

# INDICE

	<b>PREFAZIONE</b>	<b>xv</b>
<b>CAPITOLO 1</b>	<b>GRANDEZZE FISICHE</b>	<b>1</b>
	1-1 Introduzione	2
	1-2 Il metodo scientifico	2
	1-3 Leggi della Fisica e Principi	4
	1-4 I modelli in Fisica	7
	1-5 Grandezze fisiche e loro misurazione	7
	1-6 Metodi di misurazione	8
	1-7 Dimensioni delle grandezze fisiche	9
	1-8 Sistemi di unità di misura	12
	1-9 Errori	13
	1-10 Tempo	14
	1-11 Lunghezza	16
	1-12 Massa	17
	1-13 Misure e indeterminazione	18
<b>APPROFONDIMENTI</b>	1-14 Misure di tempo	20
	1-14-1 Il secondo	20
	1-14-2 Misure indirette di tempo	21
	1-14-3 Misure di tempi di reazione nucleare	22
	1-15 Misure di lunghezza	22
	1-15-1 Il metro	22
	1-15-2 Metodo della triangolazione	23
	1-15-3 Metodi basati su misure di tempo	24
	1-15-4 Metodi per distanze astronomiche	25
	1-15-5 Metodi per dimensioni nucleari	26
<b>COMPLEMENTI</b>	1-16 Legge del decadimento	27

	1-17 Errori	28
	1-17-1 Errori sistematici ed errori casuali	28
	1-17-2 Risultato di una misurazione	30
	1-17-3 Distribuzione di Gauss	30
	1-17-4 Distribuzione di Poisson	32
	1-17-5 Propagazione degli errori	33
	1-18 Cifre significative	33
	1-19 Leggi fisiche e analisi dimensionale	34
	Problemi	36
	Risultati	37
	Riepilogo di alcune relazioni significative	37
<b>CAPITOLO 2</b>	<b>CALCOLO VETTORIALE</b>	<b>39</b>
	2-1 Grandezze scalari e grandezze vettoriali	40
	2-2 Notazioni e definizioni vettoriali	41
	2-3 Somma e differenza di vettori	42
	2-4 Prodotto di uno scalare per un vettore	43
	2-5 Versori	44
	2-6 Scomposizione di vettori	45
	2-7 Prodotto scalare	46
	2-8 Prodotto vettoriale	48
	2-9 Rappresentazione cartesiana ortogonale	50
	2-10 Equivalenza fra le rappresentazioni vettoriali	51
	2-11 Espressioni cartesiane delle operazioni fra vettori	52
	2-12 Derivazione di vettori	54
	2-13 Derivate di versori e di vettori	55
	2-14 Momento di un vettore applicato	57
	2-15 Vettore posizione e sistemi di coordinate	58
	2-16 Coordinate polari piane	60
<b>APPROFONDIMENTI</b>	2-17 Vettori e proprietà di trasformazione	61
	2-17-1 Traslazioni	62
	2-17-2 Rotazioni attorno a uno degli assi	62
	2-17-3 Riflessione speculare	64
	2-18 Prodotti tripli	65
	2-19 Sistemi di vettori applicati	66
<b>COMPLEMENTI</b>	2-20 Operatore Nabla	69
	2-21 Coordinate polari e cilindriche	71
	2-21-1 Coordinate polari sferiche	71
	2-21-2 Coordinate polari cilindriche	72
	2-21-3 Gradiente, divergenza, rotore e laplaciano	73
	Problemi	74
	Risultati	75
	Riepilogo di alcune relazioni significative	75
<b>CAPITOLO 3</b>	<b>CINEMATICA</b>	<b>77</b>
	3-1 Introduzione	78
	3-2 Moto e sistemi di riferimento	78
	3-3 Lo schema del punto materiale	79
	3-4 Equazione vettoriale del moto: traiettoria e legge oraria	80
	3-5 Introduzione al concetto di velocità	83
	3-6 Il vettore velocità	84
	3-7 Rappresentazione intrinseca della velocità	85
	3-8 Rappresentazione cartesiana della velocità	87

