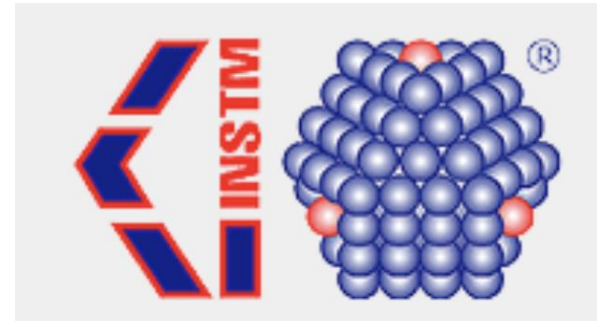




UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA



Dipartimento di Ingegneria
“Enzo Ferrari”

Sabbie di fonderia: opportunità nel settore dei materiali da costruzione

Prof.ssa Cristina Siligardi, Prof.ssa Isabella Lancellotti, Ing. Caterina Sgarlata

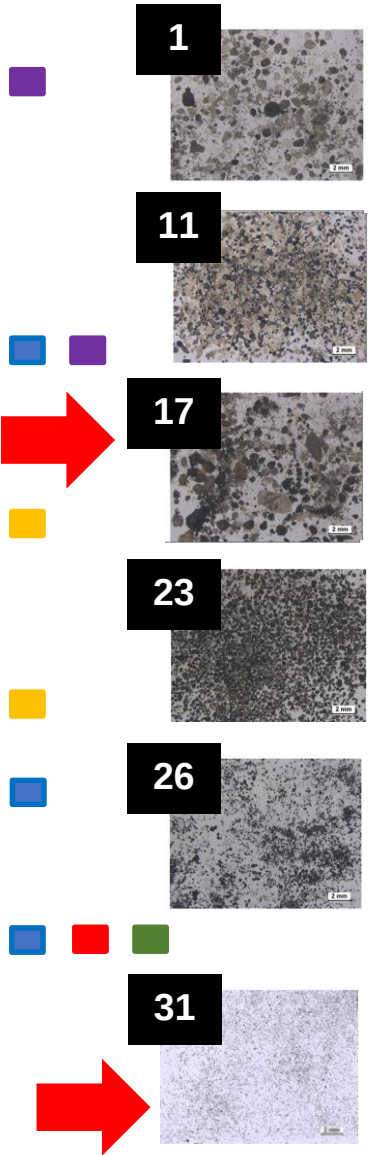
Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari, Università di Modena e Reggio Emilia,
INSTM

Evento finale Progetto Cariplo, 29 Maggio 2023

SABBIE STUDIATE

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

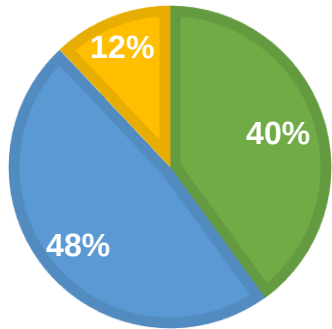
Caratteristiche richieste	Campione	Quantità inviata
Sabbia a maggior contenuto di fase amorfa e ad alto contenuto di silice e allumina. Granulometrica maggiore di 300 micron.	1A (alto contenuto Si e Al, granulometria maggiore)	50 kg
Sabbie cristalline e/o amorfe con contenuto di metalli, carbonio, ecc.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

Scopo del lavoro

Inserire le sabbie di fonderia in formulazioni di gres porcellanato, laterizio e geopolimero in sostituzione alle sabbie standard.

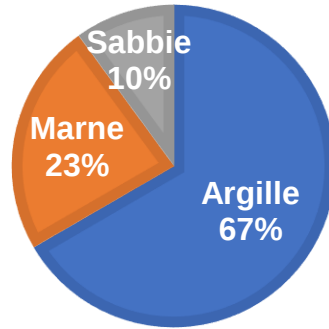
GRES PORCELLANATO

■ Argille ■ Feldspati ■ Sabbie



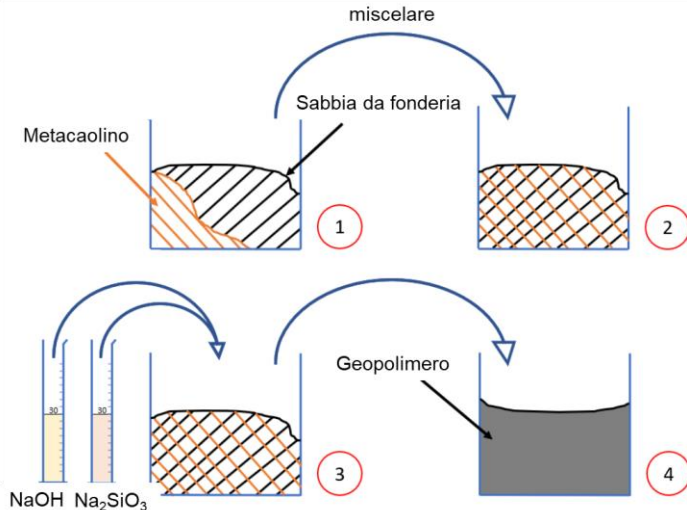
LATERIZIO

■ Argille ■ Marne ■ Sabbie



Sostituzione sabbia standard con sabbia di fonderia al **10%, 50% e 100%**

GEPOLIMERO



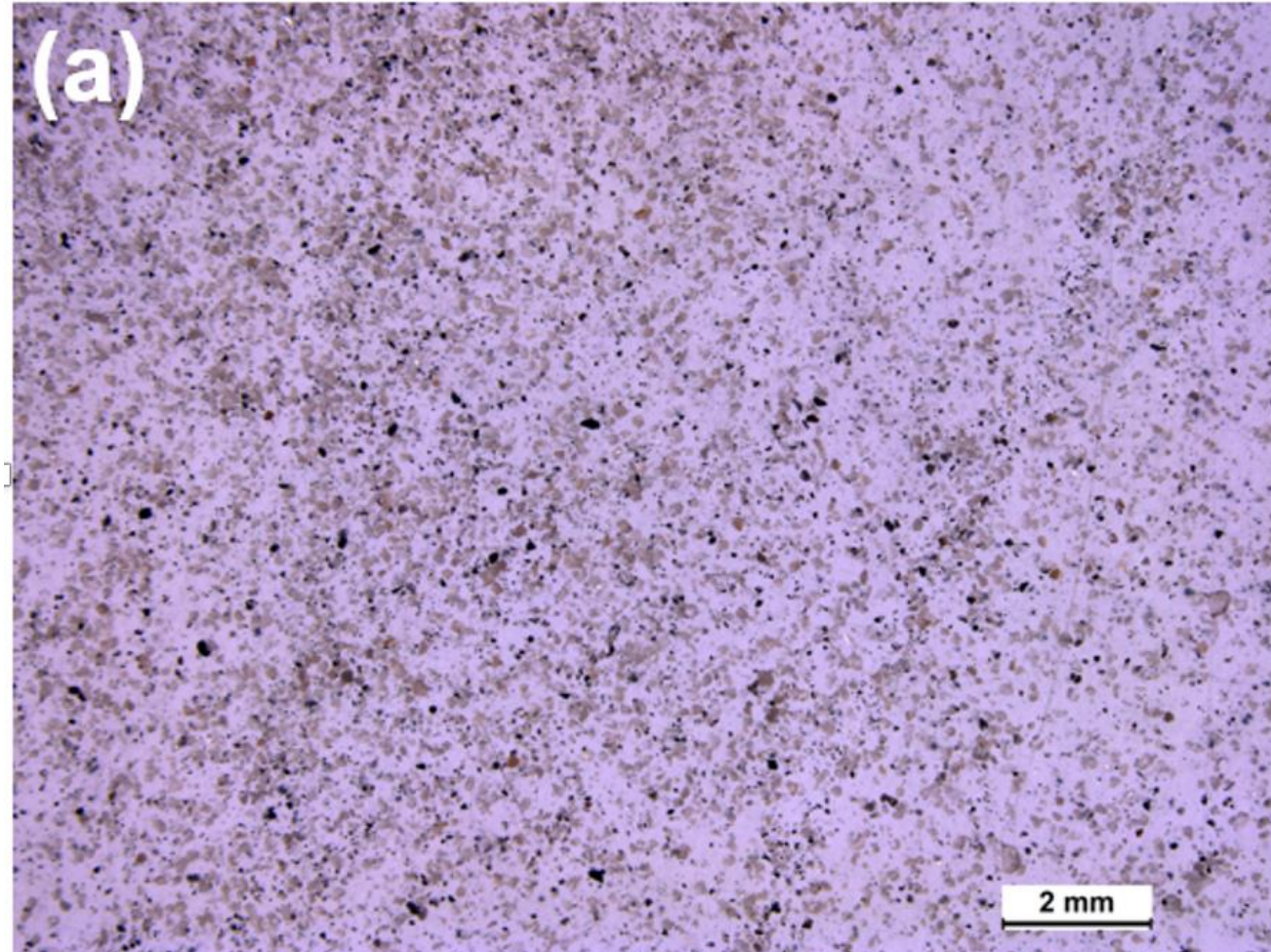
Sostituzione sabbia standard con sabbia di fonderia al **30%, 50% e 70%**

