

METODOLOGIE COMPUTAZIONALI PER LA RISOLUZIONE DI PROBLEMI TERMO-FLUIDODINAMICI IN SISTEMI ELETTRONICI COMPLESSI

Michele Giannuzzi, Alessio Selci

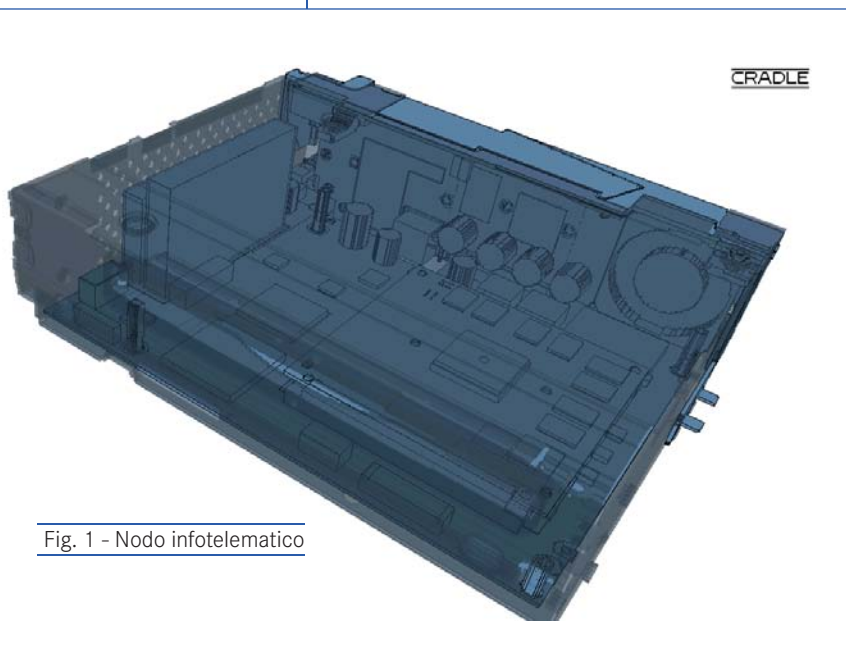


Fig. 1 - Nodo infotelematico

Adottando nuovi processi di packaging e di miniaturizzazione dei circuiti integrati aumentano i problemi associati allo smaltimento del carico termico.

Una accurata progettazione termo-fluidodinamica risulta quindi di vitale importanza ai fini della corretta operatività di un sistema elettronico complesso.

INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo lavoro è risolvere con metodi numerici il problema termofluidodinamico di un nodo infotelematico (Figura 1). Nello specifico verranno utilizzati i metodi ai volumi finiti, servendosi del codice scSTREAM V10, nuova release della Software Cradle. scSTREAM V10 è un programma che permette le analisi termo-fluidodinamiche con griglia computazionale strutturata (cartesiana e cilindrica) e che si presenta come strumento idoneo per gestire complesse geometrie, circuiti elettronici e per modellare le proprietà termiche di materiali tipici del settore elettronico quali i Printed Circuit Board (PCB) multistrato e la componentistica attiva.

Michele Giannuzzi – Alessio Selci
KITE Group - località Baraggino,
10034 Chivasso (TO)

CONTESTUALIZZAZIONE

Generalmente il problema termo-fluidodinamico associato ad apparati elettronici si presenta difficoltoso da affrontare causa le complesse geometrie dei componenti interni e la presenza di dozzine di componenti elettronici passivi o attivi, schede circuitali assimilabili a laminati di composito dove fogli di rame conduttivi risiedono tra lamine di resina epossidica e la complessa fenomenologia del flusso, che governato da bassi numero di Reynolds, complica la fisica dello smaltimento del calore. Durante la fase di progettazione di un sistema elettronico problematiche elettriche e termo-meccaniche sono fortemente accoppiate. Risulta quindi importante riuscire ad ottenere accurate stime predittive della temperatura operativa dei circuiti integrati durante il loro funzionamento. Per ottenere ciò possono essere perseguite diver-



