

# Simulazione e fluidodinamica



**1. La simulazione ha molteplici campi applicativi:** automotive, trasporti, componenti, logistica, aerospaziale, meccanica, energia.

La ricerca scientifica in campo fluidodinamico è quella che trae forse più beneficio dalla simulazione di sistemi. Lo studio di un prototipo può essere effettuato mediante realizzazione di serie di pezzi differenti e sperimentazione estensiva oppure mediante simulazione del processo in atto e ottimizzazione virtuale prima di passare alla produzione vera e propria.

## La simulazione in teoria

A rigor di logica il concetto di simulatore è molto ampio e riunisce tutti i casi in cui si cerchi di prevedere nella teoria le possibili evoluzioni di un'entità al variare delle sue caratteristiche.

Un modello è a tutti gli effetti un simulatore, basti pensare ad un simulatore di volo che riproduce il comportamento di un aereo sulla base del modello dell'aereo stesso; in questo caso quanto viene simulato è l'evolversi delle condizioni dell'aereo stesso durante la sua interazione con il pilota. La distinzione tra modello e simulatore è molto

aleatoria: si può per esempio ipotizzare che un modello serva a descrivere un fenomeno in termini matematici, mentre un simulatore serva a prevederne l'evoluzione; un simulatore di un componente può definirsi il modello ipotetico dello stesso se funzionasse in accordo con la teoria.

Comunemente sono conosciuti come simulatori quello degli aerei, di cui si è già parlato, e tutti i sistemi che riproducano qualcosa per insegnarne l'utilizzo all'uomo: navi, treni, veicoli ma anche sottomarini e reattori nucleari. I software di simulazione sono invece noti solo ad una ristretta cerchia di persone, gli 'addetti ai lavori', mentre la percezione comune è che la simulazione computerizzata si utilizzi in aerodinamica per riprodurre fenomeni quali la portanza delle ali o l'evolversi del fluido attorno ad una macchina da Formula 1. In commercio esistono software di simulazione dedicati alle più svariate tecnologie: Pspice che unisce le funzioni di CAD per elettronica a quelle di simulatore di circuiti, Flexsim, software dedicato

Innovare per competere:

è questa la formula

per molte aziende.

La simulazione virtuale

nel comparto

della componentistica

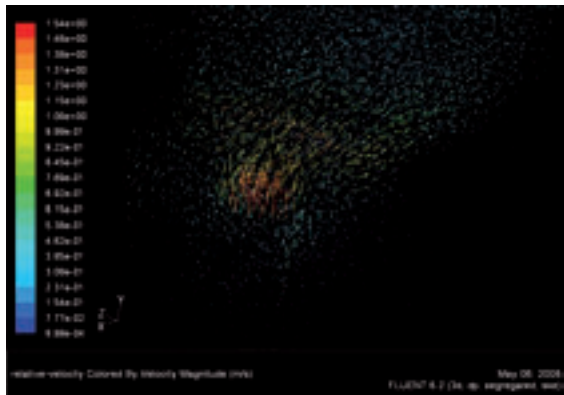
apporta dupli benefici

sia tecnologici

sia della riduzione dei rischi

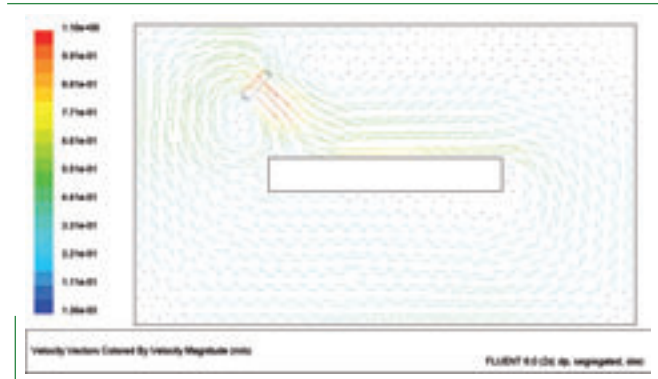
e dei costi nella fase

precedente la produzione



**2. Visualizzazione 3D** del campo di velocità in Fluent.

**3. Modello Fluent** di una girante immersa in un fluido.



alla logistica che tra i vari moduli propone anche una soluzione per lo studio dei terminal portuali da container. Un'immagine esplicativa delle funzionalità offerte da questo prodotto è rappresentata dalla figura 1, tratta da un modello dimostrativo di Flexsim; si tratta della simulazione di un terminal portuale per la movimentazione di container tra nave e terra.

