Zeitschrift: Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

Herausgeber: Società Svizzera Ingegneri e Architetti

Band: - (2009)

Heft: 3

Artikel: Simulazione numerica nella dinamica dei fluidi

Autor: Casartelli, Ernesto

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-134270

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Simulazione numerica nella dinamica dei fluidi

Ernesto Casartelli*

La simulazione numerica nel settore della dinamica dei fluidi (anche detta «CFD» dall'inglese Computational Fluid Dynamics) è uno strumento ormai indispensabile in molti settori, sia industriali che ricreativi, dove lo studio del comportamento dei fluidi nelle svariate componenti e macchine viene eseguito prevalentemente al computer. In uno stadio successivo dello sviluppo del prodotto, in vari casi molto avanzato, viene costruito il prototipo per eseguire misure di validazione e verificare i risultati numerici. È importante sottolineare che, anche se la parte virtuale dello sviluppo diviene sempre più importante, al momento non è ancora possibile sostituire completamente i prototipi con dei risultati numerici.
L'aeronautica e la corsa allo spazio sono sicuramente stati i primi motori, già negli anni '60, che hanno incentivato lo sviluppo di tecniche numeriche nel campo della fluidodinamica. Successivamente, negli anni 70-80, il campo si è ampliato allo studio di flussi confinati, come per esempio in condotte, valvole e in turbomacchine.
I codici usati allora erano sviluppati prevalentemente nelle università, dove c'era la possibilità di usare moderni calcolatori elettronici.
Negli anni '90 sono apparsi i cosiddetti codici commerciali, che man mano hanno allargato il campo di applicazione in praticamente ogni settore, industriale e non. Con l'aumento incredibile della capacità di calcolo dei computer è divenuto così possibile realizzare simulazioni complesse in ambito industriale o addirittura «domestico».
I codici universitari vengono ora usati prevalentemente per la ricerca di base, dove si migliorano le tecniche numeriche o si sviluppano modelli utilizzati per ridurre la complessità fisica, come nel caso della turbolenza o delle correnti multifasiche, dove i fenomeni non possono essere risolti esplicitamente per svariate ragioni.

Basi

La dinamica dei fluidi viene descritta tramite tre equazioni fondamentali della fisica:

- la conservazione della massa;
- la seconda legge di Newton («forza = massa x accelerazione»);
- la conservazione dell'energia.

Per la seconda legge di Newton vengono usate 3 equazioni, una per ogni direzione indipendente del campo di velocità, che è una grandezza vettoriale. A differenza del moto di particelle singole, nella fluidodinamica si ha normalmente a che fare con un cosiddetto continuo. Ne consegue che per descrivere ogni grandezza che viene utilizzata (per esempio le componenti della velocità, pressione, temperatura) si ha a che fare con un campo e non con valori unici e discreti.
Mentre le leggi di Newton erano conosciute già nel 17esimo secolo, le equazioni per descrivere la dinamica dei fluidi furono sviluppate solo nel 19esimo secolo. Un passo molto importante in questa direzione fu compiuto già nel 18esimo secolo dallo svizzero L. Euler, che derivò le equazioni per il continuo, tralasciando però la forza d'attrito, che allora non era ancora compresa dettagliatamente. Le equazioni complete, che includevano la forza d'attrito interno del fluido, furono derivate separatamente da C. Navier e G. Stokes. La seconda legge di Newton applicata alla dinamica dei fluidi è così conosciuta come le «equazioni di Navier-Stokes».
Si tratta di equazioni differenziali parziali non lineari, che normalmente non hanno una soluzione analitica se non per casi semplici con condizioni al contorno idealizzate.
A complicare il tutto entra in gioco una particolarità dei fluidi: il movimento del fluido può avere due regimi, quello laminare (cioè «ordinato») e quello turbolento, con oscillazioni caotiche delle varie grandezze. Quest'ultimo regime è descrivibile solo attraverso modelli e/o quantità statistiche ed è di per se sempre instazionario.
Per le ragioni sopra elencate è necessario, nella maggior parte dei casi, ricorrere a delle tecniche numeriche per ottenere una soluzione del movimento del fluido. Uno degli approcci più comuni per discretizzare numericamente le suddette

equazioni è quello dei volumi finiti. Si definisce un volume di controllo per il problema da analizzare e poi lo si divide in piccoli volumi (esaedri, tetraedri, prismi, piramidi), che formano la griglia di calcolo. Per ogni piccolo volume vengono poi valutate iterativamente le equazioni discretizzate, finché si arriva ad una soluzione convergente che rispetta le condizioni al contorno prescritte.

