

I VANTAGGI DELLA CFD

Negli ultimi anni si è assistito a un vero e proprio boom della fluidodinamica computazionale (computational fluid dynamics). Questa disciplina è oggi ampiamente utilizzata in ambito industriale. Vantaggi e qualche suggerimento

La CFD è una disciplina della fisica applicata nata intorno agli anni '60, il cui nome è l'acronimo inglese di Computational Fluid Dynamics, vale a dire Fluidodinamica Computazionale. Come risulta evidente dal nome si tratta dello studio, tramite l'uso del calcolatore, della dinamica del flusso di un fluido, nel quale possono essere presenti fenomeni fisici quali lo scambio termico, la radiazione, le reazioni chimiche, ecc. La CFD nasce nell'ambito dell'industria aerospaziale per lo sviluppo di nuovi aerei e di lanciatori spaziali. Il successivo sviluppo teorico della CFD e l'impressionante crescita della potenza di calcolo dei calcolatori elettronici hanno determinato negli ultimi anni un vero e proprio boom della disciplina, oggi largamente applicata in ambito industriale, nonché nella ricerca universitaria. In questo breve articolo cercheremo di conoscere un poco più da vicino la CFD e di presentare i possibili vantaggi del suo uso in ambito industriale.

CHE COSA È LA CFD

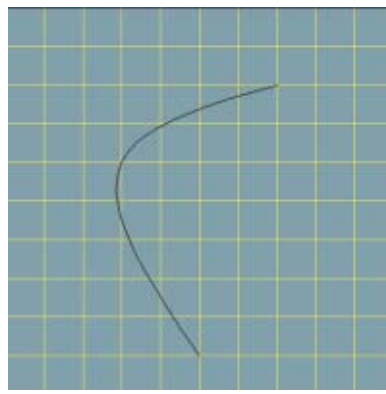
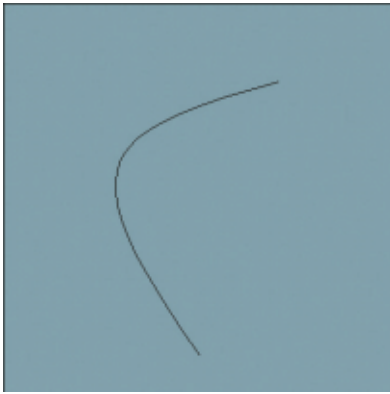
Iniziamo dunque con il chiederci che cosa sia la CFD. Si è detto che si tratta dello studio della dinamica dei fluidi. Immaginiamo dunque di considerare un fluido in moto (flusso) e di isolarne un volume qualsiasi (volume di controllo). La dinamica dei fluidi ci insegna che, per tale volume di controllo e per una generica grandezza Φ , è possibile scrivere una legge di conservazione di Φ nel volume di controllo considerato. Tale legge di conservazione ha forma del tipo:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Variazione nel tempo} \\ \text{di } \Phi \\ \text{nel volume di controllo} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Flusso netto convettivo di } \Phi \\ \text{attraverso le pareti del} \\ \text{volume di controllo} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Generazione netta} \\ \text{di } \Phi \\ \text{nel volume di controllo} \end{array} \right]$$

La generica grandezza Φ sarà di volta in volta la massa, la quantità di moto, l'energia, ecc. Il sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali non lineari che si ottiene scrivendo queste leggi di conservazione prende il nome di sistema di Navier-Stokes, e si scrive così:

Massa	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0$
Quantità di moto	$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + S_{M_i}$
Energia	$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho E u_j) = -\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i p) + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j \tau_{ij}) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\kappa \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + S_E$
Tensore degli sforzi viscosi	$\tau_{ij} = 2\mu S_{ij} - \frac{2}{3}\mu \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k}$
Equazione di stato	$p = p(\rho, T)$

