

EVENTO FINALE DEL PROGETTO  
**FAV4CER**

Fibre vetrose di lana minerale  
per ceramici green



PROGETTO COFINANZIATO DA

MINISTERO DELL'AMBIENTE  
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Bando Rifiuti non serviti da Filiera - Edizione 2021



**20 LUGLIO 2026**



Aula U.02  
Dipartimento di Scienze Chimiche  
e Geologiche - UNIMORE  
Via Campi 103 - 41125 Modena



**CNR  
ISSMC**

Istituto di Scienza, Tecnologia  
e Sostenibilità per lo Sviluppo  
dei Materiali Ceramici

# Valorizzazione del prodotto di inertizzazione della lana di vetro per la produzione di piastrelle in gres porcellanato: dalla ricerca all'applicazione industriale

**“EVENTO FINALE DEL PROGETTO FAV4CER”**  
Modena, 20 Luglio 2026

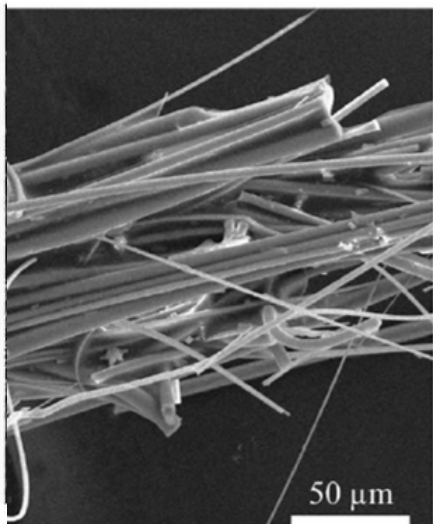
**Sonia Conte, PhD**  
[sonia.conte@issmc.cnr.it](mailto:sonia.conte@issmc.cnr.it)

# Caratterizzazione di Re.Wo e LDV

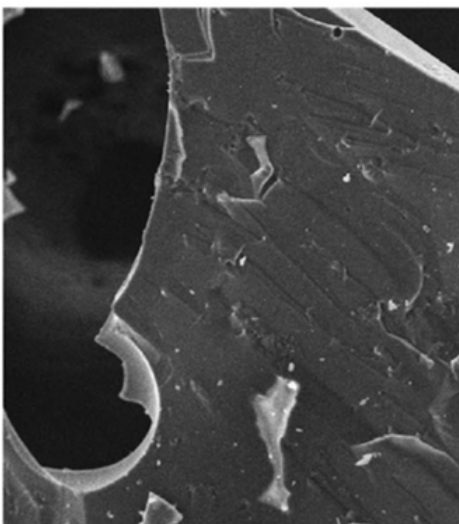
Perché i prodotti inertizzati possono agire come fondenti ceramici

## MORFOLOGIA SEM

PRIMA DELL'INERTIZZAZIONE  
(scarto di lana minerale)



PRODOTTO INERTIZZATO  
(morfologia vetrosa)

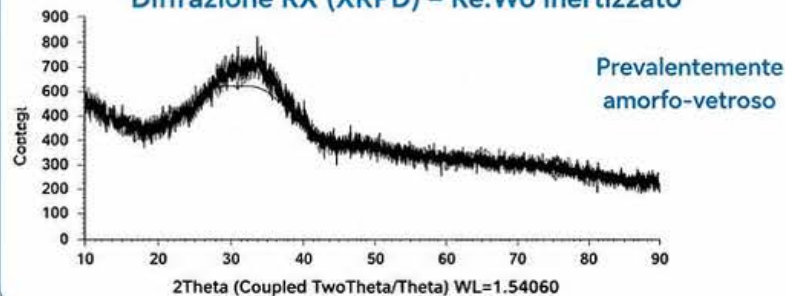


L'inertizzazione termica distrugge la struttura fibrosa e produce un materiale vetroso, inerte e non pericoloso.

## COMPOSIZIONE CHIMICA (% in peso)

|                                | Re.Wo | LDV<br>(lana di vetro inertizzata) | Feldspato<br>sodico |
|--------------------------------|-------|------------------------------------|---------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 43.66 | 58.93                              | 70.21               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.45 | 11.86                              | 17.80               |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.18  | 0.41                               | 0.33                |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.52  | 0.53                               | 0.13                |
| CaO                            | 19.89 | 23.90                              | 0.75                |
| MgO                            | 10.78 | 3.04                               | 0.14                |
| K <sub>2</sub> O               | 0.57  | 0.98                               | 0.34                |
| Na <sub>2</sub> O              | 1.57  | 0.24                               | 9.75                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.07  | 0.05                               | 0.21                |
| MnO                            | 0.31  | 0.01                               | –                   |
| Totale                         | 100   | 100                                | –                   |