3-9	Accelerazione	89
3-10	Espressione intrinseca dell'accelerazione	92
3-11	Classificazione di moti elementari	95
3-11-1	Moti con $\dot{s} = \text{costante}$	95
3-11-2	Moti con $\ddot{s} = \text{costante}$	96
3-12	Moti rettilinei	97
3-13	Moti circolari	98
3-13-1	Geometria e versori intrinseci della traiettoria	99
3-13-2	Moto circolare uniforme	99
3-13-3	Moto circolare uniformemente vario	100
3-13-4	Grandezze angolari	100
3-13-5	Periodicità del moto circolare uniforme	103
3-13-6	Equazioni differenziali nel moto circolare uniforme	104
3-14	Moto oscillatorio armonico	105
3-15	Moto piano in coordinate polari	107
3-16	Il problema inverso della cinematica	110
3-17	Moto con accelerazione costante: i gravi	111
3-18	Cinematica dei moti relativi: introduzione	118
3-19	Leggi di trasformazione di velocità e accelerazione	119
3-20	Moto relativo di traslazione rettilinea	122
3-21	Trasformazioni di Galileo	123
3-22	Moto relativo di rotazione	126
3-23	Moto relativo di rototraslazione	128
3-24	Velocità e accelerazione nei moti relativi	129
3-24-1	Derivate di vettori e sistemi di riferimento	129
3-24-2	Trasformazioni delle velocità	131
3-24-3	Trasformazioni delle accelerazioni	131
3-25	Problema inverso nel moto unidimensionale	132
3-26	Cinematica e proprietà geometriche delle curve	134
3-27	Moto in coordinate polari	136
3-28	Le relazioni di Poisson	137
	Problemi	138
	Risultati	141
	Riepilogo di alcune relazioni significative	141
<b>APPROFONDIMENTI</b>		
<b>COMPLEMENTI</b>		
<b>CAPITOLO 4</b>		<b>I PRINCIPI DELLA DINAMICA</b>
		<b>143</b>
4-1	Introduzione	144
4-2	Interazioni e ambiente	144
4-3	Forze	145
4-4	Definizione operativa delle forze	147
4-5	Reazioni vincolari	149
4-6	Introduzione ai Principi della Dinamica	150
4-7	Primo Principio della Dinamica	151
4-7-1	Le indicazioni sperimentali	151
4-7-2	I sistemi di riferimento inerziali	152
4-8	Secondo Principio della Dinamica	154
4-9	Massa inerziale	157
4-10	Principio di Azione e Reazione	158
4-11	Quantità di moto e impulso	160
4-12	Momento angolare	163
<b>APPROFONDIMENTI</b>		
4-13	Massa e peso	165
4-14	Misure indirette di massa	167
4-15	Massa e costituzione della materia	167
4-16	Misura dinamica delle forze	169

4-17	Principio di relatività e covarianza delle leggi fisiche	170
4-18	Interazioni fondamentali	173
4-18-1	Interazione gravitazionale	175
4-18-2	Interazione elettrodebole	176
4-18-3	Interazione nucleare forte	177
4-19	Campi di forze	178
	Problemi	179
	Risultati	182
	Riepilogo di alcune relazioni significative	182

**CAPITOLO 5****APPLICAZIONI DEI PRINCIPI DELLA DINAMICA****185**

5-1	Introduzione	186
5-2	Forze costanti	186
5-3	Forze elastiche e legge di Hooke	191
5-4	Il pendolo semplice	198
5-5	Forze che dipendono dalla velocità	199
5-6	Attrito radente	201
5-6-1	Attrito statico	201
5-6-2	Attrito dinamico	202
5-6-3	Attrito e locomozione	204
5-7	Dinamica di moti circolari	206
5-8	Dinamica nei sistemi di riferimento non inerziali	210
5-8-1	La dinamica in un treno accelerato	211
5-8-2	Non equivalenza dei sistemi di riferimento non inerziali	213
5-8-3	La dinamica in un ascensore accelerato	215
5-8-4	La dinamica su una piattaforma rotante	217
5-9	Sistema di riferimento terrestre	220
5-10	Oscillazioni smorzate	223
5-11	Oscillazioni forzate e risonanza	224
	Problemi	226
	Risultati	229
	Riepilogo di alcune relazioni significative	230