Fig. 2 - Visione d'interno del sistema elettronico: schede circuitali e componenti elettronici

se strade: analiticamente, sperimentalmente o numericamente. La prima possibilità, quella analitica, prevede di stimare tali valori attraverso formulazioni empiriche. Questo metodo però può portare a una sostanziale sottostima delle temperature dato che è impossibile tenere conto di tutte le complesse problematiche termiche che entrano in gioco nel funzionamento di un sistema elettronico. L'attività sperimentale rimane di gran lunga l'opzione più affidabile ottenendo i reali valori di funzionamento di un sistema. Di contro è la necessità di sostenere costi in termini di risorse e di tempo non sempre fattibili. A tal proposito nasce l'esigenza di impiegare i metodi numerici: avere modo di operare con modelli virtuali permette di riprodurre, in un tempo e con costi contenuti, tutte le casistiche operative ed entrare nello specifico di alcuni aspetti fenomenologici (fluidodinamici e termici). La multifisica computazionale, con la sua capacità di risolvere in maniera accoppiata i problemi fluidodinamici, conduttivi, convettivi e radiativi, diviene uno strumento altamente funzionale al fine di caratterizzare le performance termiche dei sistemi.

Oggi una corretta fase di progettazione dovrebbe prevedere che le ultime due opzioni corrano in combinata: mediante campagne di sperimentazione ci si assicura l'opportunità di disporre di tutte le informazioni tecniche necessarie per riprodurre un modello predittivo

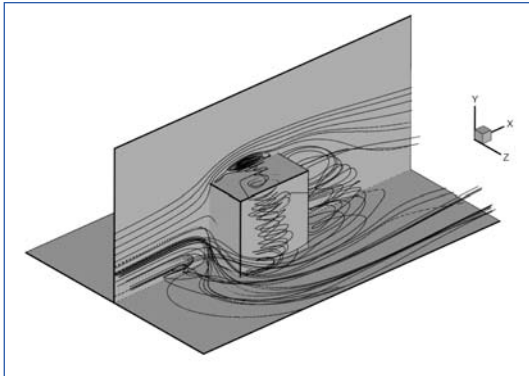
del sistema reale. Una volta validato dalla sperimentazione, il modello virtuale diviene uno strumento potente per investigare altre configurazioni (cambio della disposizione di componenti, variazione di geometrie, condizioni di carico termico, condizioni al contorno, studi parametrici) e diviene a tutti gli effetti un laboratorio virtuale.

Con il presente lavoro si è cercato di introdurre metodologie computazionali nell'ambito della termo-fluidodinamica numerica. Verranno cioè proposti metodi per la modellazione della stratificazione delle schede circuitali, la modellazione accurata dei circuiti integrati, la scelta del miglior modello di turbolenza caratterizzante il flusso e infine metodi per ridurre drasticamente il numero di gradi di libertà del sistema: la metodologia MultiBlock, interna a scSTREAM V.10

Nella loro vita operativa, dissipando importanti quantità di calore in confronto alle loro dimensioni, i circuiti integrati, oggetto delle direttive JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council), sono le componenti maggiormente interessate da guasti e danneggiamenti causa il superamento delle specifiche di funzionamento dichiarate dai vendor. Comunemente il range di temperature di funzionamento varia tra gli 80-110 [°C].

All'interno dei prodotti elettronici, nel quale sono presenti un numero consistente di circuiti

Fig. 3 - Rappresentazione schematica del flusso lungo la superficie di un [YAKHOT]



integrati passivi o attivi, generalmente la fisica del flusso di aria è molto complessa. I fenomeni turbolenti sono influenzati e influenzano a loro volta lo smaltimento del calore per convezione lungo la superficie dei componenti.

L'accoppiamento tra la struttura del flusso e il calore dissipato incoraggiano la separazione della vena fluida alla quale segue ricircolazione locale e successivo riattacco lontano dal punto di distacco. Ciò comporta, localmente, regioni in cui il flusso è a basso numero di Reynolds anche se il dispositivo elettronico è dotato di ventilazione forzata.

Dal punto di vista computazionale quindi assume grande importanza l'impiego di modelli di turbolenza che siano in grado di controllare la transizione da basso ad alto numero di Reynolds e viceversa.