## Diffrazione RX (XRPD) – Re.Wo inertizzato



## MORFOLOGIA E COMPOSIZIONE DI FASE

- Privi di fibre e macinabili
- Prevalentemente amorfi-vetrosi



## TEST HSM

- Elevata fusibilità



## RUOLO CERAMICO

- Materie prime seconde fondenti
- Modificano la chimica della fase liquida



Re.Wo e LDV sono materiali prevalentemente amorfi e ad elevata fusibilità, ma con **chimismi diversi**; possono quindi agire come fondenti secondari con **effetti diversi** sul percorso di greificazione



# Strategia formulativa nel gres porcellanato

Re.Wo, 50 e LDV introdotti come sostituzione parziale del feldspato

10 FORMULAZIONI DI GRÈS PORCELLANATO (wt%)

| MATERIA PRIMA    | PROVENIENZA                             | BASE | REWO2 | REWO4 | REWO6 | 50-2 | 50-4 | 50-6 | LDV2 | LDV4 | LDV6 |
|------------------|-----------------------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| ARGILLA 1        | miscela da Germania e Piemonte (Italia) | 20   | 20    | 20    | 20    | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   |
| ARGILLA 2        | Germania                                | 18   | 18    | 18    | 18    | 18   | 18   | 18   | 18   | 18   | 18   |
| BENTONITE        | Sardegna (Italia)                       | 2    | 2     | 2     | 2     | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    |
| FELDSPATO SODICO | Turchia                                 | 50   | 48    | 46    | 44    | 48   | 46   | 44   | 48   | 46   | 44   |
| SABBIA           | Sardegna (Italia)                       | 10   | 10    | 10    | 10    | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   |
| VETRO            | lana minerale inertizzata               | -    | 2     | 4     | 6     | 2    | 4    | 6    | 2    | 4    | 6    |
| TOTALE           | -                                       | 100  | 100   | 100   | 100   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |



## IMPATTO DI RIFERIMENTO

Argille europee/locali, bentonite, sabbia e feldspato sodico turco (gres porcellanato tradizionale).



## LOGICA SPERIMENTALE

Mantenere stabile l'architettura dell'impasto sostituendo parzialmente il fondente feldspatico con vetri inertizzati di diversa natura e contenuto.



## DOMANDA

Come influenzano tipologia e contenuto di vetro la processabilità, la stabilità in cottura e le proprietà finali?



## MACINAZIONE AD UMIDO

omogeneizzazione e raffinazione della barbotina



## GRANULAZIONE MANUALE (8% ACQUA)

produzione di polvere granulata per la pressatura



## PRESSATURA

formatura di piastrelle ad alta resistenza a verde



## COTTURA RAPIDA

ciclo di cottura rapido di interesse industriale

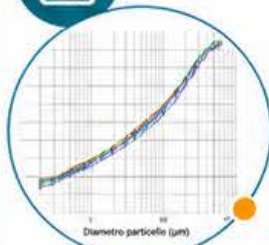


# PROPRIETÀ DEI SEMILAVORATI E COMPATIBILITÀ DI PROCESSO

Gli impasti contenenti lana inertizzata restano compatibili con la via convenzionale



## Macinazione / residuo



La distribuzione barbotina è rimasta entro un range industriale accettabile.



## Polvere e pressatura



Qualità della polvere e compattabilità sono rimaste idonee alla formatura.



## Resistenza a crudo e a secco



Le proprietà meccaniche prima della cottura restano compatibili con le attese industriali.

