



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

WORKSHOP FINALE ESPERIMENTO **APOLLO** – ROMA 9/12/2013

MAIN CONVERTER: CARATTERIZZAZIONE TERMICA CON SECONDO PROTOTIPO DI DISSIPATORE

PAOLO COVA, NICOLA DELMONTE, FRANCESCO GIULIANI



Devices, Electronic Applications and Sensors

DEAS



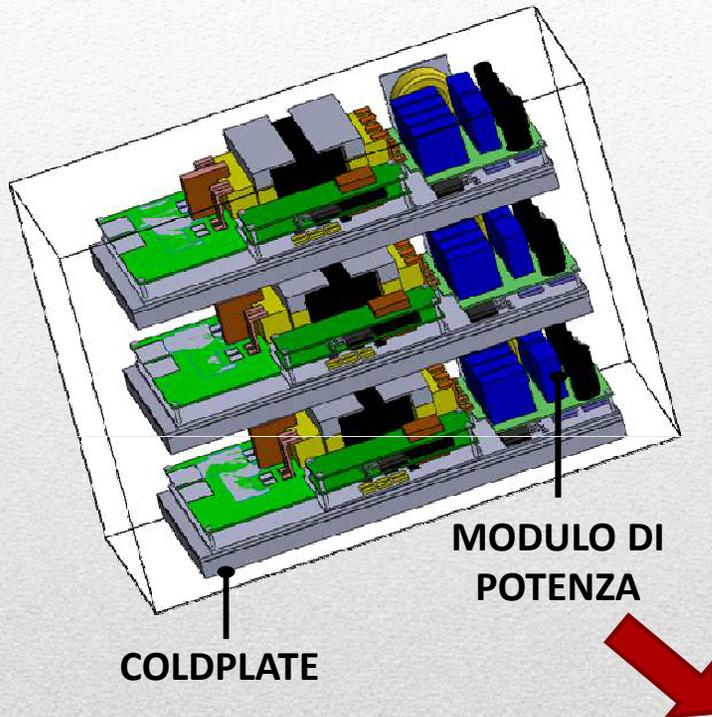
Cronistoria

- **2012: Simulazione 3D termo-fluidodinamica**
 - Rispetto dei vincoli di sistema
 - Limiti di risorse \Rightarrow tecnologie convenzionali
 - Messa a punto del modello numerico
 - Caratterizzazione termica di un dissipatore noto
 - Tuning e validazione delle simulazioni
 - Progettazione del secondo prototipo di dissipatore
 - Specifiche di progetto
 - Ipotesi realizzative
 - Confronto delle prestazioni
- **2013: Caratterizzazione termica MC col nuovo dissipatore e confronto col precedente**



Progettazione del dissipatore

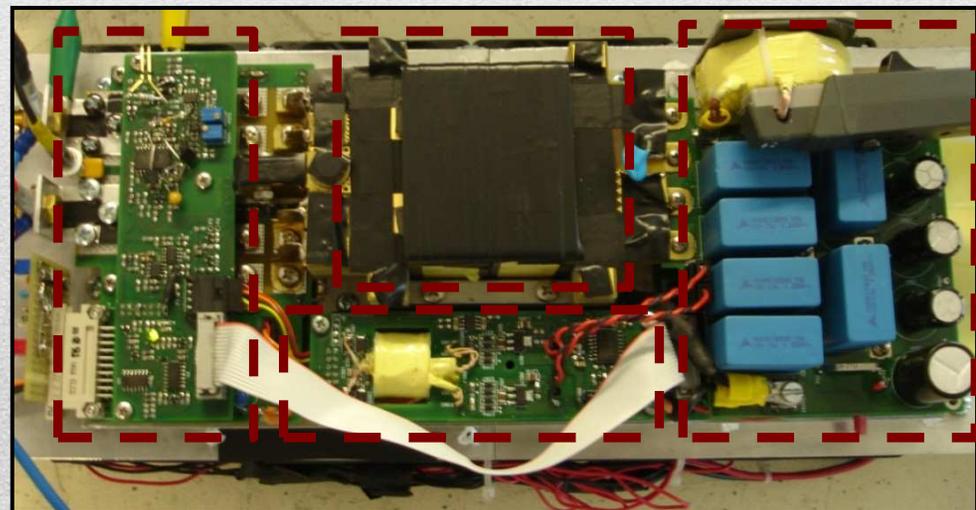
Il convertitore primario



Specifiche di progetto del dissipatore

- $d = 15 \text{ mm}$
- $\Phi = 5 \text{ mm}$
- $T_{INLET} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_{OUTLET} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- $Portata = 1,9 \text{ l/min}$ (totale)
- $\Delta P = 350 \text{ mbar}$

