

## **SCHEMA TECNICA**

### **Requisiti della fornitura**

#### **1. Fabbisogno**

L'Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici (ISTEC) afferisce al Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali (DSCTM), uno dei sette Dipartimenti tematici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Il DSCTM costituisce, in termini di addetti alla ricerca e di competenze differenziate e di alto livello, uno dei principali presidi scientifici del Paese capace di svolgere ricerca di base e trasferimento tecnologico in molteplici ambiti delle scienze molecolari e delle tecnologie chimiche e dei materiali.

ISTEC-CNR è la realtà italiana che, a livello europeo ed internazionale, è ampiamente riconosciuta per lo sviluppo e la produzione precompetitiva di materiali ceramici avanzati per la meccanica, aerospazio, energia, trasporti e nucleare. Mantenimento e ulteriore crescita di questa posizione di riferimento non possono prescindere dal costante adeguamento del parco forni speciali che sinora ha consentito di marcare importanti traguardi nella scienza della sinterizzazione dei materiali avanzati più svariati. Nel panorama più generale dello sviluppo tecnico-scientifico dei trattamenti termici e delle tecnologie di sinterizzazione, si è fatta strada quella conosciuta al pubblico come “Spark-Plasma-Sintering” (SPS). La tecnologia SPS ha visto i suoi albori più di 10 anni fa, e si è progressivamente evoluta e perfezionata rivelandosi oggi ampiamente sfruttata per la sinterizzazione di ceramici tecnici avanzati di difficile consolidamento. La tecnologia SPS si distingue per funzionare grazie ad un sistema di riscaldamento diretto mediante passaggio di corrente elettrica, o per effetto di campo elettrico, che a sua volta consente di scaldare e raffreddare assai velocemente tipologie diverse di campioni, il più delle volte processati nella fase iniziale in stato pulverulento. La tecnologia SPS risulta essere particolarmente versatile per tutti i tipi di materiali tra cui: ceramiche tecniche di difficile consolidamento, metalli, compositi, materiali a gradiente funzionale. La tecnologia SPS non soppianta affatto la meglio nota pressatura a caldo (HP) con sistema di riscaldamento indiretto mediato da elementi riscaldanti resistivi o induttivi, anzi si può affermare che la disponibilità delle due estende la capacità complessiva di processare una gamma più ampia di materiali avanzati difficili da sinterizzare.

Per quanto premesso, al fine di rispondere al fabbisogno di continuare a competere con strumenti adeguati alle prossime sfide tecnologiche di ricerca e trasferimento tecnologico provenienti dai comparti industriali del panorama nazionale, europeo ed internazionale, si ritiene strategico per ISTEC, per il DSCTM e di riflesso per il CNR acquisire la tecnologia del tipo SPS integrata nella già citata HP. La descrizione dei requisiti tecnici alla sezione 2 della presente scheda tecnica si rivolge al mercato dei costruttori e fornitori di forni speciali polifunzionali operanti almeno fino a circa 2500 K e destinati, principalmente, ma non esclusivamente, alla produzione di materiali avanzati per la meccanica, aerospazio, energia, trasporti e nucleare.

## 2. Requisiti tecnici

Il forno speciale co-riscaldato (cR) e polifunzionale (P), di seguito identificato come *forno cRP*, deve innanzitutto **non essere** un prototipo progettato e costruito alla maniera di esemplare unico ma invece deve essere una fornitura presente sul mercato, disponibile sul catalogo della ditta produttrice, preferibilmente con marchio CE. Il *forno cRP* deve essere congeniato per processare e sinterizzare un'ampia tipologia di materiali (metalli, ceramici, compositi, materiali a gradiente funzionale, ecc.) sfruttando in maniera separata, o combinata, il riscaldamento diretto (mediante corrente elettrica e indiretto (induttivo/resistivo), in controllo dell'atmosfera di lavoro ed esercitando pressione meccanica uniassiale sul campione.

In sintesi, il *forno cRP* deve essere equipaggiato per rispondere ai seguenti requisiti tecnici come nel seguito dettagliati:

- 2.1 Co-riscaldamento integrato;
- 2.2 Sistema di pressatura;
- 2.3 Sistema di raffreddamento;
- 2.4 Sistema di misurazione della temperatura;
- 2.5 Sistema controllo atmosfera;
- 2.6 Quadri elettrici e unità di controllo/allarme;
- 2.7 Stampi e pistoni;
- 2.8 Peso e volumi dell'installazione;
- 2.9 Predisposizione altre funzionalità;

Dati tecnici di sintesi.