Caratterizzazioni eseguite sulla sabbia

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

Sabbia 31 A

Analisi morfologica, microscopio ottico

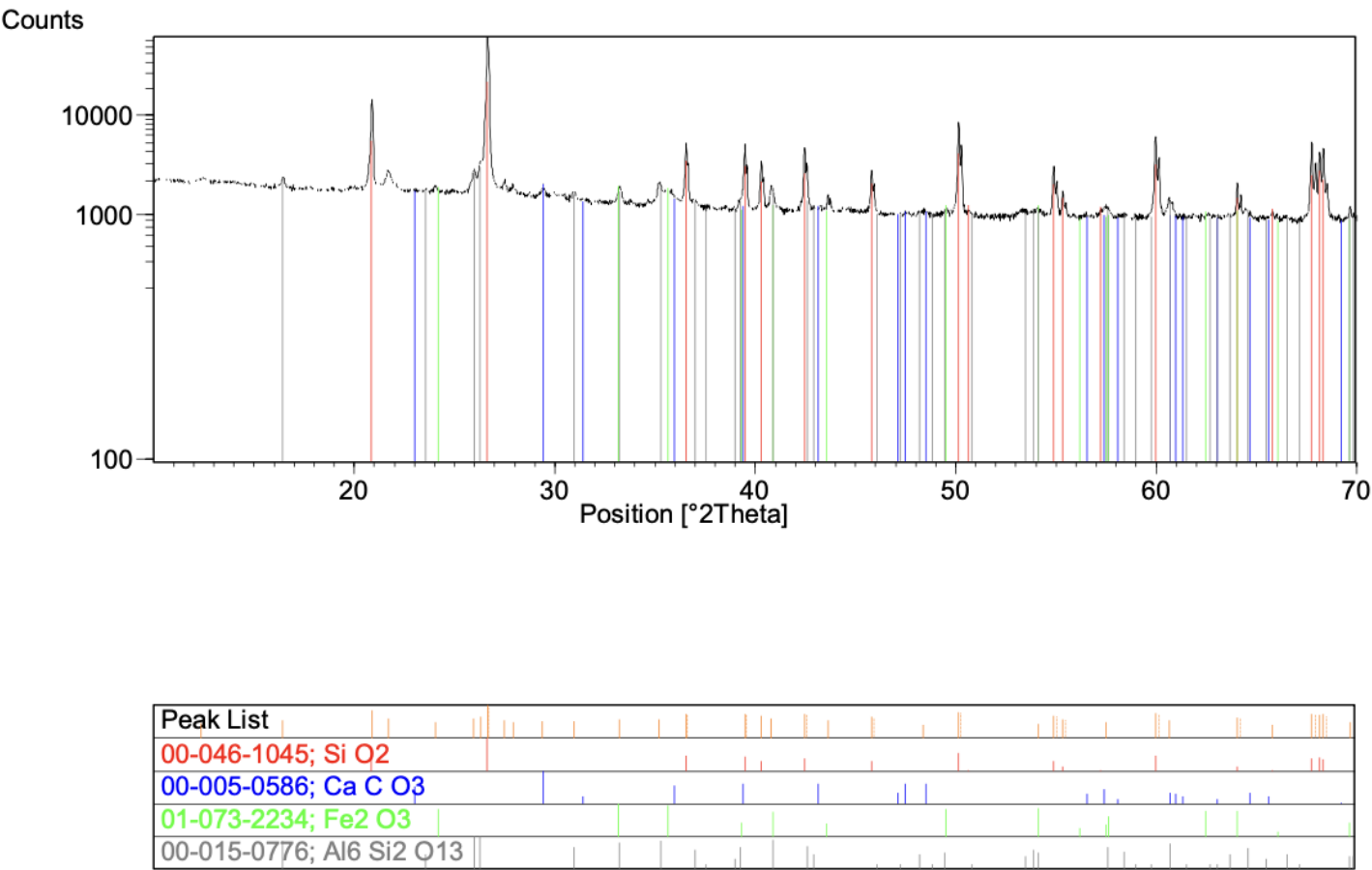


Risultati caratterizzazioni sabbia: analisi chimica (XRF) e mineralogica (XRD)

