

MICROWAVE
APPLICATION
GROUP

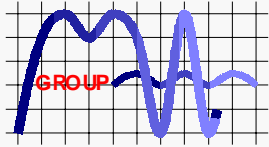


La simulazione numerica e il Design of Experiments per la progettazione e lo sviluppo di apparecchiature e processi di riscaldamento assistito da microonde



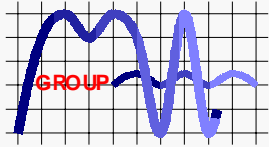
P. Veronesi

Dept. of Materials and environmental engineering, University of Modena and Reggio Emilia, Italy



CONTENUTI

- ➔ Il problema: omogeneità o efficienza?
- ➔ Alcuni esempi
- ➔ Design of Experiments e simulazione numerica: MIM
- ➔ Conclusioni



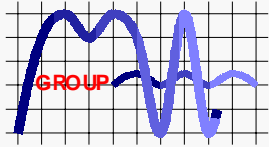
Qualche equazione ...

$$P_d = \omega \epsilon_0 \epsilon''_{\text{eff}} E_{\text{rms}}^2 + \omega \mu_0 \mu''_{\text{eff}} H_{\text{rms}}^2 \quad (\text{W/m}^3)$$

$$D_p = \frac{\lambda_0 \sqrt{\epsilon'}}{2\pi\epsilon''}$$

(m) 63.2 % di P dissipata in D_p or δ_s

$$\delta_s = \sqrt{\frac{2}{\sigma\omega\mu_0\mu_r}}$$

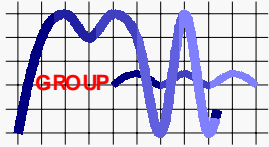


Il problema: omogeneità o efficienza?

Il riscaldamento a microonde di un materiale dipende da **molteplici fattori** quali la variazione delle proprietà dielettriche e termiche in funzione della temperatura, ma anche da fattori prettamente geometrici, come la posizione del carico nell'applicatore o la sua forma e dimensione

La progettazione e lo sviluppo di un applicatore a microonde richiede un **approccio fortemente multidisciplinare**

Inoltre, massimizzare l'efficienza energetica e rendere quanto più omogeneo possibile il riscaldamento del materiale sono spesso **obiettivi contrastanti**



UN ESEMPIO

APPLICATORE PER FACILITARE LA MACINAZIONE DI MINERALI INDUSTRIALI DIMINUENDO L'INDICE DI BOND

Analisi dei requisiti del processo

Riscaldamento selettivo di parti di materiale, rottura per shock termico

Materiale: minerali del ferro in matrice a bassa perdita

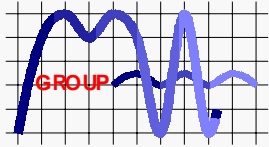
Forma : agglomerati di diametro minore di 10 cm (granulometria)

Carico: **170 ton/giorno** (8h/giorno)

Trattamento continuo, preferibilmente tempo attraversamento 1/10 s

Disponibilità di acqua di raffreddamento

minimo riscaldamento globale del materiale



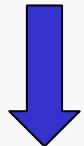
determinazione della variazione minima di temperatura tra due materiali differenti (minerale+ganga) affinché si abbiano fratture per shock termico o per dilatazione termica differente

ΔT



calcolo della densità di potenza corrispondente, considerando assorbitore solamente il minerale (eqz del calore)

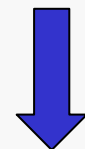
P



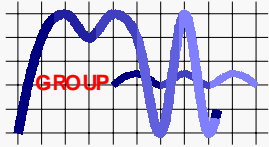
determinazione di E (eqz densità di potenza)

E

progettazione applicatore idoneo, considerando che la somma dell'energia trasferita dalle microonde e quella della seguente macinazione non devono superare l'energia della sola macinazione convenzionale



modelling



$M=0.1\text{kg pirite} + 0.5\text{ kg calcite}; \quad \text{densità}=2\text{kg/dm}^3$

$c_p \text{ pirite} = 0.9\text{ kJ/ kg K}; \quad \epsilon''_{\text{pirite}}=17; \quad \epsilon''_{\text{calcite}}=10^{-4}$

