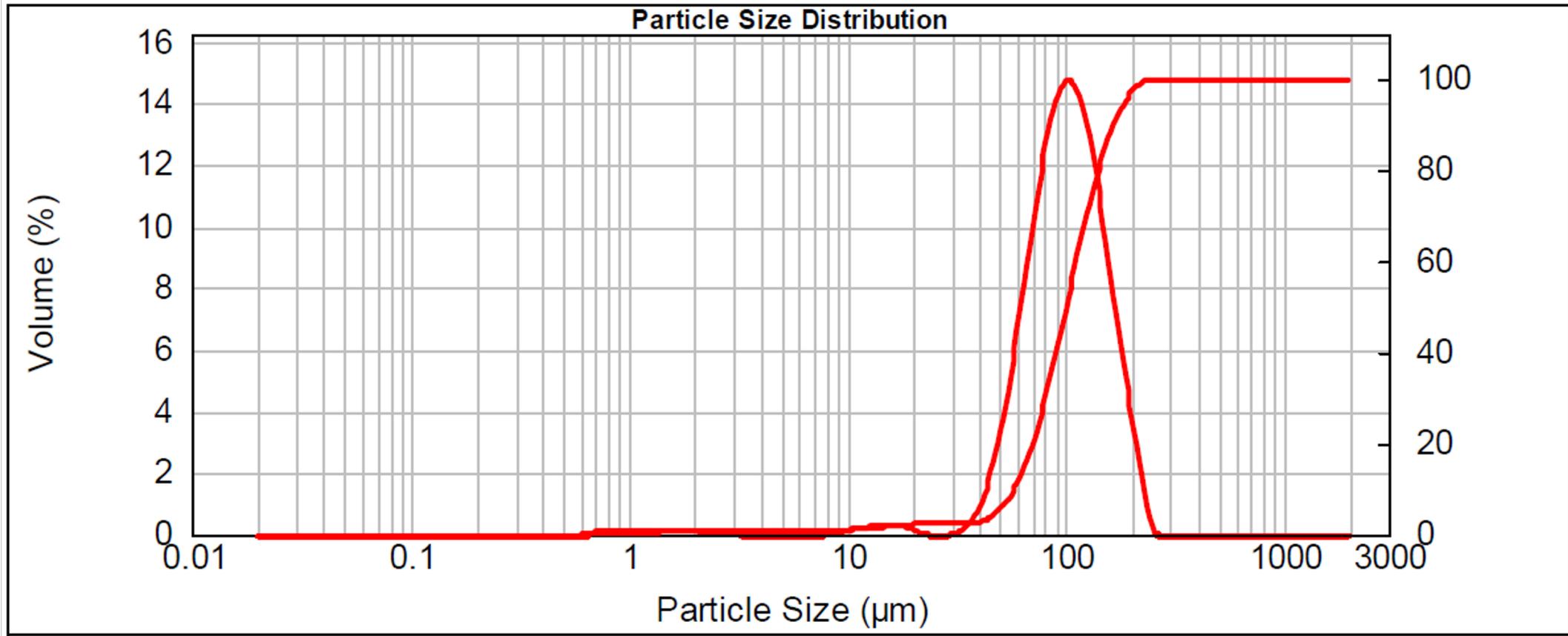
XRF

31A	(Peso %)
SiO ₂	93,00
Al ₂ O ₃	2,03
Fe ₂ O ₃	1,48
ZrO ₂	1,89
TiO ₂	0,37
CaO	0,12
MgO	0,16
K ₂ O	0,71
LOI	0,24
C	0,18
S	0,05