IL CASO IN ESAME

Il nodo infotelematico in questione deve assolvere le funzioni di sistema HiFi con una potenza di 40W, di navigazione satellitare, di access point bluetooth e wifi, di cluster radio. Inoltre rappresenta il cuore della connettività di bordo del veicolo sul quale è installato. L'installazione impone la necessità di funzionamento anche nel caso di temperature ambiente piuttosto elevate (65°C) e per motivi di progetto è necessario che alcune superfici esterne del dispositivo risultino essere sempre a temperature inferiori a 100°C.

Come mostrato in Figura 2 il cuore del sistema elettronico è composto da tre schede circuitali sulle quali sono montati numerosi componenti elettronici. Come è facile intuire l'oggetto in questione si presenta un ottimo caso per testare le specifiche computazionali di un solutore commerciale data la forte interazione termica tra le parti. Per caratterizzare in maniera adeguata il comportamento termico del sistema

sono state portate a termine alcune campagne di sperimentazione. Sono stati considerati sei punti di ancoraggio.

LA SIMULAZIONE

Modellazione

Il modello numerico del sistema elettronico è stato implementato ricalcando le reali dimensioni geometriche e configurazione di sperimentazione: il case di 195 x 165 x 53 [mm] che contiene tutta l'elettronica e che si trova, a sua volta, all'interno di un box di legno di dimensioni 250 x 245 x 100 [mm].

Generalmente un modello numerico tridimensionale con complesse geometrie richiede ingenti risorse di calcolo sia in termini di hardware sia di tempo. Tuttavia in questo lavoro, attraverso un approccio metodologico, sono state introdotte strategie che permettono di semplificare il numero di gradi di libertà del modello non perdendo mai di vista l'accuratezza sia fisica sia computazionale.

Il problema, risolto in condizioni stazionarie, è inizializzato a temperatura ambiente di 65°C dissipando il massimo della potenza, cioè 40W complessivi. Le condizioni di carico e al contorno così come applicate risultano conservative in termini di vita operativa simulata. In questo modo si è sicuri che ogni altra normale condizioni di funzionamento sia inclusa in questo caso test.

Schede Circuitali (PCB). Le schede circuitali si presentano come un elemento composito: fogli conduttivi di rame si alternano a strati di resina epossidica, detta anche FR4. Per modellare virtualmente un scheda siffatta bisogna conoscere le sue principali caratteristiche: (1) numero di strati isolanti in FR4, (2) numero di fogli di rame e (3) la posizione delle *thermal vias*, le loro caratteristiche materiali e geometriche.

Ottenere, a livello numerico, il corretto comportamento termo-meccanico di una PCB è fondamentale in quanto le performance termiche di un generico circuito integrato, su di essa montato, dipendono da quest'ultima. Diverse possono essere le vie da seguire per la loro modellazione: da quella numericamente più accurata, cioè importando all'interno di SCSTREAM i file Gerber CAD del circuito elettrico (Figura 4), fino alla più veloce dal punto di vista computazione, cioè lavorando con un materiale equivalente.

