



Consiglio Nazionale delle Ricerche – CNR Padova

Istituto di Chimica della materia condensata e di Tecnologie per L'energia - ICMATE

## Rapporto tecnico n. 1/2016

22Aprile 2016

# Misura della diffusività termica e permittività elettrica di alcuni campioni di paste

Committente:

FAPA s.a.s.  
Via Pascoletto, 20  
24040 Lallio (Bergamo)

Autori: Filippo Agresti, Stefano Boldrini, Stefano Fasolin, Alberto Ferrario

- **Misura della diffusività e della conducibilità termica**

La conducibilità termica dei campioni è stata stimata in maniera indiretta usando la relazione

$$\lambda = \rho C_p \alpha \quad (1)$$

dove  $\lambda$  è la conducibilità termica,  $\rho$  è la densità,  $C_p$  è il calore specifico e  $\alpha$  è la diffusività termica di ciascun campione.

La densità è stata stimata a 25 °C in base alle composizioni riportate dal committente per i campioni 2382, 2383, 2384, 2387, 2391, 2392; per i campioni 2385 e 2386, essendo ignota la composizione, è stata misurata tramite un picnometro.

Il calore specifico di ciascun campione è stato stimato tramite la relazione

$$C_p = m_{base} C_{p,base} + m_{filler} C_{p,filler} \quad (2)$$

dove  $m_{base}$  e  $m_{filler}$  sono le frazioni in peso della pasta base e del filler solido, rispettivamente, mentre  $C_{p,base}$  e  $C_{p,filler}$  sono i loro calori specifici, ricavati da schede tecniche e dati di letteratura. Il valore non è stato calcolato per i campioni 2385 e 2386, essendo ignota la composizione. In tabella 1 è riportato un riepilogo:

**Tabella 1. Composizione dei campioni, calori specifici e densità**

campione	pasta base	$m_{base}$	$C_{p,base}$ [J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Filler	$m_{filler}$	$C_{p,filler}$ [J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	$C_p$ [J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]
2382	Secretato	0.21	1.55	Secretato	0.79	0.775	0.938	2.42
2383	Secretato	0.41	2.2	Secretato	0.59	0.772	1.33	1.68
2384	Secretato	0.36	2.2	Secretato	0.63	0.505	1.11	1.83
2385	Secretato	--	--	Secretato	--	--	--	3.4
2386	Secretato	--	--	Secretato	--	--	--	2
2387	Secretato	0.33	1.55	Secretato	0.67	0.505	0.85	2.18
2391	Secretato	0.38	1.55	Secretato	0.62	0.509	0.90	1.76
2392	Secretato	0.25	1.55	Secretato	0.75	0.509	0.77	2.12

La diffusività termica è stata misurata a 25 °C tramite lo strumento LFA 457 Microflash della Netzsch che utilizza il metodo “Laser Flash”. Lo strumento è equipaggiato con un laser ad infrarossi di tipo Nd-GGG con la funzione di fornire ad una delle due facce di un porta-campioni di alluminio specifico per la misura su liquidi e paste un impulso di energia, che si propaga come calore verso la faccia opposta. Un detector ad infrarossi di tipo InSb raffreddato ad azoto liquido ha la funzione di registrare la variazione di temperatura in funzione del tempo su quest'ultima. Il valore di diffusività termica è stato stimato tramite il modello di Cowan [1]. In tabella 2 è riportato un riepilogo dei valori di densità, calore specifico, diffusività termica e conducibilità termica.

Tabella 2. Valori di densità, calore specifico, diffusività termica e conducibilità termica per ciascun campione

campione	$\rho$ [g cm <sup>-3</sup> ]	$C_p$ [J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$\lambda$ [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
2382	2.42	0.938	0.368±0.005	0.83±0.03
2383	1.68	1.33	0.381±0.006	0.85±0.03
2384	1.83	1.11	0.258±0.007	0.52±0.03
2385	3.4	--	1.110±0.006	--
2386	2.0	--	0.335±0.007	--
2387	2.18	0.85	0.335±0.008	0.62±0.03
2391	1.76	4.38	0.408±0.008	0.65±0.03
2392	2.12	4.97	0.569±0.008	0.93±0.03

Per riassumere graficamente i risultati, nel grafico 1 viene riportata la conducibilità termica dei campioni, per i quali è stata possibile fare una stima.