## Proprietà tecnologiche dei prodotti crudi

| Proprietà                      |                        | Unità              | BASE              | REWO2             | REWO4             | REWO6             | 50-2              | 50-4              | 50-6              |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Dimensione particelle $d_{50}$ |                        | $\mu\text{m}$      | 4.0               | 4.2               | 4.5               | 4.5               | 4.2               | 4.5               | 4.4               |
| Piastrelle in VERDE            | E.P.P.                 | cm/m               | 0.42 $\pm$ 0.01   | 0.41 $\pm$ 0.01   | 0.40 $\pm$ 0.02   | 0.40 $\pm$ 0.01   | 0.40 $\pm$ 0.02   | 0.40 $\pm$ 0.01   | 0.42 $\pm$ 0.01   |
|                                | Densità apparente      | g/cm <sup>3</sup>  | 2.052 $\pm$ 0.031 | 2.031 $\pm$ 0.024 | 2.044 $\pm$ 0.010 | 2.058 $\pm$ 0.019 | 2.019 $\pm$ 0.018 | 2.028 $\pm$ 0.007 | 2.033 $\pm$ 0.025 |
|                                | Resistenza a flessione | kg/cm <sup>2</sup> | 10.2 $\pm$ 0.6    | 10.3 $\pm$ 0.1    | 10.0 $\pm$ 0.5    | 10.4 $\pm$ 0.4    | 10.1 $\pm$ 0.2    | 10.3 $\pm$ 0.7    | 10.1 $\pm$ 0.4    |
| Piastrelle in SECCO            | Densità apparente      | g/cm <sup>3</sup>  | 1.927 $\pm$ 0.030 | 1.915 $\pm$ 0.019 | 1.922 $\pm$ 0.009 | 1.930 $\pm$ 0.025 | 1.905 $\pm$ 0.018 | 1.901 $\pm$ 0.052 | 1.912 $\pm$ 0.030 |
|                                | Resistenza a flessione | kg/cm <sup>2</sup> | 28.4 $\pm$ 0.7    | 28.5 $\pm$ 1.0    | 28.4 $\pm$ 0.5    | 28.3 $\pm$ 1.1    | 28.2 $\pm$ 1.5    | 28.1 $\pm$ 1.4    | 28.4 $\pm$ 1.5    |

| Proprietà                      |                        | Unità              | LDV2              | LDV4              | LDV6              | MEDIA | DEV STD |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|---------|
| Dimensione particelle $d_{50}$ |                        | $\mu\text{m}$      | 4.2               | 4.3               | 4.3               | 4.3   | 0.2     |
| Piastrelle in VERDE            | E.P.P.                 | cm/m               | 0.40 $\pm$ 0.02   | 0.40 $\pm$ 0.02   | 0.40 $\pm$ 0.02   | 0.41  | 0.01    |
|                                | Densità apparente      | g/cm <sup>3</sup>  | 2.041 $\pm$ 0.031 | 2.042 $\pm$ 0.015 | 2.019 $\pm$ 0.022 | 2.037 | 0.013   |
|                                | Resistenza a flessione | kg/cm <sup>2</sup> | 10.5 $\pm$ 0.4    | 10.4 $\pm$ 0.4    | 10.5 $\pm$ 0.7    | 10.3  | 0.2     |
| Piastrelle in SECCO            | Densità apparente      | g/cm <sup>3</sup>  | 1.920 $\pm$ 0.103 | 1.915 $\pm$ 0.090 | 1.914 $\pm$ 0.088 | 1.916 | 0.009   |
|                                | Resistenza a flessione | kg/cm <sup>2</sup> | 28.2 $\pm$ 1.2    | 28.6 $\pm$ 1.1    | 28.2 $\pm$ 1.2    | 28.3  | 0.2     |

