

Design parametrico e ottimizzazione per lo studio di problematiche di trasmissione del calore

Gianluigi Rozza & Francesco Ballarin

- Innovating with Mathematics –
 - Science and Industry Advance with Mathematics –
- SISSA mathLab



20 luglio 2015

Area Science Park, Innovation Network, Confindustria Udine

Focus Technology Workshop

“Traiettorie di sviluppo per il settore del condizionamento e refrigerazione”



Cosa è richiesto dai programmi di simulazione

- Modelli sempre più complessi e di grande dimensione
 - Geometrie complesse
 - Multifisica/Multifase
 - Esplorazione di molti scenari (es. problemi parametrizzati)
 - Ottimizzazione
 - Dimensionamento
 - Controllo
 - Analisi dell'incertezza
-
- ▀ Tempi computazionali lunghi
 - ▀ Elevate risorse di calcolo (costose)
 - ▀ Analisi/Elaborazione

Reduced Order Modelling: la nuova frontiera della matematica computazionale e analisi numerica

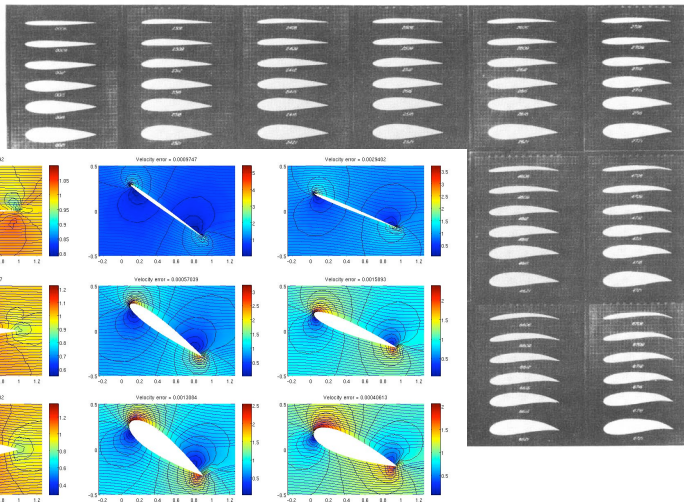
■ Decomposizione Offline/Online delle procedure di calcolo

Offline: calcolo delle soluzioni usate come basi, in maniera automatica e ottimale, per opportune configurazioni (parametri) sui cluster/supercalcolatori italiani: Ulysses (ICTP-SISSA), Galileo e FERMI (CINECA), INFN, cluster aziendali

Online: risoluzione sistema ridotto in *real-time* per ogni combinazione di parametri dati dall'utente (ordine del secondo)

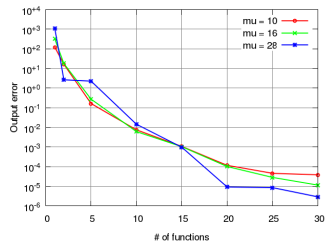
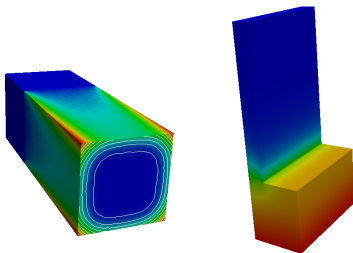
Il sistema ridotto può essere risolto su comuni laptop, tablet e smartphone (dislocazione)





Certificato di affidabilità e accuratezza del calcolo ridotto

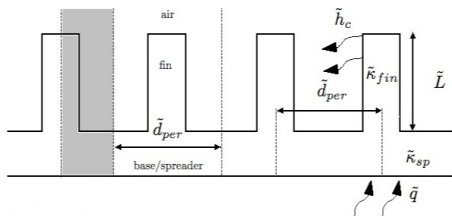
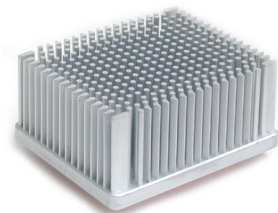
- Stessa accuratezza del sistema originale (FEM, FV, FD)
- Stima rigorosa dell'errore a posteriori (certificazione accuratezza)
- Convergenza rapida (basso numero di funzioni base)