### Parametri concentrati o distribuiti

Per quanto riguarda la simulazione in ambito fluidodinamico esistono software che possono calcolare l'evolversi di un fluido in un componente o attorno ad un ostacolo oppure addirittura simulare le interazioni termiche e il raffreddamento di un'apparecchiatura. Ogni modello viene studiato e costruito con gli strumenti che il software mette a disposizione raggiungendo livelli di dettaglio sempre maggiori; dopodiché è possibile prevedere come si evolverà il sistema oggetto di analisi e supportare adeguatamente le fasi di progettazione.

Vi sono due fondamentali categorie di simulatori che operano in fluidodinamica: i sistemi a parametri concentrati e a parametri distribuiti. Questi ultimi vengono molto spesso considerati come gli unici simulatori fluidodinamici in quanto riproducono esattamente quello che il fluido fa in una determinata situazione analizzando il comportamento dello stesso in ogni suo punto. In un simulatore a parametri distribuiti è necessario costruire il componente che si desidera analizzare, sia esso ad esempio un profilo alare o una valvola. La costruzione del modello avviene disegnando lo stesso in 2 o 3 dimensioni e suddividendo lo spazio contenente il fluido in celle elementari; l'insieme di queste celle, denominato mesh, rappresenta quindi una divisione dello spazio in punti ove si presume che il fluido mantenga costanti le proprie condizioni fi-

siche. Il calcolo vero e proprio avverrà in ognuno di questi punti applicando le equazioni caratteristiche del fluido in esame, calcolando le interazioni tra una cella e l'altra e ottenendo come risultato una mappatura delle variabili di interesse. Il numero e le dimensioni delle celle elementari costituenti la mesh sono scelti in base a criteri di ottimizzazione delle prestazioni; il reticolo viene reso più fitto nelle zone in cui si prevede che le variazioni delle caratteristiche fisiche del fluido, della velocità e della pressione siano più repentine. In un profilo alare, ad esempio, sarà necessario avere un reticolo più fitto in corrispondenza del bordo d'attacco e di uscita e comunque vicino alla superficie, mentre l'ambiente esterno, a distanza rilevante dal profilo, potrà essere analizzato in meno punti. Teoricamente la mesh potrebbe essere tutta uguale, molto fine, analizzando con dettaglio e precisione tutti i punti dello spazio ma ciò, oltre ad essere poco rilevante ai fini scientifici, richiederebbe una potenza di calcolo notevole a causa dell'enorme numero di punti coinvolti. Le mesh in certi casi possono essere veramente fitte: numeri di punti che raggiungono il milione sono di uso comune e tempi di elaborazione di ore, anche giorni, non spaventano gli addetti ai lavori. Il compromesso tra precisione e tempi di calcolo permette di effettuare il lavoro ottimizzando le prestazioni ma non è sempre facile da ottenere.

Un discorso importante che finora è stato tralasciato riguarda la definizione delle condizioni al contorno. Ritornando agli esempi di profilo alare e della valvola, bisogna, per il primo, definire la velocità dell'aria indisturbata (in cui si muove il profilo) nonché temperatura e pressione (in poche parole la quota di volo); una valvola invece richiederà la defini-

zione delle condizioni in cui si trovano le varie porte, in pratica la pressione a monte e a valle, oppure nel caso dell'idraulica, la portata transitante. Ovviamente le condizioni al contorno non possono essere ridondanti, si pensi ad un'equazione dove le condizioni al contorno rappresentano i termini