TRASFORMATORE
ZONA DI SECONDARIO **ZONA DI PRIMARIO**



ALIMENTATORE AUSILIARIO



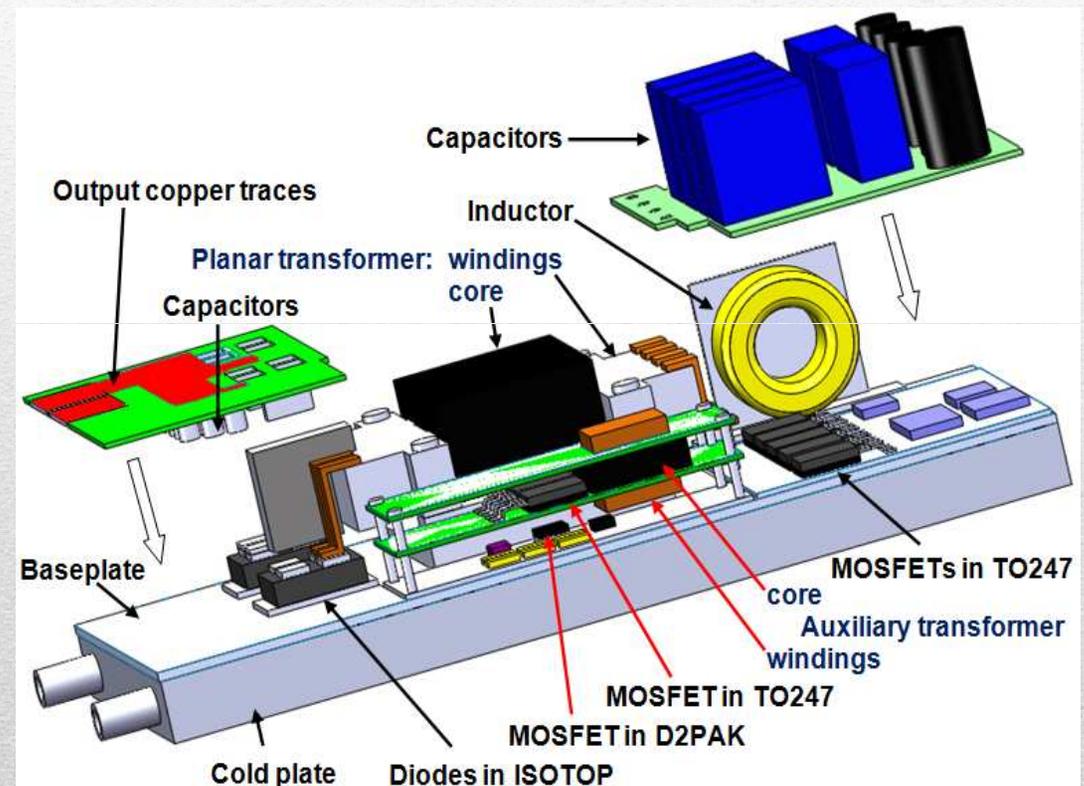
Modello FEM del MC

$$P_{\text{out}} = 1.2 \text{ kW}$$

$$P_{\text{diss}} = 246 \text{ W}$$

Distribuita sui componenti:

N°	Device	P_d [W]
1	Planar transformer – core	130
2	Planar transformer – windings	70
3	Diodes (ISOTOP)	10
4	Primary - MOSFETs (TO247)	18
5	Primary - inductor core	4
6	Primary - inductor windings	3
7	Auxiliary – MOSFET (TO247)	0.2
8	Auxiliary – MOSFET (D2PAK)	0.2
9	Auxiliary – transformer core	0.5
10	Auxiliary – transformer windings	0.5
11	Capacitors and other devices	4.5
12	Copper traces at secondary	5.5
Total power dissipation		246.4





Simulazioni per confronto geometrie

Condizioni di caso peggiore

Solo due moduli operanti

$$P_{DC} = 1,5 \text{ kW} ; P_{DISS} = 380 \text{ W}$$

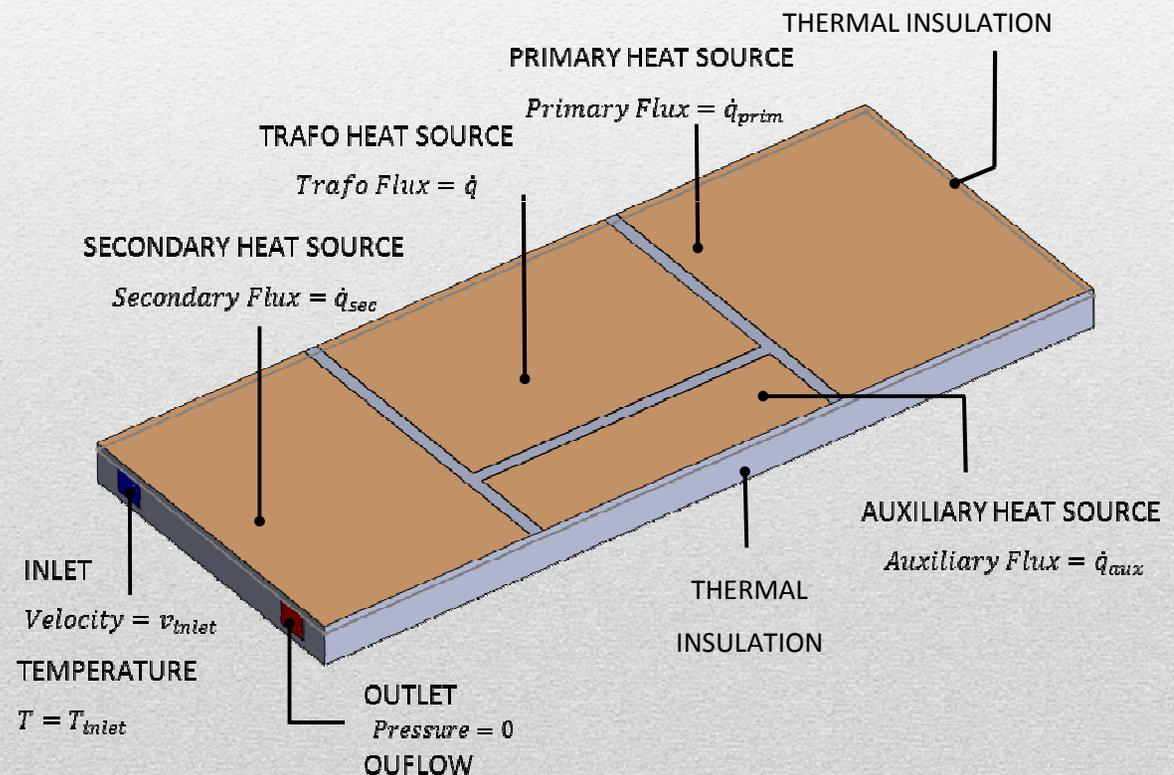
Regime di flusso:

laminare

VARIABLE	VALUE
v_{inlet}	0,106 m/s
T_{inlet}	18 °C
\dot{q}_{prim}	3187 W/m ²
\dot{q}_{sec}	2559 W/m ²
\dot{q}_{trafo}	28482 W/m ²
\dot{q}_{aux}	548 W/m ²
T_{amb}	31,0 °C