Applicazione a dissipatori alettati

Motivazione

- Dissipatore di calore studiato per il controllo del calore in componenti elettroniche ad elevate densità
- Dominio ombreggiato grazie all'assunzione di periodicità e simmetria (dissipatore formato da multiple alette)
- Aria circolante è modellata come un semplice termine di convezione nel problema di diffusione del calore. Obiettivo: calcolare la temperatura alla base del dissipatore



Parametrizzazione fisica e geometrica

$$\mu_1 = \text{Bi} = \tilde{h}_c \tilde{d}_{\text{per}} / \tilde{\kappa}_{\text{fin}}$$

$$\mu_2 = L = \tilde{L} / \tilde{d}_{\text{per}}$$

$$\mu_3 = \kappa = \tilde{\kappa}_{\text{sp}} / \tilde{\kappa}_{\text{fin}}$$

numero di Biot

altezza dell'aletta

conduttività base / conduttività aletta

$$\mu_1 \in [0.01, 0.5]$$

$$\mu_2 \in [2, 8]$$

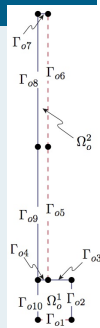
$$\mu_3 \in [1, 10]$$

Applicazione a dissipatori alettati

- Modello: temperatura $u_o(\mu)$ in $\Omega_o(\mu)$ soddisfa l'equazione del calore stazionaria
- Quantità di interesse: temperatura media della base (componente da raffreddare, essendo la zona più calda del dominio)

Equazioni

$$\begin{aligned}
 -\frac{\partial}{\partial x_{oi}} \left(\underbrace{\begin{bmatrix} \mu_3 & 0 \\ 0 & \mu_3 \end{bmatrix}}_{\kappa_{oi}^1} \frac{\partial}{\partial x_{oj}} u_o(\mu) \right) &= 0 \quad \text{in } \Omega_o^1 \quad \left(0, \frac{3}{5} + \mu_2\right) \bullet \left(\frac{3}{20}, \frac{3}{5} + \mu_2\right) \\
 -\frac{\partial}{\partial x_{oi}} \left(\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\kappa_{oi}^2} \frac{\partial}{\partial x_{oj}} u_o(\mu) \right) &= 0 \quad \text{in } \Omega_o^2(\mu_2) \quad \left(0, \frac{3}{5} + \frac{\mu_2}{2}\right) \bullet \left(\frac{3}{20}, \frac{3}{5} + \frac{\mu_2}{2}\right) \\
 \mathbf{n}_{oi} \kappa_{oi}^1 \frac{\partial u_o}{\partial x_{oj}}(\mu) &= 1 \quad \text{su } \Gamma_{o1} \quad \left(\frac{3}{20}, \frac{3}{5}\right) \\
 \mathbf{n}_{oi} \kappa_{oi}^2 \frac{\partial u_o}{\partial x_{oj}}(\mu) + (\mu_1) u_o &= 0 \quad \text{su } \Gamma_R = \Gamma_{o5} \cup \Gamma_{o6} \quad \left(0, \frac{3}{5}\right) \bullet \left(\frac{1}{2}, \frac{3}{5}\right) \\
 \mathbf{n}_{oi} \kappa_{oi} \frac{\partial}{\partial x_{oj}} u_o(\mu) &= 0 \quad \text{su } \Gamma \setminus (\Gamma_{o1} \cup \Gamma_R) \quad \left(0, 0\right) \bullet \left(\frac{1}{2}, 0\right)
 \end{aligned}$$



Quantità di interesse

$$T_{oav}(\mu) = 2 \int_{\Gamma_{o1}} u_o(\mu)$$

Applicazione a dissipatori alettati

Proprietà di approssimazione

# nodi della mesh \mathcal{N}	4198
# di funzioni di base N	≈ 10

Basi ridotte vs Elementi finiti

RB online	0.13s ($N = 7$)
tempo per la valutazione	0.15s ($N = 13$)
soluzione EF $\mu \rightarrow s^{\mathcal{N}}(\mu)$	1.96s

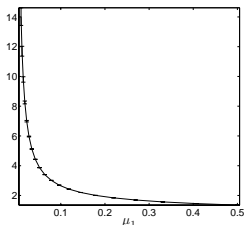


Figura: Output RB e errore RB in funzione di μ_1 , fissati $\mu_2 = 2$, $\mu_3 = 1$ e $N = 6$.

