



Università
di Brescia

CARAMEL: new CARbothermic approaches to Recovery critical METals from spent Lithium-ions batteries

Alessandra Zanoletti, Alberto Mannu, Antonella Cornelio, Francesca Bianchi, Laura Eleonora Depero, Elza Bontempi

Batterie e materie prime critiche: sfide e opportunità dell'economia circolare

Forno pilota a microonde per il trattamento della black mass



Sviluppare forno pilota dedicato

Progettazione e realizzazione di un sistema dedicato al trattamento della black mass



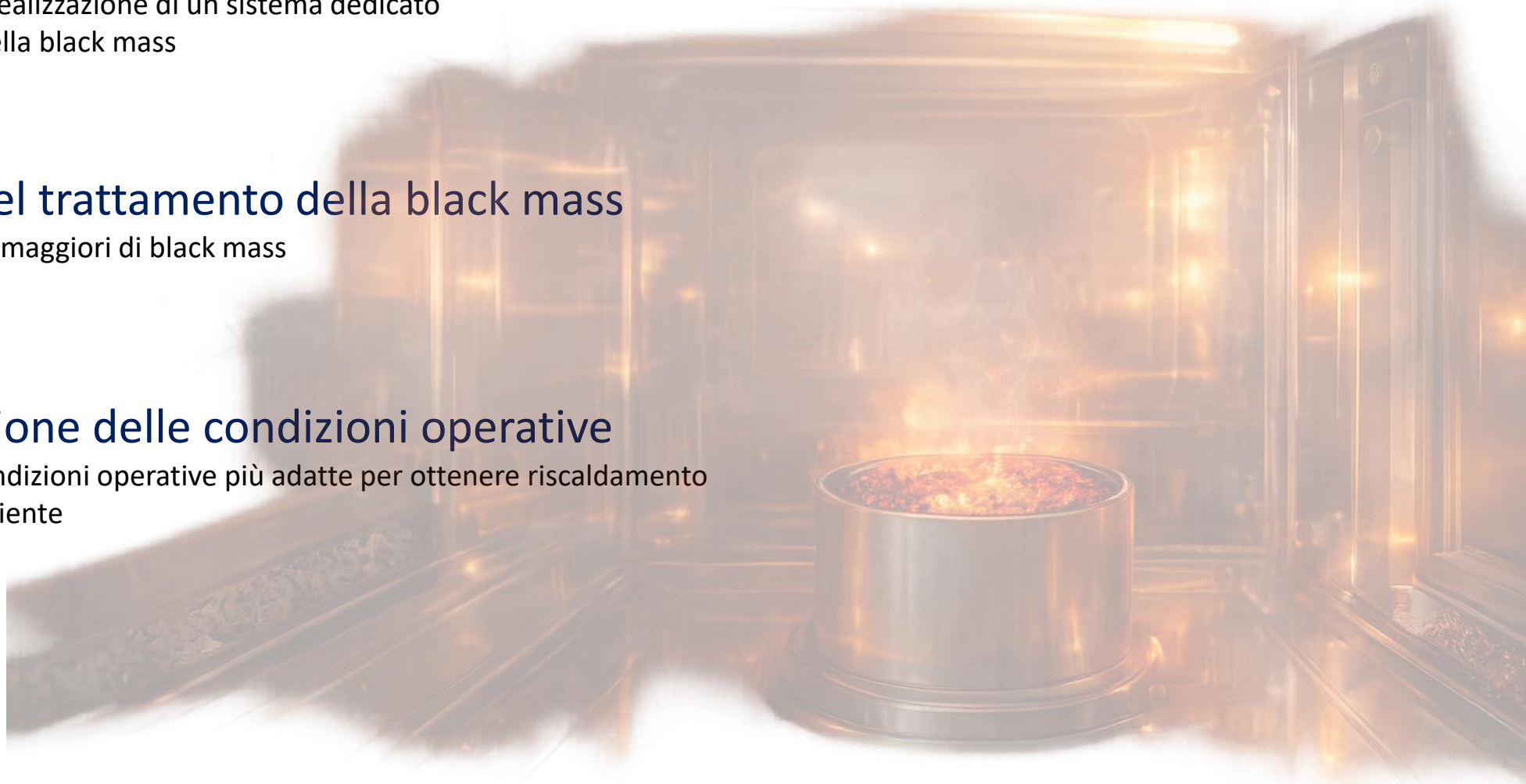
Scale-up del trattamento della black mass