Nel caso di una corrente turbolenta resta l'incognita delle fluttuazioni delle varie grandezze, che caratterizzano l'attrito interno del fluido. Con l'uso di modelli più o meno sofisticati si chiude il sistema di equazioni, in modo da poterlo risolvere.

Campi di applicazione

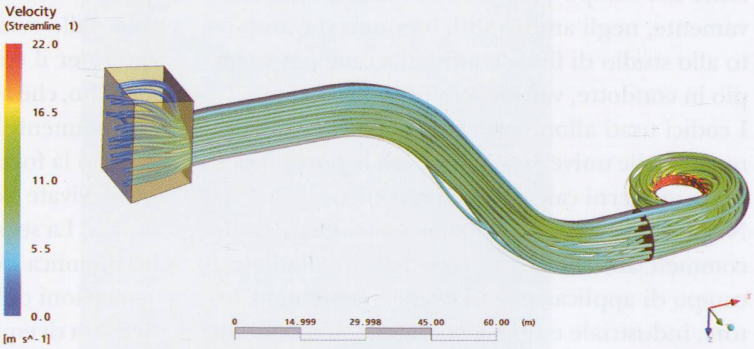
Al giorno d'oggi si effettuano le simulazioni più disparate, da classiche correnti monofasiche (valvola, tubatura, ecc.) fino alla simulazione dell'interazione di due auto di Formula 1 in sorpasso con deformazione della vettura in curva (interazione fluido-struttura). Non mancano certamente applicazioni con correnti multifasiche (spray, cavitazione, miscele liquido/gas, combustione), nelle quali viene anche calcolato il cambio di stato di aggregazione.

Qui di seguito alcuni esempi di campi d'applicazione:

- aeronautica: dal profilo alare bidimensionale all'aereo completo nelle più diverse manovre;
- turbomacchine: componenti singole, interazione rotore-statore, calcolo della caratteristica, studio di fenomeni di instabilità;
- motori a combustione;
- meteorologia: calcolo numerico delle previsioni del tempo;
- ambiente: calcolo della propagazione di sostanze inquinanti nell'atmosfera o in laghi e mari;
- tecnologia alimentare: comportamento di masse con caratteristiche non-newtoniane (fluidi cioè, per i quali la legge d'attrito non è direttamente proporzionale alla deformazione del fluido, come è il caso ad esempio per aria e acqua), per esempio cioccolata o gelato;
- edifici: correnti naturali e forzate (ventilazione), propagazione di sostanze tossiche (incendi, gas nocivi), aerodinamica esterna (vortici, interazione con altri edifici);
- tunnel: simulazione di incendi;
- sport: regata (Alinghi), Formula 1, canottaggio, nuoto, sci, bob, ciclismo, ecc.;
- microfluidi: celle a combustibile, microreattori, micromiscelatori;
- biologia: flusso del sangue nel corpo, volo degli uccelli/insetti, nuoto dei pesci;
- geologia: estrazione del petrolio, movimento di magma.

In tutti questi settori l'applicazione di tecniche avanzate di simulazione consente di eseguire analisi che altrimenti non sarebbero possibili, oppure lo sarebbero solo a costi proibitivi. Si pensi ad esempio alle enormi difficoltà ed ai costi legati allo studio sperimentale di fenomeni di combustione (motori, turbomacchine, incendi ecc.) oppure di fenomeni intrinsecamente instazionari (manovre estreme di aerei e automobili, applicazioni biologiche ecc.). La simulazione permette inoltre di ottimizzare macchine e componenti, per mezzo dell'analisi numerica di un numero elevato di varianti costruttive o funzionali. Particolarmente importante è inoltre l'elevato livello di dettaglio spaziale e temporale dei risultati ottenuti, che permette all'ingegnere di capire le ragioni dei risultati osservati e di sviluppare soluzioni migliori.

Nei seguenti esempi, calcolati al o in collaborazione con il centro di competenza «Fluido Meccanica e Macchine Idrauliche» (CC FMHM) della SUP della Svizzera Centrale (SUPSC), vengono illustrate varie possibilità di utilizzo della simulazione numerica della meccanica dei fluidi.



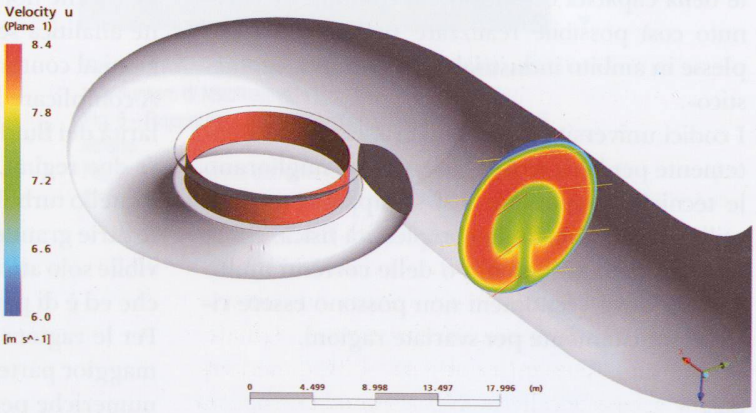


Fig.1 – Diga delle tre gole (Cina): studio del flusso nella condotta forzata
Fig. 2 – Diga delle tre gole (Cina): dettaglio della distribuzione di velocità all'ingresso della chiocciola