$\text{delta}T \text{ richiesto}=50^\circ\text{C}$

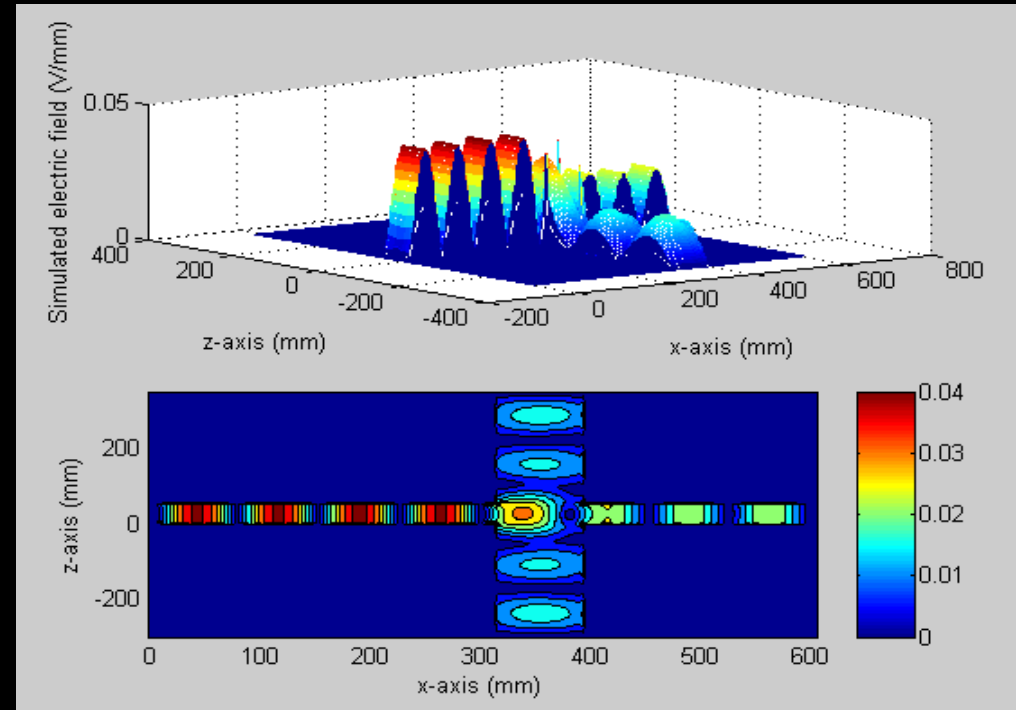
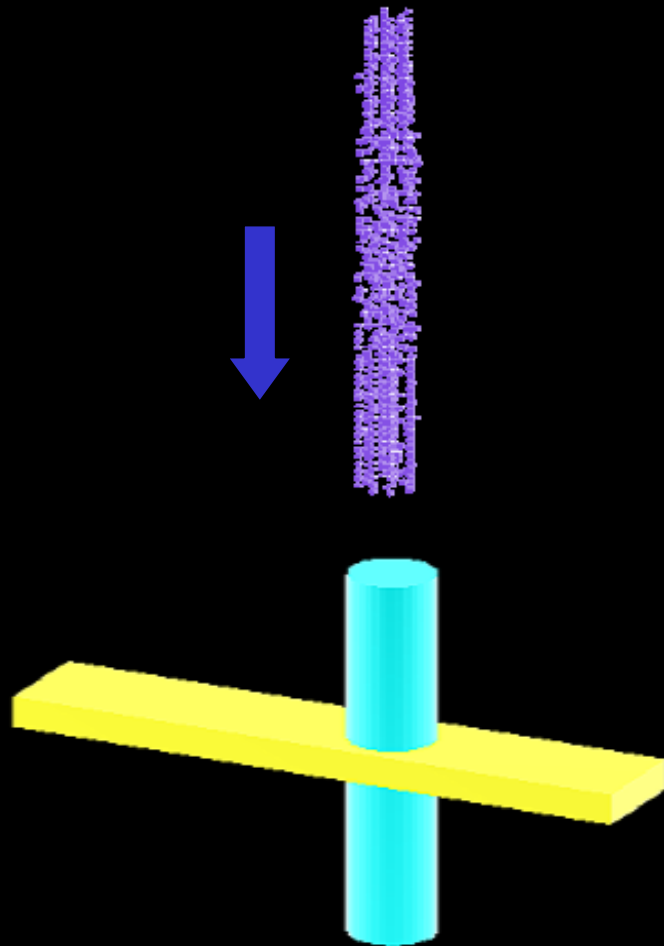
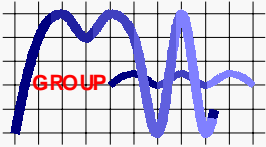
$Q= m c_p \text{ delta}T = 0.1*0.9*50= 4.5\text{ kJ}$

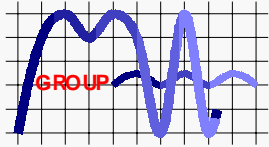
tempo trattamento max = 1/10 s

Potenza= 45 kW; $f=2.45\text{ GHz}; \quad \text{vol} = 0.6 / 2 = 0.3\text{ dm}^3$

