
Inverse Heat Transfer

Dottoranda: Paola Ranut

Tutor: Prof. Enrico Nobile

Sede: DINMA - Università degli Studi di Trieste, via A. Valerio 10, 34127 Trieste

1 Problemi inversi di scambio termico (Inverse Heat Transfer)

I problemi standard di conduzione, o *problemi diretti*, si occupano della determinazione della distribuzione di temperatura all'interno di un dominio, note le condizioni iniziali, le condizioni al contorno e le eventuali generazioni interne di energia. Viceversa, i problemi conduttivi *inversi* sono associati alla valutazione delle condizioni al contorno, delle generazioni interne e delle proprietà termofisiche a partire da misure di temperatura effettuate in uno o più punti del solido. Pertanto, mentre nel classico problema diretto si conoscono le cause (flusso termico applicato al contorno) e si valutano gli effetti (campo di temperatura nel dominio), in un problema inverso, noti gli effetti, si risale alle cause che li hanno generati.

Le difficoltà connesse alla risoluzione di un problema inverso stanno nel fatto che questo tipo di problemi è *mal posto*. Per definizione, un problema ben posto è caratterizzato dall'esistenza della soluzione, dalla sua unicità e dalla sua stabilità di fronte a piccole variazioni dei dati di input. Mentre l'esistenza della soluzione per un problema inverso è garantita da ragioni fisiche, la sua unicità è provata solo per alcuni casi particolari. Inoltre, un problema inverso è molto sensibile alla presenza di errori casuali nei dati misurati, e pertanto richiede tecniche di soluzione speciali per garantirne la stabilità.

L'attività di ricerca si occupa della valutazione, mediante un'analisi inversa, del flusso termico fornito dall'esterno ad un dominio, a partire da misure multiple di temperatura effettuate all'interno del dominio stesso. Il problema simulato fa riferimento allo scambio termico conduttivo che si realizza nella parete di una lingottiera utilizzata per processi di colata continua dell'acciaio. Conoscere il flusso termico trasferito dall'acciaio fuso alla parete della lingottiera è di fondamentale importanza per il controllo del processo e della qualità dell'acciaio stesso, e per la predizione dei fenomeni di sticking.

Il flusso termico trasferito dall'acciaio fuso alla parete della lingottiera verrà descritto utilizzando un certo numero di parametri P_i . L'obiettivo del problema inverso è quello di ricavare i valori di questi parametri P_i , andando a minimizzare il residuo:

$$S = \sum_{i=1}^M (Y_i - T_i)^2 \quad (1)$$

in cui Y_i è il valore sperimentale della temperatura nel punto i e T_i è il corrispondente valore di temperatura ottenuto dalla risoluzione del problema diretto. Nella precedente formula si è indicato con M il numero totale di sensori utilizzati per le misure.

2 Articolazione dell'attività di ricerca

L'attività di ricerca risulterà complessivamente articolata in tre diverse fasi:

Fase 1 : Analisi di tecniche numeriche per la risoluzione del problema inverso

Fase 2 : Test sperimentali in laboratorio

Fase 3 : Test sperimentali in impianto.

2.1 Fase 1: Analisi di tecniche numeriche per la risoluzione del problema inverso

Il problema diretto verrà risolto utilizzando un codice ai volumi finiti appositamente realizzato in MATLAB, oppure adoperando il software agli elementi finiti COMSOL Multiphysics (in tal proposito è stato scritto uno script in linguaggio MATLAB). La seconda alternativa è da preferire nel caso si voglia simulare un dominio 3D.

La risoluzione del problema inverso verrà effettuata sia utilizzando MATLAB, testando diverse procedure di ottimizzazione (metodo di Levenberg - Marquard, metodo del Gradiente Coniugato ed, eventualmente, metodo dell'Aggiunto), che attraverso il software ModeFRONTIER.

2.2 Fase 2: Test sperimentali in laboratorio

Prima di applicare l'algoritmo numerico ad un problema reale di colata continua, verranno effettuate delle prove sperimentali in laboratorio su un modello di dimensioni ridotte.

L'apparato sperimentale è costituito da una piastra di rame (figura 1), adagiata al di sopra di una vaschetta al cui interno viene fatta circolare dell'acqua di raffreddamento. Sulla superficie della piastra di rame sono collocate 19 resistenze, che, collegate ad un generatore di tensione, verranno successivamente utilizzate per riscaldare la piastra. Per monitorare il campo termico che si realizza nel rame, all'interno della piastra sono state saldate 9 termocoppie a giunto isolato. Per il dimensionamento della vaschetta, sono state effettuate delle simulazioni CFD per analizzare il campo fluidodinamico che si instaura all'interno della stessa. È infatti di fondamentale importanza riuscire ad avere un campo fluidodinamico il più possibile uniforme sotto la piastra di rame: gli eventuali ricircoli possono infatti determinare variazioni significative del coefficiente di scambio termico ed indurre errori considerevoli nell'analisi inversa.

Per le simulazioni CFD è stato utilizzato il software ANSYS CFX 11.0.

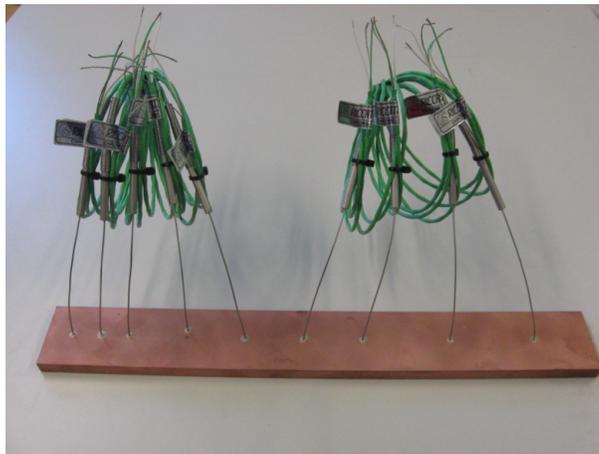


Figura 1: Piastra di rame utilizzata per le prove in laboratorio, con installata all'interno le termocoppie per la misura della temperatura. Sulla superficie del rame sono state successivamente incollate le 19 resistenze riscaldanti. La piastra è stata poi collocata su di una vaschetta, al cui interno verrà fatta circolare l'acqua di raffreddamento.

2.3 Fase 3: Test sperimentali in impianto

Una volta conclusi i test in laboratorio, il lavoro proseguirà con test sperimentali in acciaieria, in un impianto di colata continua. I valori sperimentali di temperatura misurati verranno utilizzati come valori di partenza nella risoluzione del problema inverso di trasmissione del calore su scala impianto.

3 Strumenti di calcolo utilizzati per la ricerca

Per l'attività di ricerca verranno utilizzati i seguenti strumenti di calcolo: MATLAB, ANSYS CFX 11.0, ANSYS ICEM CFD 11.0, COMSOL Multiphysics 3.5a e ModeFRONTIER 4.2.0.