Trattare quantità maggiori di black mass

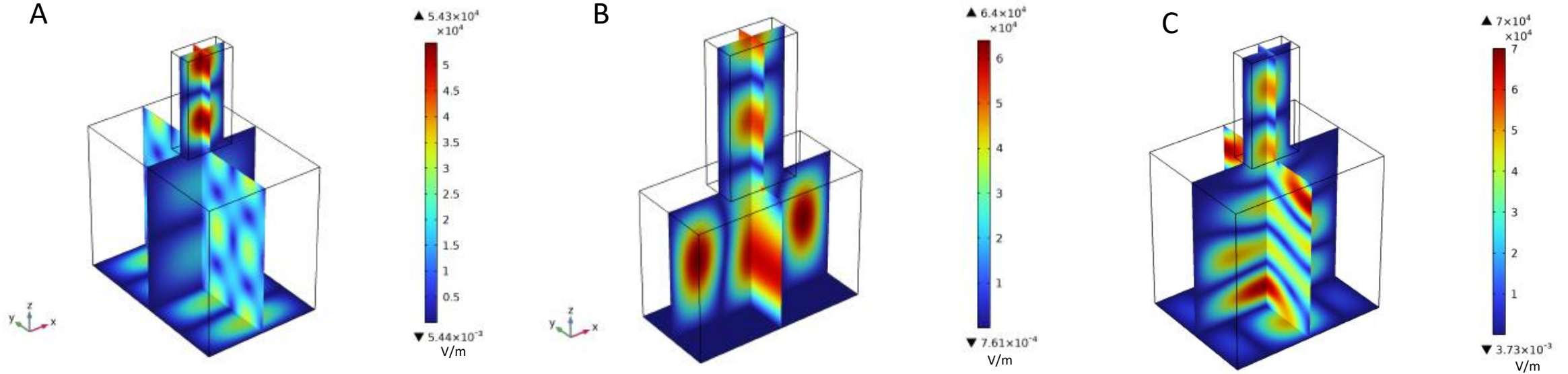


Ottimizzazione delle condizioni operative

Individuare le condizioni operative più adatte per ottenere riscaldamento uniforme ed efficiente



Progettazione elettromagnetica della cavità



Obiettivi della simulazione



- ✓ Massimizzare l'assorbimento delle microonde
- ✓ Ridurre la potenza riflessa
- ✓ Distribuire il campo elettrico

Forno pilota

CAVITÀ DEL FORNO



La black mass è posizionata all'interno di un crogiolo refrattario, collocato nella cavità del forno, dove viene riscaldata dalle microonde.