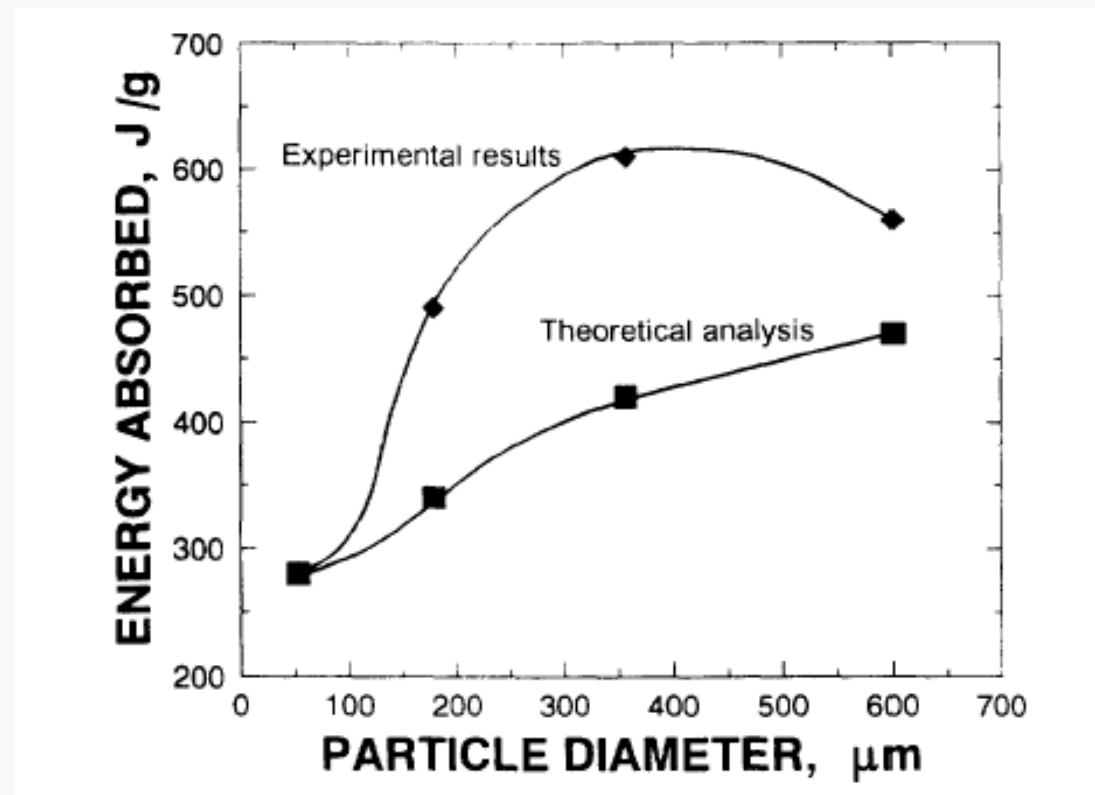
$P*\text{vol} = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon'' E^2 * \text{vol} = 45\text{ kW}$

