

Scheda bibliografica - L. Bellantuono, M. Lupini, A. Tataranni

S. Lee, Unsteady aerodynamic force prediction on a square cylinder using $k-\epsilon$ turbulence models, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volumes 67–68, 1997, Pages 79-90, ISSN 0167-6105, [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(97\)00064-0](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(97)00064-0).

Introduzione

Nell'ingegneria del vento computazionale è solito simulare flussi turbolenti attorno a corpi tozzi. Molti modelli di turbolenza usati nelle simulazioni RANS sono basati su una chiusura a due equazioni delle Navier-Stokes, in particolare i modelli $k-\epsilon$ che sono basati sull'ipotesi alla Boussinesq. Tuttavia essi presentano varie criticità in quanto trascurano la rotazionalità del flusso e sono isotropi. Questi difetti portano spesso ad una sovrastima dell'energia cinetica turbolenta vicino alle pareti e conseguentemente a descrivere un flusso quasi stazionario, non sempre rappresentativo della realtà fisica. L'obiettivo di questo articolo è chiarire se esistono delle ipotesi sui parametri numerici del modello che consentono ai modelli $k-\epsilon$ di prevedere in maniera ragionevole flussi turbolenti su corpi tozzi. Per questo motivo sono state condotte alcune simulazioni in due dimensioni su un cilindro a sezione quadrata.

Formulazione del problema

Le simulazioni sono state condotte principalmente con i modelli $k-\epsilon$ RNG e $k-\epsilon$ a basso Reynolds e i risultati sono stati confrontati con delle misurazioni sperimentali, con una simulazione LES e con una simulazione $k-\epsilon$ standard. Inoltre sono state utilizzate delle funzioni di parete per la superficie del cilindro, eccetto che per il modello a basso Reynolds, per il quale le equazioni di governo sono integrate fino alla superficie del cilindro. E' stato utilizzato un approccio ai volumi finiti e sono state condotte varie simulazioni usando sempre uno schema di Eulero implicito per il tempo, diversi passi di discretizzazione sia in spazio che in tempo e diversi schemi per il termine convettivo: upwind, misto e QUICK, mentre tutte le altre derivate spaziali sono approssimate con uno schema centrato alle differenze finite del secondo ordine.

I tre coefficienti statistici confrontati tra le simulazioni sono il coefficiente di drag c_D , il coefficiente di lift c_L e il numero di Strouhal St .

Effetti dei parametri numerici

Per la simulazione di riferimento il numero di Reynolds simulato è 2.2×10^4 , lo schema convettivo è QUICK e il modello di turbolenza è $k-\epsilon$ RNG. I risultati della simulazione sono in linea con quelli sperimentali e della LES, soprattutto la parte media di c_D e il numero di Strouhal. Le differenze nelle componenti fluttuanti di c_D e c_L potrebbero essere attribuite alla bidimensionalità della simulazione, mentre la turbolenza è un fenomeno intrinsecamente tridimensionale. In particolare, si osserva che tali componenti fluttuanti sono sovrastimate rispetto agli esperimenti e alla LES.

L'uso dello schema incondizionatamente asintoticamente stabile di Eulero implicito in tempo fornisce soluzioni stabili in tutte le simulazioni e si vede anche che c_D e c_L risentono poco del passo temporale scelto. D'altra parte, sia il numero di Strouhal, sia c_D e c_L non percepiscono gli effetti di una migliore risoluzione spaziale in scia e in prossimità della parete.

Gli schemi convettivi di ordine minore (upwind del primo ordine e ibrido) sottostimano c_D e c_L , poiché sono schemi più dissipativi, in quanto aggiungono viscosità numerica a quella cinematica. In particolare, l'upwind del primo ordine dà il risultato peggiore a parità di modello di turbolenza.