In questo studio è stata adottata la seconda

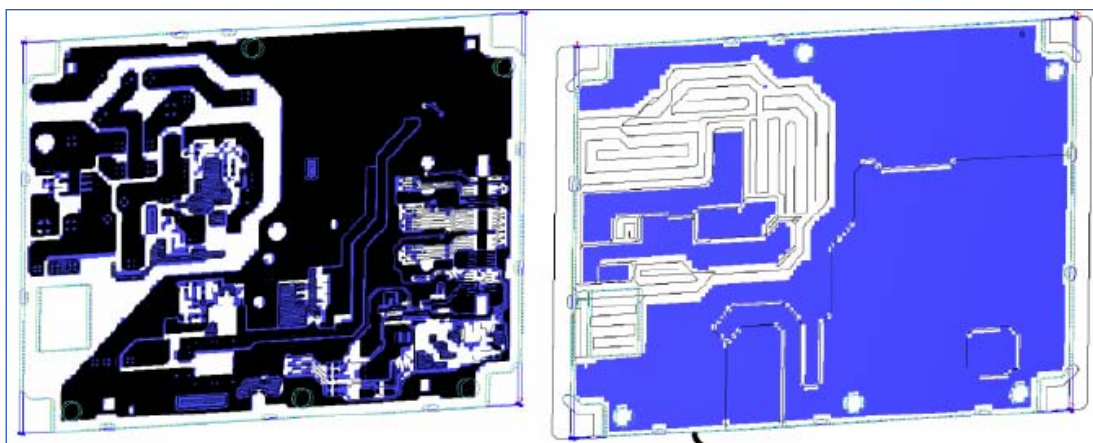


Fig. 4 - Esempio di un Gerber File e circuito elettrico in scSTREAM

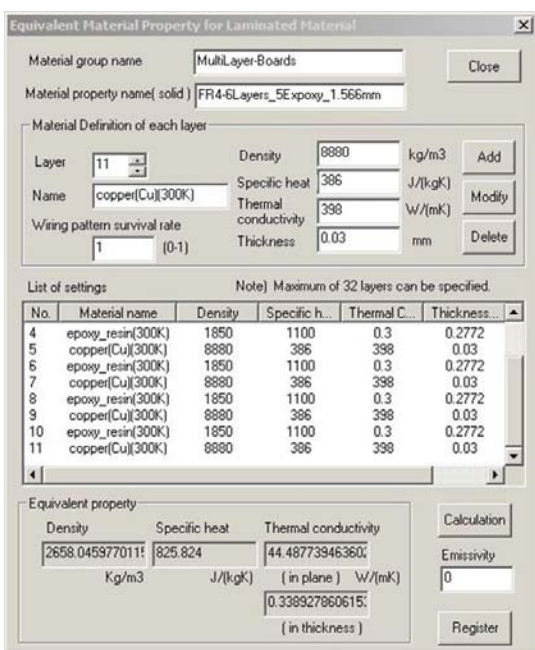


Fig. 5 - Pannello per materiale laminato

opzione: in particolare si è scelto di lavorare con un materiale equivalente che presenta conducibilità termica anisotropa. All'interno di scSTREAM è possibile, mediante opportuni pannelli di comando, combinare le conduttività termiche di ogni singolo strato, di rame o FR4, ottenendo così la resistenza termica nello spessore e nel piano della scheda in questione (Figura 5) Thermal Vias. Generalmente la resistenza termica di una PCB può essere alleviata mediante interconnessioni verticali di rame (conosciute come thermal vias). Queste possono essere modellate o riempiendo la zona in questione di rame (Figura 6) oppure mediante una zona, anche qui, di materiale equivalente di vias e PCB.

Circuiti Integrati. Per modellare un circuito integrato è importante: (1) definire le dimensioni principali, (2) identificare i materiali reali di uti-