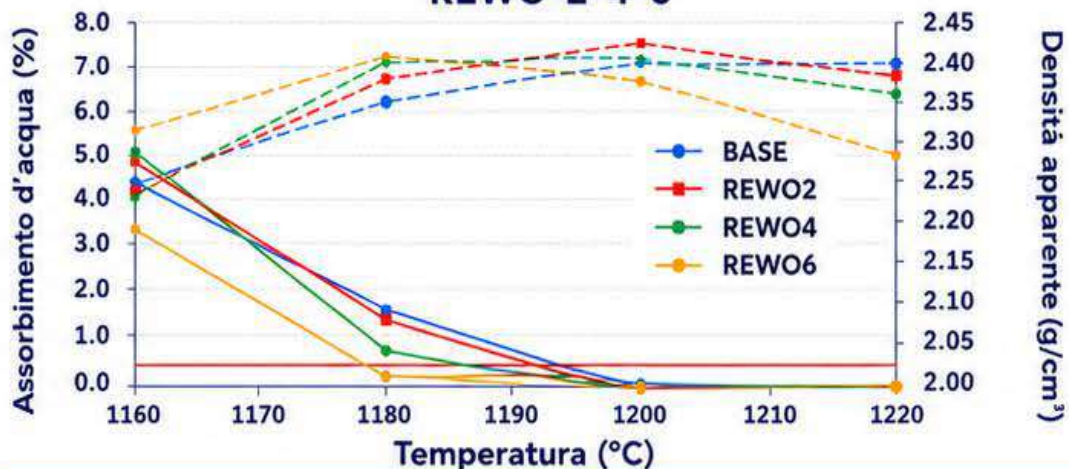


**Il primo filtro è superato: la presenza dello scarto non crea colli di bottiglia significativi prima della cottura.**

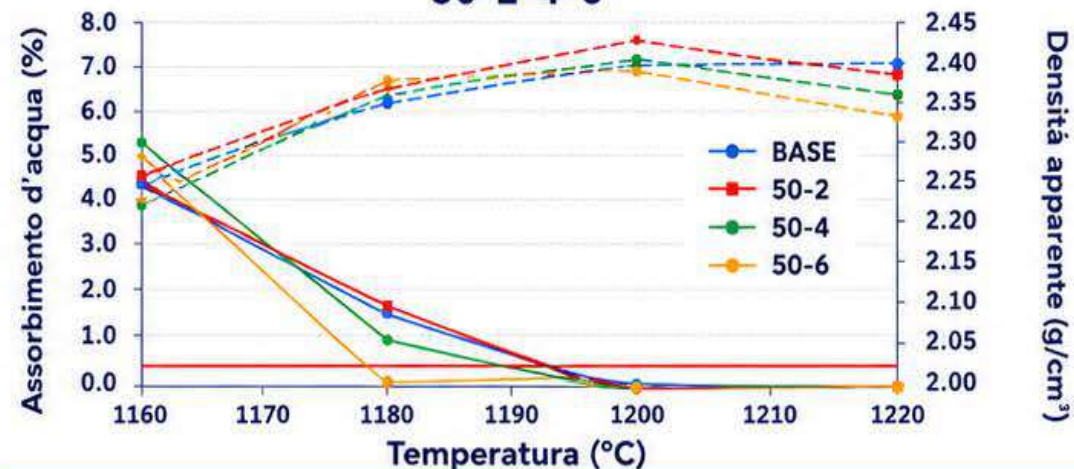


# PROPRIETÀ DEL COTTO E COMPORTAMENTO IN COTTURA

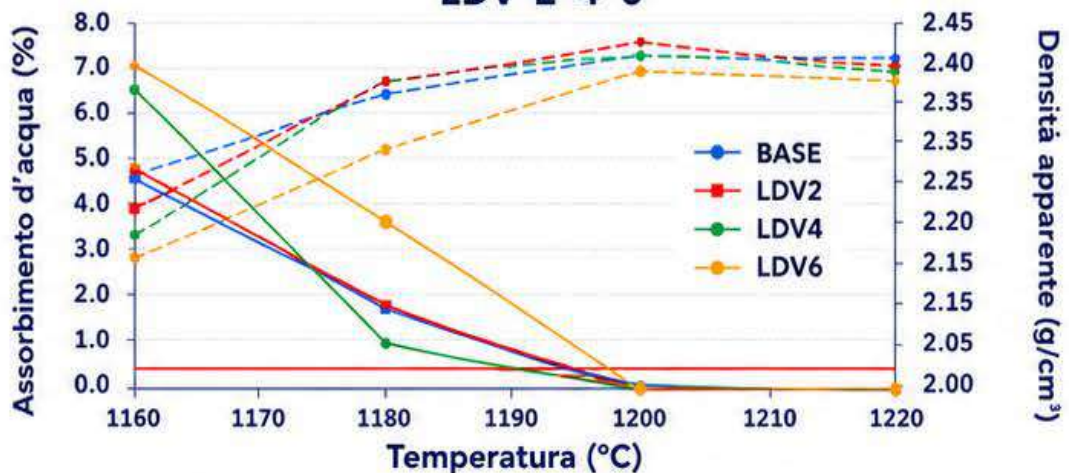
REWO-2-4-6



50-2-4-6



LDV-2-4-6



## Re.Wo:

- ↓ T°C per raggiungere A.A. < 0,5%
- ReWo6: T<sub>md</sub> circa 20 °C più bassa
- Tendenza all'espansione / perdita di densità ad alto contenuto di Fe



## 50% Re.Wo + 50% LDV:

- Effetto comparabile a Re.Wo
- Migliore stabilità alle alte temperature
- Buon compromesso tra cinetiche e stabilità