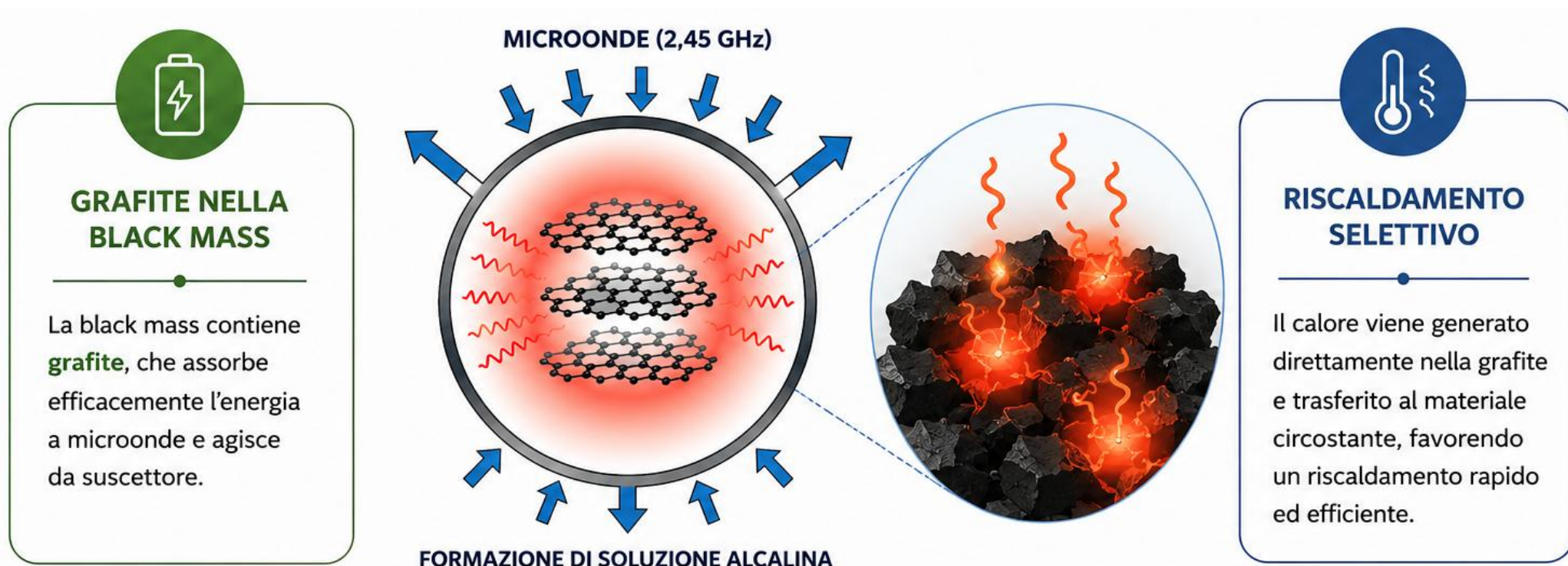
CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO

PARAMETRO	VALORE
Frequenza	2.45 GHz (2450 MHz)
Potenza massima	1000 W
Potenza impostabile	0 – 1000 W
Parametri monitorati	• Potenza incidente (Forward Power) • Potenza riflessa (Reflected Power)

GENERATORE A MICROONDE



La black mass: il suscettore ideale



IL RISULTATO

Calore estremamente **localizzato e intenso** che rompe i legami dei materiali catodici senza sprechi energetici e senza riscaldare l'ambiente circostante.



RISCALDAMENTO RAPIDO

Tempi di processo ridotti rispetto ai metodi convenzionali.



MAGGIORE EFFICIENZA ENERGETICA

L'energia viene assorbita dal suscettore, riducendo le perdite.



