

# AMCER

## **Additive Manufacturing di componenti ceramici per la sostenibilità dei sistemi di riscaldamento domestico**

### **Autori:**

Alessandra Strafella, ENEA Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza

Federica Bezzi, ENEA Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza

Paride Fabbri, ENEA Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza

Enrico Leoni, ENEA Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza

Giuseppe Magnani, ENEA Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza

Francesca Mazzanti, ENEA Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza

Elena Salernitano, ENEA Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza

Matteo Scafè, ENEA Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza

**L'ENEA è l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile**, ente di diritto pubblico finalizzato a ricerca, innovazione tecnologica e prestazione di servizi avanzati alle imprese, alla pubblica amministrazione e ai cittadini nei settori dell'energia, dell'ambiente e dello sviluppo economico sostenibile. Il Laboratorio di Tecnologie dei Materiali di Faenza (TEMAF) dell'ENEA svolge attività di ricerca, sviluppo e ingegneria, principalmente nel campo dei materiali ceramici avanzati e compositi, per diversi ambiti applicativi. Ha, infatti, un consolidato know how nello sviluppo materiali/processi e caratterizzazione di componenti in materiali ceramici tecnici ed esperienza pluriennale nell'ingegnerizzazione di prodotti. Nel Laboratorio di Tecnologie dei Materiali di Faenza (TEMAF) dell'ENEA è presente un'ampia dotazione strumentale che permette di effettuare una approfondita caratterizzazione e lo scale-up dei processi sviluppati, al fine di realizzare prototipi e serie dimostrative di componenti che le aziende possono utilizzare per la validazione di processi e prodotti.

## Esigenza da soddisfare e risoluzione del problema

Rendere la transizione energetica realmente sostenibile è uno dei temi di grande attualità. In questo contesto, si colloca il progetto AMCER avente l'obiettivo di sviluppare soluzioni innovative sostenibili per la produzione di calore domestico da biomasse. Nei generatori di calore domestici, quali ad esempio stufe a pellet, si può ottenere un miglioramento del rendimento con l'ottimizzazione della combustione, della fluidodinamica e del controllo dei fumi. Tali fattori sono strettamente connessi alla temperatura massima di esercizio: l'aumento di questo parametro infatti può portare a massimizzare lo sviluppo di calore prodotto, influenzare la fluidodinamica del sistema e favorire l'ossidazione completa del combustibile, riducendo così le emissioni di CO, Carbonio Organico Totale (TOC) e polveri.

Poter incrementare le temperature di esercizio delle stufe risulta perciò vantaggioso in termini di miglioramento del rendimento di un generatore di calore domestico e di riduzione dell'impatto ambientale, dunque di una maggiore sostenibilità. Tra i componenti più studiati per aumentare le prestazioni delle stufe, vi sono i bracieri, che ne costituiscono la parte fondamentale e sono sottoposti alle condizioni operative più gravose. Devono, infatti, avere elevata proprietà termomeccaniche, quali resistenza agli shock termici, all'usura, elevata inerzia all'ossidazione e mantenimento della forma nelle condizioni di utilizzo.

Attualmente, i bracieri sono in materiale metallico, come la ghisa. L'utilizzo di metalli per questa applicazione, però, non consente di poter progettare considerando un aumento significativo della temperatura di esercizio, poiché si ha il limite della loro temperatura di fusione.

Materiali che presentano elevata resistenza termomeccanica, chimica e all'usura, ancor più refrattari e con migliori proprietà termiche dei metalli, sono invece i ceramici tecnici, che rappresentano un'alternativa di estremo interesse per garantire condizioni di funzionamento del braciere più costanti e ripetibili ad alta temperatura. Un limite alla loro diffusione su larga scala per applicazioni performanti come questa è rappresentato dagli elevati costi della produzione. A differenza dei metalli, infatti, per ottenere geometrie complesse con i materiali ceramici sono richieste costose lavorazioni meccaniche di post-formatura. Nel progetto AMCER si è superato tale limite, dimostrando la fattibilità di **bracieri di stufe a pellet** in materiale **ceramico tecnico** e realizzati tramite la tecnologia di **Additive Manufacturing** (AM), aventi geometria complessa, operanti ad alte temperature e, per questo, ottimizzati per il miglioramento del rendimento e dell'impatto ambientale, quindi della sostenibilità dei sistemi di riscaldamento domestico. L'AM ha permesso di minimizzare sia la quantità di materiale adoperato per la formatura, sviluppato ad hoc e sostenibile a sua volta, sia le lavorazioni meccaniche post-processo, quindi anche i costi, il consumo di energia e i tempi di realizzazione, rendendo l'intero processo produttivo altamente sostenibile.