## LDV:

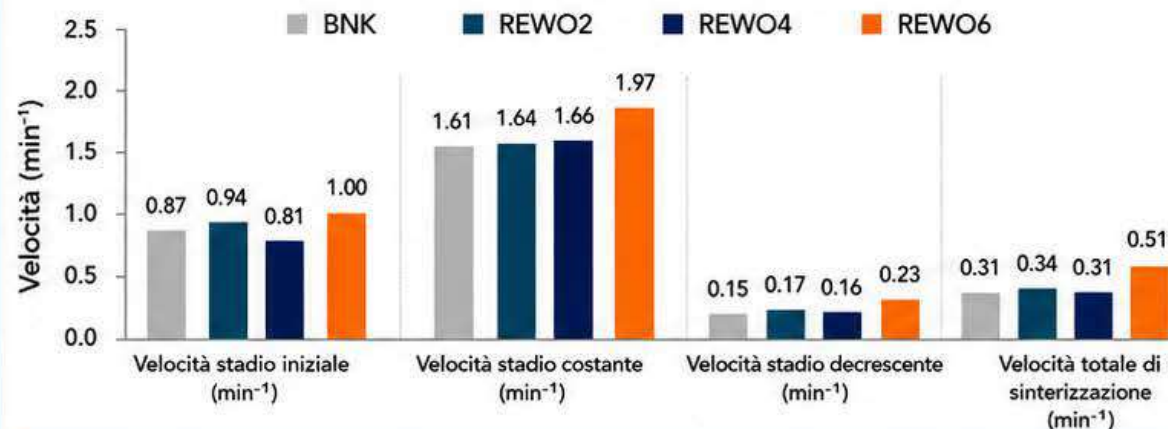
- Comportamento diverso rispetto a Re.Wo
- LDV6: rallentamento delle cinetiche di sinterizzazione
- Probabile cristallizzazione in temperatura
- Buona stabilità alle alte temperature



# Approfondimento sul Re.Wo

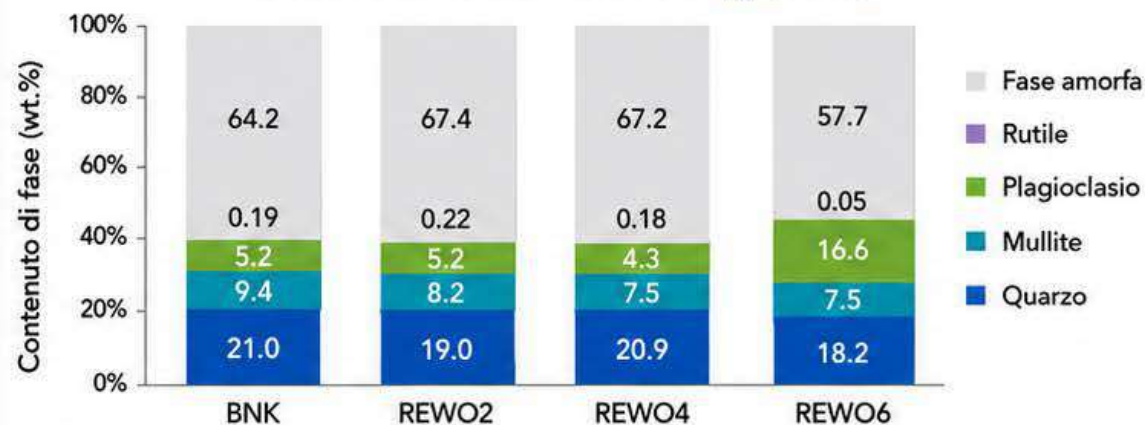
## Perché il 2-4 wt.% è l'intervallo utile

### CINETICHE DI SINTERIZZAZIONE DA HSM



Solo REWO6 mostra cinetiche di sinterizzazione HSM più rapide, ma è anche l'unica composizione che presenta uno stadio di bloating.

### COMPOSIZIONE DI FASE A T<sub>md</sub> (TRL4)



All'aumentare del contenuto di Re.Wo, i feldspati diventano più stabili, mentre la formazione di mullite è inibita.

### REWO2



vicino al benchmark



finestra di processo sicura



buone prestazioni tecniche

### REWO4



effetto fondente più marcato



tecnicamente fattibile



intervallo di cottura più stretto

### REWO6



temperatura di massima densificazione più bassa



sovracottura anticipata



robustezza ridotta



non selezionato per lo scale-up



## Selezionati per lo scale-up: REWO2 e REWO4

Prestazioni tecniche bilanciate con maggiore robustezza di processo e scalabilità.



**SACMI**  
LINEA PILOTA



# Scale-up su linea pilota: TRL4 → TRL6

## Validazione lungo la linea industriale convenzionale



**60 m<sup>2</sup> prodotti**

Produzione su linea pilota realizzata



**REWO<sub>2</sub> e REWO<sub>4</sub> selezionati**

Miglior equilibrio complessivo tra prestazioni e processabilità.

”

Lo scale-up ha riprodotto la linea ceramica convenzionale e ha confermato la trasferibilità degli impasti contenenti **Re.Wo** oltre la scala di laboratorio.