**COMPLEMENTI****CAPITOLO 6****ENERGIA E LAVORO****233**

6-1	Introduzione	234
6-2	Lavoro di una forza	234
6-3	Energia cinetica - Teorema delle forze vive	237
6-4	Campi di forze conservativi	240
6-5	Alcuni campi conservativi	243
6-5-1	Forza peso	243
6-5-2	Forza elastica	244
6-5-3	Forze centrali a simmetria sferica	245
6-5-4	Forza centrifuga	248
6-5-5	Superfici equipotenziali	250
6-6	Forze non conservative	250
6-7	Conservazione dell'energia meccanica	251
6-7-1	Energia meccanica nei problemi unidimensionali	254
6-7-2	Alcune avvertenze sulla conservazione dell'energia meccanica	256
6-8	Trasformismo dell'energia	258
6-8-1	Energia negli oscillatori	258
6-8-2	Trasferimenti di energia in sistemi più complessi	261
6-9	Macchine semplici	263

	6-10 Potenza	264
	6-11 Conservazione dell'energia	266
<b>APPROFONDIMENTI</b>	6-12 Energia potenziale e stabilità dell'equilibrio	268
	6-13 Energia meccanica e sistemi a un grado di libertà	273
	6-14 Lavoro, energia e sistemi di riferimento	276
	Problemi	277
	Risultati	280
	Riepilogo di alcune relazioni significative	281
<b>CAPITOLO 7</b>	<b>DINAMICA DEI SISTEMI</b>	<b>283</b>
	7-1 Introduzione	284
	7-2 Centro di massa	284
	7-2-1 Sistemi discreti	284
	7-2-2 Sistemi continui	286
	7-3 Quantità di moto e moto del centro di massa	289
	7-3-1 Moto del centro di massa	290
	7-3-2 Conservazione della quantità di moto	293
	7-4 Momento angolare di un sistema	295
	7-5 Equazioni cardinali	298
	7-6 Sistemi isolati e Terzo Principio della Dinamica	300
	7-7 Sistemi di forze parallele e baricentro	302
	7-8 Moto rispetto al centro di massa e teoremi di König	304
	7-8-1 Momento angolare	304
	7-8-2 Energia cinetica	305
	7-9 Lavoro ed energia	306
	7-9-1 Lavoro delle forze interne	307
	7-9-2 Energia meccanica, energia propria ed energia interna	308
	7-9-3 Pseudolavoro	311
	7-10 Sistemi di due corpi	313
	7-11 Moto relativo di due corpi	316
	7-12 Fenomeni d'urto	320
	7-12-1 Introduzione	320
	7-12-2 La conservazione di grandezze dinamiche negli urti	321
	7-12-3 Limitazioni derivanti dai Principi di conservazione	323
	7-13 Urti unidimensionali	324
	7-13-1 Urti semplici nel piano	325
<b>APPROFONDIMENTI</b>	7-14 Collisioni fra due corpi e moto relativo	328
	7-14-1 Collisioni elastiche	329
	7-14-2 Collisioni anelastiche	329
	7-14-3 Moto relativo e urti centrali elastici	330
	7-14-4 Coefficiente di anelasticità	331
	7-15 Urti e interazioni	332
	7-16 Diffusione elastica in un campo coulombiano	333
<b>COMPLEMENTI</b>	7-17 Moto dei razzi	337
	Problemi	339
	Risultati	341
	Riepilogo di alcune relazioni significative	342
<b>CAPITOLO 8</b>	<b>CORPI RIGIDI</b>	<b>343</b>
	8-1 Introduzione	344
	8-2 Cinematica dei sistemi rigidi	345
	8-2-1 Moti traslatori puri	345