XRD



Analisi granulometrica- granulometro laser



d10 = 58µm d50 = 100µm d90 = 164µm

Miscele grès porcellanato

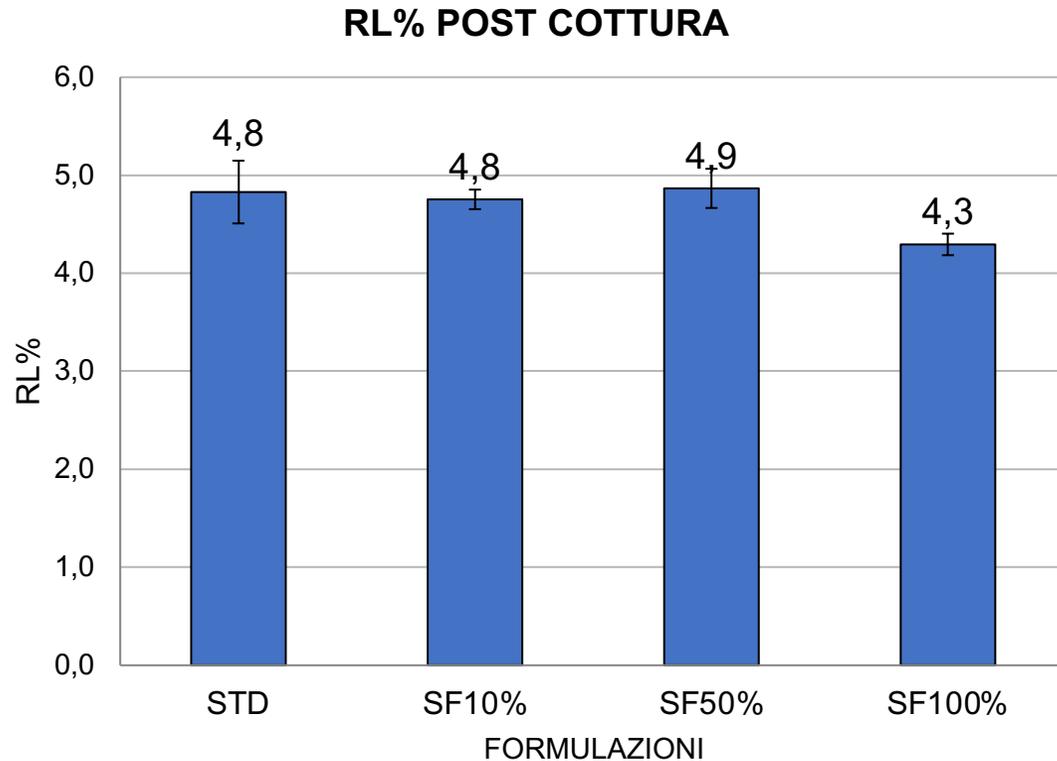
Campioni preparati in laboratorio con le procedure utilizzate nei laboratori di ricerca industriali e cotti alla temperatura massima di 1205°C in un forno da laboratorio 10°C/min

Formulazione composizioni	STD	SF10%	SF50%	SF100%
Argilla 1	26 %	26 %	26 %	26 %
Argilla 2	14 %	14 %	14 %	14 %
Feldspato 1	20 %	20 %	20 %	20 %
Feldspato 2	28 %	28 %	28 %	28 %
Sabbia standard	12 %	10.8 %	6 %	0 %
Sabbia da fonderia	0 %	1.2 %	6 %	12 %

Caratterizzazioni eseguite

- **Ritiro lineare%**
- **AA%**
- **Prova a flessione** (INSTRON Model 5577)
- **Diffrazione di raggi X (XRD)** (PW3710 Philips)
- **Colorimetria** (PCE-CSM 6)
- **Microscopia elettronica a scansione SEM** (ESEM Quanta 200)
- **Prove di cessione** (norma UNI 10802, secondo la metodica prevista dalla norma UNI EN 12457-2)