Tempi computazionali

- ★ Riduzione 400:1 nella dimensione del sistema lineare
- ★ Valutazione online RB richiede solamente il 5 – 6% del costo computazionale EF

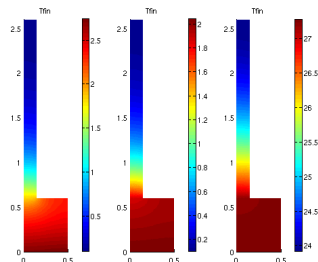


Figura: Temperature online per alcuni valori dei parametri: $\mu = (0.5, 2, 1)$, $\mu = (0.5, 2, 5)$, $\mu = (0.01, 2, 10)$.

Cosa si potrà fare ... in real-time

- ✓ Ottimizzazione (di forma) per componenti
- ✓ Controllo (flussi/termico)
- ✓ Valutazioni input-output
- ✓ Dimensionamento sistema/impianto
- ✓ Assimilazione di dati sperimentali e confronto dati simulati
- ✓ Problemi parametrizzati inversi (progettazione)
- ✓ Analisi di sensitività dei parametri
- ✓ Quantificazione dell'incertezza (e scenari complessi)
- ✓ Stima dei parametri (e proprietà)

Sviluppo di una piattaforma software: ingegnerizzazione

- Utilizzo di codici/librerie open-source/commerciali e accoppiamento con programmi esistenti
 - Risoluzione di problemi multifisici/multifase nello stesso ambiente computazionale
 - Interfaccia grafica intuitiva e innovativa (per non esperti, fase di calcolo nascosta all'utente): black-box
 - Elevata portabilità del software verso piattaforme ad ampia diffusione
 - tablet
 - smartphone
 - web-based apps
- con un nucleo/database preparato in precedenza su computer performanti

Stretta sinergia tra Università/Ricerca e Industria

- Per mantenere il prodotto *at the cutting edge technology* in ambito matematico/computazionale
 - Necessaria una rete di collaborazione internazionale (già esistente)
- Per dare visibilità al “prodotto”
 - ▶ nazionale
 - ▶ internazionale
- Rispondere alle sfide del mondo industriale. Adatto alle grandi, medie e piccole imprese.

Rete di collaborazione

- MIT
 - EPFL
 - Ulm University
 - Paris VI
-
- Parchi scientifici e tecnologici
 - Distretti tecnologici regionali
-
- ▶ Adesione iniziativa COST
EU-MORNET TD1307,
cooperazione in scienza e
tecnologia
-
- Universität Stuttgart
 - Politecnico di Milano
 - Aachen RWTH
 - SISSA (MHPC, AMMA, Ulysses, mathLab)
-
- Software houses
 - Start-ups
 - Imprese (grandi, medie, piccole)

Multifisica in reattore nucleare Gen IV

Neutronica

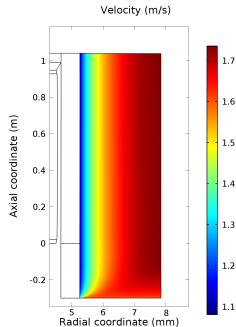
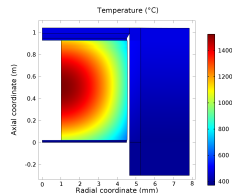
- Equazione a sei gruppi energetici
- Accoppiamento intrinseco tra le proprietà nucleari e gli effetti termici

Termo-idraulica

- Modello di turbolenza $k - \varepsilon$
- Sorgente di calore calcolata dal flusso neutronico

Termo-meccanica

- Elasticità lineare
- Deformazioni



MODELLISTICA E PROBLEMI

- Analisi termica
- Conduzione, convezione (forzata e naturale)
- Termo-fluidodinamica
- Termo-elasticità
- Interazione fluido-struttura
- Multifisica
- Mezzi porosi
- Multifase (in corso di studio)

FOCUS

- Parametrizzazione fisica
- Parametrizzazione geometrica (complessità crescente)
- Accoppiamento intrinseco tra le proprietà fisiche e gli effetti termici

PROSPETTIVE

- Fenomeni di instabilità in meccanica dei fluidi