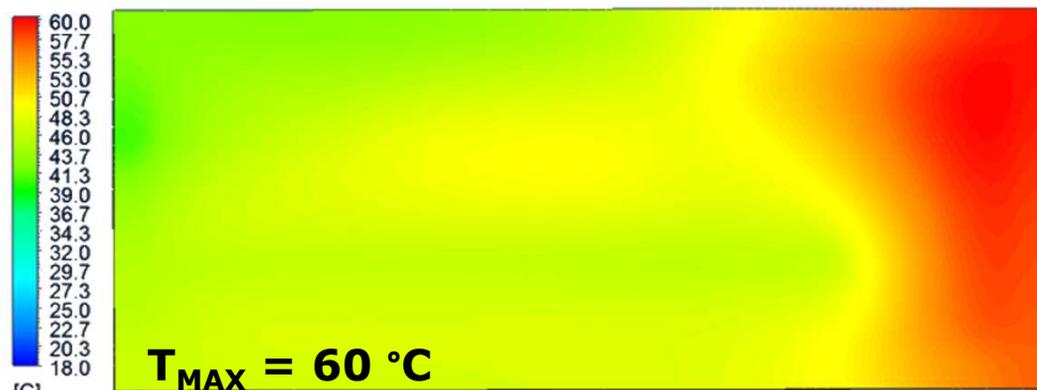
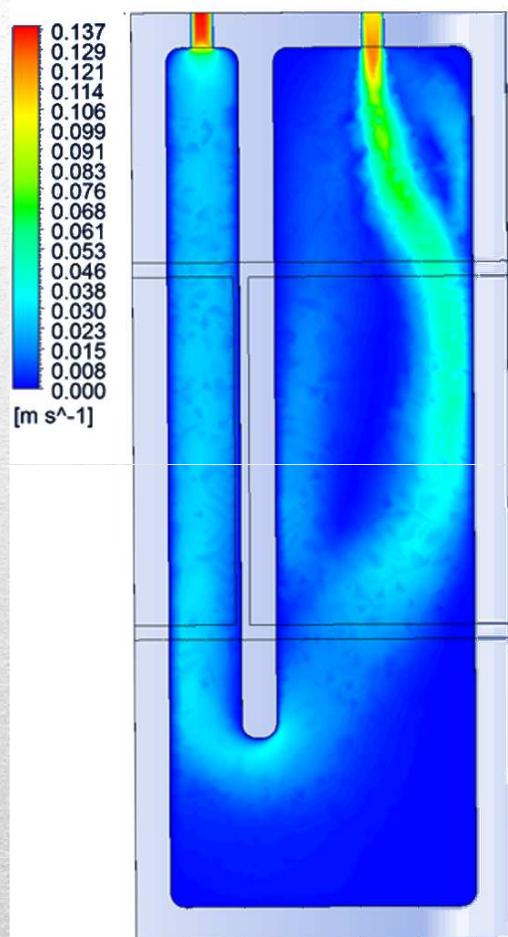
Distribuzione potenza termica

- uniforme
- localizzata

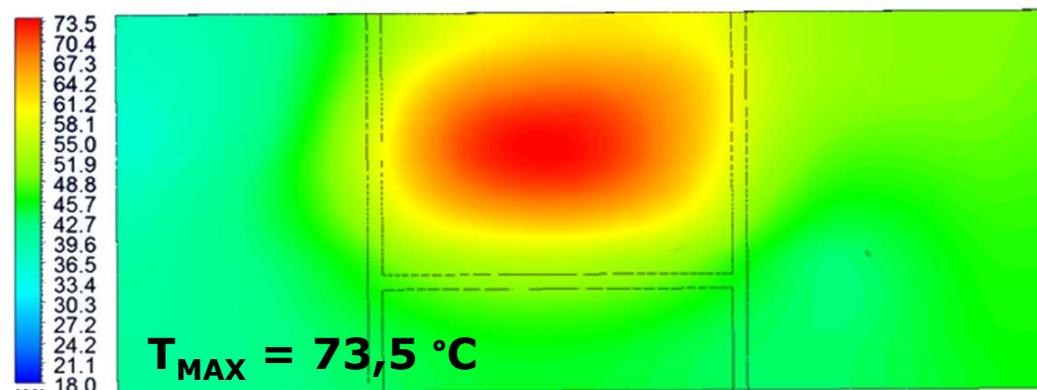




1° prototipo: dissipatore a U (2-SP)