	8-2-2 Moti rotatori con asse fisso	346
	8-2-3 Moti rotatori con asse variabile	348
	8-3 Momento di inerzia	349
	8-4 Dinamica dei sistemi rigidi con asse fisso	354
	8-4-1 L'equazione del moto	354
	8-4-2 Assi di rotazione e assi di simmetria	356
	8-4-3 Pendolo fisico	358
	8-4-4 Pendolo di torsione	359
	8-5 Conservazione del momento angolare assiale	361
	8-6 Energia cinetica di un sistema rigido	363
	8-7 Lavoro delle forze agenti sui sistemi rigidi	365
	8-8 Energia e moto di sistemi rigidi	367
	8-9 Attrito volvente	370
	8-10 Statica dei sistemi rigidi	372
	8-11 Fenomeni elastici	376
<b>APPROFONDIMENTI</b>	8-12 Trasferimenti di impulso e momento angolare	378
	8-13 Stabilità dell'equilibrio	383
	8-14 Moti giroscopici	386
<b>COMPLEMENTI</b>	8-15 Dinamica del rotolamento puro	388
	8-16 Tensore d'inerzia	394
	8-16-1 Dinamica rotazionale con il tensore d'inerzia	395
	8-16-2 Energia rotazionale con il tensore d'inerzia	396
	Problemi	396
	Risultati	400
	Riepilogo di alcune relazioni significative	401
<b>CAPITOLO 9</b>	<b>GRAVITAZIONE</b>	<b>403</b>
	9-1 Introduzione	403
	9-2 Legge di gravitazione	404
	9-3 Massa inerziale e massa gravitazionale	407
	9-4 Legge di Newton e leggi di Keplero	410
	9-5 Campi centrali a simmetria sferica	412
	9-6 Orbite circolari nel campo gravitazionale	415
<b>APPROFONDIMENTI</b>	9-7 Costante gravitazionale $G$	417
	9-8 Accelerazione di gravità	420
	9-8-1 Effetti non inerziali	420
	9-8-2 Effetti di marea	422
	9-9 Gravitazione e cosmologia	424
	9-9-1 Densità e destino dell'Universo	425
	9-9-2 I buchi neri	425
<b>COMPLEMENTI</b>	9-10 Forza gravitazionale di una sfera omogenea	426
	9-11 Prima legge di Keplero	428
	9-12 Gravitazione ed esplorazioni spaziali	433
	Problemi	435
	Risultati	437
	Riepilogo di alcune relazioni significative	437
<b>CAPITOLO 10</b>	<b>ELEMENTI DI MECCANICA DEI FLUIDI</b>	<b>439</b>
	10-1 Introduzione	439
	10-2 Densità	440
	10-3 Pressione	441
	10-4 Equazione della statica	442
	10-4-1 Legge di Stevino e Legge di Pascal	444

