

L. Quartapelle & F. Auteri

Fluidodinamica *incomprimibile*



CASA EDITRICE AMBROSIANA

Indice

Prefazione	xv	Equazione della quantità di moto	28
Per lo studente	xvii	Conservazione dell'energia e relazioni termodinamiche	30
Ringraziamenti	xviii	Correnti incompresibili dei fluidi non viscosi	31
1 Statica dei fluidi			
1.1 Proprietà dei fluidi	1	Correnti incompresibili dei fluidi viscosi	32
Il fluido come mezzo continuo	2	Correnti comprimibili dei fluidi non viscosi	33
Pressione	2	Correnti comprimibili dei fluidi viscosi	34
Densità	3	Sulle ipotesi di incompresibilità e di viscosità nulla	34
1.2 Equazione di equilibrio di un fluido	3	Fluidi ideali	34
Fluido in un campo di forze conservative	5	Correnti incompresibili	35
1.3 Fluido in equilibrio vicino alla superficie terrestre	7	Descrizione euleriana e descrizione lagrangiana	36
Equilibrio di un fluido con densità uniforme	8		
1.4 Misura della pressione nei fluidi in quiete	9		
1.5 Equilibrio dell'atmosfera terrestre	10	B Correnti incompresibili non viscosi	39
Atmosfera con temperatura uniforme	11		
Atmosfera con temperatura lineare con la quota	12		
1.6 Caratteristiche dell'atmosfera terrestre	14	3.1 Rapidità di variazione "seguendo il fluido"	39
1.7 Forze di galleggiamento: legge di Archimede	15	Accelerazione del fluido	42
2 Equazioni della dinamica dei fluidi			
2.1 Rappresentazione del moto di un fluido	19	3.2 Vincolo di incompresibilità	48
Correnti di tipo particolare	19	3.3 Equazioni di Eulero incompresibili	49
Linee di corrente	21	3.4 Condizione iniziale e condizione al contorno	51
Traiettorie	23	Condizioni di compatibilità dei <i>c</i> fra i dati	53
Curve di emissione (streakline)	23	3.5 Equazione della quantità di moto con la vorticità	54
2.2 Equazione di conservazione della massa	24	3.6 Correnti stazionarie e teorema di Bernoulli	55
		Versione irrotazionale del teorema di Bernoulli	56
		Pressione in un condotto di sezione variabile lentamente	57