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

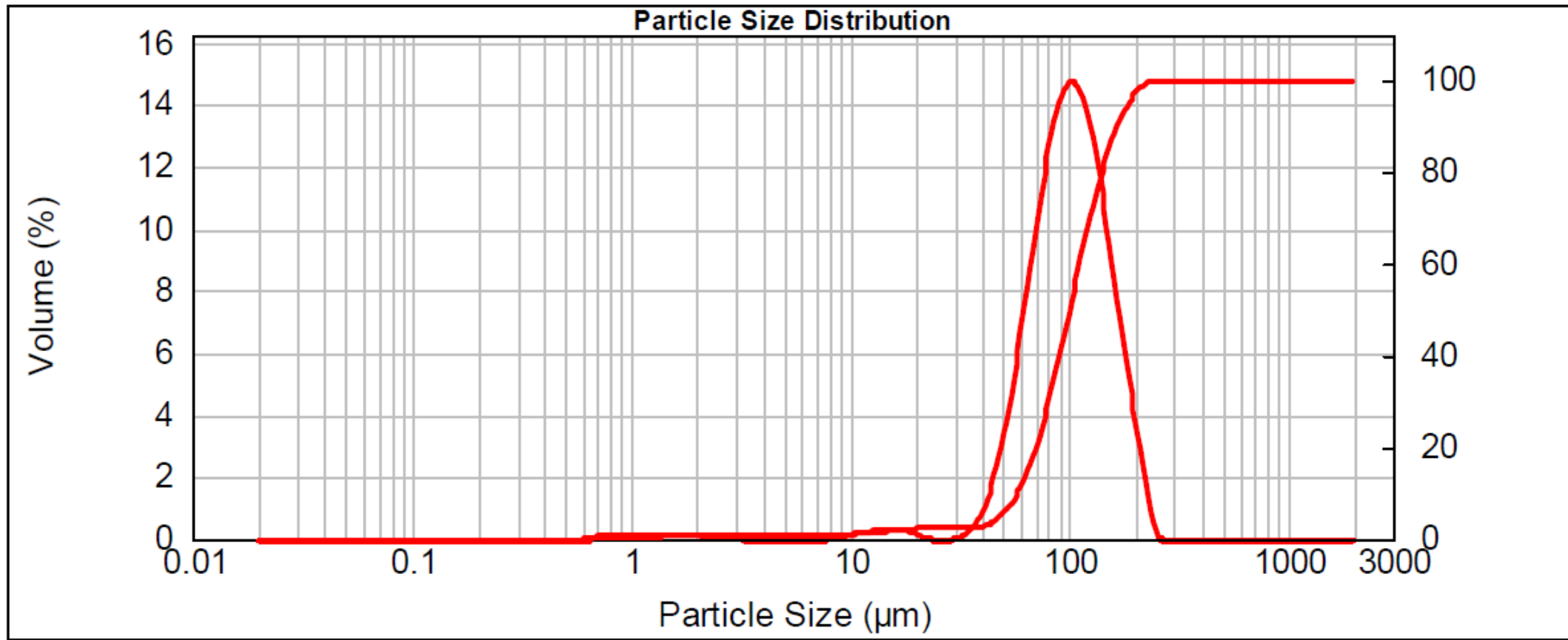


Analisi granulometrica- granulometro laser

d(0.1): 57.972 μm

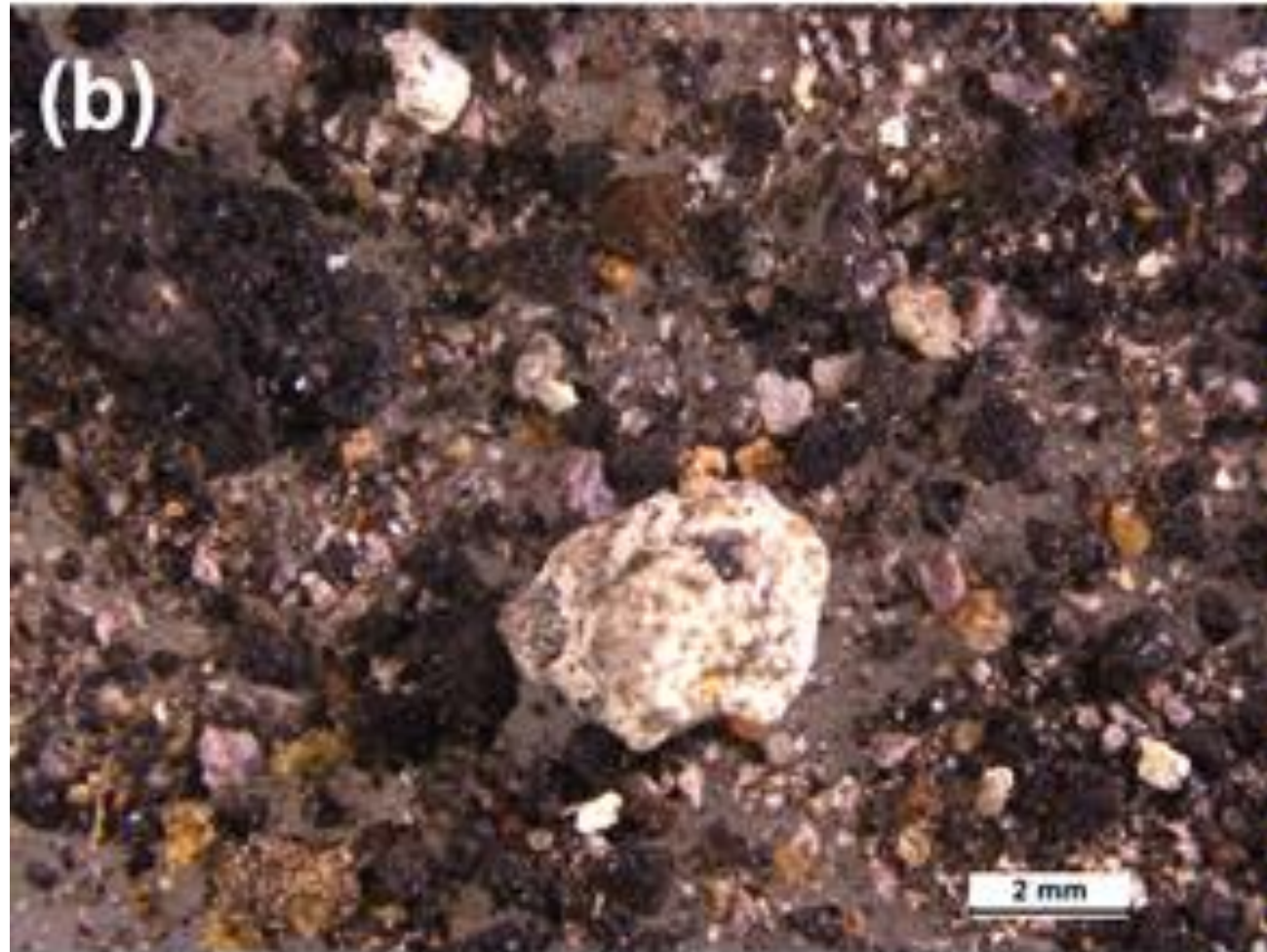
d(0.5): 100.219 μm

d(0.9): 164.317 μm



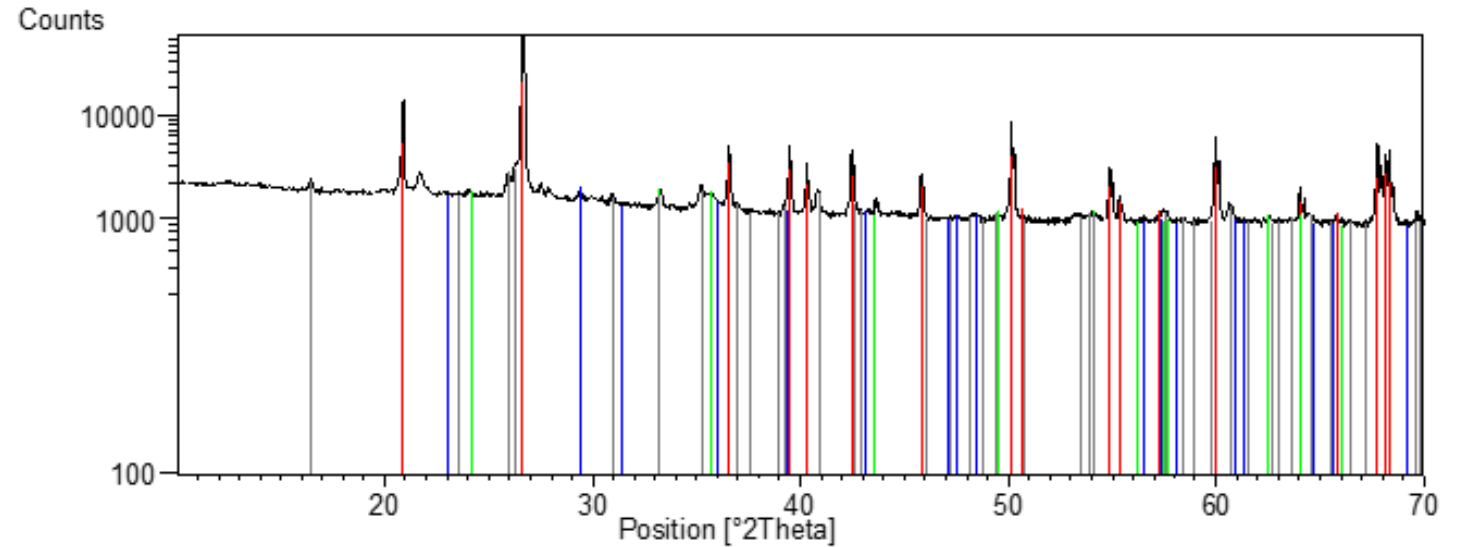
Sabbia 17 A

Analisi morfologica, microscopio ottico



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

17A	Peso(%)
SiO ₂	81.85
Al ₂ O ₃	2.83
TiO ₂	0.15
Fe ₂ O ₃	3.88
CaO	0.13
MgO	0.48
Na ₂ O	0
K ₂ O	0.32
Zr ₂ O	4.15
LOI	6.2



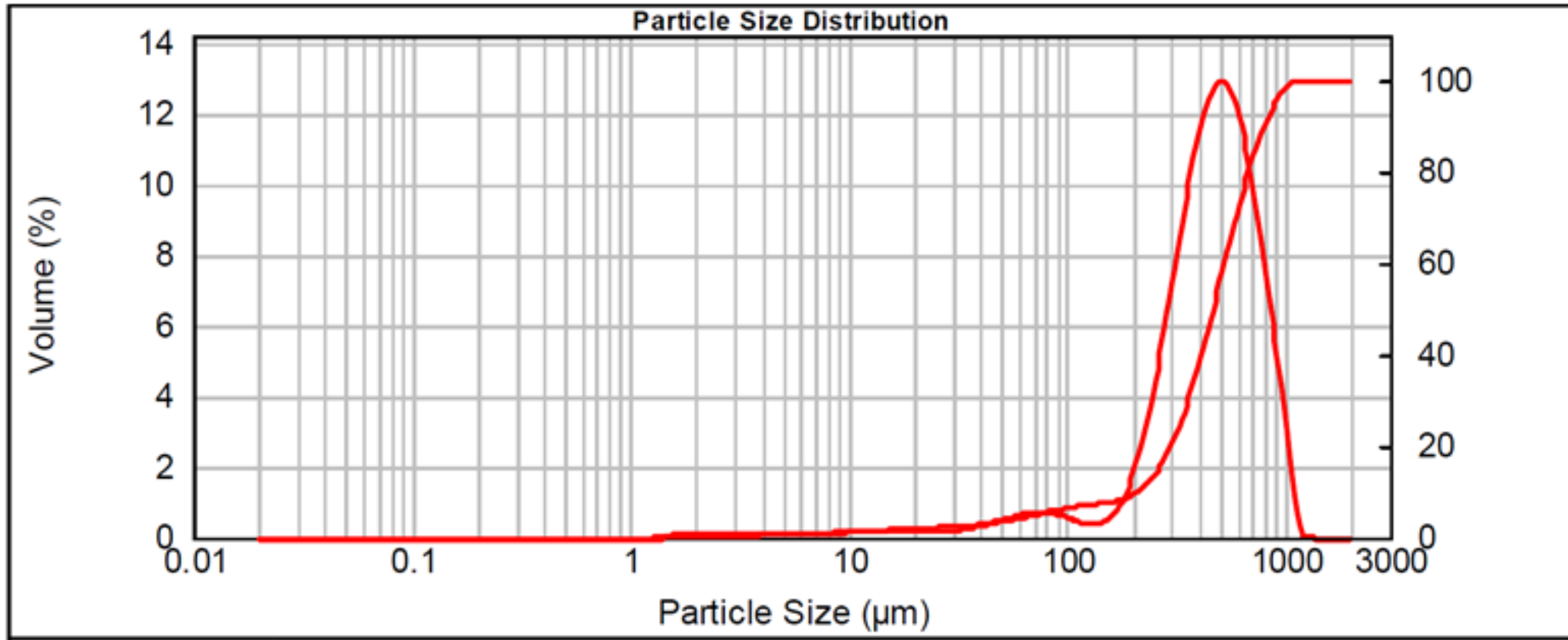
Peak List
00-046-1045; Si Q2
00-005-0586; Ca C O β
01-073-2234; Fe ₂ O ₃
00-015-0776; Al ₆ Si ₂ Q13