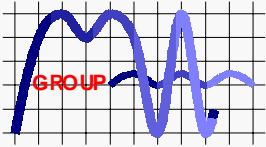
$E= 8000\text{ V/m}$



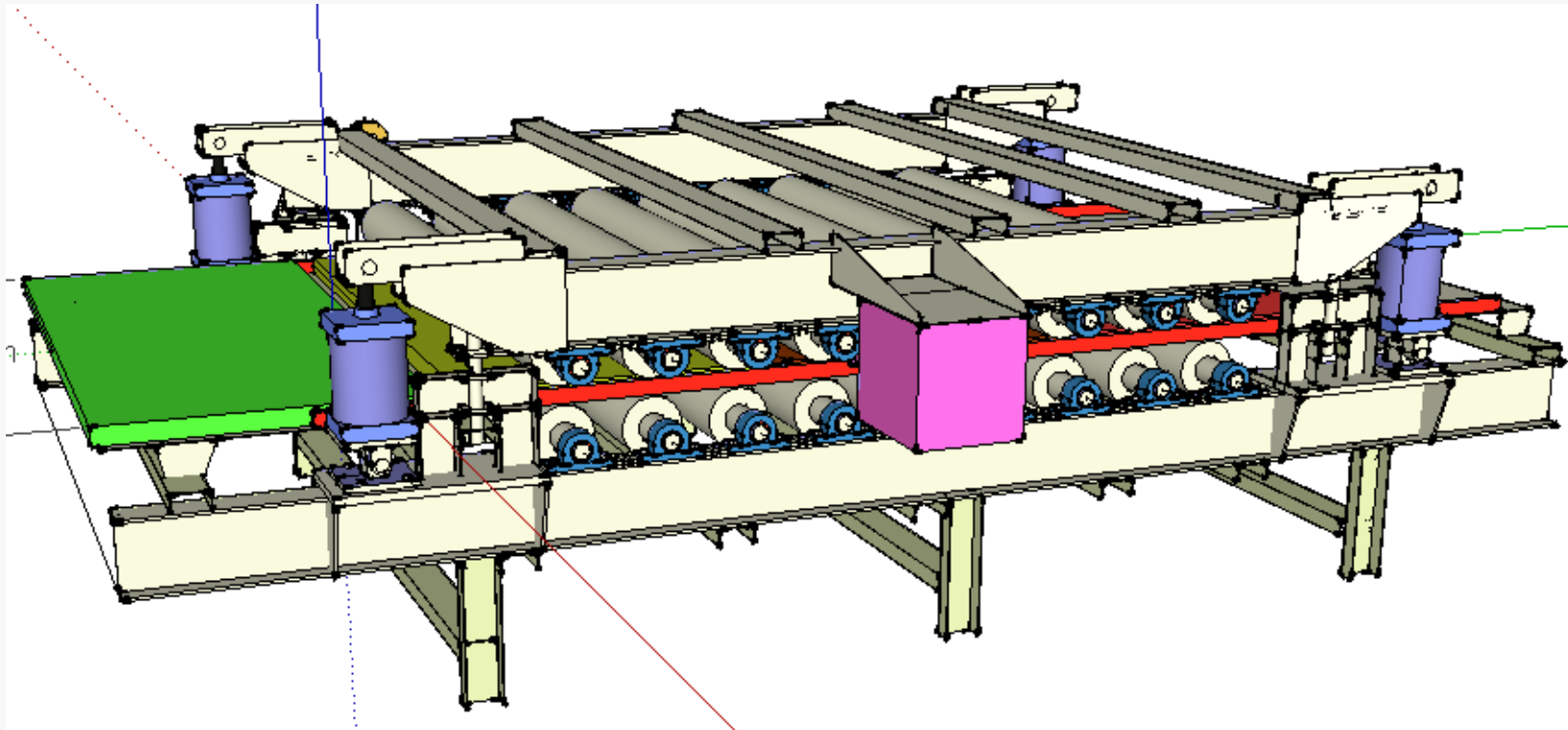


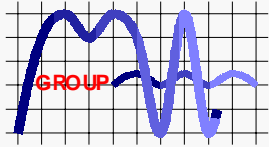
Attenzione!!!! Esiste una dimensione ottimale delle particelle affinché E sia massimo entro il materiale (S.Bradshaw)