## Soluzioni adottate e relativi strumenti, metodi e partner

Al fine di ottenere bracieri più efficienti e sostenibili, si è puntato sia sulla peculiarità dei **ceramici tecnici** di conservare le proprie caratteristiche alle alte temperature, potendo dunque prevedere temperature di esercizio più elevate rispetto a quelle usualmente impiegate per componenti in metallo, sia sul **processo produttivo di AM**, intrinsecamente sostenibile e che ha comportato lo sviluppo di un materiale ad elevata sostenibilità. Utilizzare tecnologia AM per i ceramici tecnici, infatti, rappresenta una soluzione **sostenibile**, per il superamento dei limiti riscontrati nei processi produttivi convenzionali (es. onerose lavorazioni post-formatura, elevati scarti di materiale); **innovativa**, perché

attualmente, in commercio, sono presenti poche formulazioni di paste per AM a base di ceramico tecnico.

La prima fase della sperimentazione ha quindi previsto, a partire dai requisiti richiesti in esercizio, in particolare la elevata resistenza allo shock termico, l'individuazione di un materiale ceramico avanzato che fosse promettente per la specifica applicazione (braciere per le stufe a pellet): il titanato di alluminio (tialite). Sono state quindi sviluppate diverse formulazioni di pasta ceramica a base di polveri di tialite, con acqua come mezzo liquido disperdente, poi caratterizzate e ottimizzate per ridurre al minimo l'utilizzo di additivi organici e per renderla compatibile con la tecnologia AM scelta. La specifica tecnica AM utilizzata nel progetto è la *Liquid Deposition Modeling* (LDM) che consiste nell'estrusione a temperatura ambiente di una pasta ceramica a base acquosa. La stampante installata presso i Laboratori ENEA di Faenza è la Delta 40100 Clay-WASP con massimo volume di stampa pari a  $\varnothing$  400mm x h 1000mm (Fig.1).



Figura 1 - Stampante Delta WASP 40100 Clay installata presso i Laboratori dell'ENEA di Faenza

Lo sviluppo della pasta di tialite più idonea alla tecnica LDM ha previsto diverse fasi:

- caratterizzazione reologica della pasta, al fine di individuare le percentuali minime dei diversi elementi costituenti (disperdenti, ispessitori, polvere di tialite);
- produzione tramite stampa LDM di geometrie standard in pasta di tialite (piastra, Fig.2a-b);
- sinterizzazione della piastra (Fig.2-c) fino all'ottenimento del materiale sinterizzato di ceramico avanzato tialite da stampa 3D LDM, con simultanea messa a punto del processo, finalizzata all'ottimizzazione dei consumi energetici e al mantenimento delle proprietà finali del materiale sinterizzato;
- caratterizzazione chimico-fisica, microstrutturale e termomeccanica del materiale ottenuto.

