



Politecnico
di Torino

Dipartimento di Scienze
Matematiche "G. L. Lagrange"

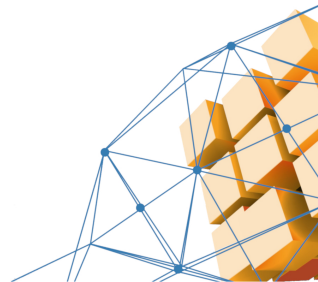


Progetto di gruppo:
Turbulent flow around a square cylinder:
a comparison of RNG $k - \varepsilon$ and STD $k - \omega$ models

Studenti:
Marta Di Ridolfi
Ludovica D'Incà
Biagio Torsello

Professor Luca Bruno

September 21, 2023



Indice

- Introduzione;
- Modelli di turbolenza;
- Risultati numerici: paramentri integrali;
- Risultati numerici: distribuzioni medie e risultati fasi-dipendenti;
- Conclusioni.

Introduzione

Nello studio eseguito è stato considerato il flusso turbolento incidente su di un cilindro a sezione rettangolare con l'obiettivo di confrontare due modelli di turbolenza: RNG $k - \varepsilon$ e $k - \omega$ standard. Nelle simulazioni:

- $B/D = 1$;
- griglia computazionale fissata;
- angolo di incidenza $\alpha = 0$;
- $Re = 22000$;
- $It = 2\%$ (cfr. Lyn e Rodi [LR94]);
- $L_T = 0.5B$.

Modelli di turbolenza, I

Flusso modellato attraverso le equazioni RANS tramite l'ipotesi di Boussinesq:

$$\overline{u'_i u'_j} = \nu_T \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) ,$$

$$\nu_T = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \text{oppure} \quad \nu_T = \frac{k}{\omega}$$

Al fine di chiudere il problema, sono necessarie due equazioni aggiuntive.
Modelliamo:

- 1 k : energia cinetica turbolenta;
- 2 uno tra
 - ε : tasso dissipazione energia cinetica;
 - ω : dissipazione specifica.

Modelli di turbolenza, II

Equazione di trasporto per k :

$$\underbrace{\frac{\partial k}{\partial t}}_{I-T_k} + \underbrace{\frac{\partial(\bar{u}_j k)}{\partial x_j}}_{II-C_k} = \underbrace{-\overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}}_{III-P_k} - \frac{\partial}{\partial x_j} \underbrace{\left[\overbrace{\frac{\overline{p' u'_j}}{\rho}}^a + \overbrace{\frac{1}{2} \overline{u'_j u'_i u'_i}}^b + \overbrace{\nu \frac{\partial k}{\partial x_j}}^c \right]}_{IV-D_k} - \underbrace{\nu \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \frac{\partial u'_i}{\partial x_j}}_{V-\varepsilon} \quad (1)$$



$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_T}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \varepsilon$$

Modelli di turbolenza, III

$k - \varepsilon$ RNG :

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} C_{\varepsilon 1} \nu_T \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\varepsilon}{k} C_{\varepsilon 2}^* \varepsilon \quad (2)$$

$k - \omega$ standard:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \omega}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\omega} + \nu \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \frac{\omega}{k} C_{\omega 1} \cdot \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{\omega 2} \omega^2$$

$$\omega = \frac{1}{\beta^*} \frac{\varepsilon}{k}$$

Risultati numerici, I

Parametri integrali

Modelli di turbolenza			
	RNG $k - \varepsilon$	standard $k - \omega$	Esperimenti/LES
St	0.138	0.136	Lyn [LR94]: 0.135
\bar{C}_D	1.902	2.018	Lyn [LR94]: 2.05 – 2.23
\tilde{C}_L	0.988	1.379	Murakami [MM95]: 1.60
\tilde{C}_D	0.0394	0.136	Murakami [MM95]: 0.13

Table: Parametri integrali

Per \bar{C}_D , \tilde{C}_L , \tilde{C}_D :

- sottostima di $k - \varepsilon$
- miglior approssimazione di $k - \omega$

rispetto ai dati presenti in letteratura.

Risultati numerici, II

Confronto parametrico con i dati in letteratura di Ohtzuki [Oht78], Lee [Lee97], Bearman [BO82] e Pocha [Poc71].