Applicatore per incollaggio del legno

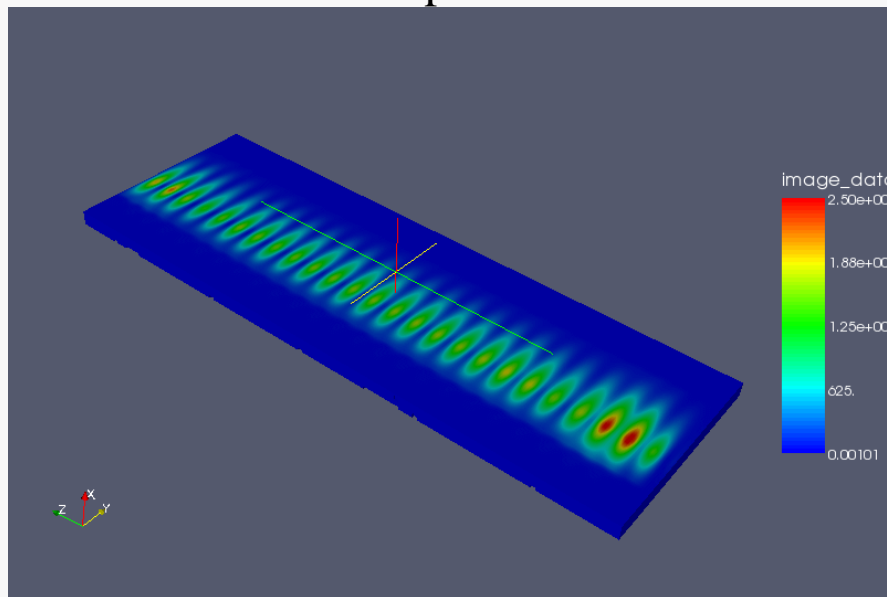




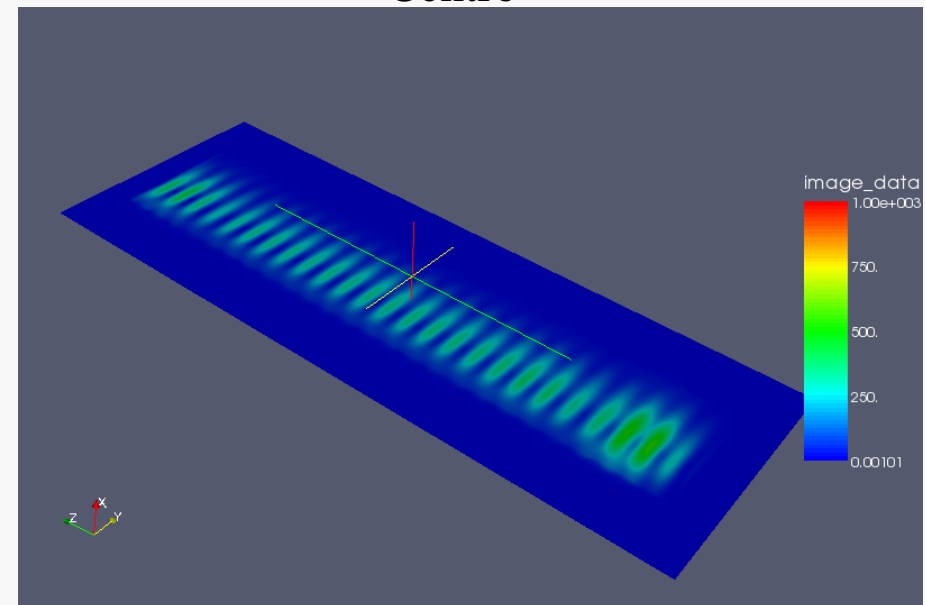
Applicatore per incollaggio del legno

Slot longitudinale con corto circuito traslante

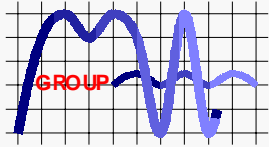
Superficie



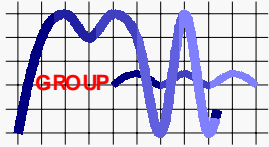
Centro



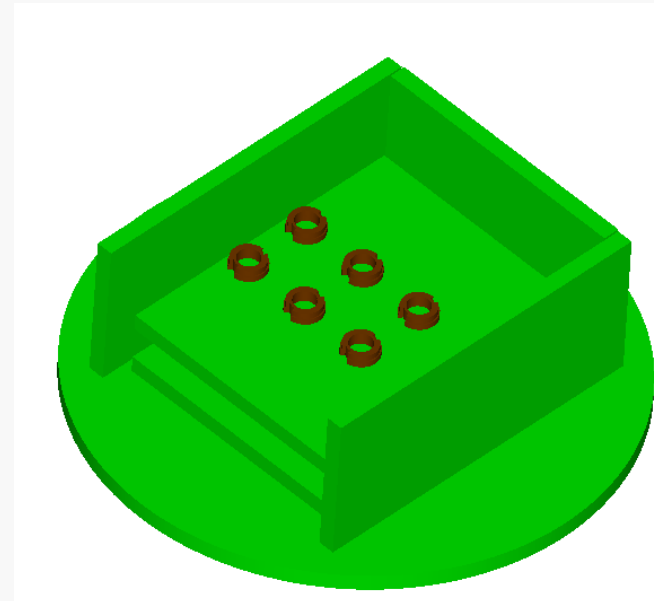
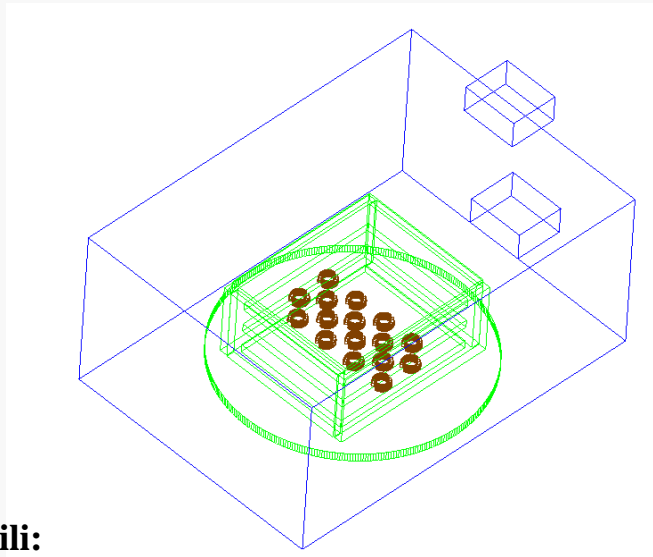
SAR (W/kg) nel legno, movimento corto circuito da 0 a 40 mm



**Molte variabili, obiettivi contrastanti:
abbinare il Design of Experiments (DoE)
e
la simulazione numerica**



Rimozione del legante di formatura da pezzi ottenuti mediante MIM



Variabili:

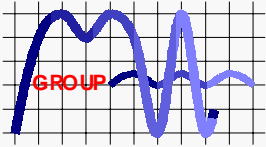
Proprietà dielettriche

Numero di campioni

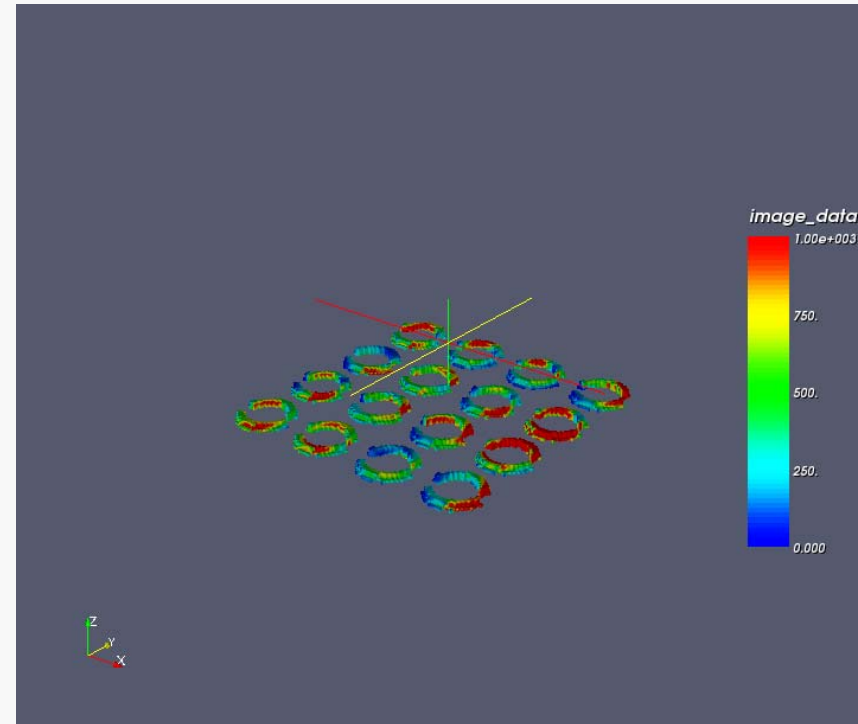
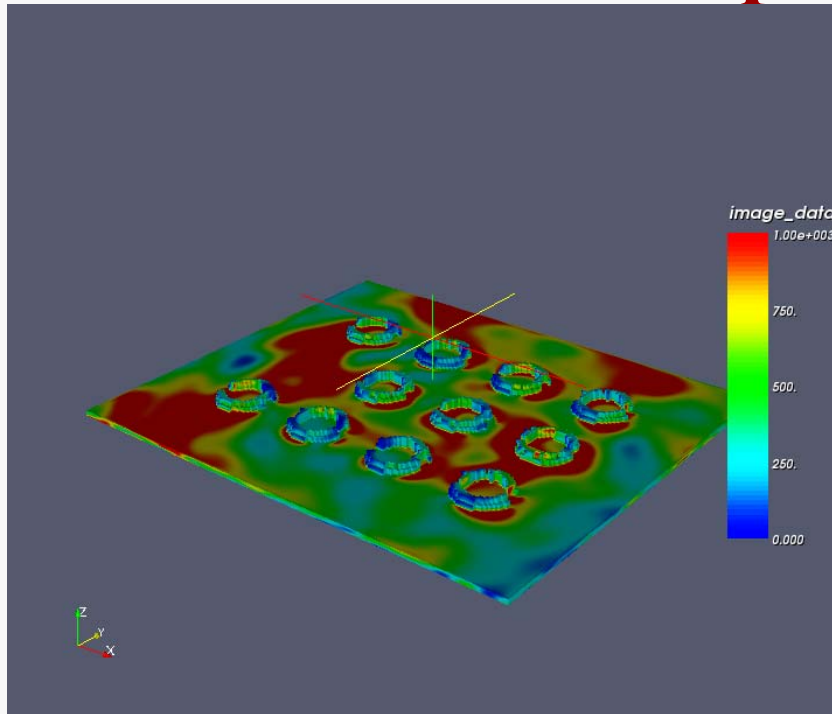
Posizione

Materiale di supporto

Rotazione



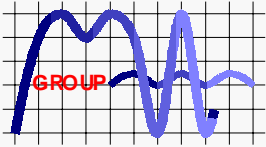
DoE – response surface method



Σ (SAR) su tutto il carico (incluso supporto)
 Σ (SAR) su ogni campione
Varianza del SAR nel carico
Varianza del SAR in ogni campione
Max GRAD(SAR) and Avg GRAD(SAR)



Efficienza energetica
Generazione di calore in ogni campione
Omogeneità di riscaldamento del carico
Omogeneità di riscaldamento del campione
Gradienti termici nel campione (rottura)

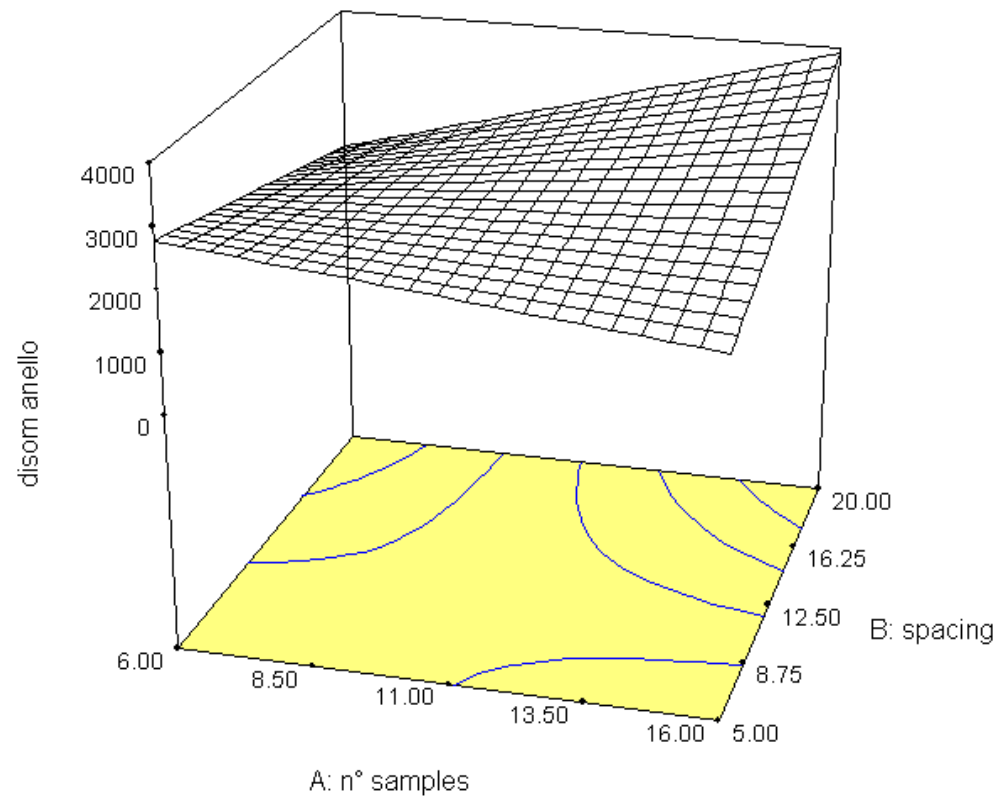


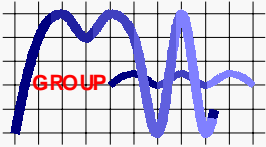
DoE Results: omogeneità di riscaldamento