Esempi

Diga delle tre gole (Cina)

La portata delle condotte è una grandezza molto importante da determinare per poter avere sotto controllo le centrali idroelettriche. Quando le tubature raggiungono diametri di 10 metri e più, le tecniche convenzionali di misura arrivano ai propri limiti. Un metodo per determinare la portata di tali condotte è basato sull'acustica (ultrasuoni). In una sezione vengono inviati impulsi di ultrasuoni, in direzione della corrente e controcorrente. Dalla differenza di tempo impiegata dal segnale si può ricostruire il profilo di velocità e quindi, integrando, la portata. Come si vede in Fig. 1, il flusso principale è disturbato da un flusso secondario, dovuto alla curvatura della condotta. In Fig. 2 si vede chiaramente che la distribuzione di velocità nella sezione è molto irregolare. Con l'uso della simulazione si può determinare quanti trasmettitori sono necessari per poter misurare la portata in maniera adeguata e in seguito si possono calibrare i segnali ricevuti, in modo da ottenere un risultato accettabile (in questo caso l'errore nella misura della portata è stato inferiore all'1%).

Macchine idrauliche

Turbine del tipo Pelton sono molto sensibili alla qualità del getto, che deve essere il più uniforme possibile. Fig. 3 rappresenta l'interazione del getto con la girante per una macchina a tre getti. Grazie alla simulazione numerica si può studiare in dettaglio come il getto viene tagliato dalle pale e come viene evacuata l'acqua in uscita. In questo caso la simulazione aiuta i designer a capire nei particolari il flusso dell'acqua e a migliorare il rendimento della macchina apportando le modifiche necessarie.

A1 CC FMHM vengono sviluppate tecniche di visualizzazione del getto per poter validare i risultati numerici.

Ventilazione di edifici

Un altro campo nel quale la simulazione si è affermata è lo studio di movimenti d'aria in edifici, usata per esempio al centro di competenza «Tecnica integrale degli edifici» della SUP della Svizzera Centrale (SUPSC Lucerna). Nell'esempio qui illustrato è visualizzata la distribuzione della temperatura in una sala conferenze per due diverse varianti di ventilazione. Nella prima (originale) l'aria fresca viene introdotta dal soffitto mediante due grosse bocchette. Nella seconda (proposta di miglioramento) l'aria viene introdotta lungo un canale situato sotto le sedie. È chiaramente vi-

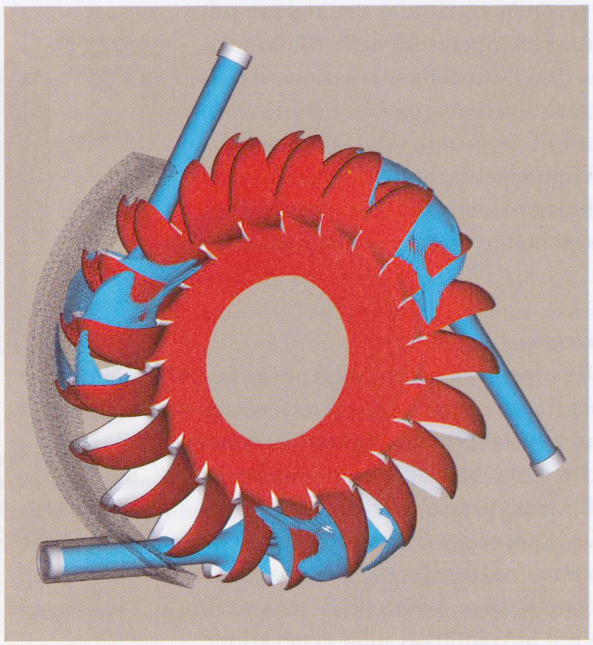


Fig. 3 – Studio dell'interazione getto-girante di una turbina Pelton. Il flusso d'acqua è a superficie libera (calcolo eseguito al CSCS di Manno in collaborazione con Andritz Hydro)