3.7 Vorticità	59	5.3 Equazioni di Navier-Stokes incomprimibili	117
Interpretazione cinematica della vorticità nelle correnti 2D	59	Torema di Bernoulli e correnti viscose	118
Circolazione	62	5.4 Condizione iniziale e condizione al contorno	121
Vortice di Rankine	63	Condizioni di compatibilità dei e fra i dati	124
3.8 Equazione della vorticità	64	5.5 Equazioni adimensionali: il numero di Reynolds	125
Equazione della vorticità in 2D	65	Adimensionalizzazione alternativa	127
Irrrotationalità delle correnti 2D uniformi all'infinito	66	Correnti ad alti numeri di Reynolds	128
3.9 Flussi piani incomprimibili e funzione di corrente	66	Correnti con numero di Reynolds tendente a zero	128
Definizione della funzione di corrente	66	5.6 Soluzioni esatte per correnti stazionarie parallele	129
Equazione della funzione di corrente	68	Equazioni del moto fra due lastre parallele	129
Sistema vorticità-funzione di corrente	69	Corrente di Couette piana	130
3.10 Vortice di Hill	69	Corrente di Poiseuille piana	132
Linee di corrente	73	Corrente ibrida di Couette-Poiseuille	133
4 Correnti incomprimibili non viscose irrotazionali	75	Corrente di Poiseuille in un tubo circolare	135
4.1 Irrrotationalità della corrente e potenziale della velocità	75	Correzione idrostatica della pressione	138
4.2 Corrente incomprimibile ed equazione di Laplace	75	Corrente lungo un piano inclinato	140
4.3 Teorema di Bernoulli per correnti non stazionarie	76	5.7 Corrente di Stokes attorno a una sfera	142
Ritorno al teorema di Bernoulli per correnti stazionarie	77	Legge della resistenza di Stokes	147
Coefficiente di pressione (incomprimibile)	78	Risoluzione mediante le variabili primitive	149
4.4 Corrente stazionaria attorno a una sfera	78	5.8 Corrente attorno a un cilindro: paradosso di Stokes	153
Metodo di separazione delle variabili	79	5.9 Soluzioni esatte per correnti parallele dipendenti dal tempo	155
Risoluzione del problema	81	Traslazione istantanea di una lastra piana	156
Forza agente sulla sfera: paradosso di D'Alembert	85	Diffusione della vorticità	161
Coefficiente di pressione sulla sfera	87	Traslazione oscillatoria di una lastra piana	163
4.5 Correnti stazionarie 2D attorno a un cilindro circolare	88	Corrente non stazionaria fra due lastre parallele	166
Metodo di separazione delle variabili	88	5.10 Soluzioni esatte per correnti in geometria cilindrica	168
Corrente simmetrica	90	Corrente di Couette fra superfici cilindriche in rotazione	170
Correnti non simmetriche (portanti)	95	Corrente dovuta a un disco infinito rotante	172
Teorema della portanza di Kutta-Joukowski	97	Decadimento di un vortice rettilineo	177
Linee di corrente delle soluzioni portanti	99	Decadimento del vortice attorno a un cilindro	179
Risoluzione mediante la funzione di corrente	101	5.11 Viscosità nei fluidi reali (comprimibili)	180
Risoluzione mediante il "potenziale cinetico"	104	Tensore degli sforzi viscosi	181
	106	Tensore di rapidità di deformazione	182
5 Correnti incomprimibili viscose	113	Fluido viscoso newtoniano	185
5.1 Viscosità dinamica e viscosità cinematica	114	Vettore sforzo-viscoso relativo a una superficie	186
5.2 Forza di attrito viscoso	115	Forza di attrito viscoso	186
		5.12 Forze viscose nelle correnti incomprimibili	186
		Forza agente sui corpi rigidi fermi	187

5.13 Energia e correnti incomprensibili	190	6.8 Equazione di von Kármán dello spessore integrale	238
Energia cinetica del fluido e suo decadimento	190	Metodo approssimato di Polhausen	240
Rivisitazione viscosa del vortice rettilineo	192		
Equazione dell'energia interna del fluido	194		
5.14 Convezione naturale nei liquidi con comprensibilità non nulla	196	6.9 Strato limite su corpi immersi e separazione dello strato limite	241
Equazione della temperatura in un liquido	197		
Equazioni di Navier-Stokes-Boussinesq	198		
Numeri di Prandtl e Grashof	199		
5.15 Equazioni di Navier-Stokes nei sistemi di riferimento rotanti	202	6.10 Equazioni di Prandtl adimensionali	244
Numeri di Ekman e di Rossby	203		
Equazioni in forma rotazionale	204		
Teorema di Taylor e Proudman	204		
6 Equazioni dello strato limite incomprimibile	207	6.11 Equazioni dello strato limite instazionario	247
6.1 Caratteristiche generali dello strato limite	207	6.12 Metodo delle espansioni asintotiche raccordate	248
Ipotesi della teoria dello strato limite su una lastra	208	Problema esterno	249
6.2 Teoria dello strato limite di Prandtl	210	Problema interno ed espansione interna	250
Analisi degli ordini di grandezza	210	Condizione di raccordo	251
Corrente non viscosa	213	Soluzione composita di ordine 0	252
Equazioni dello strato limite di Prandtl	213	Soluzione composita di ordine 1	253
6.3 Corrente esterna uniforme: profilo di Blasius	215	6.13 Deduzione rigorosa delle equazioni di Prandtl	255
Ricerca della variabile di similarità	217	Expansione del problema interno	256
Equazione di Blasius	218	Expansione del problema esterno	258
Soluzione del campo di moto	219	Condizioni di interfaccia	259
Problema di Blasius ridotto a sistema del primo ordine	219	Condizioni al contorno dei due problemi	260
6.4 Equazione di Prandtl per la funzione di corrente	224	6.14 Stabilità dello strato limite bidimensionale	260
6.5 Equazione di Falkner-Skan	225	Linearizzazione delle equazioni di Navier-Stokes	261
Caso $\beta = 0$: lastra piana con gradiente di pressione nullo	227	Equazione della velocità normale alla lastra	262
Caso $\alpha = \beta$: corrente nel punto di ristagno anteriore	228	Equazione della vorticità normale alla lastra	264
Caso generale	228	Equazioni di Orr-Sommerfeld e di Squire	265
Corrente incomprensibile e irrotazionale in un dierò	229	6.15 Stabilità dello strato limite tridimensionale	267
Imposizione delle condizioni al contorno	232	Equazioni di Orr-Sommerfeld e di Squire	268
6.6 Strato limite tridimensionale: equazione di Cooke	233	6.16 Correnti di Hele-Shaw	271
6.7 Spessori integrali dello strato limite	236	7 Correnti aerodinamiche: teoria dei profili sottili	277
Spessore di spostamento	236	7.1 Correnti incomprensibili irrotazionali assisimmetriche	278
Spessore di quantità di moto	237	Equazione di Laplace del potenziale	278
Spessore di energia cinetica	237	Equazione di Laplace in problemi assisimmetrici	279
		Soluzioni elementari 3D assisimmetriche	280
		Ogiva semi-infinita di Rankine	287
		Solidi di Rankine	288
		7.2 Paradosso di d'Alembert in tre dimensioni	291
		7.3 Correnti incomprensibili irrotazionali piane	294
		Equazioni di Laplace del potenziale e funzione di corrente	295
		Soluzioni elementari piane	296
		Ogiva cilindrica semi-infinita di Rankine	304