Analisi granulometrica- granulometro laser

d(0.1): 208.496 μm

d(0.5): 464.019 μm

d(0.9): 791.777 μm



GRES PORCELLANATO e LATERIZI

Il progetto ha riguardato l'introduzione della sabbia da fonderia, in impasti da grès porcellanato e laterizio dove la sabbia è stata sostituita al 5%, 10% e 100% con la sabbia da fonderia denominata 31A.

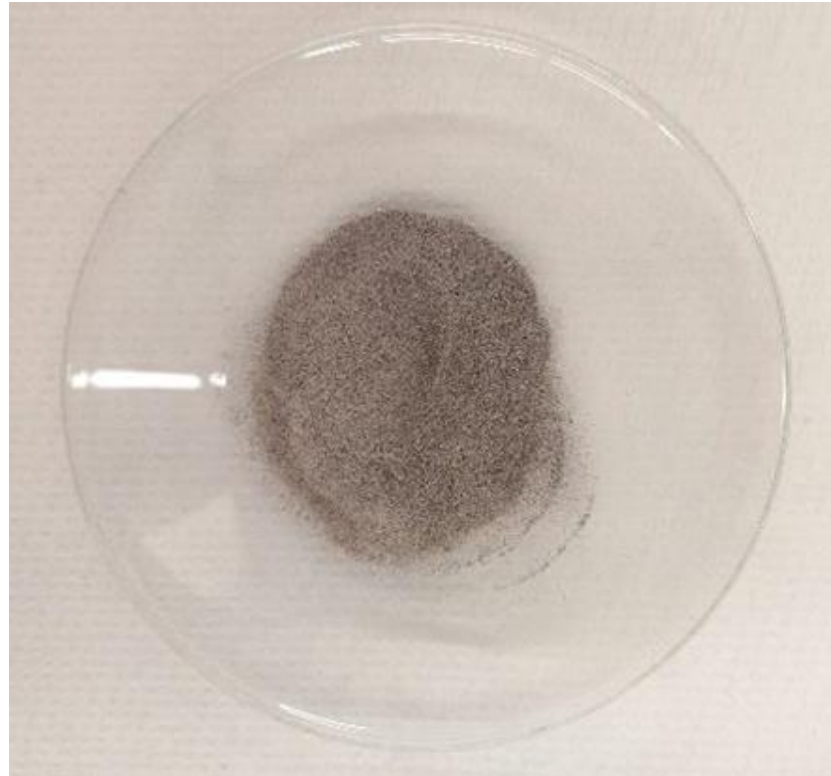


Foto sabbia studiata

Miscele grès porcellanato

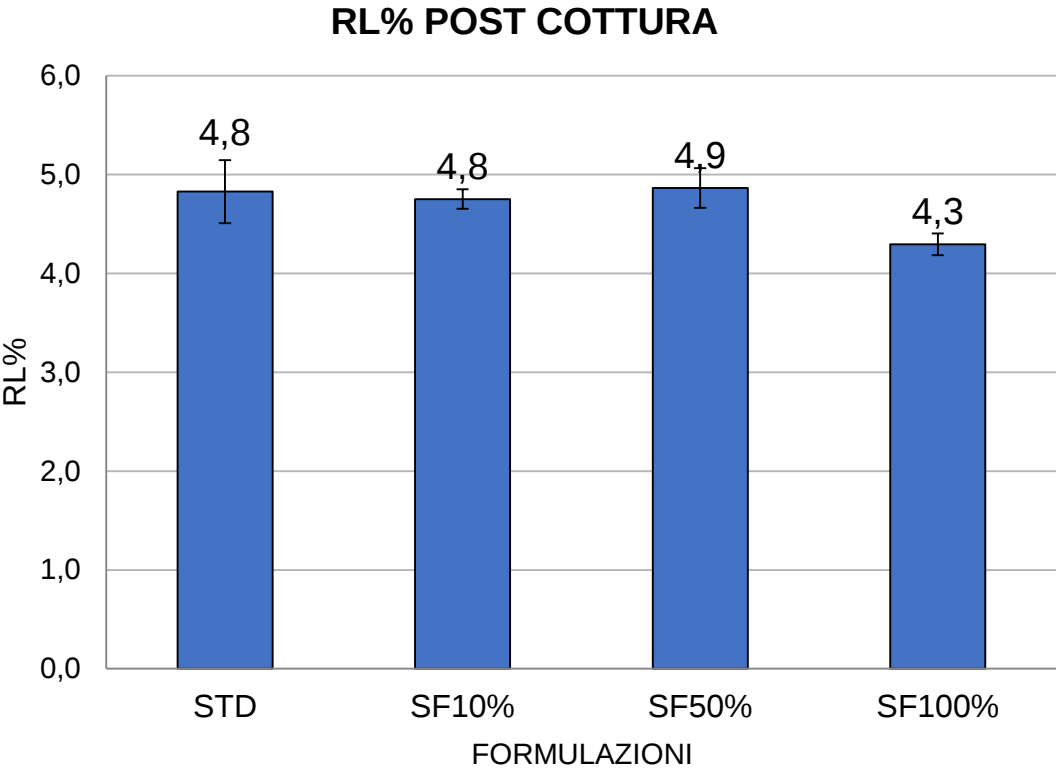
Campioni preparati in laboratorio con le procedure utilizzate nei laboratori di ricerca industriali e cotti alla temperatura massima di 1205°C in un forno da laboratorio 10°C/min