DESIGN-EXPERT Plot

disom anello
X = A: n° samples
Y = B: spacing

Actual Factors
C: arrangement = 1 layer
D: support material = Al₂O₃
E: movement = stationary





DoE Results: efficienza energetica

DESIGN-EXPERT Plot

SAR tot psp

X = A: n° samples

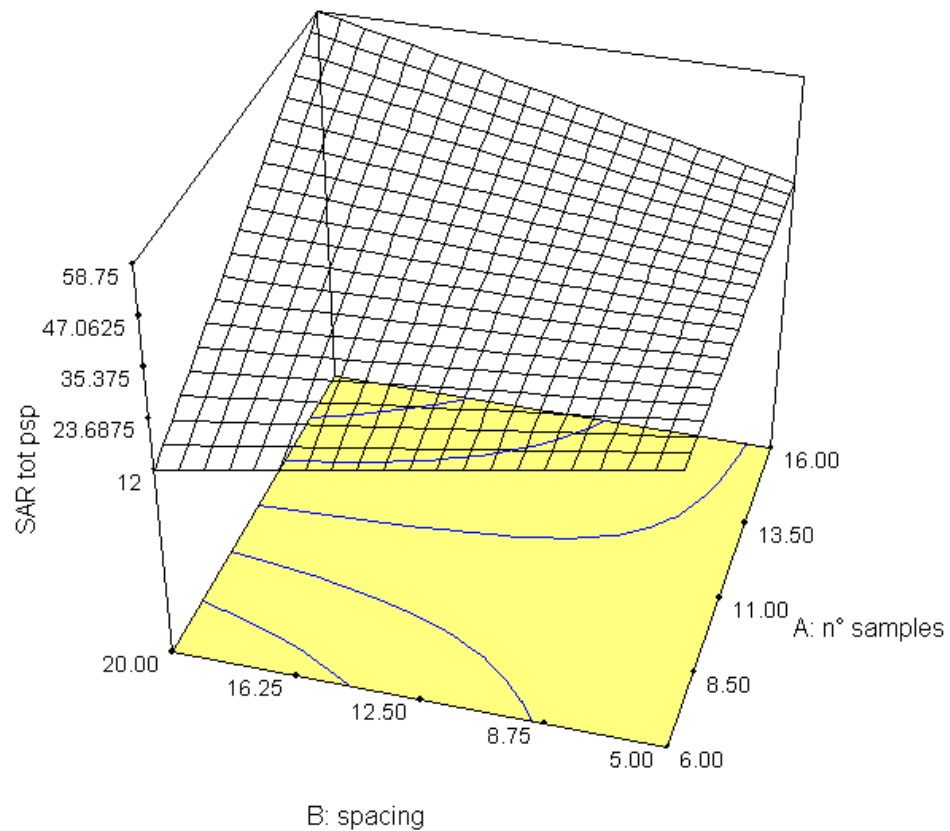
Y = B: spacing

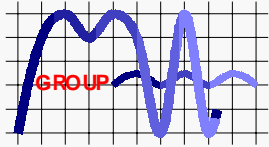
Actual Factors

C: arrangement = 1 layer

D: support material = Al₂O₃

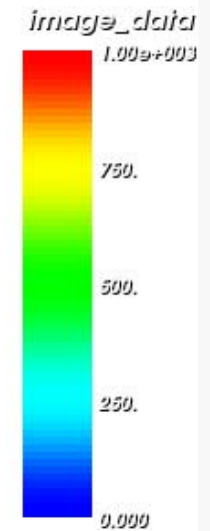
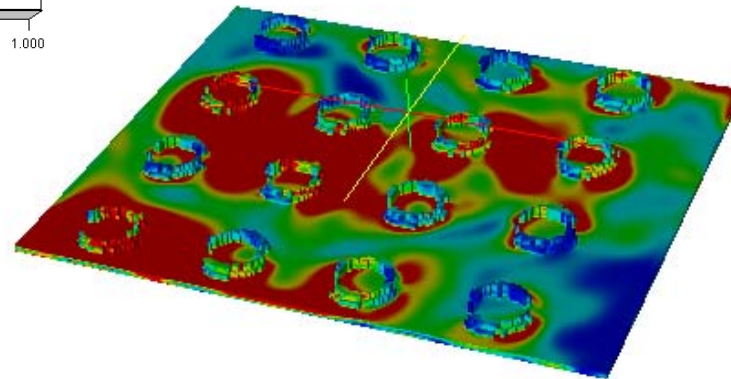
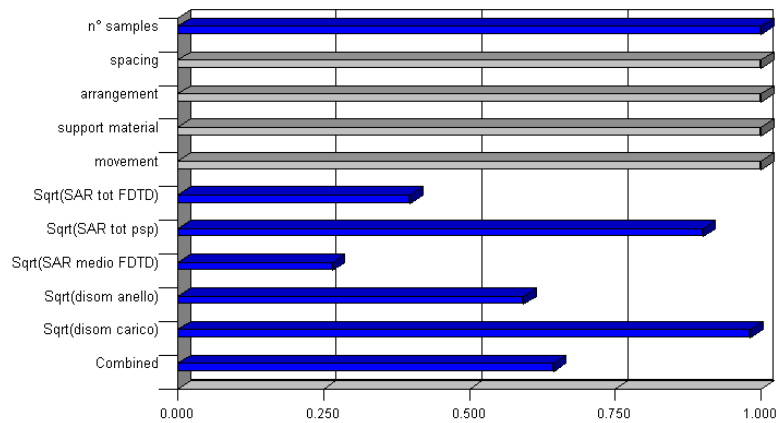
E: movement = stationary