TRATTAMENTO SELETTIVO

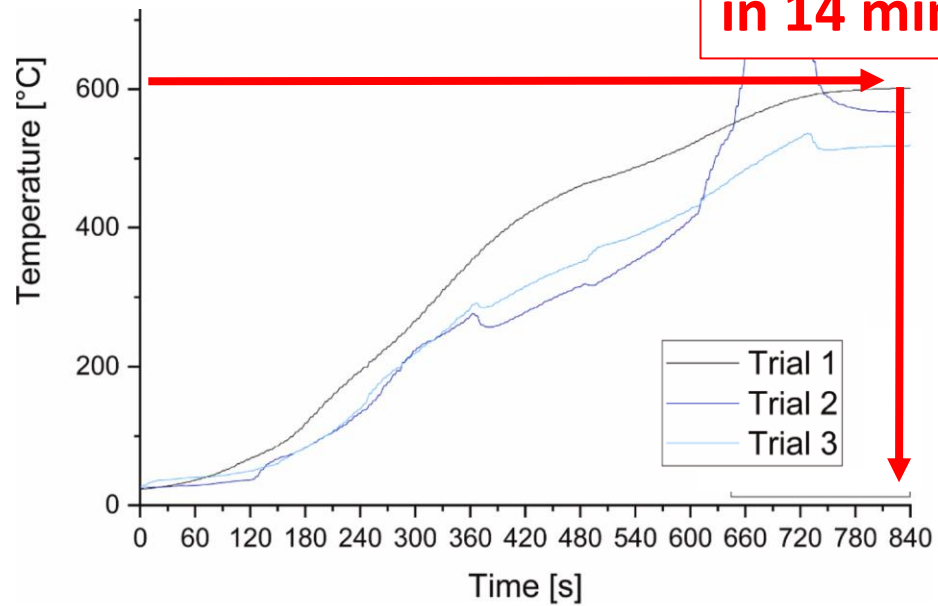
Riscaldamento mirato della black mass senza surriscaldare la cavità.

