

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS PER LO STUDIO DI FLUSSI TURBOLENTI

La *Computational Fluid Dynamics* (CFD), ovvero la simulazione al computer di fenomeni fluidodinamici, si è ormai affermata quale strumento di grande utilità per lo studio e la comprensione degli aspetti teorici di base dei flussi turbolenti, in fase sia di transizione che di turbolenza sviluppata. Questo tipo di studio permette di realizzare e/o validare modelli per le simulazioni di applicazioni realistiche (si pensi, ad esempio, ai modelli di turbolenza per i flussi di interesse industriale) o di accedere a informazioni quantitative (campi di velocità e di temperatura) nei casi in cui sperimentalmente non sia possibile come, ad esempio, nel caso della turbolenza convettiva ad alti numeri di Reynolds. L'evoluzione delle risorse computazionali permette di simulare configurazioni estremamente complesse raggiungendo una risoluzione, e quindi una qualità dei risultati, elevata.

Offerta

Per lo studio degli aspetti fondamentali della turbolenza, il CASPUR fornisce anzitutto risorse computazionali adeguate, sia in termini di ore di CPU che in termini di memoria necessaria: un tipico *run* può arrivare a chiedere qualche milione di ore di CPU e una memoria totale dell'ordine del TeraByte. Per questa tipologia di problemi, inoltre, il CASPUR possiede competenze diffuse su analisi dati, *post processing* e visualizzazione grafica di grandi *data set*, che frequentemente superano le decine di TeraByte. È infine indispensabile la profonda conoscenza delle tecniche di ottimizzazione e di efficiente parallelizzazione di codici fluidodinamici, in quanto questa tipologia di simulazione richiede l'attenta pianificazione dell'attività di produzione e dell'uso delle risorse.

Collaborazioni

Negli ultimi anni, il CASPUR ha attivato numerose collaborazioni finalizzate allo studio di aspetti fondamentali della turbolenza. Tra i progetti più interessanti è possibile citare:

- **Studio delle proprietà statistiche della turbolenza in presenza di Shear** (Prof. R. Piva, Dott. P. Gualtieri): il focus dell'attività è verificare come l'imposizione di una forzante alteri le statistiche dei flussi turbolenti rispetto al caso classico di turbolenza omogenea e isotropa. Il CASPUR ha collaborato alla parallelizzazione del codice in MPI, con uno studio specifico dei più efficienti algoritmi da implementare.
- **Approcci di calcolo efficienti per la progettazione di generatori eolici** (Prof. S. Campobasso, Dott.ssa M. Botti, Dott. F. Salvatore): la progettazione di rotor eolici richiede la considerazione di complessi fenomeni aerodinamici, la cui analisi necessita di tempi di calcolo molto elevati. Il CASPUR ha collaborato alla parallelizzazione e ottimizzazione del codice multiblocco comprimibile che offre un'ampia gamma di solutori e di metodologie numeriche per tali simulazioni.
- **Convezione con bolle** (Prof. R. Verzicco, Prof. P. Oresta): il fenomeno della convezione naturale costituisce il motore fondamentale dei moti atmosferici e oceanici e trova innumerevoli applicazioni (dai sistemi di raffreddamento agli impianti per la produzione di energia). L'ascesa di bolle complica notevolmente il fenomeno sia per l'azione meccanica di trascinamento del fluido da parte delle bolle sia per l'interazione termodinamica tra liquido e gas.
- **Riduzione della turbolenza ad opera di polimeri** (Prof. C. Casciola, Dott. E. De Angelis): è noto che la presenza di polimeri nei flussi tende a ridurre l'attrito, ma non è ancora chiaro per quale meccanismo fisico questo accada.
- **Effetto della rugosità di parete su flussi turbolenti** (Prof. S. Leonardi, Prof. P. Orlandi): si tratta di uno studio parametrico del profilo di velocità e dell'attrito associato di un flusso a parete in presenza di rugosità, al variare delle caratteristiche della superficie.