**RISULTATO PRINCIPALE**

-  Compatibilità con il processo industriale
-  Prestazioni meccaniche superiori ai requisiti
-  Dimostrazione di scalabilità



Validazione TRL4 → TRL6 con macinazione a umido pilota, atomizzazione e cottura SACMI



## BARBOTTINE E POLVERI ATOMIZZATE

| PROPRIETÀ                                        | BNK_SU | REWO2_SU | REWO4_SU |
|--------------------------------------------------|--------|----------|----------|
| Residuo >63 µm (%)                               | 0.5    | 0.5      | 0.5      |
| Contenuto d'acqua (%)                            | 35.3   | 34.6     | 34.8     |
| Densità (g/L)                                    | 1676   | 1689     | 1685     |
| Viscosità (°E)                                   | 2.0    | 2.2      | 2.3      |
| Dimensione particellare d50 della barbotina (µm) | 4.67   | 5.11     | 5.17     |



Umidità della polvere atomizzata: 6.5% in peso per tutti gli impasti



## CORPI CRUDI – RISPOSTA ALLA PRESSATURA

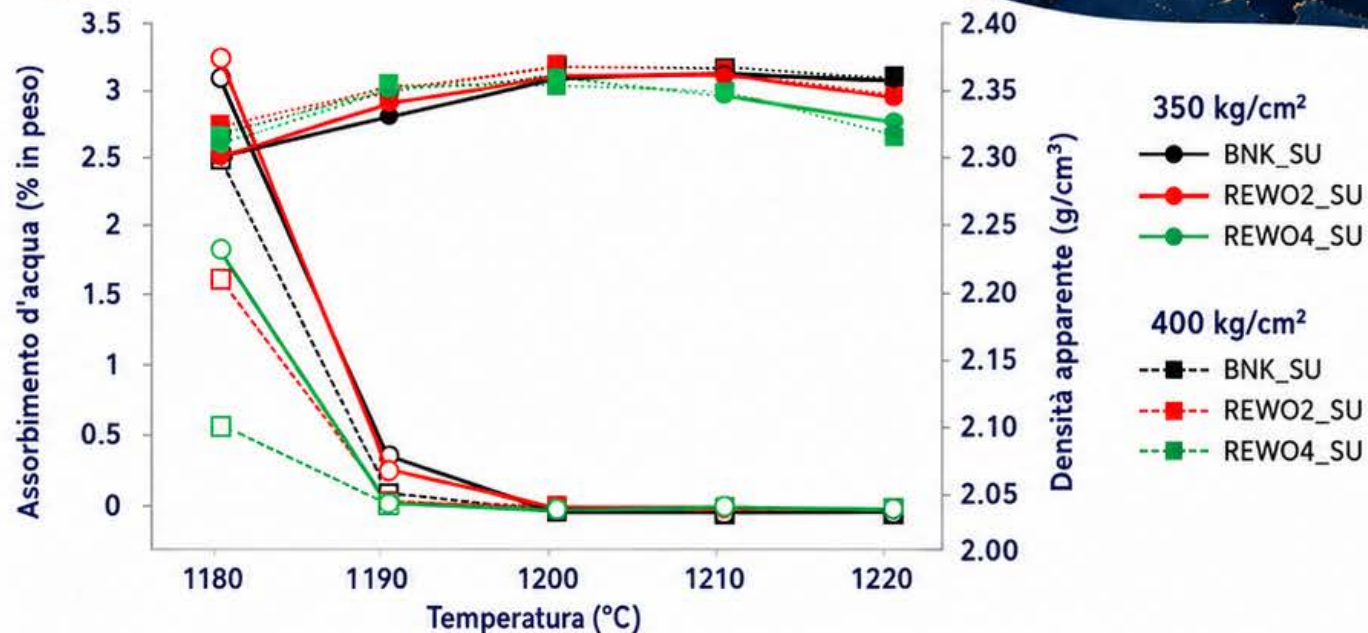
| PROPRIETÀ                               | BNK_SU<br>350 / 400 | REWO2_SU<br>350 / 400 | REWO4_SU<br>350 / 400 |
|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ritorno elastico (%)                    | 0.52 / 0.55         | 0.52 / 0.55           | 0.48 / 0.48           |
| Densità a verde (g/cm³)                 | 1.965 / 1.984       | 1.998 / 2.042         | 2.024 / 2.048         |
| Resistenza a flessione a verde (kg/cm²) | 8.6 / 9.2           | 9.2 / 9.1             | 8.8 / 9.4             |
| Densità a secco (g/cm³)                 | 1.865 / 1.883       | 1.866 / 1.913         | 1.897 / 1.919         |
| Resistenza a flessione a secco (kg/cm²) | 35.3 / 38.3         | 38.2 / 40.5           | 38.6 / 39.2           |
| Ritiro in essiccaimento (%)             | 0.12 / 0.12         | 0.12 / 0.12           | 0.12 / 0.09           |



Gli impasti contenenti Re.Wo mantengono buona compattazione e resistenza meccanica prima della cottura.