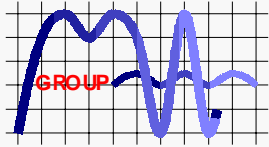


DoE – ottimizzazione





Desirability



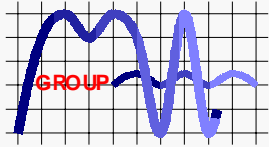
16 campioni, distanti 17.4 mm, su uno strato di SiC



La realtà.. ancora meglio

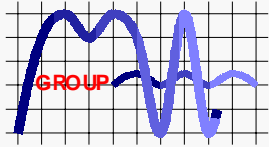
Debinding time (min), MW/C/I	Microstructure (fracture surf., cross section)	Brown part max. compressive load (N)	Sintered part max. tensile load (N)
720 minutes, I		157±40	2445±335
120 minutes, C		159±60	2712±205
120 minutes, MW		1004±462	2939±42
80 minutes, MW		469±210	2810±330

MW= microwave assisted, in optimized conditions;
C= conventional;
I= industrial



Conclusioni

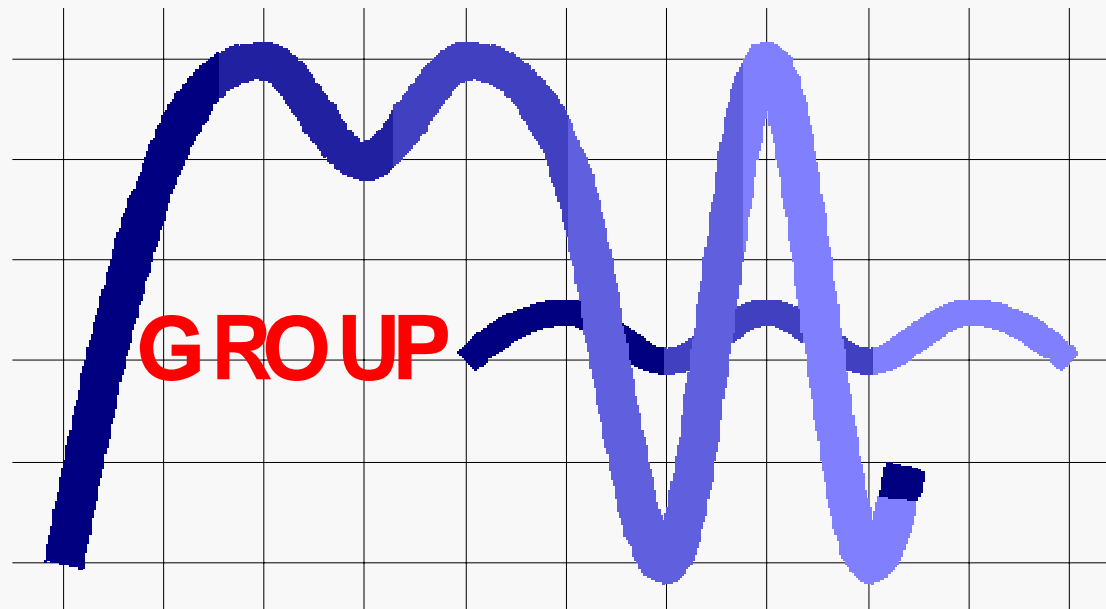
- L'impiego di strumenti di simulazione numerica è di aiuto per il progettista nell'ottimizzazione di apparecchiature e processi per il riscaldamento dielettrico
- Una buona simulazione richiede buoni dati di input...
- Combinare tecniche di DoE con la simulazione (Virtual Design of Experiments) permette di ridurre i tempi necessari alla ottimizzazione di strutture complesse con molte variabili
- A volte la realtà riserva sorprese...



MICROWAVE
APPLICATION
GROUP



Grazie per l'attenzione



**MICROWAVE
APPLICATION
GROUP**

<http://www.mag.unimore.it>