

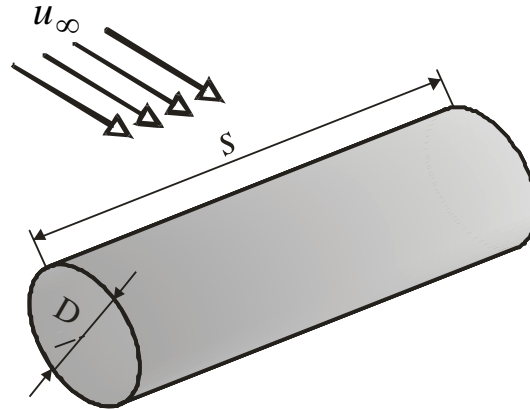
# CALCOLO FLUSSO ATTORNO AD UN CILINDRO

*E. Nobile*

*Corso di Termofluidodinamica Computazionale- AA 2011-12*

## Generalità

In questa breve nota si descrivono gli aspetti principali, fisici e modellistici, per la simulazione numerica, in ANSYS-CFX, del flusso bidimensionale attorno ad un cilindro.



Il flusso attorno ad un cilindro rappresenta un problema fluidodinamico di notevole importanza pratica: il flusso attraverso banchi di tubi negli scambiatori a fascio tubiero è uno degli innumerevoli esempi. Il campo di moto attorno ad un cilindro è laminare, simmetrico e stazionario per bassi valori del numero di Reynolds ( $< 50$ ), mentre per valori maggiori vi è il ben noto fenomeno del distacco alternato di vortici (scia di Von Karman).

In quest'ultimo caso, perciò, il flusso è non stazionario, e pertanto per simularlo è necessario ricorrere ad un'analisi di tipo tempo-variante. Per valori ancora maggiori, ( $> 1000$ ), il flusso è completamente turbolento.

Ricordiamo che, per un cilindro investito da una corrente fluida, il numero di Reynolds è definito come

$$\text{Re} = \frac{\rho u_\infty D}{\mu} \quad (1)$$

dove  $D$  è il diametro del cilindro,  $\rho$  è la massa volumica,  $\mu$  è la viscosità dinamica e  $u_\infty$  è la velocità indisturbata.

Definendo il coefficiente d'attrito  $C_D$  secondo la

$$C_D = \frac{F_D}{(1/2)\rho u_\infty^2 A_f} \quad (2)$$

con  $F_D$  pari alla forza esercitata sul cilindro nella direzione della corrente fluida ed  $A_f$  area frontale, pari nel nostro caso a  $A_f = D \cdot s$  con  $s$  altezza del cilindro, la tabella seguente riporta il valore di  $C_D$ , ottenuto sperimentalmente ed anche numericamente, in funzione del numero di Reynolds.

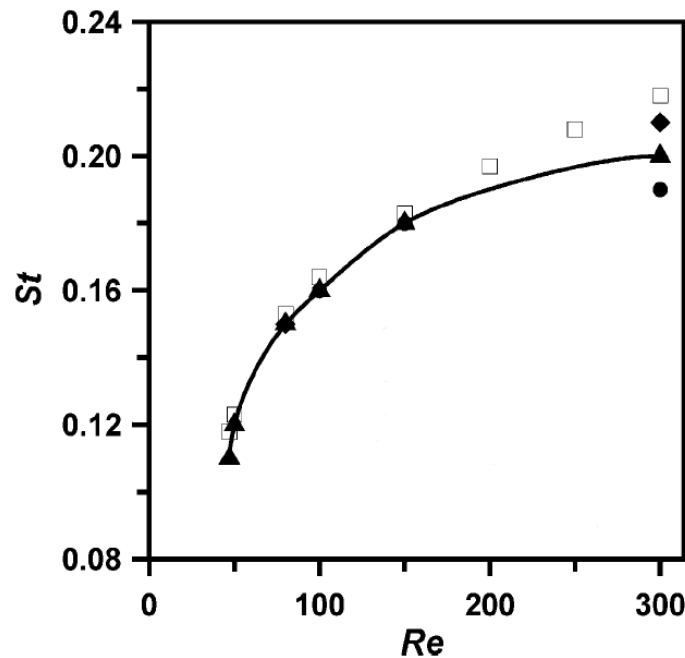
Re	Coefficiente d'attrito - $C_D$		
	Numerico [1]	Numerico [3]	Sperimentale [2]
1	-	-	13.0
10	2.81	-	-
20	2.04	-	-
40	1.54	-	1.8
50	1.46	-	-
80	1.40	-	-
100	1.39	1.3353 (1.3349) <sup>1</sup>	-
150	1.5	-	1.37
200	-	1.3365 (1.3380) <sup>1</sup>	-
300	1.27	1.3667 (1.2840) <sup>1</sup>	-
500	-	-	1.2
1000	-	-	0.9
5000	-	-	0.98
$1 \times 10^6$	-	-	0.25

La frequenza di distacco di vortici è espressa, in termini adimensionali, dal numero di Strouhal

$$St = \frac{f D}{u_\infty} \quad (3)$$

dove  $f$  è la frequenza, in Hz, del distacco di vortici.