## CURVE DI GREIFICAZIONE



Tutti gli impasti raggiungono un assorbimento d'acqua quasi nullo a 1200 °C.



REWO2\_SU rimane molto vicino al benchmark nel comportamento di densificazione.



REWO4\_SU densifica prima, ma mostra un intervallo di cottura più stretto e una tendenza più precoce all'overfiring.



Output della linea pilota:

**60 m²**

di piastrelle prodotte

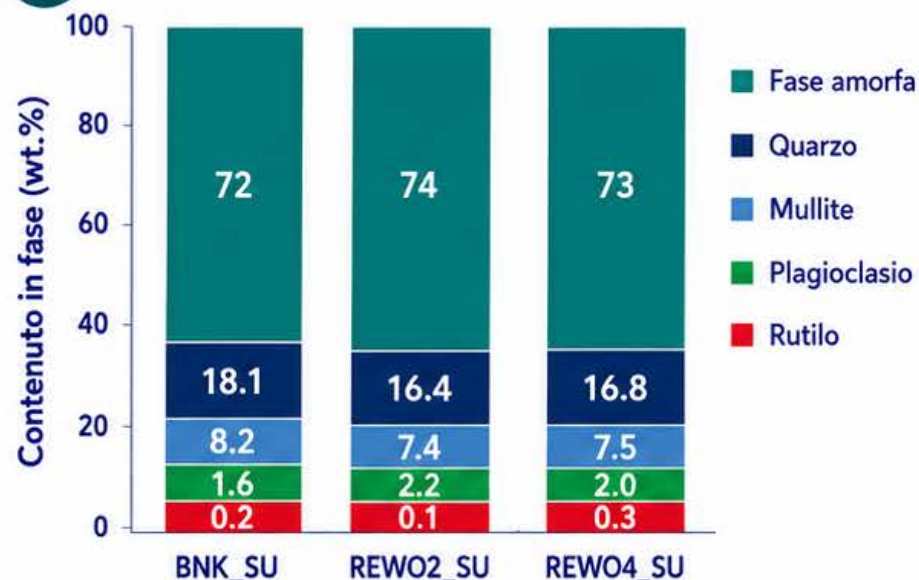


**Messaggio chiave:** lo scale-up conferma una buona processabilità prima della cottura, mentre 1200 °C è il miglior compromesso per la cottura su linea pilota.



1200 °C conferma la greificazione e la trasferibilità degli impasti contenenti Re.Wo

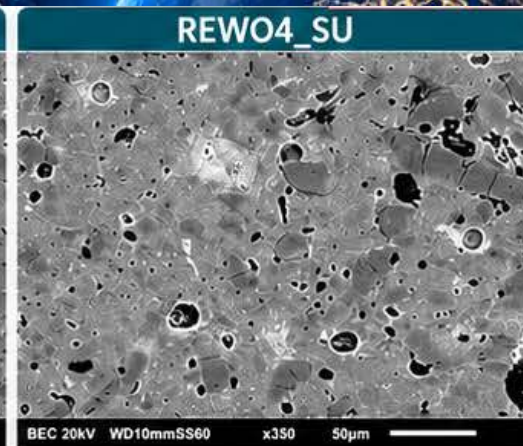
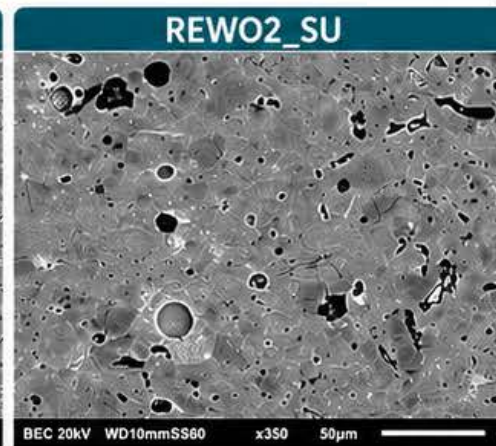
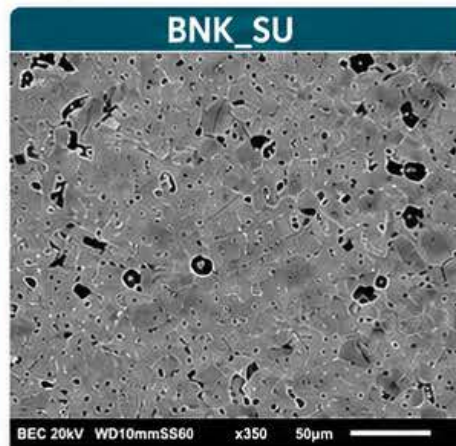
## COMPOSIZIONE DELLE FASI A $T_{md}$ (1200 °C)



