

L. Quartapelle & F. Auteri

Fluidodinamica *incomprimibile*



CASA EDITRICE AMBROSIANA

Indice

Prefazione	xv	2.3 Equazione della quantità di moto	28
Per lo studente	xvii	Conservazione dell'energia e relazioni termodinamiche	30
Ringraziamenti	xviii	2.4 Correnti incompressibili dei fluidi non viscosi	31
		Correnti incompressibili non viscosi irrotazionali	32
1 Statica dei fluidi	1	2.5 Correnti incompressibili dei fluidi viscosi	32
1.1 Proprietà dei fluidi	1	2.6 Correnti comprimibili dei fluidi non viscosi	33
Il fluido come mezzo continuo	2	2.7 Correnti comprimibili dei fluidi viscosi	34
Pressione	2	2.8 Sulle ipotesi di incompressibilità e di viscosità nulla	34
Densità	3	Fluidi ideali	34
1.2 Equazione di equilibrio di un fluido	3	Correnti incompressibili	35
Fluido in un campo di forze conservative	5	2.9 Descrizione euleriana e descrizione lagrangiana	36
1.3 Fluido in equilibrio vicino alla superficie terrestre	7		
Equilibrio di un fluido con densità uniforme	8	3 Correnti incompressibili non viscosi	39
1.4 Misura della pressione nei fluidi in quiete	9	3.1 Rapidità di variazione "seguendo il fluido"	39
1.5 Equilibrio dell'atmosfera terrestre	10	Accelerazione del fluido	42
Atmosfera con temperatura uniforme	11	3.2 Vincolo di incompressibilità	48
Atmosfera con temperatura lineare con la quota	12	3.3 Equazioni di Eulero incompressibili	49
1.6 Caratteristiche dell'atmosfera terrestre	14	3.4 Condizione iniziale e condizione al contorno	51
1.7 Forze di galleggiamento: legge di Archimede	15	Condizioni di compatibilità dei e fra i dati	53
		3.5 Equazione della quantità di moto con la vorticità	54
2 Equazioni della dinamica dei fluidi	19	3.6 Correnti stazionarie e teorema di Bernoulli	55
2.1 Rappresentazione del moto di un fluido	19	Versione irrotazionale del teorema di Bernoulli	56
Correnti di tipo particolare	19	Pressione in un condotto di sezione variabile lentamente	57
Linee di corrente	21		
Traiettorie	23		
Curve di emissione (streakline)	23		
2.2 Equazione di conservazione della massa	24		

3.7	Vorticità	59	5.3	Equazioni di Navier-Stokes incompressibili	117
	Interpretazione cinematica della vorticità nelle correnti 2D	59		Teorema di Bernoulli e correnti viscoso	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
	Irrotazionalità delle correnti 2D uniformi all'infinito	66		Correnti ad alti numeri di Reynolds	128
3.9	Flussi piani incompressibili 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 incompressibili non viscoso irrotazionali	75		Corrente di Poiseuille in un tubo circolare	135
				Correzione idrostatica della pressione	138
4.1	Irrotazionalità della corrente e potenziale della velocità	75		Corrente lungo un piano inclinato	140
4.2	Corrente incompressibile ed equazione di Laplace	76	5.7	Corrente di Stokes attorno a una sfera	142
4.3	Teorema di Bernoulli per correnti non stazionarie	77		Legge della resistenza di Stokes	147
	Ritorno al teorema di Bernoulli per correnti stazionarie	78		Risoluzione mediante le variabili primitive	149
	Coefficiente di pressione (incompressibile)	79	5.8	Corrente attorno a un cilindro: paradosso di Stokes	153
4.4	Corrente stazionaria attorno a una sfera	79	5.9	Soluzioni esatte per correnti parallele dipendenti dal tempo	155
	Metodo di separazione delle variabili	81		Traslazione istantanea di una lastra piana	156
	Risoluzione del problema	85		Diffusione della vorticità	161
	Forza agente sulla sfera: paradosso di D'Alembert	87		Traslazione oscillatoria di una lastra piana	163
	Coefficiente di pressione sulla sfera	88		Corrente non stazionaria fra due lastre parallele	166
4.5	Correnti stazionarie 2D attorno a un cilindro circolare	88	5.10	Soluzioni esatte per correnti in geometria cilindrica	168
	Metodo di separazione delle variabili	90		Corrente di Couette fra superfici cilindriche in rotazione	170
	Corrente simmetrica	95		Corrente dovuta a un disco infinito rotante	172
	Correnti non simmetriche (portanti)	97		Decadimento di un vortice rettilineo	177
	Teorema della portanza di Kutta-Joukowski	99		Decadimento del vortice attorno a un cilindro	179
	Linee di corrente delle soluzioni portanti	101	5.11	Viscosità nei fluidi reali (compressibili)	180
	Risoluzione mediante la funzione di corrente	104		Tensore degli sforzi viscosi	181
	Risoluzione mediante il "potenziale cinetico"	106		Tensore di rapidità di deformazione	182
				Fluido viscoso newtoniano	185
5	Correnti incompressibili viscoso	113		Vettore sforzo viscoso relativo a una superficie	186
				Forza di attrito viscoso	186
5.1	Viscosità dinamica e viscosità cinematica	114	5.12	Forze viscoso nelle correnti incompressibili	186
5.2	Forza di attrito viscoso	115		Forza agente sui corpi rigidi fermi	187