L'andamento del numero di Strouhal, in funzione del numero di Reynolds, è riportato nella seguente figura



<sup>1</sup> I valori in parentesi si riferiscono a simulazioni 3D.

Per comodità, la tabella seguente [3] riporta alcuni risultati, ottenuti numericamente, relativi al numero di Strouhal per valori di  $Re$  compresi fra 100 e 400

Re	Numero di Strouhal – $St$ [3]	
	Numerico 2D	Numerico 3D
100	0.1569	0.1569
200	0.1957	0.1936
250	0.2052	0.21
300	0.2150	0.1760
400	0.2348	0.1743

## Casi da considerare

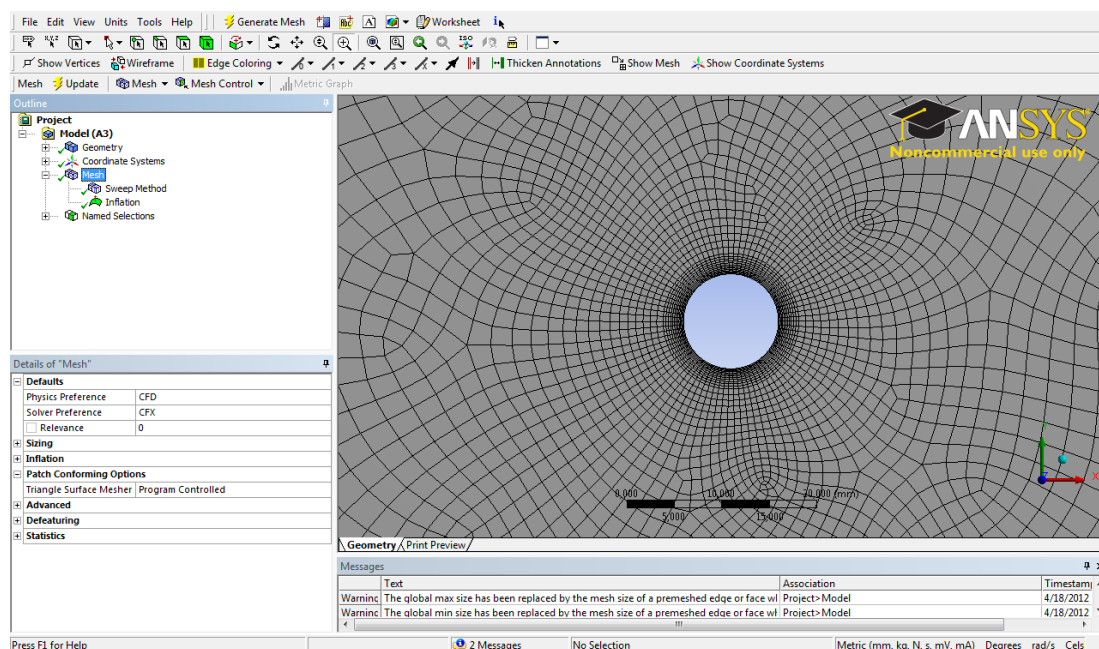
Si indicano, nel seguito, alcune possibilità di analisi del flusso attorno ad un cilindro tramite ANSYS CFX, indicando in particolare il valore del numero di Reynolds ed alcuni suggerimenti operativi. Ulteriori dettagli, quali la tipologia di griglia – strutturata o non-strutturata – e le sue caratteristiche (distribuzione dei nodi, raffinamento etc.), oltre alle modalità di post-processing dei risultati, è lasciata alla libertà dell'allievo.

Per i casi proposti si suggerisce, per evidenti ragioni di economia di calcolo, di utilizzare mesh 2D costituite da un solo strato di elementi. Per poterla generare, è necessario, in ANSYS-Meshing, inserire un metodo di generazione della griglia, indicando poi nei dettagli di usare la metodologia *Sweep* con un *Sweep Num Divs* pari ad 1.

Successivamente, sarà necessario selezionare l'opzione *Inflate this Method* per poter generare gli strati di elementi estrusi sulla parete del cilindro.

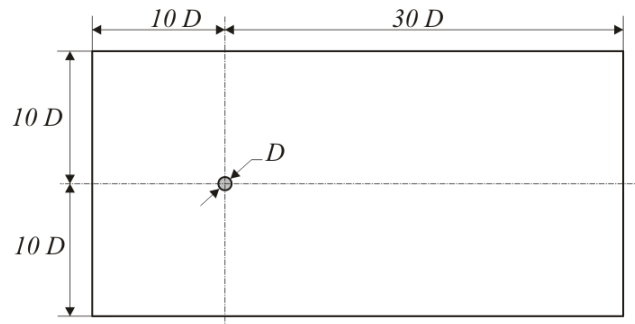
Sulle due facce della mesh così ottenuta, si assegneranno condizioni al contorno di simmetria.