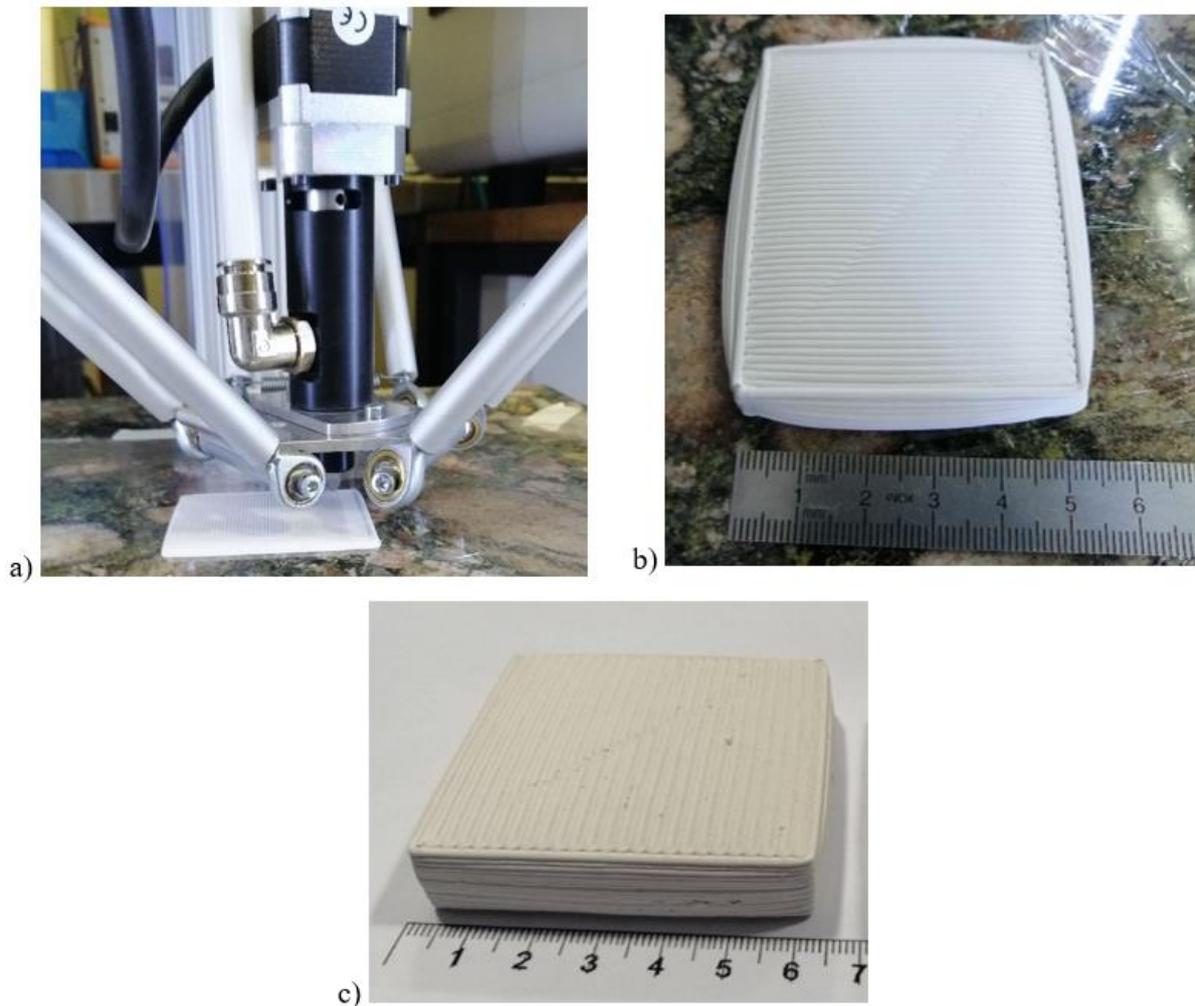


Figura 2-a) Fase di stampa 3D con la pasta di tialite sviluppata da ENEA sulla Delta 4.100-WASP, b) piastra in verde prodotta, c) piastra di tialite dopo ciclo termico di sinterizzazione

Queste attività hanno inoltre permesso di ottenere indicazioni per lo sviluppo e scale-up, finalizzato alla realizzazione dei prototipi di braciere in materiale ceramico.

Il disegno CAD del braciere è stato fornito dall'azienda Palazzetti Lelio SpA, leader per sistemi di riscaldamento domestico a biomassa legnosa, che ha collaborato con ENEA-Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza (TEMAF) nel progetto AMCER.

Oltre alla progettazione CAD e messa a punto del materiale, l'ottimizzazione della stampa del componente ha anche previsto una sua valutazione preliminare, mediante simulazioni al software di slicing (Fig.3); tale software, attraverso la definizione di parametri, come velocità di stampa e spessore dei layer, permette di generare un file G-code, linguaggio di programmazione a controllo numerico, che si interfaccia con la stampante. Sono state poi effettuate delle simulazioni e delle prove di stampa, supportate da analisi di Design for Additive Manufacturing (DfAM), per individuare le criticità del disegno di stampa e l'orientamento del componente durante il processo.