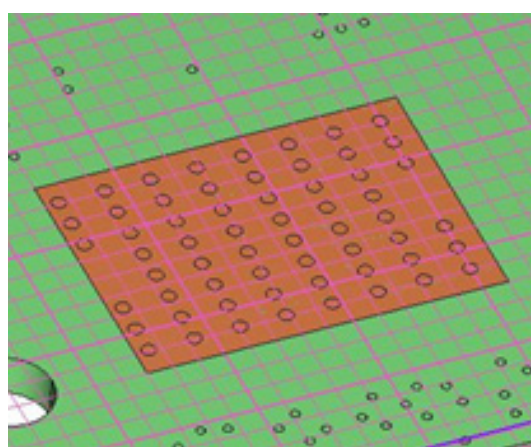


Fig. 6 - Interconnessioni verticali termiche

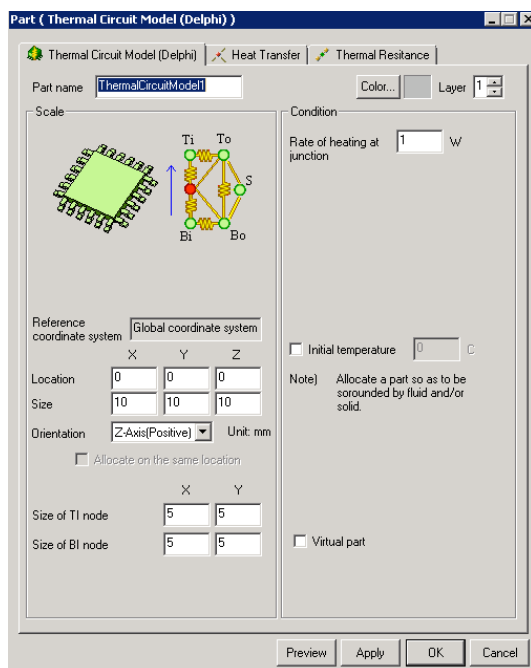


Fig. 7 - Pannello del Thermal Circuit Model (DELPHI)

lizzo, (3) creare l'anima dissipativa interna e (4) modellare le saldature mediante una Thermal Interface Material (TIM). Oppure, se si è in possesso delle informazioni necessarie dal vendor

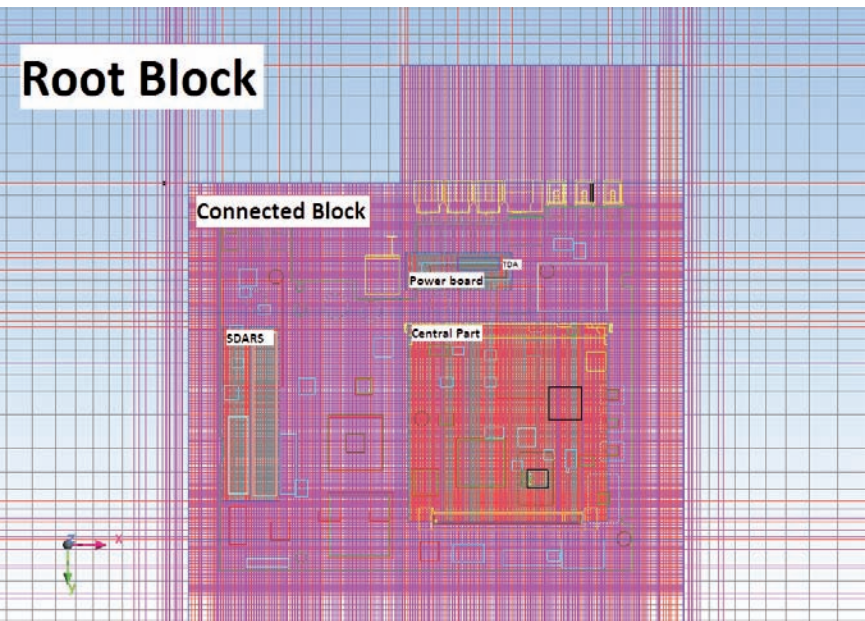


Fig. 8 - mesh a Multi Block usata per il nodo infotelematico

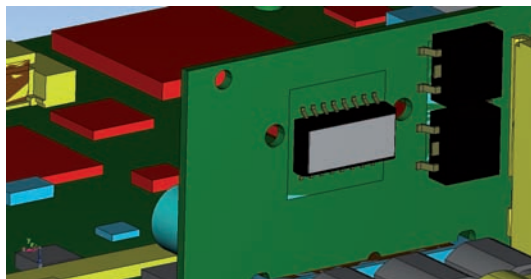


Fig. 9 - TDA sulla powerboard

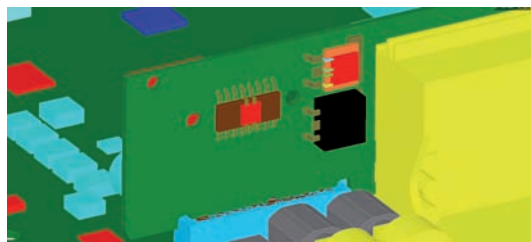


Fig. 10 - Anima ceramica e saldature di IC, particolare del TDA sulla powerboard

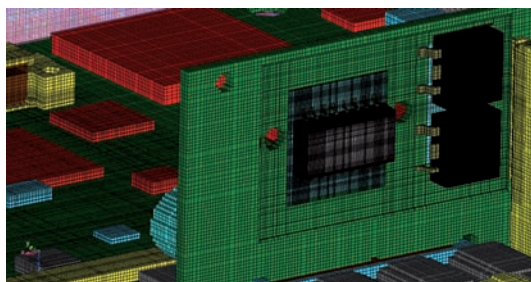


Fig. 11 - Mesh, particolare del TDA sulla powerboard

che produce il circuito integrato in questione, si può utilizzare il modello termico resistivo, presente in scSTREAM, che segue le direttive del progetto DELPHI.