POTENZA UNIFORME

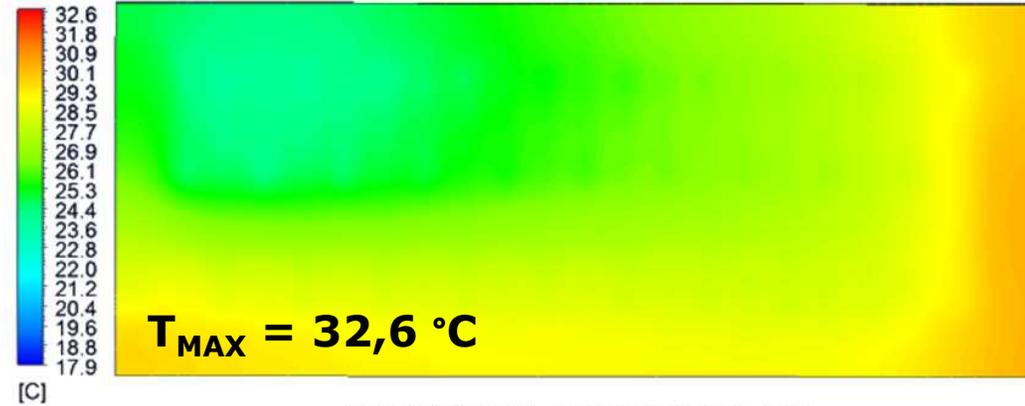
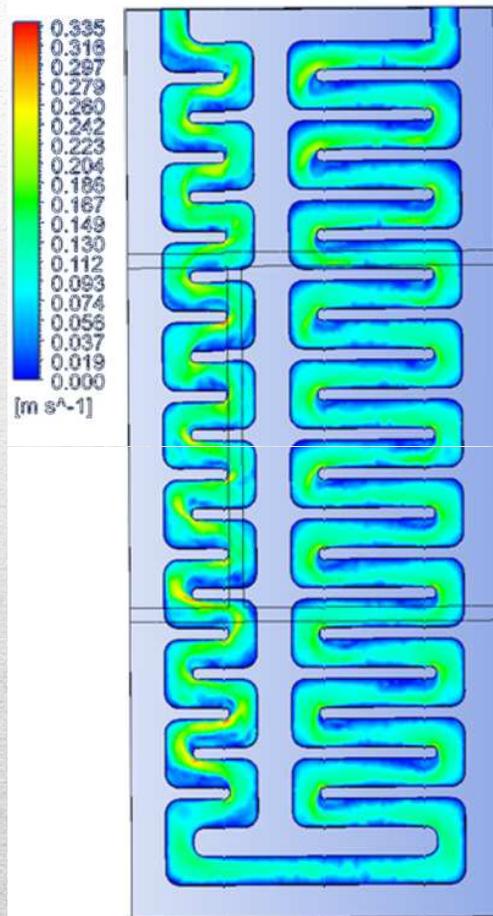


POTENZA DISTRIBUITA

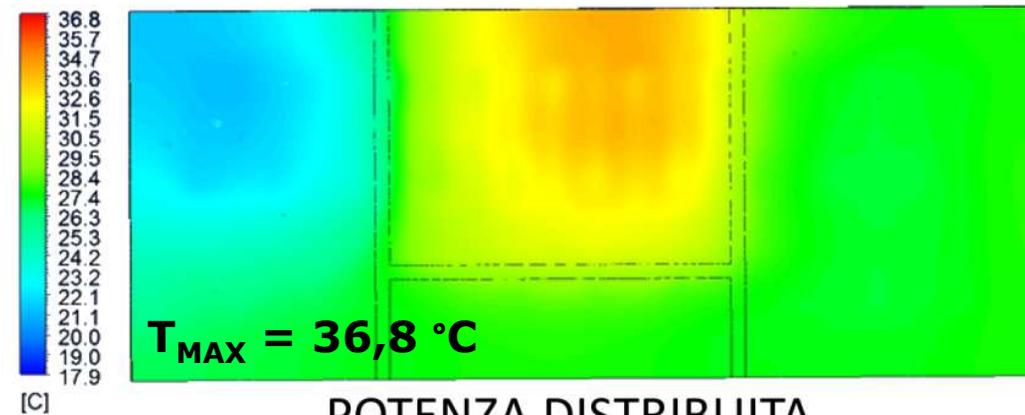
$T_{OUTLET} = 35,0 \text{ °C}$



2° prototipo: a doppia serpentina (2-C)



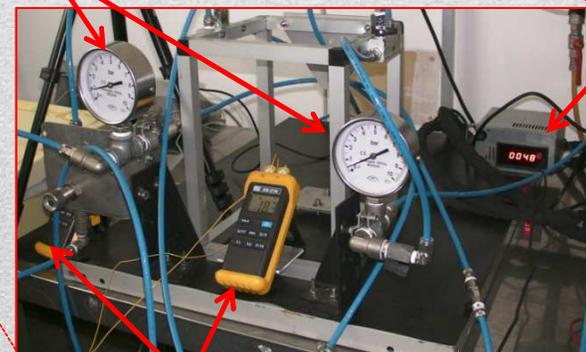
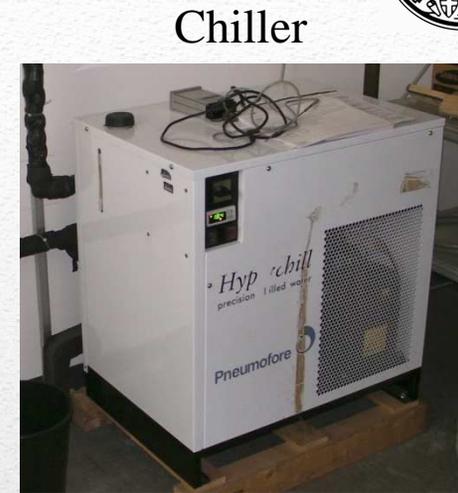
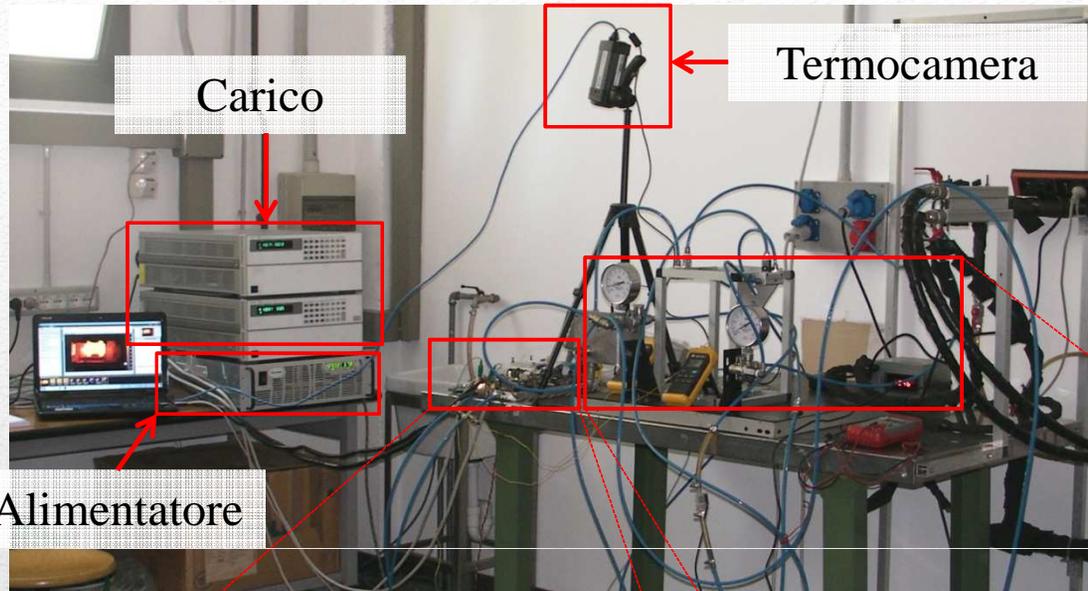
POTENZA UNIFORME