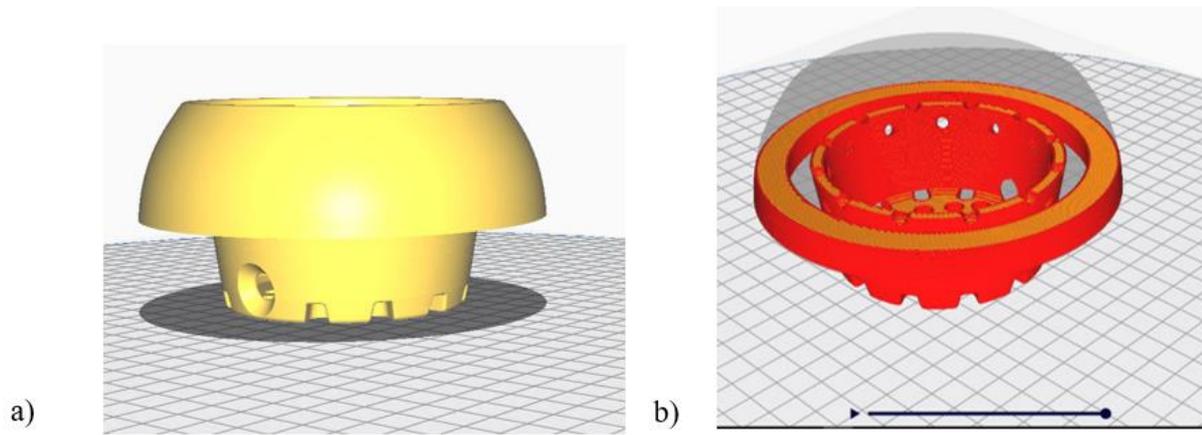


Figura 3 – a) Visualizzazione del braciere sul piano di lavoro e b) una sequenza della simulazione del processo LDM

È stato, infine, stampato il braciere con pasta di tialite ottimizzata (Fig.4), sinterizzato (Fig.5) e poi testato in condizioni reali di esercizio, in stufa a pellet, presso Palazzetti.