	10-4-2 La pressione atmosferica	445
	10-4-3 Dipendenza della pressione atmosferica dalla quota	446
	10-5 Misurazioni di pressione	447
	10-6 Legge di Archimede	448
	10-6-1 Statica del galleggiamento	449
	10-7 Dinamica dei fluidi	450
	10-8 Equazione di continuità	452
	10-9 Teorema di Bernoulli	452
	10-9-1 Tubo di Venturi	454
	10-9-2 Tubo di Pitot	455
<b>APPROFONDIMENTI</b>	10-10 Fluidi reali	455
	10-11 Resistenza del mezzo	457
<b>COMPLEMENTI</b>	10-12 Energia e galleggiamento	459
	Problemi	461
	Risultati	463
	Riepilogo di alcune relazioni significative	463
<b>CAPITOLO 11</b>	<b>FENOMENI ONDULATORI</b>	<b>465</b>
	11-1 Introduzione	466
	11-2 Equazione di D'Alembert	467
	11-2-1 Onde piane	469
	11-2-2 Onde sferiche	471
	11-3 Onde piane armoniche (o monocromatiche)	472
	11-3-1 Sovrapposizione di onde	473
	11-3-2 Rappresentazione complessa e somma delle onde	474
	11-3-3 Interferenza	475
	11-4 Battimenti e velocità di gruppo	478
	11-4-1 Velocità di gruppo	480
	11-5 Onde trasversali su una corda	481
	11-6 Onde longitudinali in una sbarra solida	483
	11-7 Onde elastiche nei gas	484
	11-7-1 Velocità del suono in aria	486
	11-7-2 Onde di pressione e di densità	487
	11-8 Energia trasportata dalle onde elastiche	487
	11-8-1 Energia e potenza nelle onde monocromatiche	490
	11-9 Impedenza dei mezzi	492
	11-9-1 Onde su una corda	492
	11-9-2 Onde longitudinali	493
	11-10 Trasmissione e riflessione di onde elastiche	494
	11-10-1 Riflessioni all'estremo di una corda	498
	11-11 Onde stazionarie su una corda	499
	11-11-1 Onde stazionarie su una corda con estremi fissi	500
	11-11-2 Onde stazionarie su una corda con un solo estremo fisso	502
	11-11-3 Onde stazionarie nei gas	503
	11-11-4 Energia nelle onde stazionarie	503
	11-12 Intensità e velocità del suono	505
	11-13 Effetto Doppler	506
	11-13-1 Sorgenti ad alte velocità e onde d'urto	509
<b>COMPLEMENTI</b>	11-14 Onde elastiche nei solidi	509
	11-14-1 Cenni alle onde sismiche	511
	11-15 Corda vibrante e analisi armonica	511
	11-15-1 Analisi di Fourier delle funzioni periodiche	514
	Problemi	516
	Risultati	518

	Riepilogo di alcune relazioni significative	518
<b>CAPITOLO 12</b>	<b>SISTEMI TERMODINAMICI</b>	<b>521</b>
	12-1 Introduzione	522
	12-2 Coordinate termodinamiche	523
	12-3 Pareti adiabatiche e diatermiche: equilibrio termico	524
	12-4 Principio zero e temperatura	526
	12-5 Temperatura del termometro a gas perfetto	529
	12-6 Dilatazione termica	531
	12-7 Trasformazioni termodinamiche	532
	12-8 Termostati (serbatoi, sorgenti)	534
	12-9 Equazione di stato dei gas	535
	12-9-1 Gas ideali	536
	12-9-2 Gas reali	540
	12-10 Lavoro termodinamico	542
	12-10-1 Lavoro dei gas ideali	545
	12-10-2 Lavoro dell'attrito e reversibilità	547
	12-11 Metodo statistico	548
<b>COMPLEMENTI</b>	12-12 Stati di aggregazione e punto triplo	552
	12-12-1 Punto triplo	553
	Problemi	553
	Risultati	555
	Riepilogo di alcune relazioni significative	555
<b>CAPITOLO 13</b>	<b>PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA</b>	<b>557</b>
	13-1 Energia e sistemi termodinamici	557
	13-2 Lavoro adiabatico ed energia interna	558
	13-3 Primo Principio e calore	560
	13-4 Trasmissione del calore	564
	13-4-1 Conduzione	564
	13-4-2 Convezione	565
	13-4-3 Irraggiamento	566
	13-5 Capacità termica	568
	13-5-1 Equilibrio termico tra due corpi	569
	13-5-2 Calore molare di sistemi idrostatici	571
	13-5-3 Calore molare nei solidi e calore latente	573
	13-6 Proprietà dei gas ideali	573
	13-6-1 Energia interna	573
	13-6-2 Capacità termica e relazione di Mayer	574
	13-6-3 Trasformazioni adiabatiche quasi-statiche	576
	13-6-4 Trasformazioni politropiche	576
	13-7 Aspetti microscopici	579
<b>APPROFONDIMENTI</b>	13-8 Equazioni di Clapeyron	581
	13-9 Relazione fra i calori molari	584
<b>COMPLEMENTI</b>	13-10 Esperimento di Joule	585
	Problemi	587
	Risultati	589
	Riepilogo di alcune relazioni significative	589
<b>CAPITOLO 14</b>	<b>SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA</b>	<b>591</b>
	14-1 Introduzione	592
	14-2 Come ottenere lavoro da un serbatoio di calore	592
	14-3 Enunciato di Kelvin-Planck: macchine termiche	593