5.13 Energia e correnti incompressibili	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	6.9 Strato limite su corpi immersi e separazione dello strato limite	241
Equazione dell'energia interna del fluido	194	6.10 Equazioni di Prandtl adimensionali	244
5.14 Convezione naturale nei liquidi con comprimibilità non nulla	196	6.11 Equazioni dello strato limite instazionario	247
Equazione della temperatura in un liquido	197	6.12 Metodo delle espansioni asintotiche raccordate	248
Equazioni di Navier-Stokes-Boussinesq	198	Problema esterno	249
Numeri di Prandtl e Grashof	199	Problema interno ed espansione interna	250
5.15 Equazioni di Navier-Stokes nei sistemi di riferimento rotanti	202	Condizione di raccordo	251
Numeri di Ekman e di Rossby	203	Soluzione composita di ordine 0	252
Equazioni in forma rotazionale	204	Soluzione composita di ordine 1	253
Teorema di Taylor e Proudman	204	6.13 Deduzione rigorosa delle equazioni di Prandtl	255
6 Equazioni dello strato limite incompressibile	207	Espansione del problema interno	256
6.1 Caratteristiche generali dello strato limite	207	Espansione del problema esterno	258
Ipotesi della teoria dello strato limite su una lastra	208	Condizioni di interfaccia	259
6.2 Teoria dello strato limite di Prandtl	210	Condizioni al contorno dei due problemi	260
Analisi degli ordini di grandezza	210	6.14 Stabilità dello strato limite bidimensionale	260
Corrente non viscosa	213	Linearizzazione delle equazioni di Navier-Stokes	261
Equazioni dello strato limite di Prandtl	213	Equazione della velocità normale alla lastra	262
6.3 Corrente esterna uniforme: profilo di Blasius	215	Equazione della vorticità normale alla lastra	264
Ricerca della variabile di similarità	217	Equazioni di Orr-Sommerfeld e di Squire	265
Equazione di Blasius	218	6.15 Stabilità dello strato limite tridimensionale	267
Soluzione del campo di moto	219	Equazioni di Orr-Sommerfeld e di Squire	268
Problema di Blasius ridotto a sistema del primo ordine	219	6.16 Correnti di Hele-Shaw	271
6.4 Equazione di Prandtl per la funzione di corrente	224	7 Correnti aerodinamiche: teoria dei profili sottili	277
6.5 Equazione di Falkner-Skan	225	7.1 Correnti incompressibili irrotazionali assisimmetriche	278
Caso $\beta = 0$: lastra piana con gradiente di pressione nullo	227	Equazione di Laplace del potenziale	278
Caso $\alpha = \beta$: corrente nel punto di ristagno anteriore	228	Equazione di Laplace in problemi assisimmetrici	279
Caso generale	228	Soluzioni elementari 3D assisimmetriche	280
Corrente incompressibile e irrotazionale in un diedro	229	Ogiva semi-infinita di Rankine	287
Imposizione delle condizioni al contorno	232	Soliti di Rankine	288
6.6 Strato limite tridimensionale: equazione di Cooke	233	7.2 Paradosso di d'Alembert in tre dimensioni	291
6.7 Spessori integrali dello strato limite	236	7.3 Correnti incompressibili irrotazionali piane	294
Spessore di spostamento	236	Equazioni di Laplace del potenziale e funzione di corrente	295
Spessore di quantità di moto	237	Soluzioni elementari piane	296
Spessore di energia cinetica	237	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	Bibliografia	377	
Calcolo del coefficiente di pressione	344	Indice analitico	381	
7.13 Metodo delle singolarità virtuali di Hess-Smith	346	Tabelle riassuntive		
Formulazione del metodo	346			
Velocità indotta da una distribuzione uniforme di sorgenti	348			
Velocità indotta da una distribuzione uniforme di vortici	349			