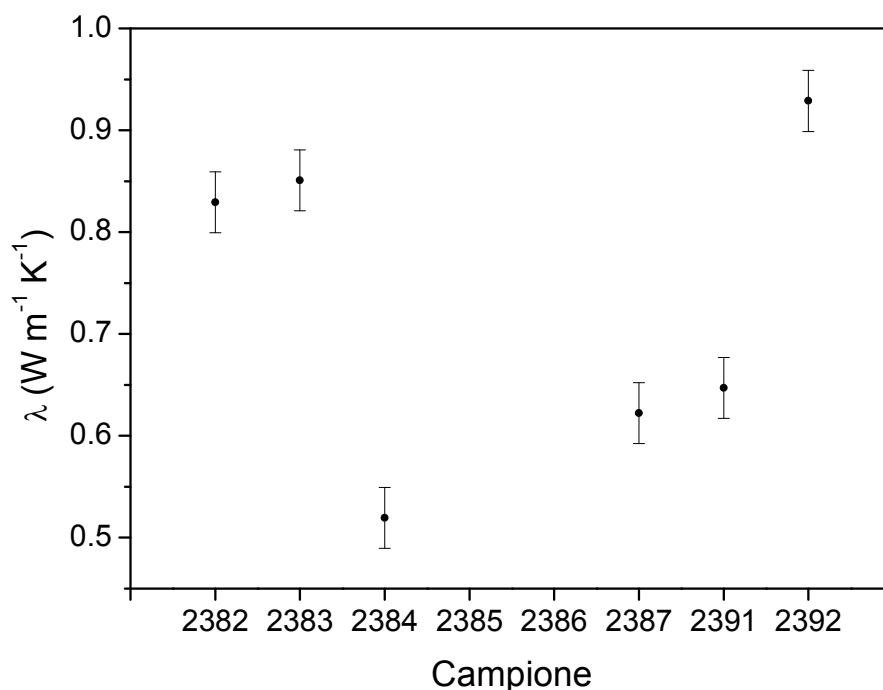


Grafico 2. Conducibilità termica dei campioni.

### - Misura della permittività elettrica

La procedura, concordata con il committente, per la misura di permittività elettrica si basa sulla misura di capacità elettrica di un opportuno condensatore, del quale la pasta sotto esame costituisce di volta in volta il dielettrico. La permittività elettrica viene ricavata ricordando che:

$$C = \varepsilon \cdot S/d \quad (3)$$

dove  $C$  è la capacità [Farad] e  $S$  e  $d$  [ $m^2$  e  $m$ ] sono le caratteristiche geometriche del condensatore piano realizzato (rispettivamente distanza tra le armature e loro superficie). Da questa si ottiene infine la *permittività relativa*  $\epsilon_r$ , definita dalla formula:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (4)$$

dove  $\epsilon_0 = 8.85418781762 \cdot 10^{-12}$  F/m è la costante dielettrica del vuoto.

Abbiamo quindi armature quadrate di inox da 5 cm circa di lato. Queste vengono tenute ad una distanza di circa 1.1 mm tramite quattro spaziatori di polietilene ad alta densità -di area trascurabile- posti negli angoli. Questa cella è stata immersa in acqua ultrapura (Elga PurelabPulse, 18.2 MOhm cm) e tramite spettroscopia di impedenza si è valutata la capacità equivalente della cella. La misura tramite spettroscopia di impedenza è stata eseguita con l'analizzatore di impedenza Gamry Reference600 applicando un segnale in frequenza da 10 MHz a 100 Hz, con dieci punti per decade e ampiezza di 100 mV. Successivamente la capacità è stata ricavata tramite regressione non lineare dei dati, sulla base della risposta caratteristica di un circuito RC equivalente. Questa procedura è stata ripetuta diverse volte, producendo i risultati riportati in tabella 3. Poiché le misure sono state effettuate ad una temperatura di 23°C il valore di  $\epsilon_r$  utilizzato per l'acqua è stato: 79.0 [3].

**Tabella 3.** Valori di capacità  $C$  della cella riempita con acqua ultrapura e corrispondente determinazione della caratteristica geometrica  $S/d$ . L'ultima riga riporta la media e deviazione standard dei valori.