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%, Prova a flessione



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

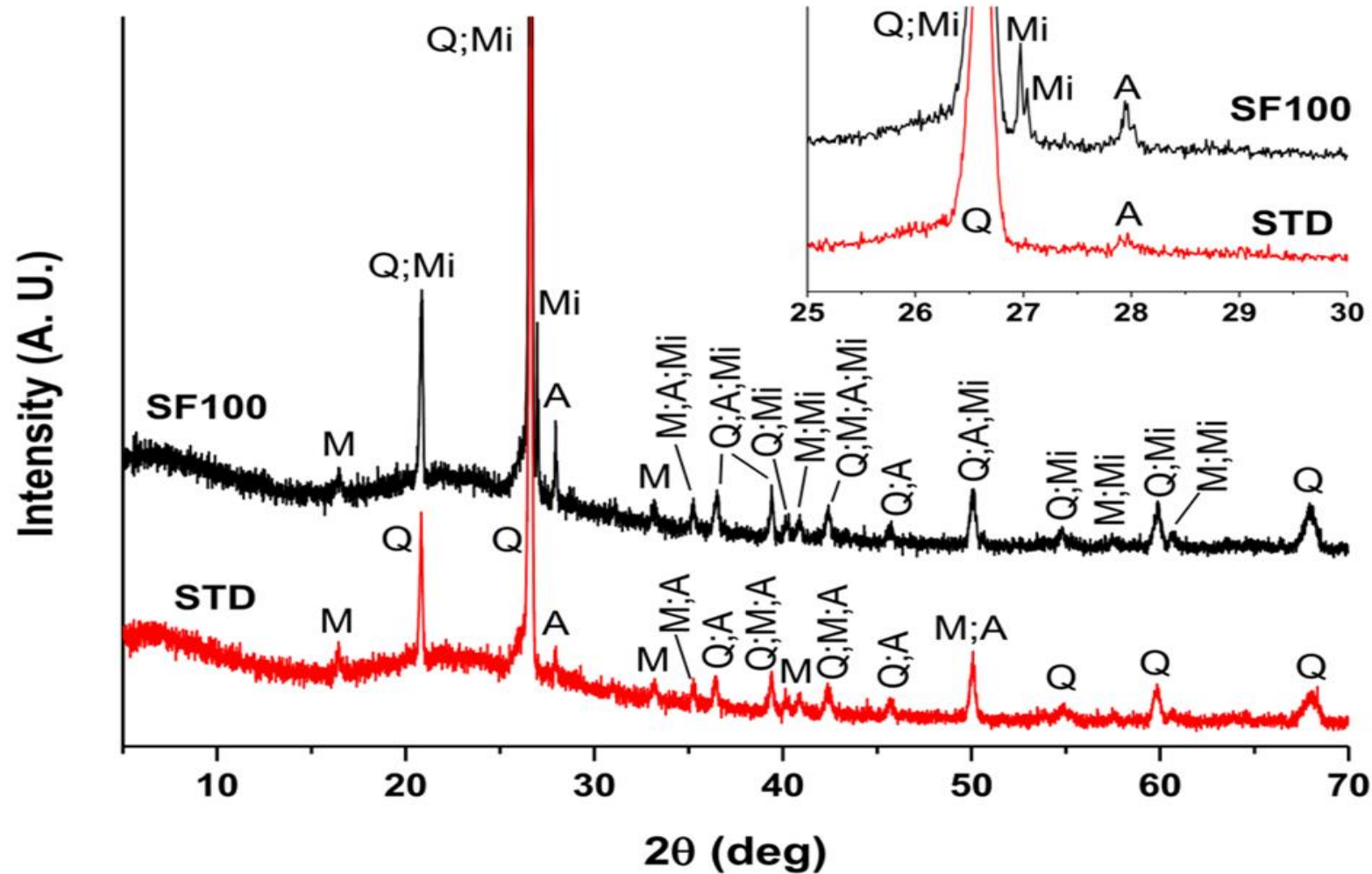
Campione	AA% (±0.0001)
STD	0,0091
SF10%	0,0015
SF50%	0,0222
SF100%	0,0175

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)

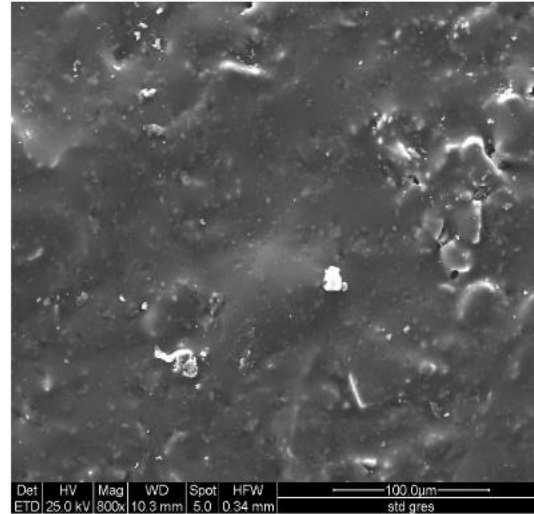


Fasi principali:
quarzo, mullite,
Plagioclasì, vetro

Risultati SEM

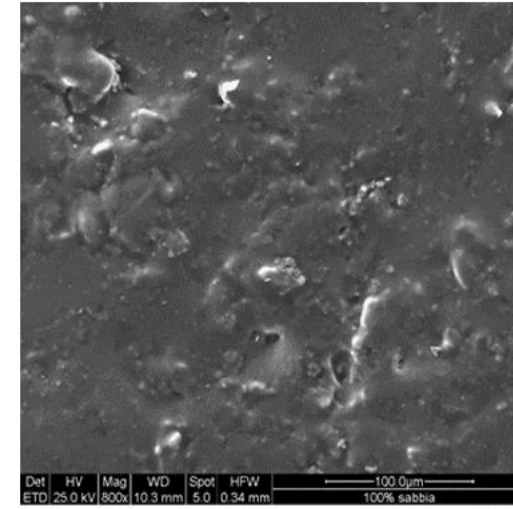
Non si notano
particolare
differenze
tra i campioni
osservati in
superficie e
quelli lappati

STD

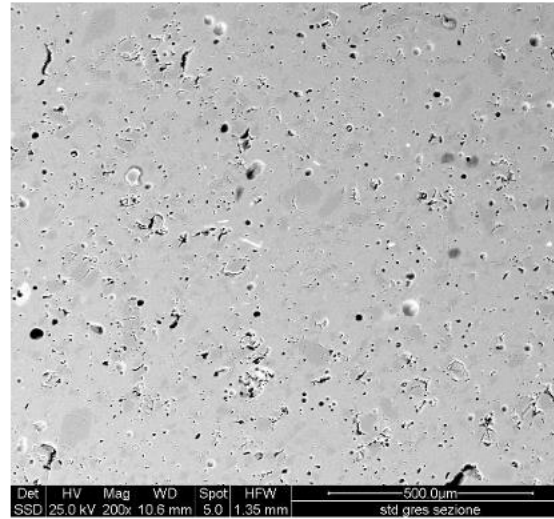


(a)

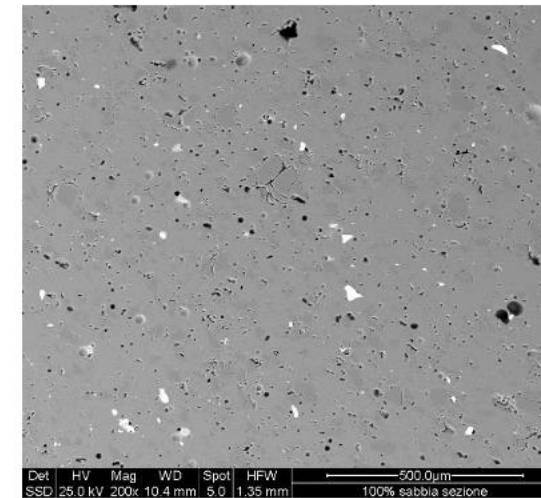
SF100%



(b)



(c)



(d)

Prove di cessione

È stato effettuato un test di cessione sulle sabbie 31A e sul campione Gres SF10 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 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	0,01	<0,01
Cd	<0,01	<0,01
Cr	<0,01	<0,01
Cu	< 0,01	<0,01
Mo	0,02	<0,01
Ni	< 0,01	<0,01
Pb	<0,1	<0,1
Sb	<0,01	<0,01
Se	<0,01	<0,01
Zn	<0,01	<0,01
V	<0,01	<0,01

PROVE INDUSTRIALI – Gruppo FINCIBEC

L'azienda ceramica Gruppo FINCIBEC ha inserito la sabbia di fonderia in una loro formulazione industriale (sostituzione al 10% GP4006/2, 50% GP4006/2A, GP4006/2B 100%). Si riportano alcuni risultati preliminari:

	Ritiro (%)	Δ (%)	Assorbimento (%)	ciclo
				60x60 monocibec
GP4006/2	7.05	+1.3	0	
GP4006/2A	6.77	+2.3	0	
GP4006/2B	7.09	+1.4	0.039	

Risultati

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.

Miscele Laterizio

Campioni preparati in laboratorio con le procedure utilizzate nei laboratori di ricerca industriali e cotti alla temperatura massima di 1150°C in un forno da laboratorio 10°C/min.

Formulazione (%)	F.STD	F.10	F.50	F.100
Argilla Veneta	33.30	33.30	33.30	33.30
Marna Veneta	23.40	23.40	23.40	23.40
Argilla di Modena 1	16.65	16.65	16.65	16.65
Argilla di Modena 2	16.65	16.65	16.65	16.65
Basalto fine	10.00	9.00	5.00	0
Sabbia da fonderia	0	1,00	5.00	10.00