- **Turbolenza lagrangiana** (Prof. F. Toschi, Dott. A. Lanotte): studio degli effetti dei moti turbolenti su particelle dotate di massa finita (e.g. il moto di gocce d'acqua nelle nuvole) con particolare riferimento ai fenomeni di aggregazione (*clustering*).

Risultati

I lavori prodotti al CASPUR hanno avuto un notevole impatto sulla comunità scientifica del settore, come dimostrato dalle numerose pubblicazioni su riviste internazionali di eccellenza. Molti dei lavori intrapresi continueranno nel 2012 anche dell'ambito dei progetti Standard HPC Grant 2012 per la richiesta di risorse di calcolo.

Il Prof. Verzicco inoltre ha ricevuto richiesta di rendere disponibili i dati delle simulazioni di turbolenza convettiva alla comunità dei ricercatori che ne potranno far uso per progettare e validare gli esperimenti numerici e reali. Il CASPUR ha curato la messa a punto di tale *repository*, della dimensione di circa 5TB e dotato di un'interfaccia web che consente agli utenti di scaricare con facilità i dati disponibili o di inviarne di nuovi, catalogandoli opportunamente.



Fig. 1 Configurazione istantanea di una simulazione numerica di un liquido, contenuto in un cilindro, scaldato dal basso (e raffreddato in alto) con il trasporto di bolle al suo interno. Nelle tre sezioni sono raffigurate con colori diversi le zone a diversa velocità verticale (in rosso la massima velocità verso l'alto ed in blu la corrispondente verso il basso).

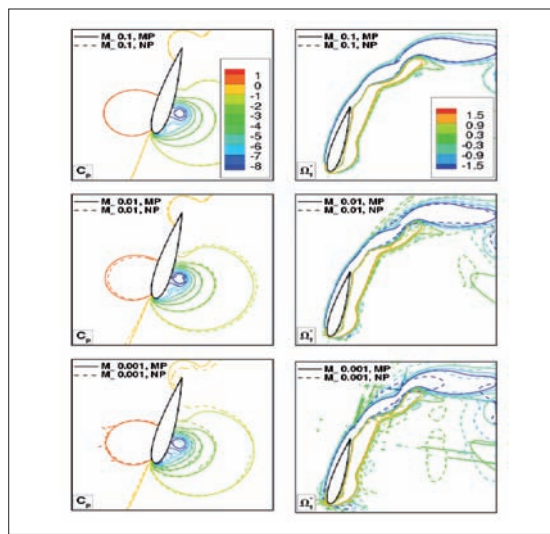


Fig. 2 Simulazione di un'ala oscillante per tre diversi valori di freestream Mach M_∞ (dall'alto in basso 0,15; 0,01; 0,001). Le figure permettono di confrontare, attraverso le zone di livello, il coefficiente di pressione statica C_p (colonna a sinistra) e la vorticità normalizzata Ω_f^* (colonna a destra). Le linee continue e tratteggiate rappresentano i risultati delle simulazioni con o senza low speed preconditioning rispettivamente.

Bibliografia essenziale

- Schmidt, L.E., Oresta, P., Toschi, F., Verzicco, R., Lohse, D., Prosperetti, A. (2011). Modification of turbulence in Rayleigh-Bénard convection by phase chang. *New J. of Phys.* **13**.
- Lakkaraju, R., Schmidt, L.E., Oresta, P., Toschi, F., Verzicco, R., Lohse, D., Prosperetti, A. (2011). Effect of vapor bubbles on velocity fluctuations and dissipation rates in bubbly Rayleigh-Bénard convection. *Phys. Rev. E*.
- Jackson, A., Campobasso, M.S. (2011). Shared-memory, Distributed-memory and Mixed-mode Parallelization of a CFD Simulation Code. *Computer Science Research and Development* **26**, 187-195.
- Gualtieri, P., Picano, F., Sardina, G., Casciola, C.M. (2011). Clustering and turbulence modulation in particle laden shear flows. *J. Phys: Conf. Series* **333**.
- Gualtieri, P., Meneveau, C. (2010). Direct numerical simulations of turbulence subjected to a straining and destraining cycle. *Phys. Fluids* **22**.