POTENZA DISTRIBUITA

$T_{OUTLET} = 27,0 \text{ °C}$

Setup caratterizzazione termica



Alimentatore

Carico

Termocamera

Chiller

Manometri (p_{inlet} , p_{outlet})

Flowmeter

Prototipo di un modulo
del Main Converter

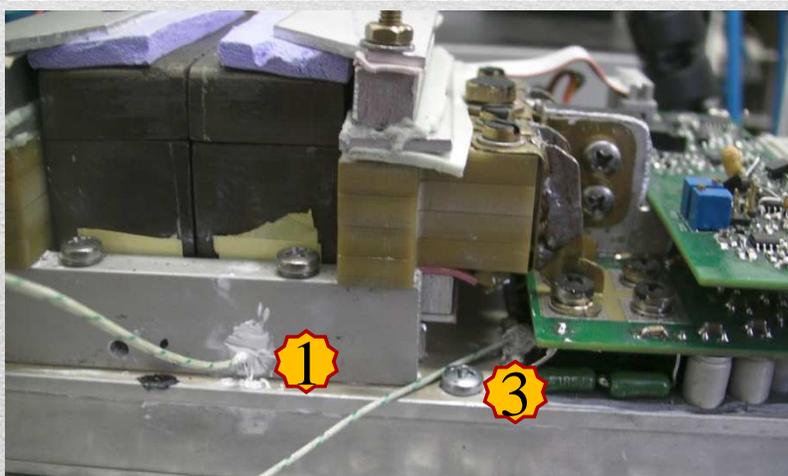
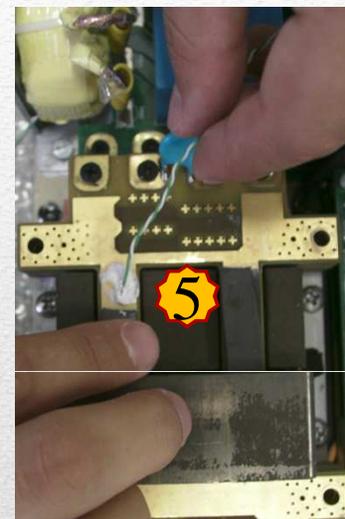
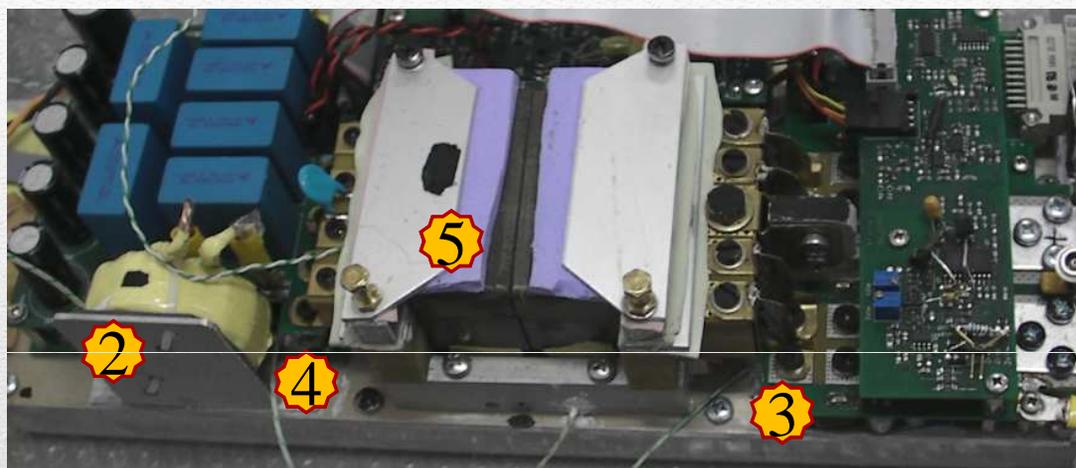
Termometri (T_{inlet} , T_{outlet})



Setup caratterizzazione termica

Posizioni delle termocoppie per la misura di temperature "interne":

