

MODELLAZIONE DELLA TURBOLENZA: INTRODUZIONE ALLE TECNICHE NUMERICHE "RANS" E "LES"

Valerio D'ALESSANDRO *

* *Ingegnere Termomeccanico; Dottorato di Ricerca in "Energetica"; Gruppo di Termofluidodinamica, Università Politecnica delle Marche*

INTRODUZIONE

Tutti i giorni siamo circondati da fluidi in condizioni dinamiche. L'atto di moto dei fluidi che ci circondano è caratterizzato da un complesso stato dinamico a cui si dà il nome di *turbolenza*. La simulazione di flussi in regime di moto turbolento riveste un particolare interesse dal punto vista industriale, ad esempio, ed è per questo motivo che negli ultimi decenni molti ricercatori e centri di ricerca si stanno concentrando su questo problema.

Nel seguito di questa breve trattazione viene data una spiegazione delle strategie adottate nelle principali tecniche di simulazione numerica dei flussi turbolenti:

- *Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations (RANS)*;
- *Large Eddy Simulation (LES)*.

TECNICA NUMERICA "RANS"

Nelle applicazioni pratiche, in generale, la sola conoscenza delle grandezze medie può essere sufficiente alla soluzione del problema relativo ad un flusso turbolento; l'idea di base della tecnica RANS è quella di derivare equazioni per le sole grandezze medie (medie nel tempo) a partire dalle equazioni di Navier-Stokes, al fine di potere ridurre l'enorme carico computazionale richiesto dalla DNS. Il moto medio, inoltre, può essere sia bidimensionale che stazionario, contrariamente alla DNS che richiede sempre equazioni 3D ed in stazionarie (questo può essere particolarmente vantaggioso nella simulazione di determinate condizioni fluidodinamiche).

L'equazioni per il moto medio che si ottengono sono esteticamente simili a quelle di Navier-Stokes fatta eccezione per la divergenza del tensore degli sforzi di Reynolds. Gli sforzi turbolenti di Reynolds sono del tutto fittizi rispetto alla realtà fisica e quantificano il trasferimento di energia cinetica dal moto medio alle strutture turbolente.

La differenza fra le equazioni di Navier-Stokes e le RANS non è purtroppo solo estetica in quanto mentre le equazioni di Navier-Stokes costituiscono un problema differenziale chiuso, le RANS non lo sono affatto perché il tensore di Reynolds aggiunge altre 6 incognite al problema. Il problema appena citato è noto come *Problema di chiusura della turbolenza* il quale, in generale, viene risolto introducendo dei modelli per le fluttuazioni turbolente i quali devono riprodurre l'azione dei termini fluttuanti sul moto medio riconducendo i valori degli sforzi turbolenti a sole grandezze relative al moto medio, e, l'idea comunemente usata per raggiungere tale obiettivo è quella di troncare il numero di equazioni ad un certo ordine e modellare le incognite di ordine superiore con delle relazioni approssimate.

L'ostacolo principale alla genesi di appropriati Modelli di Turbolenza è quello di coprire l'intervallo più ampio possibile dello spettro turbolento; in quanto le piccole scale sono isotrope ed universali, infatti, presentano le stesse proprietà indipendentemente dalla direzione di osservazione ed in tutte le correnti turbolente senza vincoli in termini di stazionarietà o meno delle condizioni al contorno. Le strutture turbolente di dimensione maggiore, invece, hanno un comportamento dinamico intimamente connesso con il tipo di corrente turbolenta in esame e ciò è alla base della scarsa generalità dei Modelli di Turbolenza che si prefiggono l'obiettivo di rappresentare l'intero spettro turbolento ed è (il primo macro difetto) uno principali problemi delle simulazioni RANS perché è necessario calibrare il modello (esistono in letteratura dei "magic numbers" che permettono questo).

I principali modelli di turbolenza introducono, inoltre, la viscosità cinematica turbolenta, che contrariamente a quella tradizionale, ha la peculiarità di variare sempre da punto a punto del fluido e di essere sempre instazionaria.

L'introduzione della viscosità cinematica turbolenta comporta il notevole vantaggio di spostare l'incognita da un tensore ad uno scalare, però introduce l'allineamento degli autovettori della parte deviatorica del tensore degli sforzi di Reynolds e della parte simmetrica del tensore gradiente della velocità; la proprietà di allineamento degli autovettori dei tensori prima citati non è in alcun modo giustificabile teoricamente e, inoltre, sperimentalmente si è visto che tali autovettori sono per la maggior parte dei casi quasi sempre disallineati. Il disallineamento di cui si è appena accennato produce una differenza fra la soluzione calcolata e misurata e alcune volte è fonte di errori molto grossolani che è il secondo macro difetto delle RANS.