Forno pilota

Letteratura

**Potenza: 6 kW
Black mass**

**600°C
in 14 min**

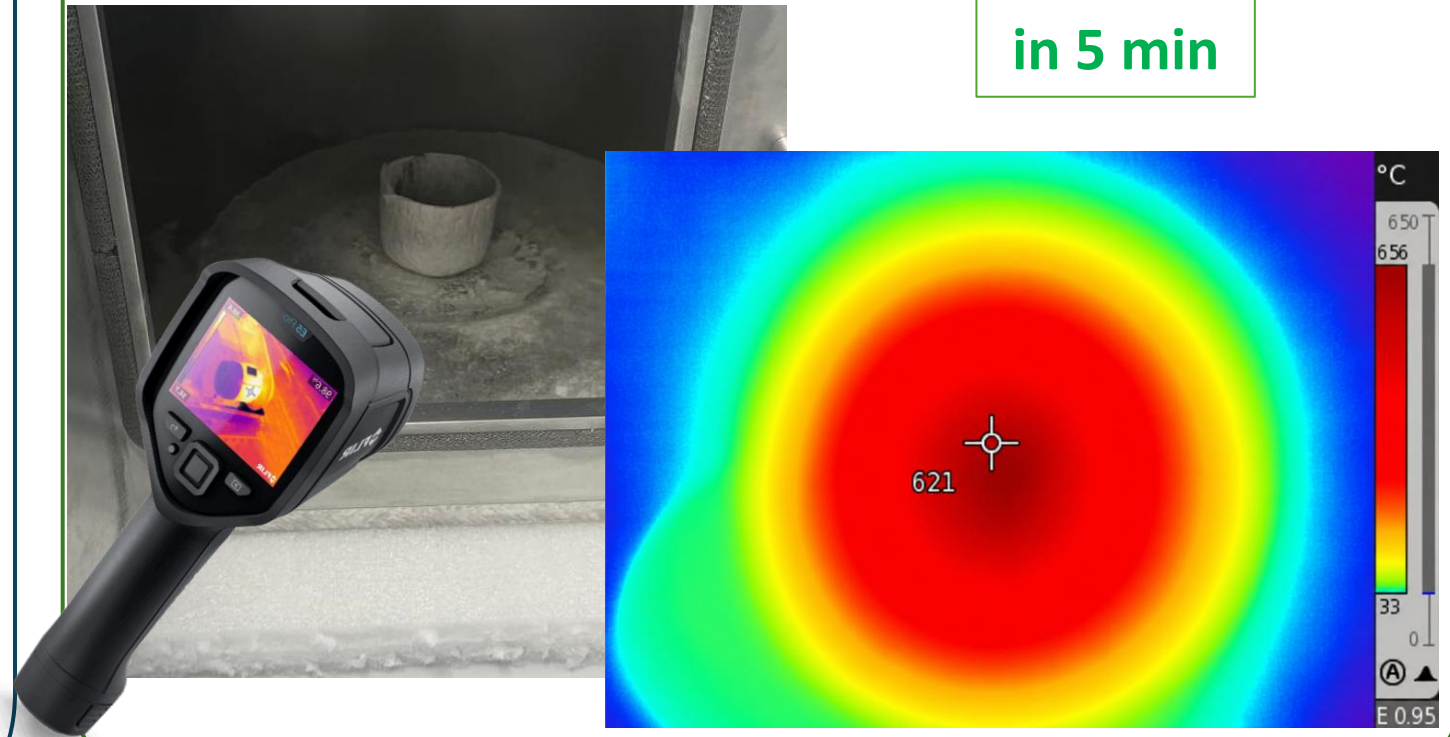


Source: Journal of Environmental Management 377 (2025)
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124616>

Forno pilota

**Potenza: 300 W
Black mass**

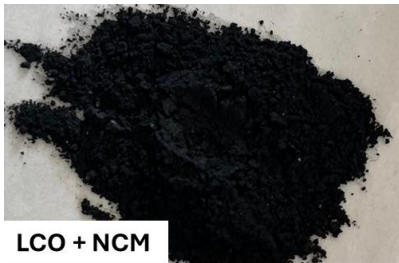
**600°C
in 5 min**



Risultati

1

Black mass



LCO + NCM

2

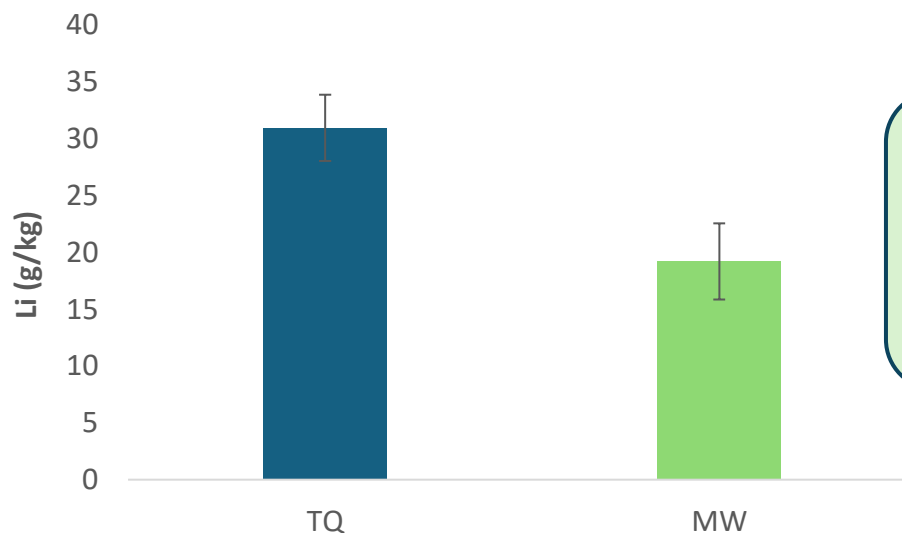
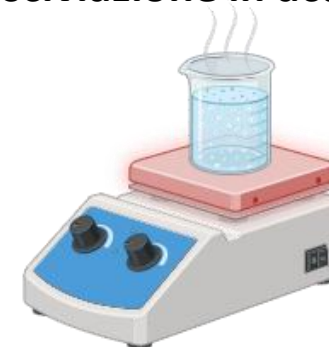
Trattamento termico



300 W_5 min

3

Lisciviazione in acqua



Li nella BM iniziale

Li nel lisciviato

Recupero Li
> 60%



Conclusioni

- Forno pilota progettato mediante simulazioni elettromagnetiche per massimizzare l'assorbimento delle microonde e ottimizzare la distribuzione del campo elettrico;
- Il forno è stato realizzato e validato sperimentalmente;
- Le prove evidenziano l'importanza della disposizione della black mass nella cavità per garantire un trattamento uniforme.





Università
di Brescia

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