1. Flangia di sostegno del trasformatore
2. Induttore-flangia in Al verticale di sostegno



3. Flangia diodi ISOTOP
4. Flangia MOSFET
5. Parte superiore degli avvolgimenti del trasformatore

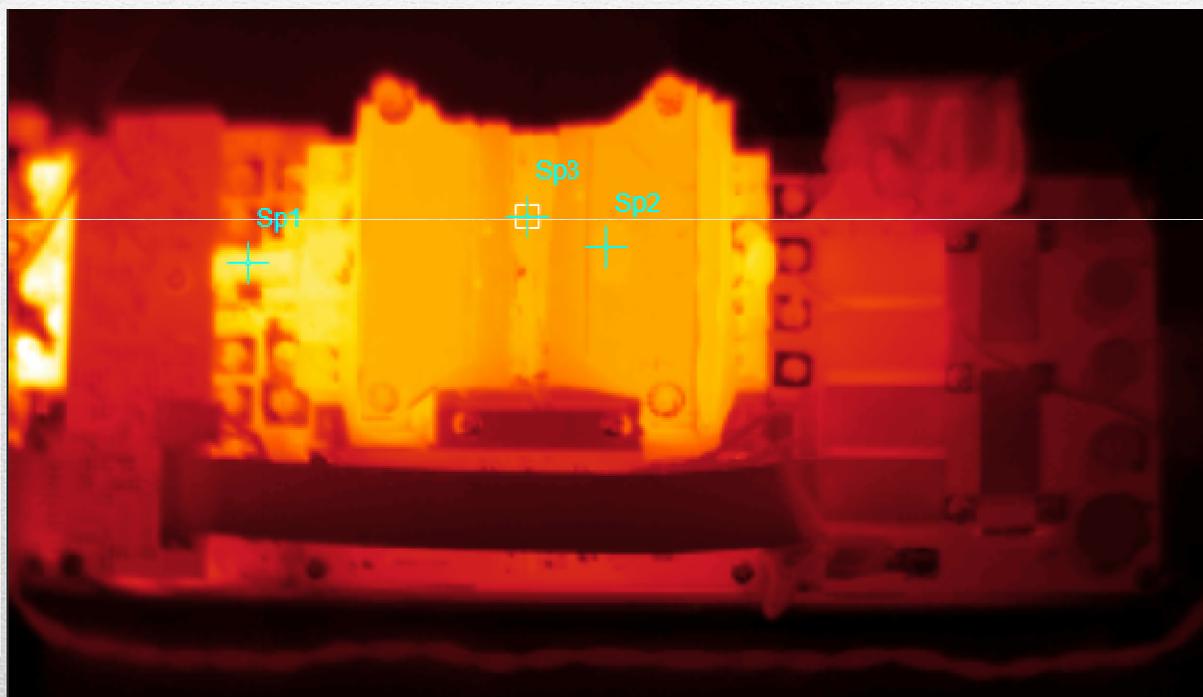


Risultati misure (2-SP 27/6/2012)

- Portata 0,63 l/min, $T_{amb} = 28,5^{\circ}\text{C}$

V_{in} [V]	I_{in} [A]	V_{out} [V]	I_{out} [A]	P_{in} [W]	P_{out} [W]	P_{diss} [W]
280	5,13	11,95	100	1436,4	1195	241

Posizione	T [°C]
Flangia indutt.	37
ISOTOP	37
MOSFET	39
Nucleo	78
Supporto trafo	35
Avvolg. trafo	86



T_{Sp1} [°C]	T_{Sp2} [°C]	T_{Sp3} [°C]
83	71	73

Risultati misure (2-C 8/2/2013)



- Portata 0,54 l/min, $T_{amb} = 21,4^{\circ}\text{C}$

V_{in} [V]	I_{in} [A]	V_{out} [V]	I_{out} [A]	P_{in} [W]	P_{out} [W]	P_{diss} [W]
274	5,3	11,98	100,6	1451	1205	246

Posizione	T [°C]
Flangia indutt.	29
ISOTOP	26
MOSFET	27
Nucleo	72
Avvolg. trafo	80



T_{Sp1} [°C]	T_{Sp2} [°C]	T_{Sp3} [°C]
64	69	36

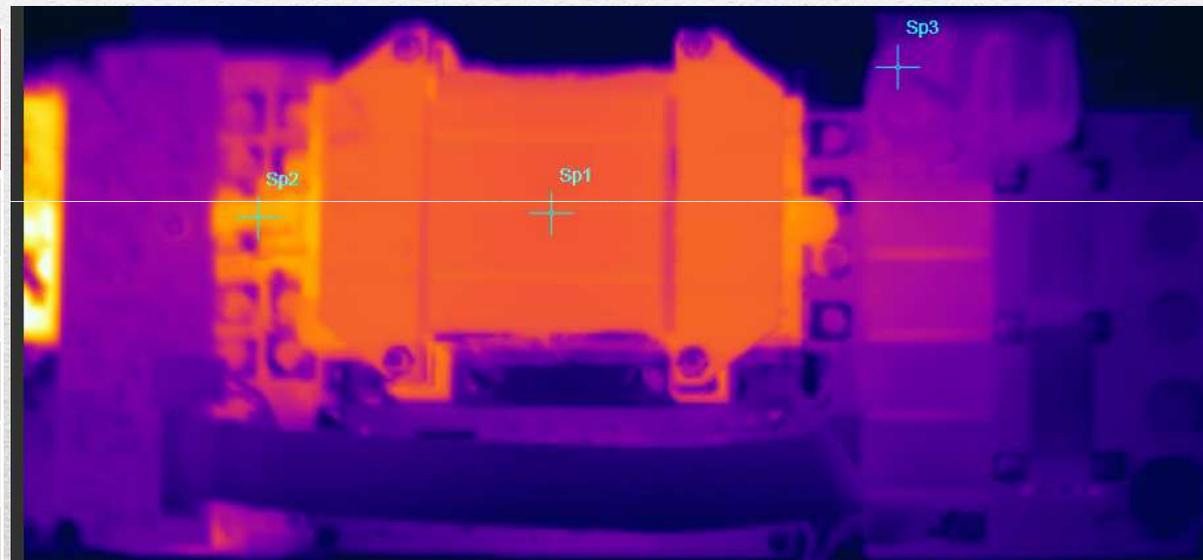
Risultati misure (2-C 8/2/2013)