Risultati: RL%, AA%, resistenza a flessione



STD	4.8 ± 0.3
SF10%	4.8 ± 0.1
SF50%	4.9 ± 0.2
SF100%	4.3 ± 0.1

Campione	AA% (± 0.0001)
STD	0,0091
SF10%	0,0015
SF50%	0,0222
SF100%	0,0175

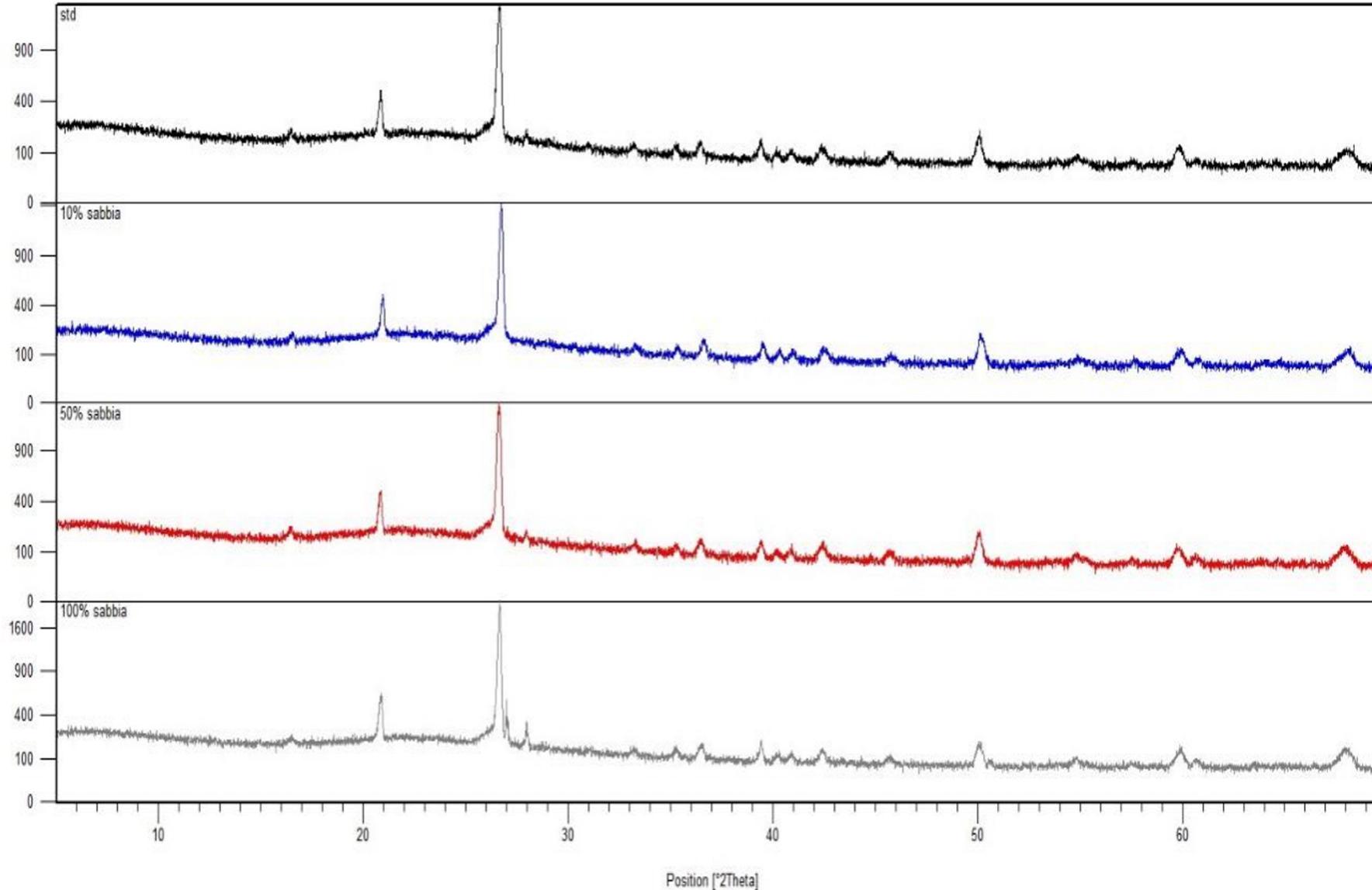
Campione	Resistenza a flessione (MPa)
STD	36 ± 4
SF100	31 ± 4