Caratteristica	Intervallo di interesse
Alimentazione rete elettrica	3 x 400 V ( $\pm 10\%$ ), 50 Hz, non oltre 150 kVA
Forza uniassiale applicabile	da 20 fino a c.a 250 kN
Escursione totale pistone	$\geq 100$ mm
Velocità escursione pistone	da 0 a 2 mm/s
Diametro massimo campione	non meno di c.a. 100 mm
Temperatura di lavoro	da TA a c.a 2500 K
Tenuta vuoto della camera (a forno freddo)	$\leq 0.5$ mbar
Sovrappressione di esercizio in modalità gas	c.a 20 mbar
Max. potenza riscaldatore indiretto	$\geq 80$ kW
Max. potenza riscaldatore diretto	$\geq 60$ kW
Max. corrente riscaldatore diretto	$\geq 8000$ A
Max. tensione della corrente riscaldatore diretto	$\geq 8$ V
Intervallo durata impulso	1-999 ms
Durata intervallo tra due impulsi	0-999 ms
Numero impulsi	1-999
Durata intervallo pausa extra	0-999 ms
Ingombri massimi apparati installati (lunghezza x larghezza x altezza)	c.a (3500 x 2500 x 3000) mm
Peso massimo per unità di superficie poggiate	Non superiore c.a 600 kg/m <sup>2</sup>

## **2.1 Co-riscaldamento integrato**

Il forno *CRP* deve possedere la capacità di riscaldare il campione, tipicamente caricato in forma pulverulenta, all'interno di coppie stampi/pistoni realizzati in grafite o WC con le seguenti modalità:

- 1) diretta mediante passaggio di corrente (e di seguito chiamata SPS);
- 2) indiretta mediante induzione dello stampo (e di seguito chiamata HP);
- 3) combinando la modalità SPS e HP (e di seguito chiamata SPS/HP).

Per co-riscaldamento integrato si intende che la macchina deve essere in grado di gestire contemporaneamente ed in modo sinergico (attraverso un controller dedicato) la rampa di riscaldamento e raffreddamento dei campioni mediante passaggio diretto di corrente elettrica e induzione indiretta. Nella modalità SPS, l'inverter dovrà fornire la sequenza degli impulsi ON/OFF secondo uno schema programmato per poter rispettare le impostazioni temporali e di temperatura dei vari segmenti della prova. Nella modalità SPS/HP la potenza erogata dovrà essere ripartita e dosata sia per il passaggio di corrente attraverso il campione sia per l'induttore esterno che dovrebbe conferire radialmente allo stampo il calore necessario. L'effetto complessivo dovrà consentire un riscaldamento quanto più omogeneo del campione, soprattutto nella configurazione con il diametro campione di c.a 100 mm. Nella modalità HP, il campione dovrà essere riscaldato mediante l'azione del solo induttore sullo stampo. La forza di compressione sul campione (segmenti intermedi e valori massimi) dovrà essere sempre applicabile indipendentemente dalla modalità di riscaldamento (vedi sotto-sezione 2.2).

## **2.2 Sistema di pressatura**

Il sistema di pressatura, preferibilmente lineare uniassiale, dovrà essere di tipo idraulico e dotato di:

- gruppo idraulico raffreddato e servo-valvole;
- unità di controllo capace di gestire programmi specifici per modulare la pressione durante l'intera durata del ciclo;
- escursione efficace massima del pistone fino a 100 mm o superiore;
- forza massima di compressione non inferiore a 250 kN;
- velocità massima di applicazione forza su punzoni maggiore o uguale a 2 mm/s;
- misurazione dell'escursione con precisione minore o uguale 5  $\mu\text{m}$ ;

## **2.3 Sistema di raffreddamento**

Il sistema di raffreddamento dovrà funzionare mediante distribuzione interna dell'acqua con circuiti separati per i vari sotto-componenti principali quali: punzone superiore e inferiore, trasformatore, inverter, quadro elettrico, camera del forno. Il sistema di raffreddamento dovrà essere gestito e integrato nell'unità di controllo con procedure di allarme ed interruzione del ciclo.

## **2.4 Sistema di misurazione della temperatura**

La misurazione della temperatura e relativa retroazione per l'erogazione della potenza elettrica necessaria dovrà essere eseguita e regolata mediante coppia di pirometri ottici (intervallo di lavoro

c.a 500-2800 K) che dovranno consentire un controllo della temperatura in direzione assiale al campione (molto vicino possibile alla faccia esterna del campione) ed in direzione radiale sulla parete esterna dello stampo. L'unità di controllo dovrà integrare anche il monitoraggio della temperatura dei punzoni mediante l'utilizzo di una termocoppia di tipo K per l'eventuale interruzione del riscaldamento a causa di "overheating" (surriscaldamenti) fuori specifica.

## **2.5 Sistema controllo atmosfera**

La camera esterna del *forno cRP* dovrà essere realizzata in acciaio inossidabile a doppia parete ed essere completamente raffreddata ad acqua. La camera esterna dovrà essere equipaggiata di stazione di pompaggio per il controllo dell'atmosfera interna mediante pompa meccanica a paletta a due stadi in modo da poter operare in modalità "vuoto" o in flusso di gas inerte (sia argon che azoto). In particolare, in modalità "vuoto" la stazione di pompaggio dovrà essere in grado di raggiungere una pressione residua minima (a forno freddo) di non meno di 0.5 mbar, con un "leakage rate" massimo pari a 0.05 mbar l/s. In regime di gas inerte, il valore del controllo della sovrappressione relativa dovrà variare intorno ad un valore di non meno di 20 mbar. Il controllo dell'atmosfera dovrà essere completamente gestito dall'unità di controllo.