- Portata 0,54 l/min, $T_{amb} = 24,7^{\circ}\text{C}$

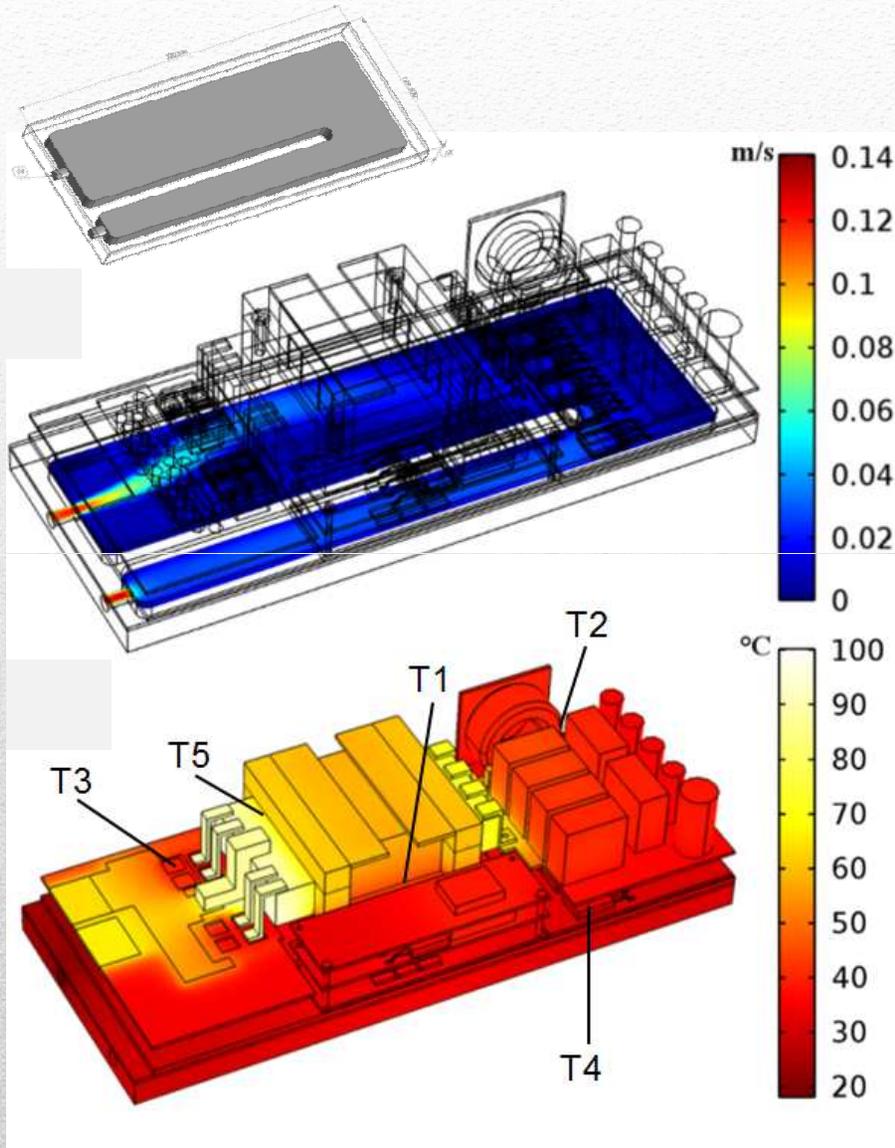
V_{in} [V]	I_{in} [A]	V_{out} [V]	I_{out} [A]	P_{in} [W]	P_{out} [W]	P_{diss} [W]
274	6,95	11,98	125,2	1906	1500	406

Posizione	T [°C]
Flangia indutt.	35
ISOTOP	32
MOSFET	39
Nucleo	90
Avvolg. trafo	108



T_{Sp1} [°C]	T_{Sp2} [°C]	T_{Sp3} [°C]
78	96	45

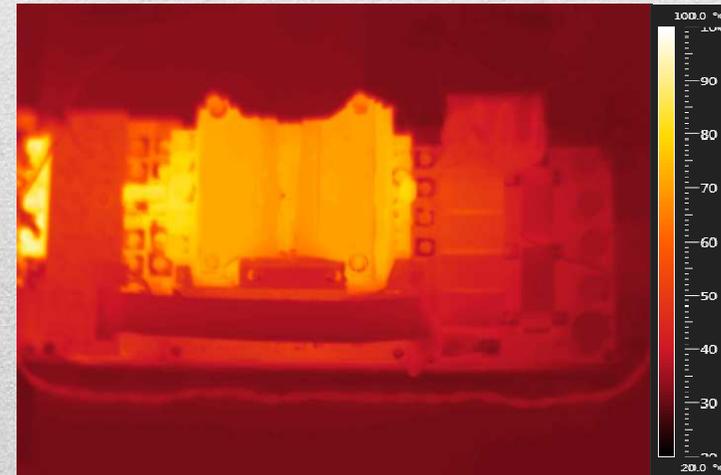
Simulazioni vs. misure (2-SP)