Caratterizzazioni eseguite

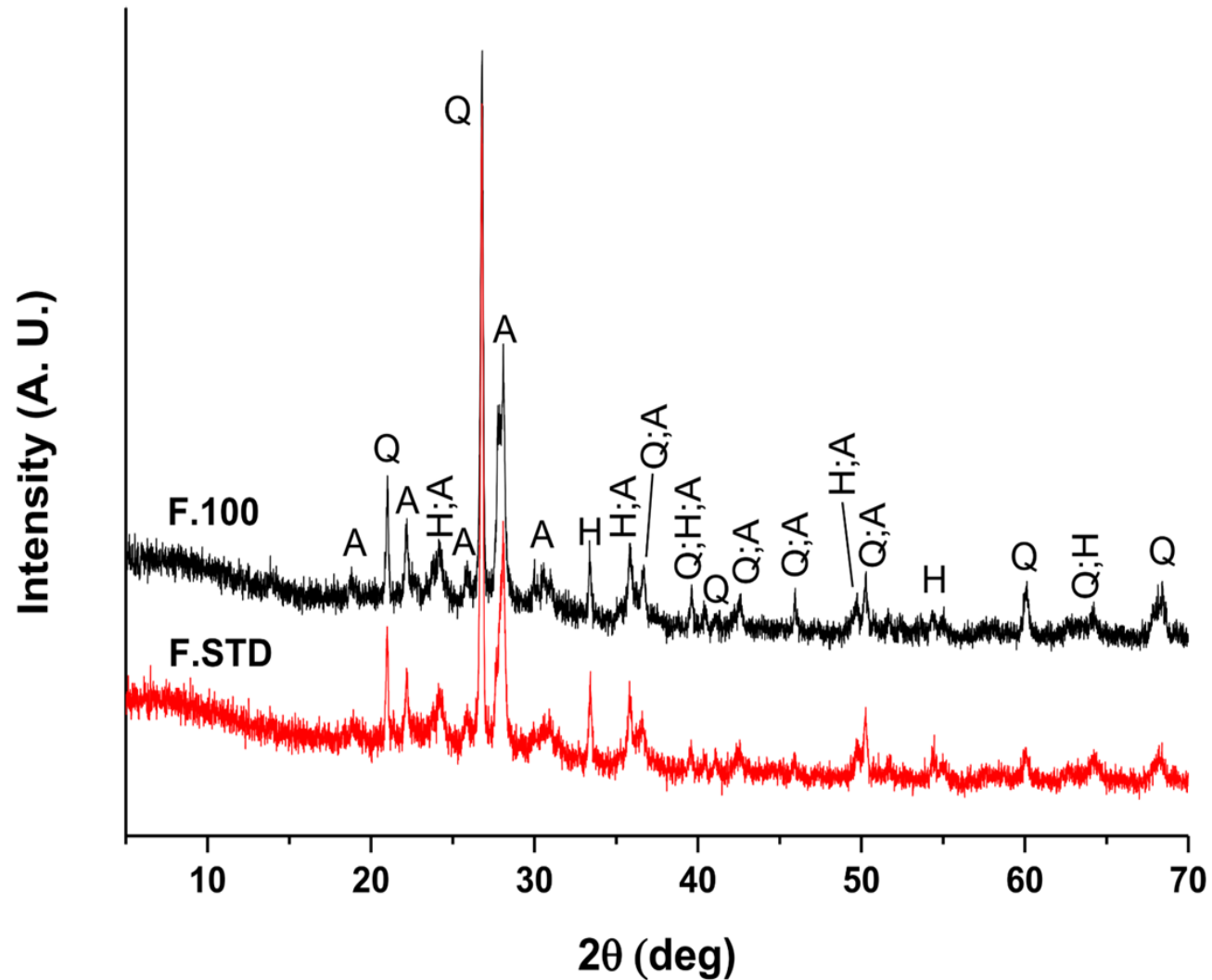
- **Ritiro lineare%**
- **AA%**
- **Prova a flessione** (INSTRON Model 5577)
- **Diffrazione di raggi X (XRD)** (PW3710 Philips)
- **Colorimetria** (PCE-CSM 6)
- **Microscopia elettronica a scansione SEM** (ESEM Quanta 200)
- **Prove di cessione** (norma UNI 10802, secondo la metodica prevista dalla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

Risultati RL%, AA%, Colorimetro(ΔE), Prova a flessione

Laterizi	RL%	St.Dev	AA%	St.Dev	ΔE
F.STD	5.3	0.9	8.65	0.37	0
F.10	6.6	0.8	10.77	0.43	1.5
F.50	7	1	12.15	0.54	1.2
F.100	7	1	12.74	0.67	2.8

Campione	Resistenza a flessione(MPa)	St.Dev
F.STD	22	± 4
F.100	23	± 3

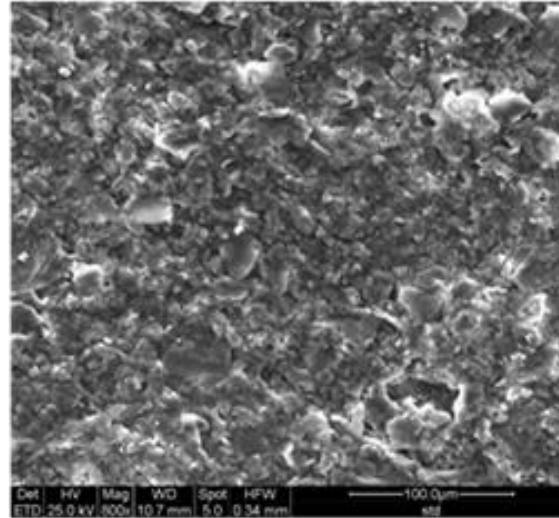
Risultati diffrazione (XRD)



Fasi principali:
quarzo, hematite,
Albite calcica

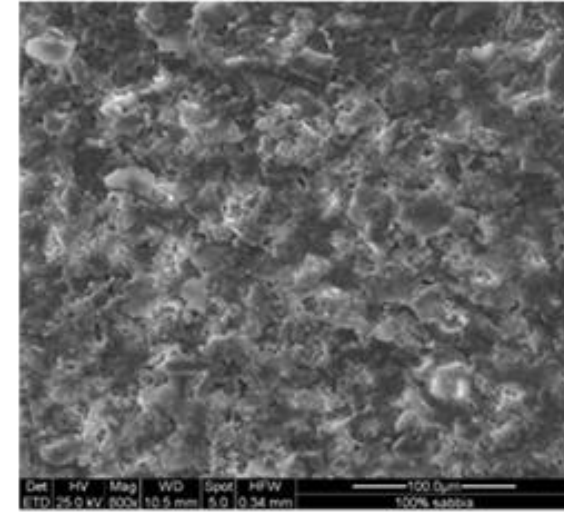
Risultati SEM

F.STD

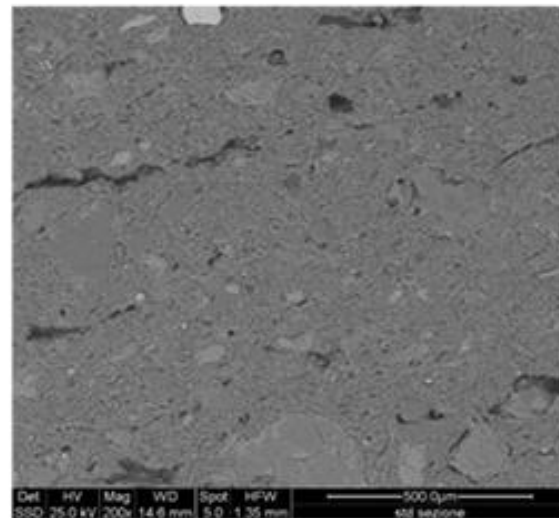


(a)

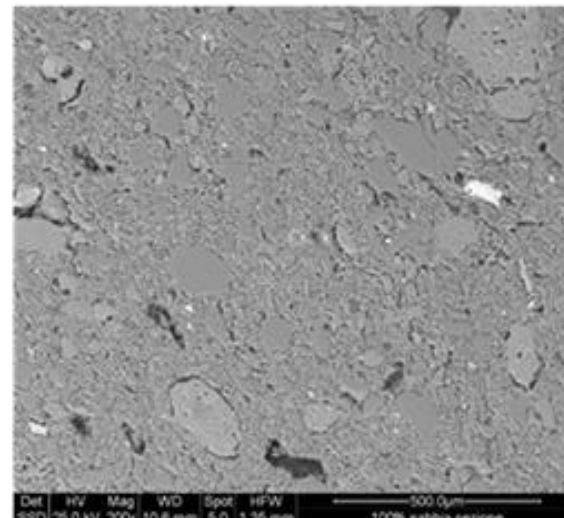
F100



(b)



(c)



(d)

GEOPOLIMERI

Materiali inorganici con struttura amorfa, ottenuti dalla reazione tra alluminosilicati (come metacaolino, ceneri volanti o scorie di altoforno) con soluzioni alcaline (generalmente di sodio o potassio).