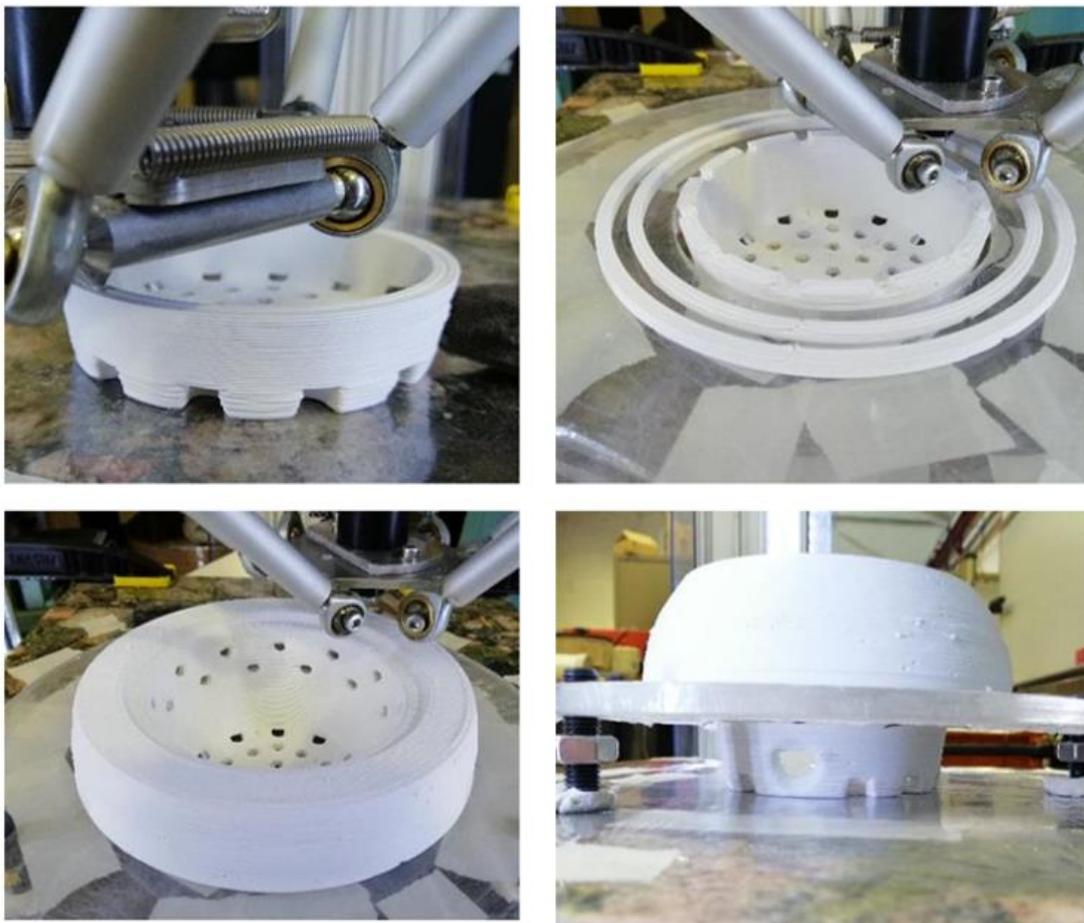


Figura 4 – Stampa 3D, tramite LDM, del braciere in pasta ottimizzata a base tialite, in verde



Figura 5 – Braciere in tialite, sinterizzato, prodotto da stampa 3D LDM, con pasta ceramica ottimizzata presso ENEA-Laboratori di ricerca di Faenza

### **Risultati e vantaggi ottenuti**

Nell'ambito del progetto AMCER, lo studio effettuato da ENEA-TEMAF, in collaborazione con Palazzetti Lelio SpA, ha riguardato, quindi, la dimostrazione di fattibilità ed il testing in condizioni simulanti l'esercizio di un prototipo di braciere per stufe a pellet, ottenuto tramite la tecnica AM denominata LDM, utilizzando una pasta ceramica a base di tialite appositamente preparata.

I principali **risultati** ottenuti possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- sono state sviluppate e prodotte da ENEA **paste ceramiche di tialite a base acquosa sostenibili, estrudibili e stampabili** con la tecnica LDM, definendo, le caratteristiche reologiche necessarie allo sviluppo di feedstock per la stampa ad estrusione a temperatura ambiente;

- è stato realizzato da Palazzetti il **disegno del braciere, ottimizzato**, in base ad analisi fluidodinamica, per ridurre le emissioni, ed infine ulteriormente modificato secondo indicazioni di ENEA, in funzione del processo AM scelto (LDM);
- sono stati realizzati **bracieri ceramici** in materiale completamente innovativo quale la tialite, applicando la tecnologia LDM basata sull'estrusione a temperatura ambiente della pasta ceramica;
- è stata **verificata con successo**, presso Palazzetti, la resistenza allo shock termico del braciere realizzato in tialite sottoposto alle **condizioni reali di esercizio**, in stufa a pellet.

Il principale **vantaggio** ottenuto dal progetto è la definizione di **un processo di produzione dei bracieri altamente sostenibile**:

- la preparazione della pasta ceramica di tialite **non prevede l'utilizzo di solventi organici**;
- il basso contenuto (< 2% in peso) degli additivi necessari a conferire alla pasta l'adeguato comportamento reologico permette di ridurre al **minimo il tempo richiesto** per la loro eliminazione durante il trattamento termico di sinterizzazione;
- la stampa 3D del braciere è condotta tramite estrusione a **temperatura ambiente** della pasta, con conseguente contenimento dei costi energetici associati a questo processo;
- gli **scarti** sono **minimizzati**, come le lavorazioni di post-processo, quindi i costi e i tempi di produzione.

In definitiva, si è dimostrata la fattibilità di bracieri per stufe a pellet realizzati in **ceramico avanzato** tramite **AM**, con elevate proprietà anche in condizioni di esercizio e sostenibili sia nel funzionamento alle alte temperature sia per il loro processo produttivo.

### **Eventuali previsioni di estensioni dell'applicazione/progetto ad altri ambiti applicativi**

Il medesimo approccio utilizzato per la produzione sostenibile da AM, tramite tecnica ad estrusione di paste ceramiche LDM, di bracieri in ceramico avanzato può essere applicato a componenti, anche di forma complessa, ai quali siano richieste proprietà chimico-fisiche e termomeccaniche come elevata inerzia chimica, elevato rapporto resistenza/peso specifico e resistenza agli shock termici, per esempio bruciatori e microturbine per la produzione di energia, soluzioni alleggerite per l'automotive e l'aerospace, filtri o supporti catalitici.