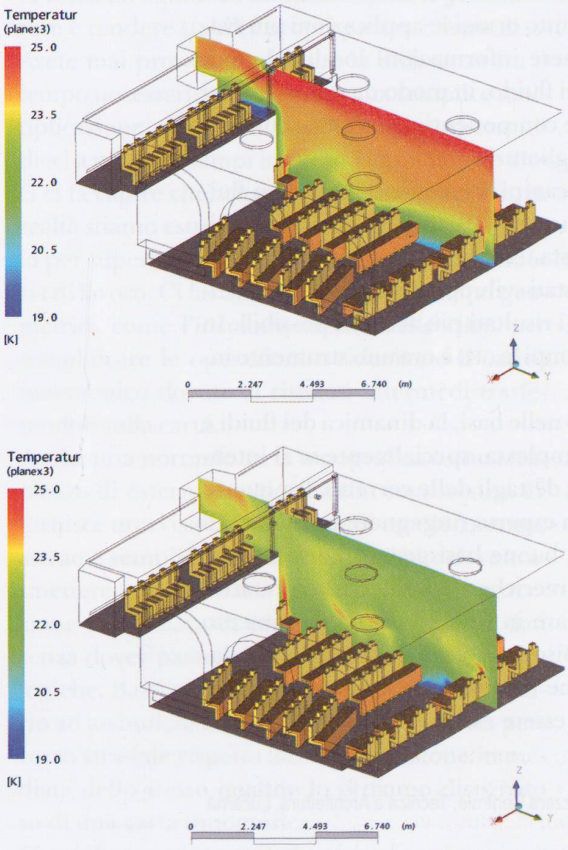


Fig. 4 – Distribuzione della temperatura in una sala conferenze: raffronto di due varianti di ventilazione. Sopra: configurazione originale. Sotto: risultato dell'ottimizzazione

sibile che la seconda variante è nettamente migliore in quanto la temperatura nella sala è molto più uniforme. Con l'uso della simulazione si possono confrontare diverse varianti in tempi brevi e a costi ragionevoli. Dopo una valutazione accurata si passa all'implementazione, riducendo così i rischi di malfunzionamento e i costi dovuti ad un eventuale risanamento ancora prima della consegna.

Camera di combustione

La forma della camera di combustione è un fattore chiave per il buon rendimento di tutti gli apparecchi in cui viene effettuata una combustione. Questo è anche il caso per stufe automatiche. In uno studio effettuato presso il Centro di Competenza «Tecnica Energetica e dei Processi» della SUP della Svizzera Centrale (SUPSC Lucerna) sono state paragonate diverse forme della camera di combustione e il loro influsso sulla generazione di sostanze inquinanti, in modo da ottimizzare il processo. Fig. 5 mostra la concentrazione di CO nella stufa.

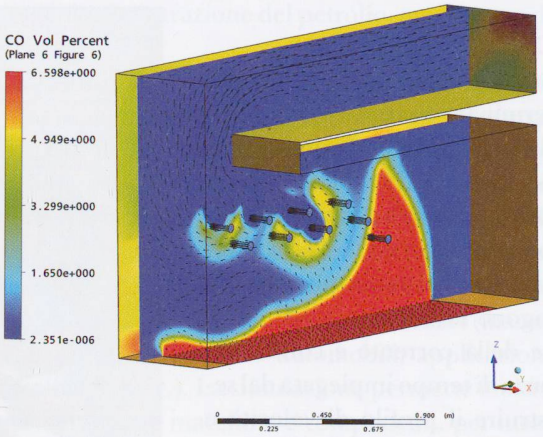


Fig.5 – Distribuzione della concentrazione di CO in una stufa automatica funzionante a gasificazione di legna, potenza 1 MW. Nello studio vengono paragonate diverse geometrie della camera di combustione e l'influenza dell'apporto di aria secondaria sulla combustione

Conclusione

La simulazione nel campo della dinamica dei fluidi ha raggiunto ormai le applicazioni più svariate per ottenere informazioni locali sul comportamento del fluido, in modo da poter capire i fenomeni nelle componenti e macchine studiate e in seguito migliorarle.

In quasi tutti i campi immaginabili dove un fluido è involto sono stati fatti test per identificare l'idoneità di questa tecnica. In caso di risultati positivi sono poi stati sviluppati programmi specifici per ottenere i risultati più accurati possibili. In questi ultimi campi la CFD è ora uno strumento indispensabile.

Come spiegato nelle basi, la dinamica dei fluidi è una scienza complessa, specialmente se si intende investigare i dettagli delle correnti. Per questo è necessario un esperto (ingegnere o un team di ingegneri) con buone basi generali e specifiche conoscenze numeriche per poter interpretare i risultati e portare in fine ad un miglioramento del prodotto. Bisogna sottolineare che la simulazione può anche fornire risposte non corrette e queste devono essere riconosciute come tali.

* Prof. Dr., SUP Svizzera Centrale, Tecnica e Architettura, Lucerna