Risultati colorimetria

STD				
L*	65			
a*	4	ΔE	0	
b*	10			
SF10%				
L*	65			
a*	4	ΔE	0	
b*	11			
SF50%				
L*	64			
a*	3	ΔE	1	
b*	10			
SF100%				
L*	63			
a*	3	ΔE	1.7	
b*	9			

Risultati diffrazione (XRD)

Counts

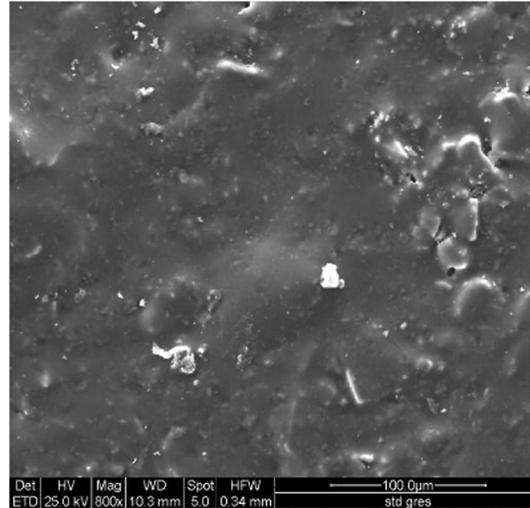


Fasi principali:
**quarzo, mullite,
plagioclasì**

Risultati SEM

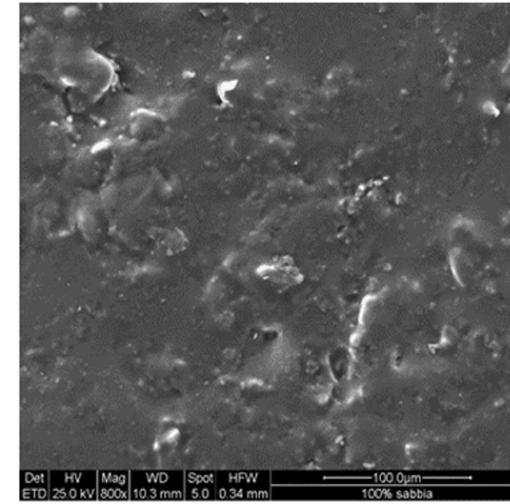
Non si notano
particolari
differenze
tra i campioni
osservati in
superficie e
quelli lappati

STD

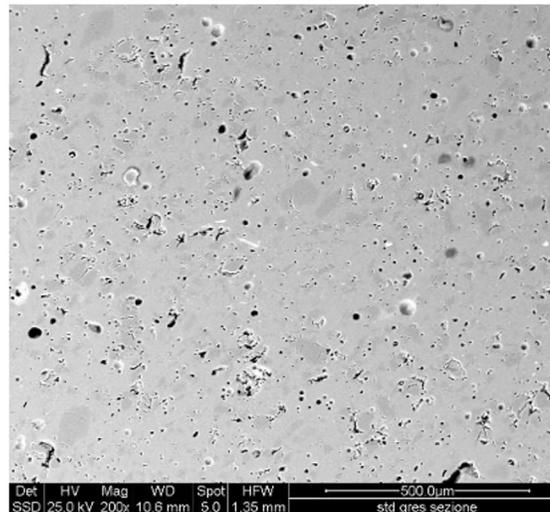


(a)

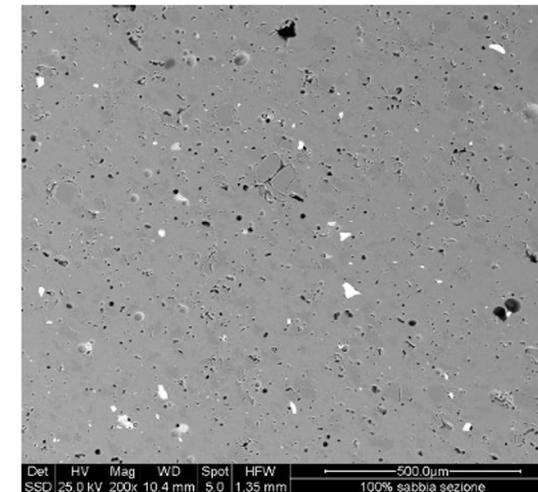
SF100%



(b)



(c)



(d)

Prove di cessione

È stato effettuato un test di cessione sulle sabbie 31A e sul campione Gres SF100 seguendo l'appendice A alla norma UNI 10802, secondo la metodica prevista dalla norma UNI EN 12457-2.