14-4	Enunciato di Clausius: macchine frigorifere	595
14-5	Equivalenza dei due enunciati	596
14-6	Macchine reversibili e ciclo di Carnot	597
14-7	Teorema di Carnot	597
14-8	Macchina reversibile a gas perfetto	598
14-9	Temperatura termodinamica assoluta	599
14-10	Prestazioni delle macchine termiche	600
14-11	Teorema di Clausius	605
14-12	La funzione di stato entropia	606
	14-12-1 Entropia e serbatoi di calore	608
14-13	Entropia e trasformazioni nei sistemi isolati	609
14-14	Secondo principio della termodinamica	614
14-15	Entropia e rendimento delle macchine termiche	615
14-16	Traccia di una trasformazione	616
14-17	Entropia dei sistemi idrostatici e piano $[S, T]$	620
14-18	Energie libere	622
14-19	Entropia e probabilità	623
	14-19-1 Entropia e disordine	626
14-20	Entropia e informazione	628
14-21	Trasformazioni termiche	629
14-22	Temperatura assoluta	630
14-23	Ciclo di Carnot ed equazioni di Clapeyron	632
14-24	Sulla definizione di gas perfetto	633
	Problemi	635
	Risultati	637
	Riepilogo di alcune relazioni significative	637
<b>COMPLEMENTI</b>		
<b>APPROFONDIMENTI</b>		
<b>CAPITOLO 15</b>		<b>ELEMENTI DI MECCANICA RELATIVISTICA</b>
		<b>639</b>
15-1	Introduzione	640
	15-1-1 Principi della Relatività	641
15-2	La velocità limite	642
15-3	Spazio, tempo e sistemi di riferimento	643
	15-3-1 Osservatori e procedure di misurazione	643
	15-3-2 Necessità di una revisione dei concetti di spazio e di tempo	644
	15-3-3 Moto relativo e lunghezze trasversali	645
15-4	Simultaneità	645
15-5	Dilatazione del tempo	647
	15-5-1 Verifiche sperimentali	650
15-6	Contrazione delle lunghezze	651
15-7	Relatività e trasformazioni di Lorentz	652
	15-7-1 Trasformazioni di velocità e accelerazioni	654
15-8	Introduzione alla dinamica relativistica	656
15-9	Energia	657
	15-9-1 Energia cinetica	657
	15-9-2 Energia a riposo e massa	658
	15-9-3 Energia, massa e quantità di moto	659
	15-9-4 Fotoni e particelle di massa nulla	660
15-10	Forza, accelerazione e massa	661
15-11	Equivalenza massa-energia	663
	15-11-1 La formula di Einstein	663
	15-11-2 Alcune trasformazioni massa-energia	663
	15-11-3 Difetto di massa ed energia di legame	664

<b>COMPLEMENTI</b>	15-12 Conservazione della quantità di moto negli urti	664
	15-12-1 Conservazione della quantità di moto e dell'energia di un sistema isolato di particelle	668
<b>APPROFONDIMENTI</b>	15-13 La misura della velocità della luce	670
	15-14 L'etere e l'esperimento di Michelson e Morley	671
	15-15 Quadrivettori e meccanica relativistica	673
	15-15-1 Energia di un sistema di particelle interagenti.	677
	Problemi	679
	Risultati	681
	Riepilogo di alcune relazioni significative	682
	<b>APPENDICE</b>	<b>683</b>
	A-1 Funzioni	683
	A-2 Derivate e differenziali	684
	A-3 Proprietà delle derivate	686
	A-4 Derivate parziali	688
	A-5 Approssimazione delle funzioni con polinomi	689
	A-6 Integrali	690
	A-7 Equazioni differenziali	693
	A-8 Integrali curvilinei	695
	A-9 Numeri complessi	697
	<b>PREMI NOBEL</b>	<b>701</b>
	<b>INDICE ANALITICO</b>	<b>705</b>