I Modelli di Turbolenza basati sulla viscosità cinematica turbolenta sono detti modelli dissipativi e la loro adozione è fisicamente giustificata vista l'intrinseca natura dissipativi della Turbolenza.

Le simulazioni RANS sono molto efficienti, infatti, basti pensare che Alignhi (l'imbarcazione che ha vinto una delle edizioni dell'America's Cup) è stata studiata fluidodinamicamente ed aerodinamicamente dal gruppo del Prof. Quarteroni del Politecnico di Milano facendo uso delle RANS con chiusura k-epsilon (che è il modello di turbolenza più diffuso, sviluppato nel 1972 da Launder e Spalding del gruppo dell'Imperial College di Londra).

TECNICA NUMERICA "LES"

La LES, invece, si differenzia dalla tecnica RANS in quanto il campo di velocità viene mediato nello spazio anziché nel tempo e, inoltre, vengono direttamente simulate le strutture turbolente appartenenti al range inerziale dello spettro turbolento tali strutture vengono risolte utilizzando una griglia adeguatamente fitta, mentre le scale del moto, più piccole della griglia, (*Scale di Sottogriglia*) vengono parametrizzate con un modello apposito.

La scelta di simulare direttamente le strutture turbolente appartenenti al range inerziale si fonda sulla caratteristiche stesse delle strutture turbolente, difatti, le strutture turbolente di grande scala hanno un comportamento dinamico che dipende molto dal tipo di corrente e dalla direzione di osservazione; invece, le piccole scale turbolente sono isotrope ed universali perciò la dinamica delle strutture turbolente più piccole ha un carattere a sua volta universale. L'approccio LES, quindi, permette l'applicazione di un Modello di Turbolenza utilizzabile in via del tutto indipendente dal tipo di flusso in esame. Bisogna però precisare che nelle RANS il termine che contiene la derivata temporale è presente solo nel caso di moto medio instazionario nella LES, invece, il termine relativo alla derivata nel tempo è sempre presente (anche se il moto medio è stazionario) in quanto le strutture turbolente grandi ed intermedie vanno direttamente risolte ed essendo queste sempre in stazionarie e pertanto le equazioni della LES richiedono sempre la presenza del termine relativo alla derivata nel tempo. Per lo stesso motivo anche se la corrente media è 2D le equazioni della LES vanno risolte sempre in 3D perché le strutture turbolente, oltre all'instazionarietà, sono sempre caratterizzate da tridimensionalità.

L'approccio LES è del tutto simile alla tecnica RANS ma la differenza sostanziale fra le due tecniche di simulazione numerica dei flussi turbolenti risiede nel fatto che nella LES il "taglio" fra ciò che viene simulato e ciò che viene modellato non dipende solo dalla geometria del problema ma ha un legame anche con la posizione del range inerziale.

Le equazioni della LES, al pari delle RANS, come ampiamente descritto, presentano il problema della chiusura; la chiusura nella LES si raggiunge con *Modelli di Turbolenza di Sottogriglia* i quali devono riprodurre gli effetti delle scale non risolte su quelle che vengono risolte direttamente. I Modelli di Sottogriglia, comunque, hanno un'influenza modesta sulla soluzione del problema, contrariamente a quanto accade per i Modelli di Turbolenza per le RANS, e, inoltre, tale importanza decresce quanto più la LES si avvicina al limite di risoluzione della DNS.

Il *Modello di Smagorinsky* è un modello dissipativo per la Turbolenza di Sottogriglia e si basa sulla possibilità di legare la parte deviatorica del tensore degli sforzi di sottogriglia attraverso la viscosità cinematica turbolenta al tensore della velocità di deformazione (parte simmetrica del tensore gradiente della velocità).

Il maggior limite del Modello di Smagorinsky è che deve essere fissato a priori un coefficiente detto coefficiente di Smagorinsky e non sempre si riescono a rappresentare nel modo migliore i fenomeni locali ed in stazionari della corrente.

I *Modelli Dinamici*, invece, (detti di *Germano-Lilly*) hanno la peculiarità di non fissare a priori il coefficiente di Smagorinsky il quale è determinato dinamicamente in funzione del campo di velocità risolto, superando in tal modo il limite del modello di Smagorinsky. La LES è, a tutt'oggi, sotto intensa attività scientifica anche se si va praticamente per l'implementazione dei modelli di sottogriglia sui principali codici di calcolo commerciali.