- Gli impasti con Re.Wo mantengono un elevato contenuto amorfo (73–74 wt.%).
- Rispetto a BNK\_SU, con Re.Wo feldspato/plagioclasio risulta leggermente più stabile.
- La formazione di mullite è leggermente inibita negli impasti con Re.Wo.



## MICROSTRUTTURA SEM A 1200 °C



- Tutti gli impasti mostrano una matrice vetrosa densa con porosità chiusa isolata e arrotondata.
- BNK\_SU appare il più omogeneo.
- REWO2\_SU e REWO4\_SU restano ben densificati ma mostrano domini dispersi ricchi in Fe–Ca–Mg, più evidenti in REWO4\_SU.



## Risultato principale

- ✓ Microstruttura del gres porcellanato densa su scala pilota
- ✓ Evoluzione di fase coerente con le osservazioni di laboratorio
- ✓ Re.Wo resta compatibile con la cottura su scala industriale



Output linea pilota:  
**60 m<sup>2</sup>**  
di piastrelle prodotte



**Messaggio chiave:** la cottura su linea pilota conferma che gli impasti contenenti Re.Wo restano altamente greificati, preservando al contempo una microstruttura compatibile per il gres porcellanato industriale.



## Da TRL4 a TRL6: validazione industriale del riciclo delle lane inertizzate con MPS per il gres porcellanato

### TRL4 SCALA DI LABORATORIO



**LDV**  
(lanana di vetro  
inertizzata)



**Re.Wo**  
(lanana di roccia  
inertizzata)



**50/50**  
(RE.WO + LDV)



### TRL4 RISULTATI LANE INERTIZZATE

- ✓ A TRL4, oltre a Re.Wo, sono state testate anche LDV e 50/50.
- ✓ Buona compatibilità di processo e buone prestazioni nei corpi crudi (semilavorati).
- ✓ Comportamento in sinterizzazione: Re.Wo aumenta le cinetiche, mentre LDV le rallenta (possibile cristallizzazione?); 50/50 mostra un comportamento intermedio.
- ✓ Proprietà dei corpi cotti allineate al benchmark.



### TRL6 LINEA PILOTA SACMI IMOLA

- ✓ Formulazioni REWO<sub>2</sub> (2 wt.%) e REWO<sub>4</sub> (4 wt.%) trasferite con successo sulla linea pilota.
- ✓ 60 m<sup>2</sup> di piastrelle prodotte con il processo ceramico industriale.
- ✓ Prestazioni confermate in crudo e cotto.
- ✓ Processo compatibile con l'industria ceramica del gres porcellanato.



### BENEFICI PER LA FILIERA



Valorizzazione di un rifiuto  
in una MPS con ruolo  
ceramico definito



Riduzione della dipendenza  
da materie prime vergini  
importate



Conservazione delle risorse  
naturali e dei tempi di vita  
dei materiali



Mantenimento delle  
performance e della qualità  
del prodotto finito



Soluzione replicabile  
e industrialmente  
applicabile



EVENTO FINALE DEL PROGETTO  
**FAV4CER**

Fibre vetrose di lana minerale  
per ceramici green



Istituto di Scienza, Tecnologia  
e Sostenibilità per lo Sviluppo  
dei Materiali Ceramici

## Grazie dell'attenzione

Conte S., Colombo F., Sisti M., Fantini R., Bresciani A., Gaddoni M., Francini A., Sola A., Ferrari A., Napolitano M., Gualtieri A.F., Arletti R. *Industrial upscaling of waste mineral wool valorisation in the circular economy perspective: Integrating secondary and local raw materials in the European ceramic industry.* Results in Engineering 31 (2026) 111529. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.111529>

“EVENTO FINALE DEL PROGETTO FAV4CER”  
Modena, 20 Luglio 2026

**Sonia Conte, PhD**  
[sonia.conte@issmc.cnr.it](mailto:sonia.conte@issmc.cnr.it)