## **2.6 Quadri elettrici ed unità di controllo/allarme**

Le caratteristiche richieste per l'alimentazione non dovranno superare le seguenti caratteristiche:

- Alimentazione elettrica: 3 x 400 V ( $\pm 10\%$ ), 50 Hz, 150 kVA.

Il quadro elettrico del forno deve essere dotato di un interruttore principale per consentire il rapido scollegamento dalla rete elettrica principale.

L'unità di controllo e di processo dovrà essere assistita, preferibilmente, da un gruppo di continuità dedicato e dimensionato in modo da avere almeno 5 minuti di carica di riserva e gestire impulsi di corrente fino a 8 kA tra impulsi della durata di 1 ms fino a 999 ms, con durata delle pause da 0 fino a 999 ms.

L'unità di controllo dovrà essere dotata di opportuno software di gestione che consenta:

- Diagnostica online tramite sistema di controllo remoto;
- Impostazione di rampe di temperatura e di forza applicata programmabili liberamente;
- Funzionamento manuale e automatico tramite schermata di visualizzazione;
- Visualizzazione andamento del ciclo e delle cronologie;
- Visualizzazione dello stato di tutti i componenti rilevanti di sistema;
- Visualizzazione allarmi e memorizzazione allarmi;
- Grafici dati in linea disponibili.
- Ogni altra funzionalità ritenuta opportuna/migliorativa dal fornitore/produttore.

## **2.7. Stampi e pistoni**

Il forno cRP dovrà essere dotato degli opportuni stampi e pistoni funzionali al processo di campioni

con diametro fino a 60 mm in modalità SPS, HP e SPS/HP.

### **2.8 Peso e volumi dell'installazione**

Gli ingombri massimi del forno cRP (inteso come fornitura a corpo) non dovranno eccedere le seguenti dimensioni: 3500 mm x 2500 mm x 3000 mm (lunghezza x larghezza x altezza), compatibili con i volumi massimali permessi di c.a 4.8 m x 4.3 m x 3 m (lunghezza per larghezza per altezza). Il peso massimo per unità di superficie poggiate non dovrà eccedere i 600 kg/m<sup>2</sup>.

### **2.9 Predisposizione altre funzionalità**

Il forno cRP, oltre a quanto descritto, dovrà essere predisposto per una modalità di riscaldamento di tipo "Flash sintering".

## **3. Strumenti individuati e costi attesi**

A seguito di una accurata ed estesa indagine, effettuata utilizzando i principali motori di ricerca, le riviste specializzate e la documentazione disponibile *on-line*, sono state individuate sul mercato internazionale ed europeo in particolare le seguenti aziende in grado di fornire forni speciali con la tecnologia "SPS":

- Dr. Fritsch (<https://dr-fritsch.de>), Dieselstr. 8, 70736 Fellbach, Germany.
- Thermal Technologies (<https://www.thermaltechnology.com>), 1911 Airport Blvd, Santa Rosa, CA, 95403.
- FUJI ELECTRONIC INDUSTRIAL CO., LTD (<http://www.fuji-sps.sakura.ne.jp>), 6-2-22 Fujimi, Tsurugashima, SAITAMA 350-220, JAPAN.
- SIMUWU (<https://www.vacfurnace.com>), NO.1299, Xinjinqiao Road, Pudong New District, Shanghai, China.
- FCT Systeme GmbH (<http://www.fct-systeme.de>), Rauenstein Gewerbepark 16, 96528 Frankenblick, Germany.

Tuttavia, la sola compagnia FCT Systeme GmbH, alla luce della documentazione raccolta, sembra essere in grado di fornire il prodotto tecnicamente rispondente a tutti i requisiti elencati, in particolare rispondente al punto 2.1, con la possibilità di processare e consolidare materie prime polverulenti utilizzando la forza di pressatura uniassiale mediante riscaldamento combinato in corrente continua pulsata (diretto) ed induttivo (indiretto). In particolare, il modello Hybrid HP/SPS - Type KCE®-FCT H-HP D 25-SD sembra rispondere pienamente ai requisiti del dimensionamento dei campioni e degli spazi disponibili.

L'acquisto del modello Hybrid HP/SPS - Type KCE®-FCT H-HP D 25-SD della compagnia FCT Systeme GmbH ha un costo stimato, IVA esclusa, pari ad Euro 459.000,00, incluso trasporto ed installazione.

Il Responsabile Unico del Procedimento  
Dott. Liborio CAPOZZO