Fan. Il fan è stato modellato non come parte mobile, ma per il suo effetto equivalente, ovvero inserendo nel modello la sua caratteristica curva di pressione-portata.

Mesh. Per creare la mesh del sistema elettronico è stato utilizzato il metodo multiblock, presente in scSTREAM. Generalmente se all'interno di un dominio computazionale è presente un componente di piccole dimensioni, è normale pratica incrementare in quell'intorno la densità della mesh in modo da migliorare l'accuratezza del calcolo. Di contro però, usando solutori a griglia computazionale strutturata, si incorre in un aumento non voluto della discretizzazione degli elementi anche in zone lontane dal luogo di interesse. Per risolvere questo problema si fa utilizzo del metodo Multi-Block. In Figura 8 si può vedere l'albero multi-block utilizzato per il nodo infotelematico in questione.

In questo modo si può ottenere una griglia computazionale veramente ottimale, cercando di discriminare al massimo le informazioni geometriche che più interessano, senza appesantire in alcun modo il modello finale. In Figura 9 sono mostrati dei particolari. Il numero finale di celle così ottenuto è di circa 12 milioni di elementi, le dimensioni dominio computazionale complessivo sono di $380 \times 270 \times 377$ [mm], dimensioni che tengono conto della camera climatica in cui la sperimentazione è stata effettuata.

Risultati e Discussione

Data l'assenza di una dimensione caratteristica utile nel descrivere il regime del flusso, il problema è stato risolto sia in regime laminare sia in turbolento. Per quest'ultimo, date le considerazioni riportate nelle precedenti sezioni è stato utilizzato un modello di turbolenza a basso numero di Reynolds: nello specifico l'Abe-Nagano-Kondoh. È riportato inoltre il caso di simulazione senza e con scambio termico radiativo.

Generalmente in presenza di ventilazione forzata è uso non tenere conto dello scambio termico radiativo, in quanto la sua quota parte è minima rispetto alle altre due modalità di scambio termico. Nel caso in esame però, causa il design di alcune parti interne, il flusso ad alta velocità è confinato solo in una data zona del nodo infotelematico, quindi tutte le

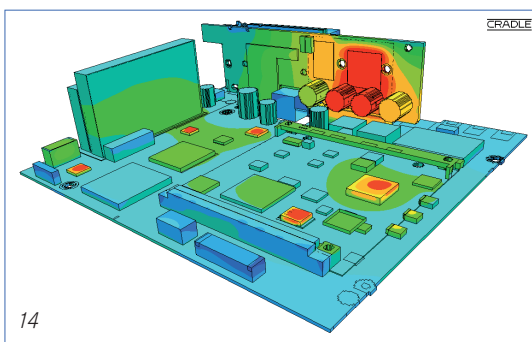
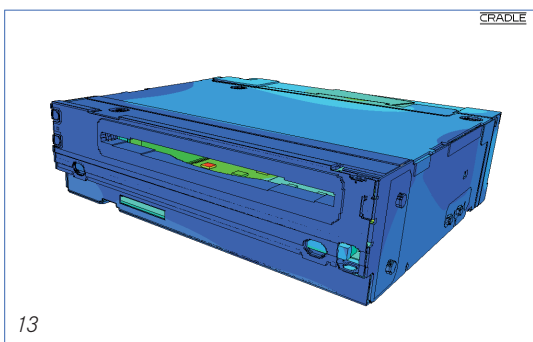


Fig. 13 - Mappa delle temperature sul box

Fig. 14 - Mappa delle temperature sul Main Board, PowerBoard e loro circuiti integrati