$C$ [F]	$S/d$ [m]
$1.490 \cdot 10^{-9}$	2.130
$1.491 \cdot 10^{-9}$	2.131
$1.498 \cdot 10^{-9}$	2.141
$1.496 \cdot 10^{-9}$	2.138
$1.494 \cdot 10^{-9} \pm 0.004$	$2.135 \pm 0.006$

Tra le due lamine di inox sono state quindi inserite le diverse paste, ponendo la massima attenzione ad evitare che si formassero bolle tra le due armature. Abbiamo quindi misurato l'impedenza del condensatore così realizzato tra 100 Hz e 1 MHz, sempre con 100 mV di segnale<sup>1</sup>.

Il valore della capacità usato per la misura di  $\epsilon_r$  è stato ottenuto alla frequenza di 998.3 Hz, a partire dall'impedenza associata a un condensatore:

$$Z = \frac{1}{j\omega C} \quad (5)$$

In Tabella 4 sono riportati i risultati di capacità e le corrispondenti permittività elettriche relative ottenute, riportate anche nel grafico 3.

<sup>1</sup> Usare un fit dei dati raccolti nel range 100 Hz – 1 MHz presuppone considerare essenzialmente costante  $\epsilon_r$  in tale range di frequenze.

Tabella 4. Valori di capacità e corrispondenti costanti dielettriche  $\epsilon_r$  per le cinque paste testate, a partire dal valore misurato a 998.3 Hz.

campione	998,3 Hz	
	C [F]	$\epsilon_r$
2382	$13.69 \cdot 10^{-11}$	$7.24 \pm 0.04$
2383	$5.02 \cdot 10^{-11}$	$2.66 \pm 0.01$
2384	$7.81 \cdot 10^{-11}$	$4.13 \pm 0.01$
2385	$14.21 \cdot 10^{-11}$	$7.52 \pm 0.02$
2386	$7.35 \cdot 10^{-11}$	$3.89 \pm 0.01$
2387	$9.25 \cdot 10^{-11}$	$4.89 \pm 0.02$
2391	$7.57 \cdot 10^{-11}$	$4.00 \pm 0.01$
2392	$8.864 \cdot 10^{-11}$	$4.57 \pm 0.01$

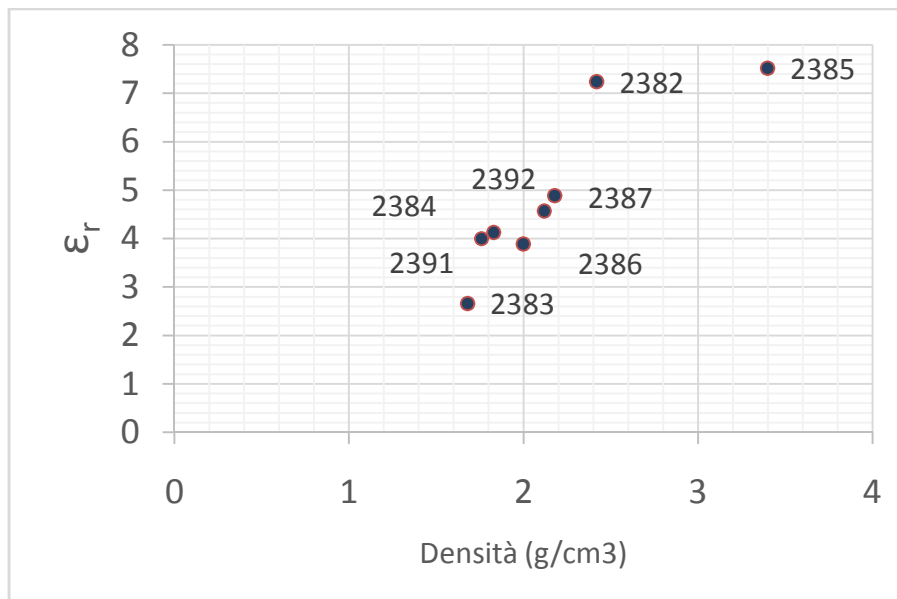


Grafico3. Permittività elettrica dei campioni.

**Riferimenti:**

[1] Cowan, Robert D. "Pulse method of measuring thermal diffusivity at high temperatures." Journal of Applied Physics 34.4 (1963): 926-927