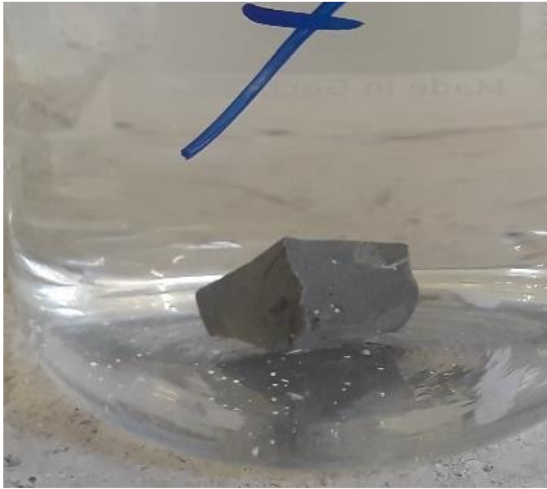
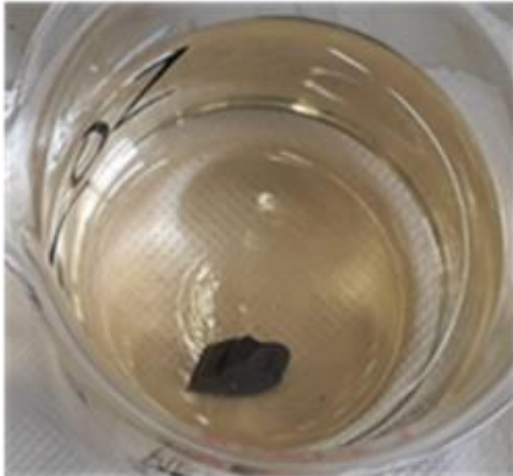
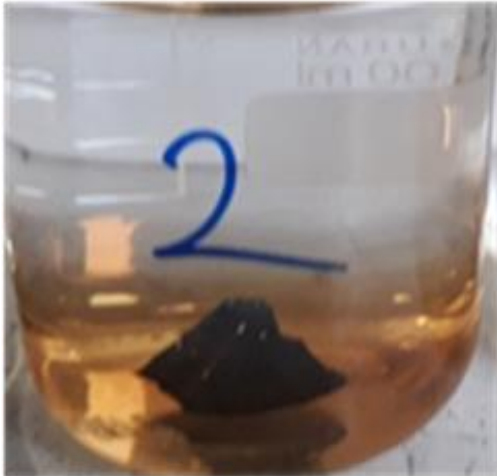
Le formulazioni geopolimeriche sono state testate con l'uso della sabbia di fonderia **17A** di rifiuti in sostituzione di metacaolino rispettivamente per il 30%, il 50% e il 70% in peso. I risultati sono stati confrontati con il campione 100% MK.

Sample	MK (%)	WFS (%)	NaOH 8M (ml)	Na ₂ SiO ₃ (ml)	Si/Al
30% MK	30	70	30	30	3.00
50% MK	50	50	30	30	2.27
70% MK	70	30	30	30	1.82
100% MK	100	0	30	30	1.40

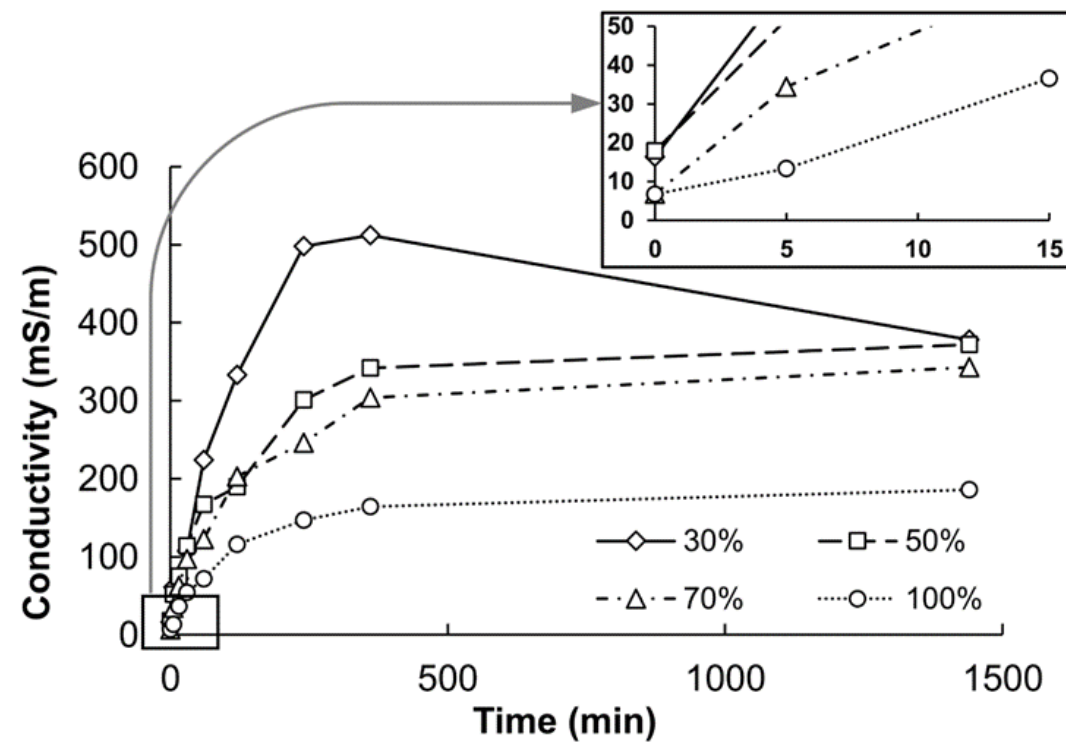
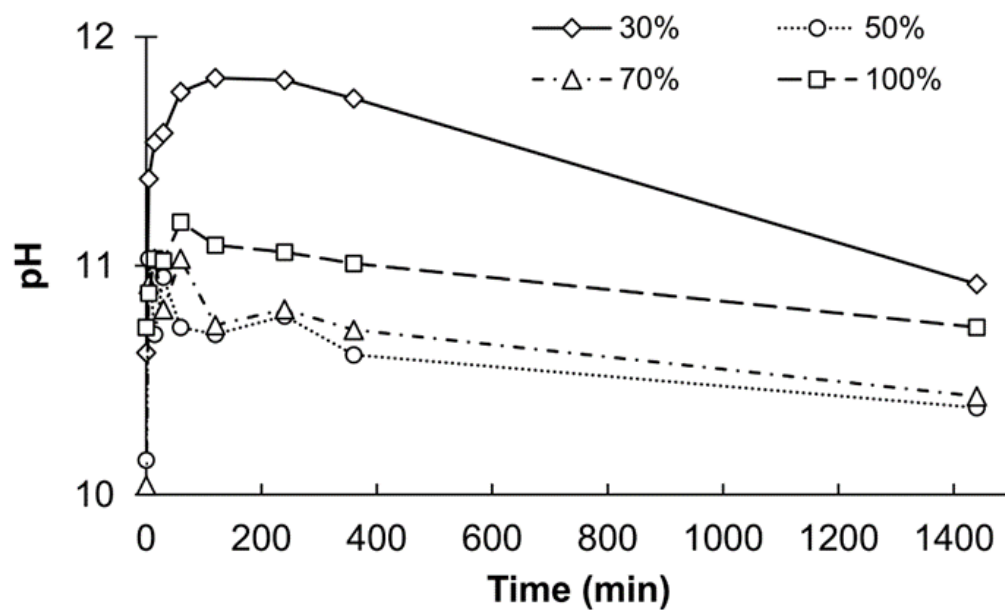
Caratterizzazioni eseguite sulle miscele

- **Test di Integrità in acqua (qualitativo)**
- **Misura di pH e conducibilità ionica**
- **Prova a compressione (INSTRON Model 5577)**
- **Diffrazione di raggi X (XRD) (PW3710 Philips)**
- **Prove di cessione** (norma UNI 10802, secondo la metodica prevista dalla norma UNI EN 12457-2)