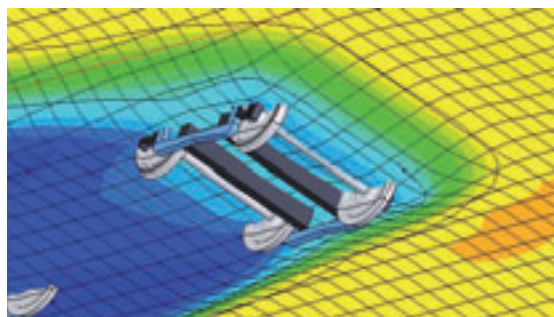
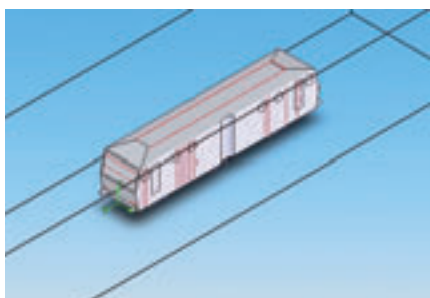
noti e il simulatore calcola le varie incognite. La simulazione a parametri concentrati invece, molto usata per descrivere il comportamento di componenti entro un sistema complesso, rappresenta un'applicazione delle equazioni che descrivono l'evoluzione del fluido entro il componente; in questo caso non interessa più scoprire come e dove si muova il fluido, ma semplicemente cosa leghi le variabili che rappresentano le connessioni del componente stesso con l'ambiente esterno. Una valvola idraulica, per esempio, può essere descritta da un sistema di equazioni differenziali che legano variabili come pressioni e portate nelle varie bocche e possono includere anche l'apertura dell'otturatore (solitamente in percentuale) oppure il segnale di pilotaggio. Ovviamente questi due metodi forniscono risultati diversi ed hanno utilità diverse, ma non è raro che vengano utilizzati entrambi in cascata. Sempre richiamando le valvole idrauliche è possibile, a prezzo di elevati tempi di calcolo, costruire mappature del comportamento del componente nei casi in cui non sia disponibile una descrizione analitica efficiente, basandosi sulla sua struttura interna e simulando il tutto con un metodo a parametri distribuiti. I risultati, sotto forma di equazioni e tabelle, verranno in seguito utilizzati in un modello a parametri concentrati che rappresenta il componente e dice cosa fa senza che le sue evoluzioni interne siano più considerate. Questo sistema permette di effettuare i calcoli impegnativi una volta per tutte e utilizzare i risultati (magari linearizzandoli) per gli step successivi dove ad essere simulato è il circuito complessivo.

## Prodotti specifici

Dopo aver chiarito alcuni aspetti fondamentali della simulazione, si citano due esempi di software in commercio che vengono solitamente utilizzati per la simulazione in campo fluidodinamico.

Fluent è un prodotto che è stato sviluppato principalmente per la simulazione di sistemi ad aria ma permette l'inserimento dei parametri caratteristici di ogni tipo di gas essendo dotato inoltre di un ricco database comprendente la maggior parte dei gas utilizzati in ambito tecnico. Si tratta di un software proprietario che è stato recentemente acquisito da Ansys per arricchire il proprio portafoglio di offerta (tradizionalmente basato sulla simulazione Cae) con l'aggiunta della tecnologia allo stato dell'arte nel campo della fluidodinamica computazionale (Cfd). In commercio da oltre 20 anni Fluent permette di simulare, oltre al moto dei fluidi, lo scambio termico e tutti i fenomeni correlati quali la turbolenza, le reazioni chimiche e i fluidi multifase. Si tratta quindi di un simulatore fluidodinamico a parametri distribuiti che, prima della sua acquisizione da parte di Ansys, comprendeva in pacchetto tutti gli strumenti per la creazione e il calcolo di un modello. Un editor 3D assimilabile ad un CAD denominato Gambit consentiva di costruire il modello solido o in sezione del sistema che si voleva simulare per poi crearne l'opportuna mesh; il prodotto offriva funzioni per ottimizzare la mesh, infittire il reticolo dove necessario e cambiare anche il tipo di celle elementari, permettendo di mescolare più tipologie di celle nello stesso modello. Terminata la definizione delle superfici di controllo (sempre con Gambit) si passava successivamente al programma Fluent vero e proprio, un ambiente molto semplice e leggero dal punto di vista delle risorse software, con il quale si definivano le condizioni al contorno e si effettuavano i calcoli veri e propri. L'ultimo passo, detto anche post-processing dei dati, era svolto integralmente