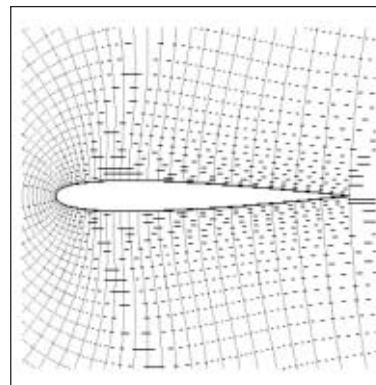
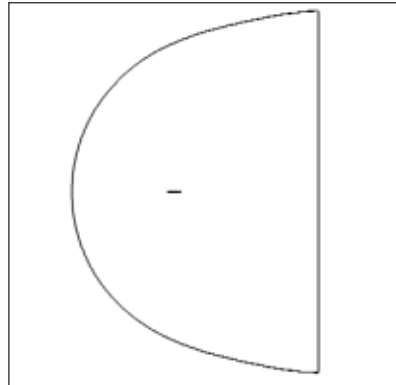
Trattandosi di un sistema di equazioni differenziali, è poi necessario, per la sua integrazione, assegnare un sufficiente numero di condizioni al contorno e un'opportuna condizione iniziale. Non è questa la sede per discutere nei dettagli il sistema di Navier-Stokes; basti qui ricordare che la sua risoluzione analitica è impossibile salvo per rari casi particolari. E allora? Allora occorre ricorrere alla via numerica. Da qui la nascita della CFD. Come la soluzione di un'equazione algebrica è una quantità scalare (un numero, in altre parole), così la soluzione analitica di un'equazione differenziale è una certa funzione ϕ , in generale continua, o continua a tratti, nello spazio in cui ϕ esiste ed è definita (per esempio lo spazio tridimensionale + il tempo). La risoluzione numerica di un'equazione differenziale non viene però ottenuta in uno spazio continuo, ma in un dominio discretizzato, sia nello spazio, sia, in generale, nel tempo. In altre parole si tratta di sostituire al dominio continuo della parte sinistra della figura 1, quello reticolare della parte destra della stessa figura. La funzione ϕ , soluzione dell'equazione differenziale, sarà quindi nota in ogni punto del reticolo, o griglia computazionale. Ovviamente tanto



1. La funzione ϕ è nota: in forma analitica in tutto lo spazio continuo (figura di sinistra), tramite l'integrazione numerica nei soli punti della griglia discreta (figura di destra).

so indisturbato. Ecco perché, come appare nella parte sinistra di figura 2, il contorno è stato posto sufficientemente lontano dal profilo, sì da poter considerare come vera l'ipotesi di flusso indisturbato. Una volta individuato il dominio di calcolo, occorre costruire la

più è fine il passo della griglia computazionale, tanto maggiore sarà la precisione con cui la funzione ϕ è nota. Come detto in precedenza, la CFD è oramai definitivamente uscita dal mero ambito della ricerca universitaria, per entrare prepotentemente nel mondo industriale.



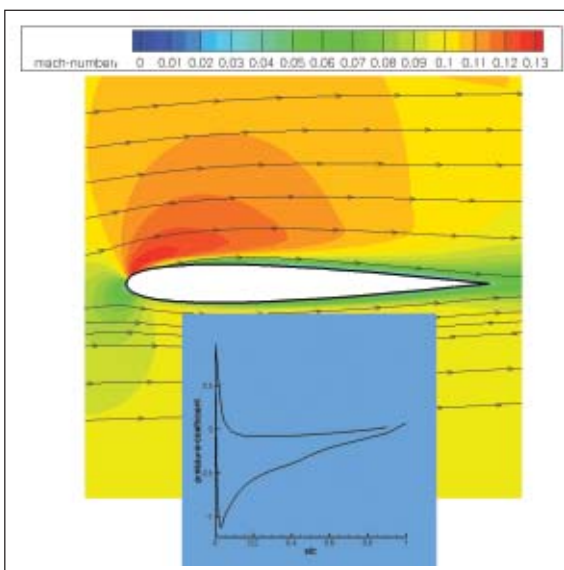
2. Sinistra: estensione del dominio di calcolo intorno al profilo; destra: particolare della griglia computazionale.