Ovale cilindrico di Rankine	306	8	Correnti aerodinamiche: ali di apertura finita	351
Correnti elementari piane in coordinate cartesiane	309			
7.4 Corrente simmetrica intorno al profilo simmetrico	310	8.1	Descrizione delle ali di apertura finita	351
Metodo di soluzione	311	8.2	Vortici dell'ala finita	353
Calcolo degli elementi del sistema lineare	313		Legge di Biot-Savart	354
Coefficiente di pressione sul profilo simmetrico	314		Il teorema di Kelvin sulla circolazione	355
7.5 Teorema di Kutta-Joukowski per cilindri di forma qualsiasi	315		I teoremi di Helmholtz	356
7.6 Condizione di Kutta	319	8.3	Velocità indotta dai vortici dell'ala finita	358
7.7 Strato sottile di vortici rettilinei	322	8.4	Resistenza indotta	360
7.8 Equazione integrale di Prandtl per i profili sottili	324	8.5	Teoria della linea portante	361
7.9 Soluzione dell'equazione integrale di Prandtl	329	8.6	Equazione della linea portante (integro-differenziale)	362
7.10 Profilo sottile piatto	332	8.7	Caratteristiche aerodinamiche dell'ala	364
Soluzione dell'equazione integrale	332	8.8	Distribuzione ellittica della portanza	366
Coefficienti aerodinamici	335	8.9	Distribuzione generica della portanza	369
7.11 Profilo sottile curvo	336		Cambiamento di variabili ed equazione trasformata	369
Soluzione dell'equazione integrale	337		Rappresentazione della soluzione in serie di Fourier	370
Coefficienti aerodinamici	338		Approssimazione troncata del problema	370
7.12 Profilo con spessore e con curvatura	342		Proprietà aerodinamiche dell'ala	372
Calcolo degli integrali dei coefficienti	342		Ruolo del rapporto di forma	376
Velocità sul dorso e sul ventre del profilo	343			
Calcolo del coefficiente di pressione	344			
7.13 Metodo delle singolarità virtuali di Hess-Smith	346	Bibliografia	377	
Formulazione del metodo	346	Indice analitico	381	
Velocità indotta da una distribuzione uniforme di sorgenti	348	Tabelle riassuntive		
Velocità indotta da una distribuzione uniforme di vortici	349			