Test di Integrità in acqua

70% MK	50% MK	30% MK
		

Misure di pH e conducibilità ionica

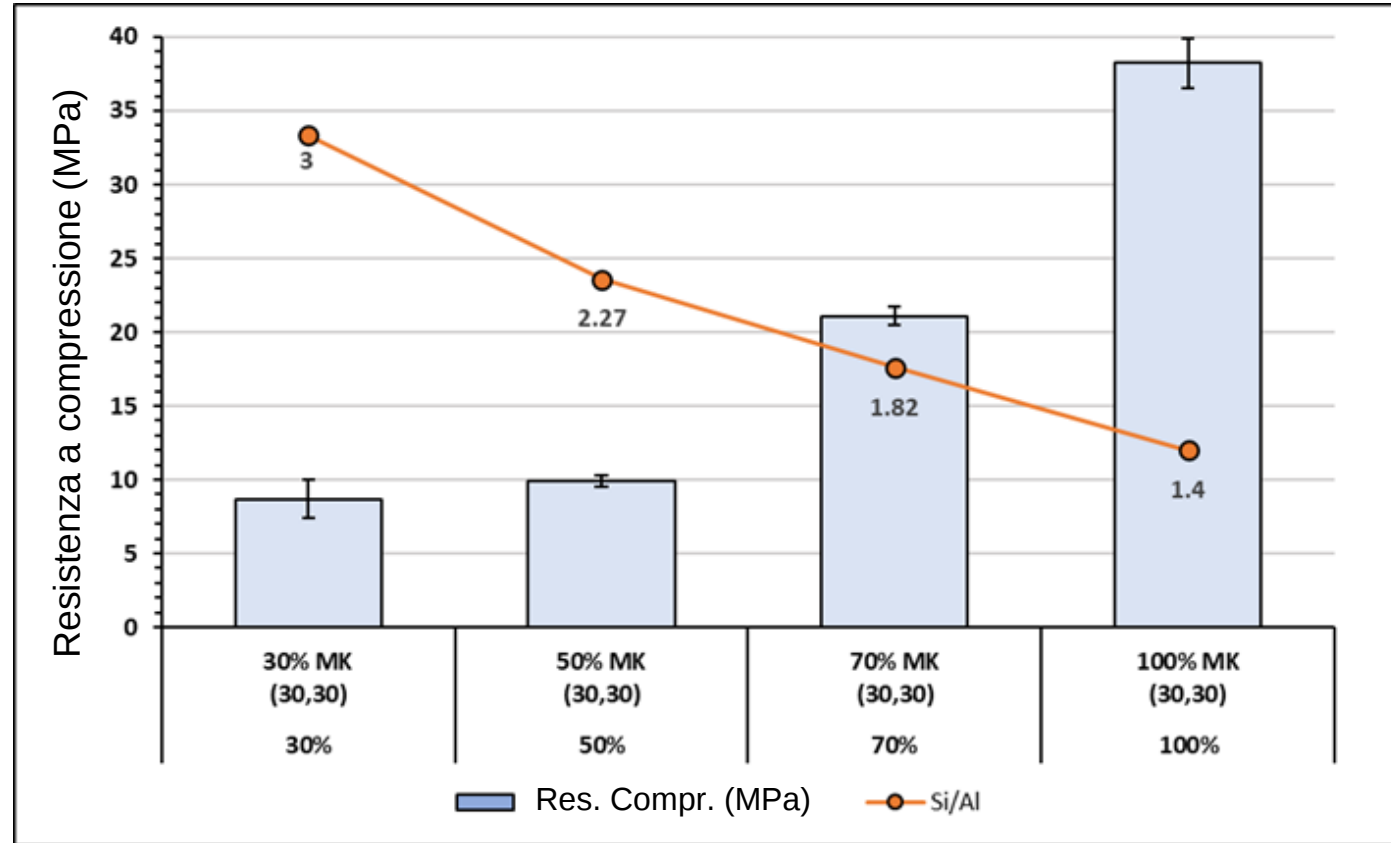


Conducibilità
ionica

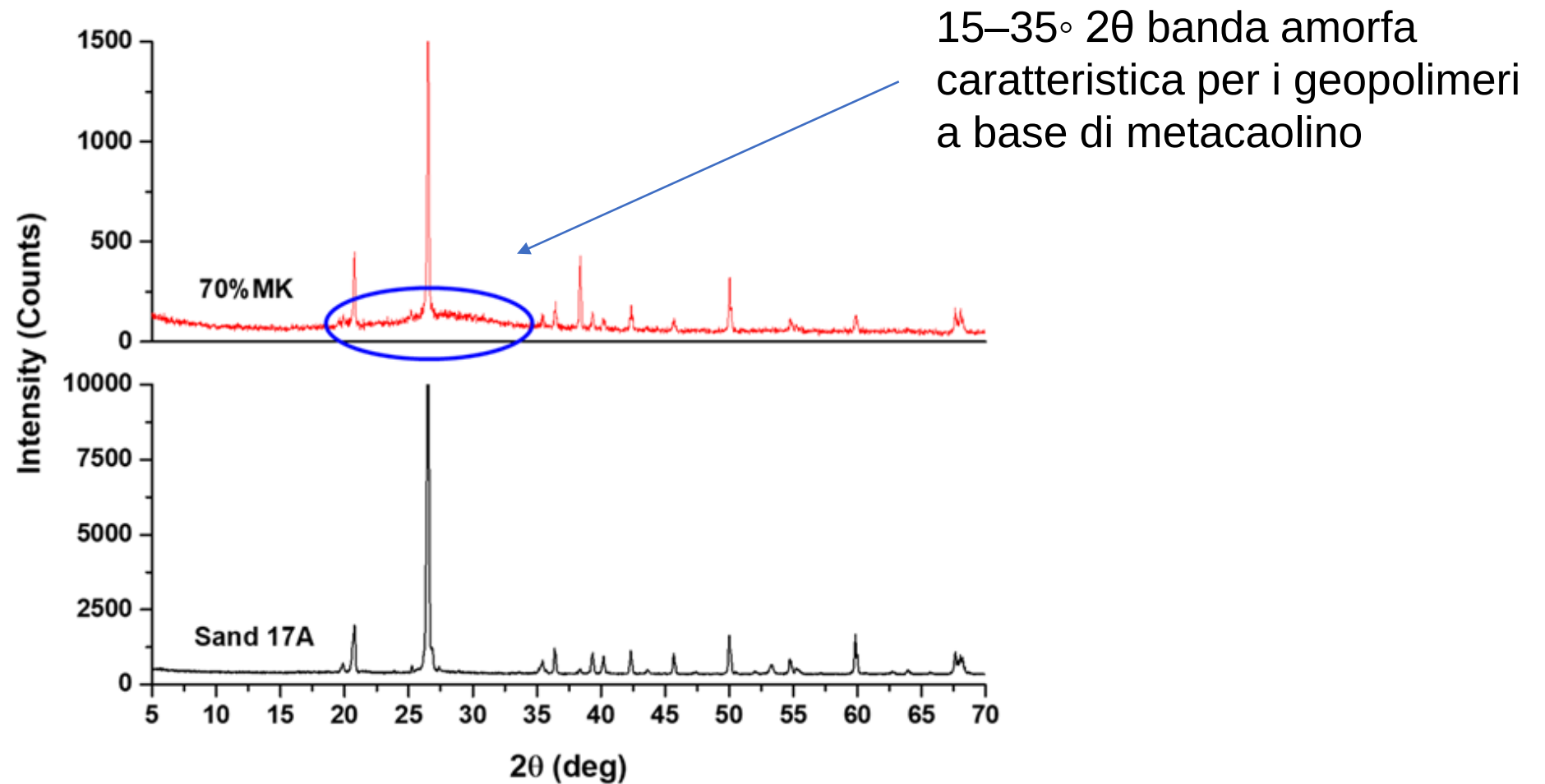
Reticolazione



Prove meccaniche di Resistenza a compressione (MPa)



Risultati diffrazione (XRD)



Test cessione

È stato effettuato un test di cessione sulle sabbie 17A e sul campione Geo 70MK 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 sono riportati nelle tabelle.

Elemento (mg/l)	Sabbia	Geo 70MK%
Fluoruri	0,4	5,7
Cloruri	1,7	8,7
Nitrati	1,5	<0,01
Fosfati	26,3	21,8
Solfati	187,5	149,5

Dai risultati si può affermare che questi materiali rientrano nei limiti previsti come materiali in discarica non pericolosi, ma non per quelli previsti per materiali inerti.

Elemento (mg/l)	Sabbia	Geo 70MK%
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	1,29

CONCLUSIONI

- Lo studio ha dimostrato che la sabbia da fonderia in esame 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 i risultati hanno dimostrato che la sostituzione in questi casi può essere anche del 100%.
- Per i geopolimeri è possibile ottenere risultati accettabili con l'inserimento di sabbia da fonderia (anche se in percentuali non superiori al 30%).

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento a Enrico Paradisi e Maria Camila Ariza Tarazona borsisti INSTM in questo progetto.

Le autrici 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 del Gruppo FINCIBEC, per il prezioso contributo.

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

Pubblicazioni: C. Sgarlata, M.C. Ariza Tarazona, E. Paradisi, C. Siligardi, I. Lancellotti «*Use of foundry sands in the production of ceramics and geopolymers for sustainable construction materials*» Applied Science, MDPI, 2023

2 Congressi: 1 Nazionale e 1 Internazionale 2023

2 tesi di laurea triennale Ing. Civile e Ambientale; **1 Tesi di laurea** Ing. Civile e Ambientale in svolgimento