L'AMBITO INDUSTRIALE

Oggi occorre pensare alla CFD come ad una qualsiasi altra tecnica di indagine sperimentale, che, rispetto all'esperimento in laboratorio, presenta una serie di vantaggi. A titolo di esempio, si supponga di voler determinare la curva caratteristica di prestazione di un profilo alare, ad esempio il NACA 0012. È solo un esempio di carattere accademico, ma che permette di mettere in evidenza alcuni aspetti generali. Determinare le prestazioni del profilo significa calcolare il valore del coefficiente di pressione del profilo (misura della portanza da esso sviluppata), e di quello di resistenza (misura della resistenza aerodinamica offerta dal profilo), per un certo campo di angoli di incidenza. Nel caso si volesse condurre lo studio per via sperimentale, si dovrebbe realizzare un modello del profilo, strumentarlo con una serie di prese di pressione superficiali, ed eventualmente disporre intorno ad esso una serie di sonde aerodinamiche per la misura del campo di velocità. Dopo aver effettuato la taratura degli strumenti, occorrerebbe eseguire

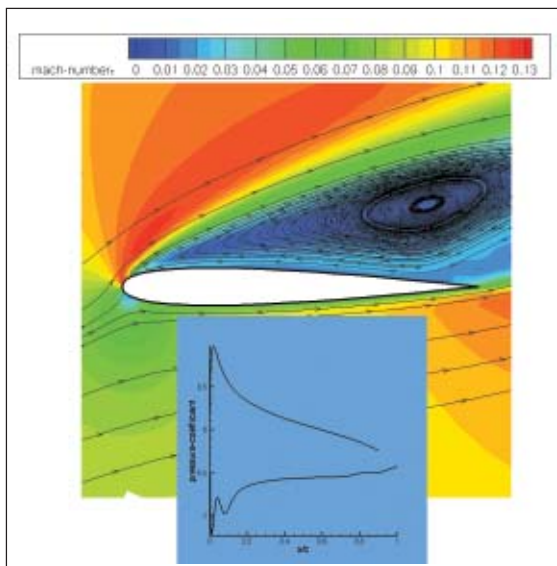
una serie di prove al variare dell'angolo del flusso incidente sul profilo e all'elaborazione dei risultati con tecniche statistiche. Nel caso si volesse utilizzare la CFD per condurre lo stesso studio, occorrerebbe anzitutto decidere l'estensione del dominio computazionale, le cui dimensioni dipenderanno dal tipo di condizioni al contorno che si intende utilizzare. Nel caso in studio si sono imposte sul contorno del dominio le condizioni del flusso

griglia computazionale, come quella rappresentata nella parte destra della figura 2. La procedura numerica attraverso la quale il sistema viene integrato è una procedura iterativa, ed il numero di iterazioni necessario per risolvere il problema dipende dallo schema numerico utilizzato, dalla complessità del problema, ecc. La soluzione del caso in esame ha richiesto circa 60 iterazioni per ogni angolo di incidenza esaminato (un paio di minuti sul PC



3. Linee di corrente intorno al profilo NACA 0012 nel caso di angolo di incidenza $i = 3^\circ$. Il campo a colori rappresenta la distribuzione del numero di Mach (rapporto della velocità locale del flusso e della locale velocità del suono). Nel riquadro è riportata la distribuzione del coefficiente di pressione lungo la coordinata adimensionale della lunghezza del profilo x/c

$$(c_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2})$$



4. Linee di corrente intorno al profilo NACA 0012 nel caso di angolo di incidenza $i = 18^\circ$. Il campo a colori rappresenta la distribuzione del numero di Mach. Nel riquadro è riportata la distribuzione del coefficiente di pressione lungo la coordinata adimensionale x/c .

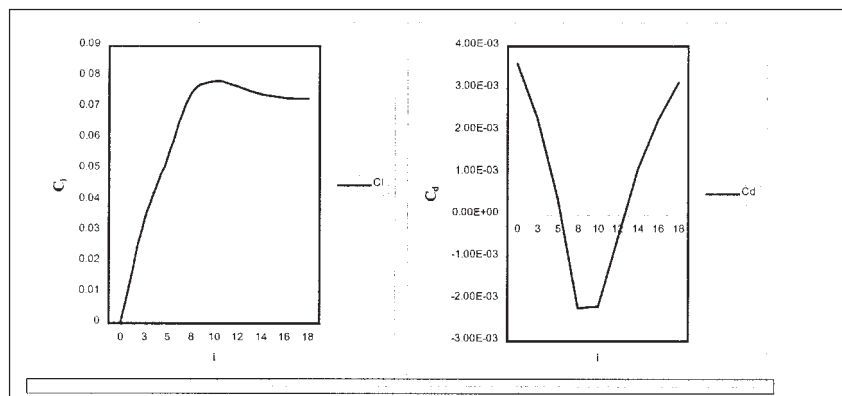
5. Coefficienti di portanza (sinistra) e di resistenza (destra) in funzione dell'angolo di incidenza per il profilo NACA 0012.