Il modello k- ϵ standard presenta una ingiustificata produzione di energia cinetica turbolenta vicino al punto di stagnazione e anche una sovrastima della diffusione turbolenta vicino a parete. Si ha quindi anche in questo caso una sottostima delle forze aerodinamiche agenti sul cilindro. Invece, il modello k- ϵ RNG incrementa il tasso di dissipazione di energia cinetica turbolenta vicino al punto di stagnazione e ciò rende c_D e c_L molto più simili a quelli sperimentali e della LES. Infine, con il modello k- ϵ a basso Reynolds, senza correzioni, ma con il solo raffinamento della griglia, ci si avvicina ai risultati sperimentali e della LES. Tuttavia, l'onere computazionale necessario è molto elevato e crescente al crescere del numero di Reynolds, che in ingegneria del vento è $O(10^7)$. Quindi l'utilizzo del modello k- ϵ a basso Reynolds può essere problematico.

Modelli di turbolenza e statistiche di flusso

Investigando le statistiche del flusso turbolento lungo la linea di mezzzeria ottenute dalle simulazioni e confrontandole con risultati sperimentali e con la LES, si osserva che, con una risoluzione spaziale sufficientemente grande, la qualità del modello k- ϵ a basso Reynolds è paragonabile a quella di una simulazione large-eddy. Per quanto riguarda la velocità media del flusso, la maggior parte dei modelli di turbolenza, compreso il LES, non riesce a prevedere una bolla di separazione di dimensione ragionevole, tuttavia il modello k- ϵ a basso Reynolds risulta in accordo con gli esperimenti e riesce anche a descrivere adeguatamente l'intensità massima del flusso retrogrado nella zona di ricircolo. Tutte le simulazioni presentano un recupero della velocità in scia più rapido rispetto ad alcuni dei dati sperimentali di riferimento, ma la correttezza di questi ultimi deve essere verificata.

L'energia cinetica turbolenta totale, somma dell'energia cinetica stocastica e periodica, devia dai risultati sperimentali in tutte le simulazioni. In particolare il modello RNG è quello che più si avvicina agli esperimenti con una significativa sovrastima nella parte periodica e una sottostima nella parte stocastica.

La pressione è ragionevolmente in accordo con i dati sperimentali, sebbene il calcolo LES presenti delle differenze lungo la faccia laterale per motivi non chiariti. Tutti i modelli k- ϵ prevedono una pressione sulla faccia posteriore del cilindro più elevata a differenza del LES, in particolare il modello standard mostra la pressione sulle facce laterali e posteriore più elevate, per l'eccessivo mescolamento turbolento previsto. Una buona previsione rispetto ai dati sperimentali dell'intensità della parte fluttuante della pressione è data dal modello a bassi numeri di Reynolds e dal LES.

Sommario e conclusione

I modelli di turbolenza k- ϵ a basso numero di Reynolds e RNG riproducono efficacemente c_D e c_L per flussi turbolenti, senza accumulare TKE in prossimità del punto di stagnazione, che era un difetto del modello k- ϵ standard. Le previsioni sono molto sensibili alla risoluzione spaziale, alla scelta degli schemi convettivi e ai modelli di turbolenza adottati e per estrarre risultati significativi sono necessarie accuratezza spaziale e temporale e schemi di alto ordine. Dalla comparazione con i risultati sperimentali e della LES si osserva che il modello di turbolenza k- ϵ a basso Reynolds offre una buona riproduzione di alcune caratteristiche del flusso intorno al cilindro quadrato.

Ci sentiamo di criticare il fatto che l'articolo, in molti suoi punti, risulta ambiguo nell'utilizzo del lessico tecnico e poco puntuale nel dare le informazioni al lettore; inoltre, nello studio degli effetti dei parametri numerici, la variazione contemporanea di passo temporale e spaziale di discretizzazione riduce l'efficacia dell'analisi. Infine nelle conclusioni i risultati quantitativi riportati non sembrano sufficienti, sebbene in effetti le simulazioni confrontate non sembrano abbastanza a identificare delle soglie significative per i parametri numerici dei modelli.