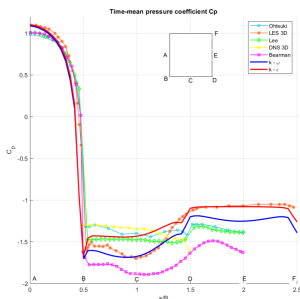


Figure: Valor medio in tempo del coefficiente di pressione

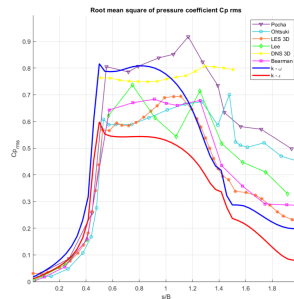


Figure: Deviazione standard del coefficiente di pressione.

Risultati numerici, III

Confronto parametrico con i dati in letteratura di Lyn [LR94] e Durao [DHP88].

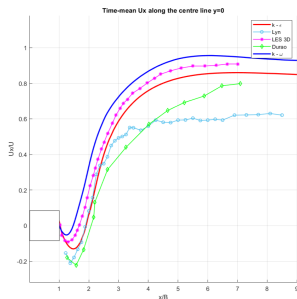


Figure: U_x medio lungo la
linea $y = 0$

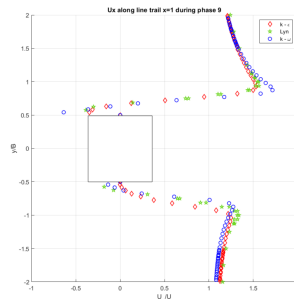
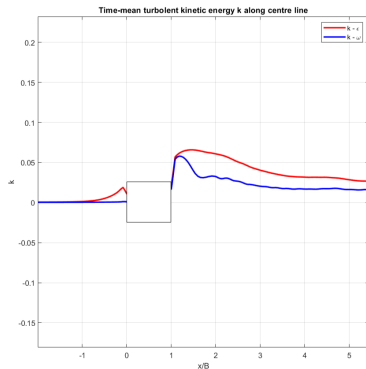
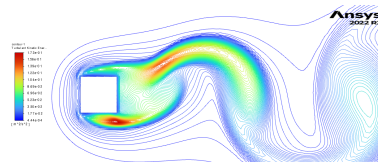


Figure: U_x istantanea
rispetto alla retta $x = 1$.

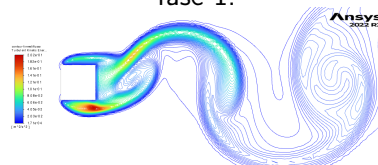
Risultati numerici, IV



Energia cinetica media:
 $k - \varepsilon$ VS $k - \omega$.



Isolinee dell'energia cinetica per $k - \varepsilon$,
fase 1.







Isolinee dell'energia cinetica per $k - \omega$,
fase 1.




Conclusioni

- Comportamento aerodinamico rispettato;
- Produzione di energia cinetica turbolenta per il modello $k - \varepsilon$ nella regione di stagnazione e sottostima in scia da entrambi i modelli;
- Sottostima dei parametri integrali rispetto alla letteratura per quanto riguarda il modello $k - \varepsilon$.

Fonti I

-  PW Bearman and ED Obasaju, *An experimental study of pressure fluctuations on fixed and oscillating square-section cylinders*, Journal of Fluid Mechanics **119** (1982), 297–321.
-  DFG Durao, MV Heitor, and JCF Pereira, *Measurements of turbulent and periodic flows around a square cross-section cylinder*, Experiments in fluids **6** (1988), no. 5, 298–304.
-  Sangsan Lee, *Unsteady aerodynamic force prediction on a square cylinder using $k-\epsilon$ turbulence models*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics **67** (1997), 79–90.
-  DA Lyn and W Rodi, *The flapping shear layer formed by flow separation from the forward corner of a square cylinder*, Journal of fluid Mechanics **267** (1994), 353–376.

Fonti II

-  Shingo Murakami and Akashi Mochida, *On turbulent vortex shedding flow past 2d square cylinder predicted by cfd*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics **54** (1995), 191–211.
-  Y Ohtsuki, *Wind tunnel experiments on aerodynamic forces and pressure distributions of rectangular cylinders in a uniform flow*, Proc. 5th Symp. on Wind effects on structures, 1978, pp. 169–175.
-  Jehangir Jimmy Pocha, *On unsteady flow past cylinders of square cross-section*, Ph. D. Thesis, Department of Aeronautics, Queen Mary College (1971).



Thank you for your attention



Politecnico
di Torino