di casa). In totale, tra generazione della griglia computazionale, calcolo e rappresentazione grafica dei risultati, il problema è stato risolto in un paio di ore. Le figure 3 e 4 mostrano il campo del numero di Mach nell'intorno del profilo alare. Nelle stesse figure è pure rappresentato l'andamento del coefficiente di pressione lungo il profilo. Infine in figura 5 sono riportati gli andamenti dei coefficienti di portanza e di resistenza in funzione dell'angolo di incidenza, cioè le caratteristiche cercate del profilo. L'esempio svolto permette di mettere in evidenza alcuni vantaggi della sperimentazione numerica rispetto a quella condotta in laboratorio.

VANTAGGI E CONSIDERAZIONI

Rapidità: si ha un sensibile risparmio di tempo. Ogni volta che si voglia condurre lo studio sperimentale su una nuova geometria, occorre costruirne materialmente il modello, strumentarlo e quindi sottoporlo a test.

L'indagine numerica richiede la realizzazione di una nuova griglia computazionale per ogni nuova geometria, la cui generazione però, per quanto complessa, richiederà tempi di gran lunga inferiori a quelli propri dell'indagine sperimentale. Il tempo di calcolo per problemi con geometrie molto complesse può essere solo una frazione del tempo di generazione della griglia; dettaglio dei risultati: le figure 3 e



4 dell'esempio svolto permettono di apprezzare come, con l'uso della CFD, le grandezze di interesse siano note in ogni punto del campo, e non solo in un limitato numero di posizioni spaziali come accade nell'indagine sperimentale. Questo consente una migliore comprensione del fenomeno in studio ed offre al progettista uno strumento efficace per la ricerca di migliori scelte progettuali; costi: la CFD costa molto meno dell'indagine sperimentale.

Questa è la ragione per la quale, a esempio, la quasi totale progettazione del nuovo Boeing 7E7 è fatta tramite l'uso della CFD, riservando all'indagine sperimentale il quasi esclusivo ruolo di verifica finale delle prestazioni. Il costo dei calcolatori è crollato drasticamente negli anni e non sembra voler invertire questo trend.

Oggi il costo maggiore è quello del software. Tipicamente una licenza industriale per un pacchetto com-

merciale costa alcune decine di migliaia di Euro l'anno. I software commerciali (quali Fluent, CFX, Star-CD, per citare i più diffusi sul mercato) sono tutti più o meno qualitativamente equivalenti, offrono un numero impressionante di modelli fisici e sono di facile utilizzo (anche se vale sempre la regola che per fare della buona CFD occorre personale esperto). Il loro lato "negativo", se vogliamo, è che probabilmente la maggior parte delle possibilità che offrono non sarà mai utilizzata dal cliente, perché non utile alla risoluzione di quel particolare problema. A esempio, per un'industria che costruisce ventilatori, anche il più sofisticato mo-

dello di combustione (che paga nella licenza) è inutile. Le alternative possibili sono o l'appaltare all'esterno dell'azienda la sperimentazione numerica, talvolta alle stesse aziende produttrici del software (alcune delle quali forniscono questo tipo di servizi alla clientela), o ricorrere a centri di ricerca per la fornitura di software personalizzato sulle reali esigenze dell'azienda stessa.

COSA DIRE

In conclusione, la CFD appare oggi essere diventata uno strumento maturo e sempre più indispensabile per lo sviluppo di nuovi prodotti industriali a più elevato contenuto tecnologico, che siano in grado di competere sul mercato in termini di qualità.

M. Talice, ricercatore esperto Gruppo CFD CRS4.

www.readerservice.it n.255