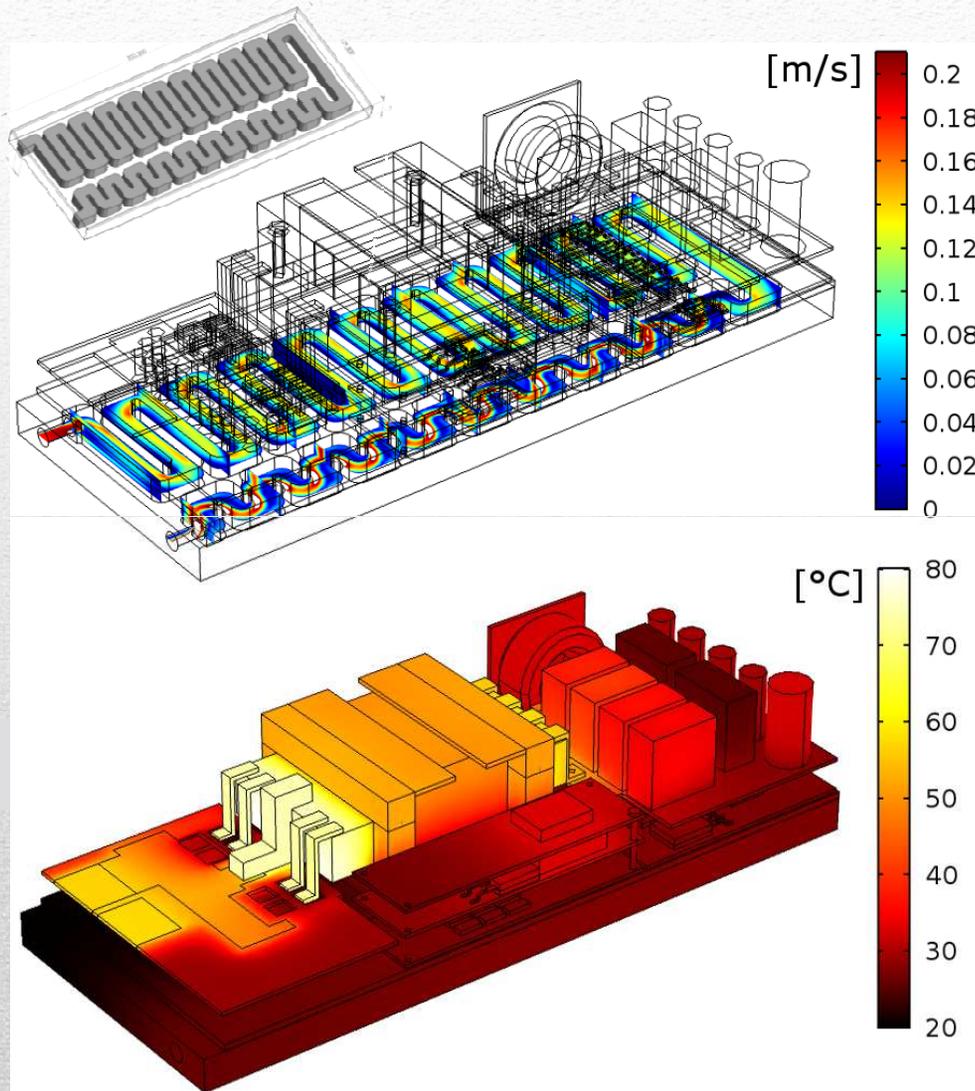
$$P_{\text{out}} = 1.2 \text{ kW} \quad P_d = 241 \text{ W}$$

	Thermocouples	Simulation
T1	35 °C	37.8 °C
T2	37 °C	37.3 °C
T3	37 °C	38.4 °C
T4	39 °C	39.1 °C
T5	78 °C	75.7 °C

IR measurement:



Simulazioni vs. misure (2-C)



$$P_{out} = 1.2 \text{ kW}$$

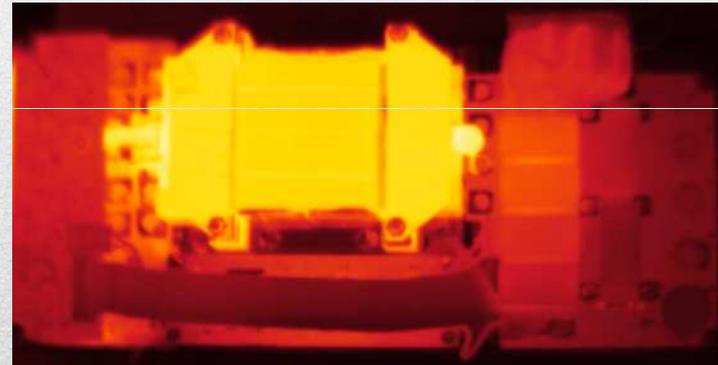
$$P_d = 240 \text{ W}$$

$$T_{inlet} = 18^\circ\text{C},$$

$$T_{amb} = 21^\circ\text{C}$$

$$\text{flow rate} = 0.63 \text{ l/min}$$

IR measurement:



Tested measurement conditions:

Cold plate	P_{out} [kW]	T_{max} [°C]
2-SP	1.2	86
2-C	1.2	80
2-C	1.5	108



Conclusioni

- ✓ Simulazione termo-fluidodinamica di dissipatore + MC
- ✓ Tutti i componenti hanno temperatura accettabile
- ✓ Il dissipatore "2-C" ha abbassato T_{\max} di 6 °C
- ✓ Risultato buono a $P_{\text{out}} = 1 \text{ kW}$
- Non sufficiente in caso di un modulo guasto ($P_{\text{out}} = 1,5 \text{ kW}$)
- Dubbi sull'affidabilità a lungo termine
(Zone di ristagno? Formazione di muffe? Occlusioni?)

POSSIBILI AZIONI

- Ridurre la potenza dissipata dal trasformatore
 - Modificare gli avvolgimenti e gli strati isolanti
 - Modificare i connettori di uscita
 - Altro?
- Ottimizzare ulteriormente il dissipatore
 - Geometria più affidabile?

Publicazioni



- P. Cova, N. Delmonte, F. Giuliani, M. Citterio, S. Latorre, M. Lazzaroni, A. Lanza, “Thermal optimization of water heat sink for power converters with tight thermal constraints”, *Microelectronics Reliability*, vol. 53, pp. 1760-1765, 2013.
- P. Cova, N. Delmonte, F. Giuliani, M. Citterio, S. La Torre, A. Lanza, M. Lazzaroni, “Thermal modeling and characterization of power converters for LHC power supplies”, *Proc. 12th IMEKO TC10 Workshop on Technical Diagnostics - New Perspectives in Measurements, Tools and Techniques for Industrial Applications*, pp. 202-207, Firenze (Italy), Jun. 6-7, 2013.
- M. Lazzaroni, M. Citterio, S. Latorre, A. Lanza, P. Cova, N. Delmonte, F. Giuliani, “Ottimizzazione termica di dissipatori per convertitori di potenza per applicazioni in ambienti ostili”, *Atti del XXX Congresso Nazionale Associazione “Gruppo Misure Elettriche ed Elettroniche” (GMME 2013)*, pp. 123-124, Trento (Italy), Sep. 8-11, 2013.
- P. Cova, N. Delmonte, “Thermal modeling and design of power converters with tight thermal constraints”, *Microelectronics Reliability*, vol. 52, pp. 2391-2396, 2012.