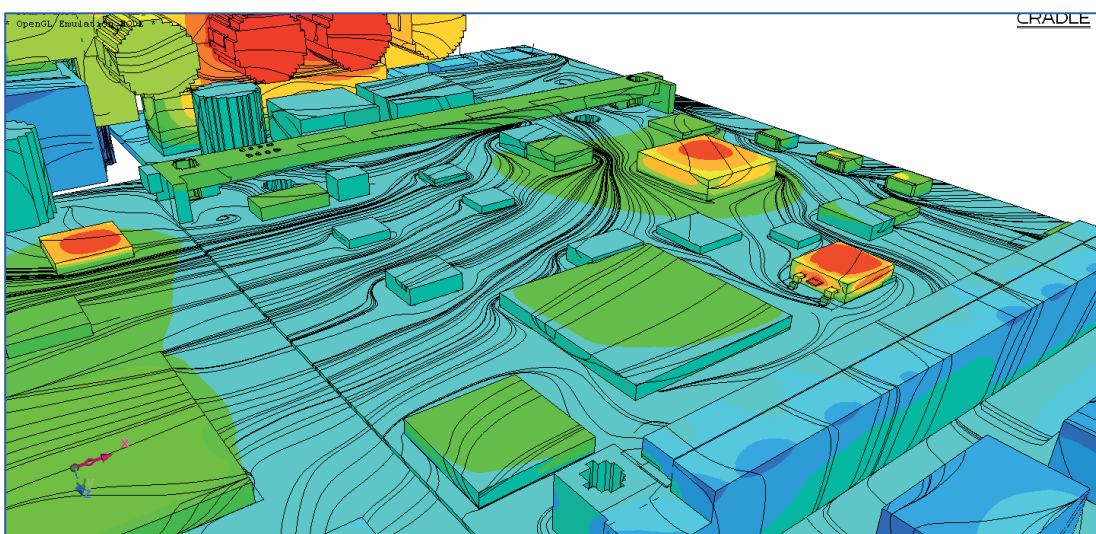


Fig. 15 - Particolare delle linee di corrente a parete sul MainBoard

restanti parti del sistema scambiano tra loro e con l'esterno anche radiativamente. Questo lo si può ben evincere dal confronto tra risultati numerici e sperimentati sotto riportati.

CONCLUSIONI

Lo studio ha messo in luce l'opportunità di usare approcci numerici al fine di risolvere problemi termo-fluidodinamici in sistemi elettronici complessi. È stato messo a punto un modello

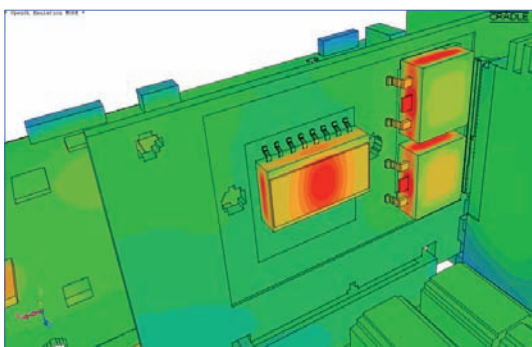


Fig. 16 - Mappa delle temperature sul TDA, si nota l'impronta dell'anima ceramica

Experiment	DDR2	Daughter PCB	Hcat spreader	Hcat sink	Fan outlet air	Mother PBC
laminar flow + no-radiation Prediction DIscrepancy	1.77%	1.36%	3.01%	3.94%	5.74%	5.14%
AKN model + radiation Prediction DIscrepancy	1.13%	1.65%	0.09%	0.1%	2.49%	1.92%

numerico predittivo e flessibile che permetta di caratterizzare velocemente e con un ottimo grado di accuratezza i profili di temperatura dei componenti elettronici, passivi e attivi, installati sulle schede circuitali di un sistema di navigazione radio satellitare. Lo studio mette inoltre in evidenza l'importanza della fase di validazione del modello numerico rispetto alla sperimentazione, fase che è necessaria per

ottenere risultati affidabili e quanto più fedeli alla realtà.

Come esempio è stato studiato un sistema di infotainment che presenta una complessa interazione tra problema termico e problema fluidodinamico.

I risultati numerici sono in ottimo accordo con i valori sperimentali acquisiti.