I risultati per valutare se i valori degli elementi rilasciati rientrano nei limiti previsti dalla normativa (DM 186/2006) per il recupero, sono riportati nelle tabelle.

Elemento (mg/l)	Sabbia	Gres SF100%
Fluoruri	1,5	1,0
Cloruri	1,1	1,1
Nitrati	0,7	<0,01
Fosfati	< 0,01	<0,01
Solfati	58,5	2,1

Elemento (mg/l)	Sabbia	Gres SF100%
As	<0,01	<0,01
Ba	0,09	<0,01
Cd	<0,01	<0,01
Cr	<0,01	<0,01
Cu	0,01	<0,01
Mo	<0,01	<0,01
Ni	0,25	<0,01
Pb	<0,1	<0,1
Sb	<0,01	<0,01
Se	<0,01	<0,01
Zn	0,64	<0,01
V	<0,01	<0,01

PROVE INDUSTRIALI - FINCIBEC



- L'azienda FINCIBEC ha inserito la sabbia di fonderia in una loro formulazione industriale GP 4006/2 (GP4006/2B sostituzione del 50% di sabbia di produzione con sabbia di fonderia ; GP4006/2A sostituzione del 100% di sabbia di produzione con sabbia di fonderia).

Si riportano alcuni risultati preliminari:

	EXP (%)	Ritiro (%)	Δ (%)	Assorbimento (%)	piro	ciclo
GP4006/2	0.347	6.99		0.30	++++	60x60 monocibec
GP4006/2A	0.343	6.70	-0.29	0.33	++++	
GP4006/2B	0.344	7.07	+0.08	0.22	++++	
GP4006/2		7.14		0.019		60x120 Century
GP4006/2A		6.93	-0.21	0.13		
GP4006/2B		7.19	+0.05	0.049		

PROVE INDUSTRIALI - FINCIBEC



I risultati dei provini preparati presso FINCIBEC sono stati molto interessanti e hanno portato alle seguenti conclusioni:

la sabbia di fonderia può essere utilizzata in sostituzione parziale o totale alla sabbia che tipicamente viene utilizzata come standard quando l'aspetto colorimetrico non è di primaria importanza. In altre parole può potenzialmente essere utilizzata per formulazioni non associabili a grandi formati dove le esigenze estetiche sono rilevanti.

CONCLUSIONI

- Lo studio ha dimostrato che la sabbia da fonderia oggetto dello studio può essere utilizzata in sostituzione alla sabbia degli impasti tradizionali, per formati standard, mentre è meno idonea per i grandi formati.
- Inoltre è stato eseguito uno studio in parallelo per studiare la possibilità di utilizzo di questa sabbia nei laterizi e nei geopolimeri e i risultati hanno dimostrato che la sostituzione in questi casi può essere anche del 100%

RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento alla dott.ssa **Maria Camila Ariza Tarazona** e al dott. **Enrico Paradisi** di UNIMORE per aver svolto la parte sperimentale di questo lavoro.

Gli autori ringraziano la prof.ssa **Maria Chiara Bignozzi** (UNIBO) e il Centro Ceramico, per le prove di cessione eseguite sulla sabbia e su un campione ceramico e il dott. **Alessandro Pradelli** della Fincibec, per il prezioso contributo.

Un ringraziamento a **INSTM** e a **Cariplo** per averci coinvolto in questo progetto.

Infine un grazie particolare all'**ICerS** per averci dato la possibilità di presentarlo a questa importante giornata sulle materie prime.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!