La figura seguente illustra quanto detto.



$$Re = 40$$

Per questo valore del numero di Reynolds il regime di moto è laminare stazionario, e per comodità, posto  $D = 10$  mm in DesignModeler (DM), è opportuno estendere il dominio di calcolo di  $10 D$  davanti,  $30 D$  dietro, e  $10 D$  rispettivamente su ciascun lato, come illustrato in figura, mentre l'altezza (spessore)  $s$  è arbitrario (per comodità di visualizzazione conviene scegliere un valore  $s \approx D$ , ad esempio  $s = 5$  mm).



Avendo scelto come fluido aria a  $25$  °C (fluido a proprietà termofisiche costanti), ed avendo fissato il valore del numero di Reynolds, la velocità in ingresso è data da

$$u_{\infty} = \frac{\mu Re}{D\rho}$$

E sostituendo i valori numerici

$$D = 0.01 \text{ m}$$

$$\rho = 1.185 \text{ kg/m}^3$$

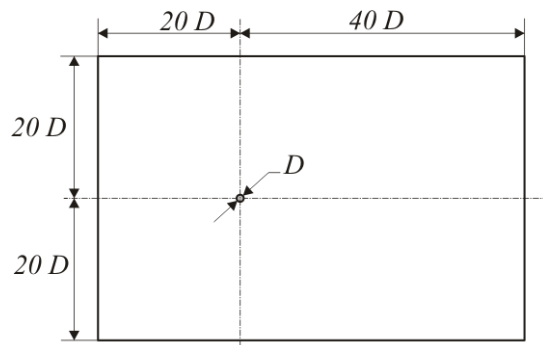
$$\mu = 1.831 \times 10^{-5} \text{ kg/(m s)}$$

si ottiene

$$u_{\infty} = \frac{1.831 \times 10^{-5} \cdot 40}{0.01 \cdot 1.185} = 0.0618 \text{ m/s}$$

$$Re = 150$$

Per questo valore del numero di Reynolds, il flusso è nonstazionario periodico (distacco di vortici), ed il dominio deve essere esteso, *almeno*, secondo lo schema seguente



In questo caso la velocità in ingresso è data da

$$u_{\infty} = \frac{1.831 \times 10^{-5} \cdot 150}{0.01 \cdot 1.185} = 0.2318 \text{ m/s}$$

mentre per il passo di tempo di integrazione, è necessario utilizzare *almeno* 20-30 passi di tempo per ogni ciclo di distacco di vortici.

La frequenza di distacco di vortici è espressa, in termini adimensionali, dal numero di Strouhal

$$St = \frac{fD}{u_{\infty}} \quad (2)$$

dove  $f$  è la frequenza, in Hz, del distacco di vortici.

Per un valore del numero di Reynolds pari a 150, il valore del numero di Strouhal, in base ai dati riportati in precedenza, è all'incirca pari a 0.172. Perciò, nel nostro caso, si ottiene

$$f = \frac{0.172 \cdot 0.2318}{0.01} = 3.99 \text{ Hz}$$

a cui corrisponde un periodo pari a circa 0.25 s.

Il passo di tempo di integrazione, perciò, dev'essere inferiore a  $(12.5 - 8.4) \times 10^{-3}$  s.

$$Re = 5000$$

Per questo valore del numero di Reynolds, il flusso è turbolento, ed il calcolo deve essere effettuato, secondo l'approccio RANS (Reynolds-Averaged Navier Stokes equations) utilizzando un modello di turbolenza. Si suggerisce, pertanto, di operare in modalità stazionaria con un dominio analogo al caso precedente, selezionando *SST* (Shear Stress Transport) come modello di turbolenza. Particolare attenzione va posta alla risoluzione radiale e tangenziale della mesh in prossimità della parete del cilindro. In fase di post-processing, è opportuno verificare che i valori medi e massimi di  $Y^+$  sulla parete del cilindro siano  $< 200$ , e che vi siano almeno 10-15 nodi all'interno dello strato limite.

### Riferimenti bibliografici

- [1] A.L.F. Lima E Silva, A. Silveira-Neto, J.J.R. Damasceno, Numerical simulation of two-dimensional flows over a circular cylinder using the immersed boundary method, *J. Comp. Physics*, vol. 189, pp. 351–370, (2003).
- [2] J.D. Anderson, *Fundamental of Aerodynamics*, 2<sup>nd</sup> Ed., Cap.3, McGraw-Hill, New York, (1991).
- [3] B.N. Rajani, A. Kandasamy, S. Majumdar, Numerical simulation of laminar flow past a circular cylinder, *Appl. Math. Modelling* (2008), doi: [10.1016/j.apm.2008.01.017](https://doi.org/10.1016/j.apm.2008.01.017).