

Indice

Prefazione	IX
1 Concetti preliminari	3
1.1 Operatori differenziali	3
1.1.1 Gradiente	3
1.1.2 Divergenza	5
1.1.3 Laplaciano	7
1.1.4 Rotore	8
1.1.5 Notazione vettoriale e notazione tensoriale	12
1.1.6 Teorema di Gauss (o della divergenza o di Ostrogradskij)	14
1.2 Meccanica dei fluidi	15
1.2.1 Tensore velocità di deformazione	15
1.2.2 Parametro Q o di Okubo-Weiss (Q-criterion)	18
1.2.3 Tensore degli sforzi	18
1.2.4 Equazioni costitutive	19
1.3 Equazioni differenziali con applicazioni fisiche	20
1.3.1 Generalità sulle equazioni alle derivate parziali	20
1.3.2 Classificazione delle equazioni lineari e quasi lineari del secondo ordine	21
1.3.3 L'equazione del trasporto	22
1.3.4 L'equazione delle onde	25
1.3.5 L'equazione del calore	26
1.4 Gasdinamica	27
1.4.1 Onde meccaniche	27
1.4.2 Equazione delle onde acustiche	29
1.4.3 Onde di pressione unidimensionali	29
1.4.4 Onde acustiche in funzione dello spostamento dalla posizione di equilibrio del mezzo trasmissivo	32
1.4.5 Modulo di comprimibilità (Bulk modulus)	33
1.5 Calcolo numerico	34
1.5.1 Sviluppo in serie di Taylor e accuratezza	34
1.5.2 Approssimazione del valore medio	35
1.5.3 Approssimazione delle derivate	36
1.5.4 Metodi espliciti e metodi impliciti	37
1.5.5 Iterazione di punto fisso	39

2	Equazioni di governo della fluidodinamica	41
2.1	Volume di controllo	41
2.2	Derivata sostanziale	42
2.3	Significato fisico della divergenza della velocità	45
2.4	L'equazione di continuità	46
2.5	Conservazione della quantità di moto	48
2.5.1	Fluidi newtoniani	54
2.6	Equazione di conservazione dell'energia	56
2.7	Considerazioni circa le equazioni di governo	63
2.8	Approfondimenti sulla forma conservativa	65
2.9	Equazione generale di trasporto	69
3	Il metodo dei volumi finiti	73
3.1	Flussi convettivi-diffusivi	75
3.1.1	Interpolazione lineare o central differencing	76
3.1.2	Proprietà degli schemi di discretizzazione	81
3.1.3	Analisi dello schema centrato	84
3.1.4	Schema upwind o Upwind Differencing (UD)	85
3.1.5	Schema upwind lineare	89
3.1.6	Schema QUICK (Quadratic Upwind Interpolation for Convective Kinetics)	90
3.1.7	Schemi Total Variation Diminishing (TVD)	94
3.1.8	Il caso delle griglie non strutturate	100
3.2	Ricostruzione	101
3.2.1	Schemi Essentially Non Oscillatory (ENO)	101
3.2.2	Schemi Weighted Essentially Non Oscillatory (WENO)	104
3.3	Interpolazione dei flussi diffusivi	105
3.4	Calcolo del gradiente al centro cella	108
3.4.1	Calcolo del gradiente sul centroide delle facce	111
3.5	Calcolo del termine temporale o transitorio	112
3.5.1	Schema Eulero implicito	113
3.5.2	Schema Crank-Nicolson o Central Difference Profile	113
3.5.3	Schema backward o Second Order Upwind Euler	114
4	Sistemi lineari e loro soluzione	115
4.1	Il metodo di Jacobi	117
4.2	Il metodo di Gauss-Seidel	118
4.3	Dominanza diagonale e criterio di Scarborough	122
4.4	Residuo e correzione/errore	123
4.5	Criteri di arresto	124
4.6	Metodo di fattorizzazione LU	125
4.6.1	Precondizionamento	126
4.6.2	I metodi del Gradiente e del Gradiente Coniugato	127
4.7	Metodi Multigrid	129
4.7.1	La proprietà di smoothing dei metodi iterativi	129
4.7.2	Multigrid geometrico	130
4.7.3	V-cycle	133

4.7.4	Multigrid algebrico	135
4.7.5	Esempio applicativo	138
5	Accoppiamento pressione-velocità	147
5.1	La griglia sfalsata (staggered)	148
5.2	Conservazione della quantità di moto	150
5.3	L'algoritmo SIMPLE	154
5.3.1	Esempio numerico di applicazione dell'equazione della pressione di correzione	158
5.3.2	Esempio di applicazione dell'algoritmo SIMPLE	162
6	OpenFOAM[®]	173
6.1	Schemi di discretizzazione	174
6.1.1	Schemi di discretizzazione temporale	174
6.1.2	Schemi di discretizzazione dei termini convettivi	176
6.1.3	Schemi di discretizzazione del gradiente	180
6.1.4	Schemi di discretizzazione dei termini laplaciani o diffusivi	182
6.2	Esempi di impostazione di schemi di discretizzazione	186
6.2.1	Impostazione generica	186
6.2.2	Impostazione accurata	186
6.2.3	Impostazione stabile	187
6.3	Solutori lineari	187
6.3.1	Geometric-Algebraic Multi-Grid (GAMG)	189
6.4	Accoppiamento pressione-velocità	190
6.4.1	Implementazione dei metodi SIMPLE e PISO in OpenFOAM [®]	191
6.4.2	Il numero di Courant	204
6.5	Residui e tolleranze	206
7	Condizioni al contorno	209
7.1	Condizioni al contorno per flusso incomprimibile	212
7.1.1	La natura relativa della pressione	213
7.1.2	Inlet	213
7.1.3	Outlet	215
7.2	Condizioni al contorno per flusso comprimibile	216
7.2.1	Inlet subsonico	216
7.2.2	Inlet supersonico	217
7.2.3	Outlet subsonico	217
7.2.4	Outlet supersonico	217
7.3	Condizioni al contorno disponibili in OpenFOAM [®]	217
7.3.1	Imposizione del valore e del gradiente del valore di una gran- dezza al bordo	217
7.3.2	Inlet-Outlet	218
8	Turbolenza	221
8.1	RANS	222
8.1.1	Modello $k - \epsilon$ standard	228
8.1.2	Modello $k - \omega$	229
8.2	Il modello $k - \omega$ SST (Shear Stress Transport)	230

8.3	Lo strato limite	231
8.4	Funzioni di parete (Wall functions)	234
8.5	Distanza del centro della prima cella a parete dalla parete	236
8.6	Funzioni di parete in OpenFOAM [®]	237
8.6.1	kqRWallFunctions	237
8.6.2	epsilonWallFunctions	239
8.6.3	omegaWallFunctions	240
8.6.4	nutWallFunctions	240
8.7	Aspetti implementativi in OpenFOAM [®]	244
8.8	Valori iniziali delle grandezze turbolente	244
8.9	Large Eddy Simulation (LES)	247
8.9.1	Filtraggio spaziale	249
8.9.2	Equazioni di Navier–Stokes filtrate	250
8.9.3	Modellazione di Smagorinsky-Lilly	252
8.9.4	Valutazione di calcoli LES	253

Bibliografia**261**