**4. Disegno di locomotiva**  
incluso nel volume di controllo.



**5. Modulo della velocità**  
sotto la cassa della locomotiva.

da Fluent che metteva a disposizione strumenti per la rappresentazione dei dati in due o tre dimensioni nonché la loro esportazione per il trattamento con altri programmi. Nelle figure 2 e 3 un esempio molto semplificato dei risultati che si possono ottenere utilizzando il codice Fluent: in questo caso si tratta del campo di velocità prodotto da una girante immersa in un fluido che interagisce contro un ostacolo.

## Software multifunzioni

La famiglia Solidworks, di cui il capostipite è l'omonimo programma di modellazione solida, annovera tra i suoi componenti un software di simulazione agli elementi finiti, chiamato Cosmos FloWorks, che effettua calcoli fluidodinamici ed utilizza il Solidworks stesso per costruire le geometrie dei prototipi. Si tratta di un ottimo esempio di integrazione tra un software di disegno ed una moltitudine di programmi di calcolo e simulazione. Cosmos non prevede solo il modulo fluidodinamico ma anche altri programmi in grado di effettuare l'analisi degli sforzi sui materiali oppure di simulare condizioni dinamiche come ad esempio gli urti anelatici.

La potenza di questi strumenti è notevole sebbene richiedano hardware molto performanti, forse anche più di quanto sia richiesto da software più leggeri e con meno funzionalità; sicuramente le differenze nella praticità di utilizzo e nelle possibilità offerte devono essere tenute in debito conto in caso si effettui un paragone. Le figure 4 e 5 mostrano come sia possibile ottenere un modello fluidodinamico partendo da un semplice disegno.

L'esempio si basa su di un veicolo, in questo caso una locomotiva disegnata in SolidWorks che viene inclusa in un volume di controllo (rappresentato in figura 4); si tratta di un modello di dimensioni modeste con pochi punti costruito solo per analizzare i percorsi dell'aria (sopponendo il mez-

zo in corsa a 130 km/h) e mostrare le capacità del software. Partendo dal disegno solido con circa 10 minuti di lavoro (incluso il post processing) e 30 di calcolo si ottiene una soluzione con un discreto grado di accuratezza i cui valori possono essere riportati in un grafico come quello in figura 5, che rappresenta il modulo del vettore velocità nello spazio tra i carrelli.

## Programmi Cfd open source

Alcuni ricercatori hanno sviluppato programmi indipendenti che non sono mai stati messi in commercio ma distribuiti gratuitamente secondo le regole cosiddette Open Source. Questi software sono liberamente utilizzabili, hanno prestazioni simili a quelli commerciali ma a causa del limitato supporto tecnico, riconducibile ad un aiuto via mail o via forum, richiedono notevoli dosi di preparazione scientifica e di pazienza per il loro utilizzo.

Open Flower, letteralmente (Open Source Flow Solver) è un software Cfd libero sviluppato principalmente per la risoluzione delle equazioni di Navier-Stokes in regime turbolento. Può lavorare con mesh ibride arbitrariamente complesse, supporta quasi tutte le forme di cella elementare e viene interfacciato con programmi altrettanto Open quali Gmsh per la creazione dei modelli e Tecplot per il post processing.

Open Flower è stato lanciato nel febbraio 2004 da alcuni ricercatori molto volenterosi che volevano incoraggiare lo sviluppo comune e indipendente nell'ambito della Computational Fluid Dynamics. La ragione principale era quella di unificare il lavoro di centinaia di studenti di dottorato e ricercatori che sviluppano il loro codice personale per la risoluzione di un problema; purtroppo la maggior parte di questi lavori è destinata ad essere accantonata quando il ricercatore in questione cambia ambito di lavoro o lascia l'università. Il progetto OpenFlower permette che questi sforzi non restino confinati al caso specifico e porta sviluppo e conoscenza in un ambiente dove la ricerca ha sempre terreno molto fertile; in questo modo garantisce una sorta di immortalità a lavori che sarebbero forse destinati ad essere dimenticati.

*R. Grassi, Politecnico di Torino*