

Indice

Indice	v
Premessa degli autori	xv
Prefazione	xvii
A cura di V. Parenti Castelli	xvii
A cura di A. Cappozzo	xix
1 Introduzione	3
1.1 La meccanica	3
1.2 La biomeccanica	4
1.3 Organizzazione del testo	6
1.4 Cenni storici	7
1.5 Terminologia essenziale	10
1.6 Modelli di sistemi meccanici e biomeccanici	15
1.6.1 Confronto tra modelli	16
1.6.2 Modelli a catene cinematiche	17
1.6.3 Modelli agli elementi finiti	20
1.6.4 Modelli fisici	21
2 Il sistema muscolo-scheletrico	23
2.1 Il muscolo	23
2.2 Cenni di anatomia funzionale del muscolo scheletrico	26
2.2.1 La struttura del muscolo	26
2.2.2 La relazione forza-lunghezza del sarcomero	29
2.3 Il comando della contrazione, le unità motorie, il twitch	30
2.3.1 Generalità, unità motorie, fibre lente e veloci, meccanismo di contrazione	30
2.3.2 La scossa singola (twitch) e il reclutamento muscolare	31
2.4 Proprietà meccaniche del muscolo, modello di Hill	33
2.4.1 Considerazioni di base	33
2.4.2 La relazione forza-lunghezza	34
2.4.3 La relazione forza-velocità	35
2.4.4 Potenza meccanica sviluppabile	38
2.4.5 Stimolazione e attivazione	38
2.4.6 Modello di Hill a 3 elementi	39
2.5 Procedure di verifica sperimentali	40
2.6 Consumo e rendimento energetico dei muscoli	43

2.7	Il consumo di ossigeno, la frequenza cardiaca e la misura del costo energetico	47
2.8	Produzione di energia, consumo energetico, affaticamento	50
2.9	Cenni sul sistema nervoso	52
2.10	I neuroni	53
2.11	Il sistema nervoso centrale SNC	55
	2.11.1 L'encefalo	55
	2.11.2 Il midollo spinale	56
2.12	Recettori	58
2.13	Il sistema motorio	58
2.14	Il sistema scheletrico	61
2.15	La struttura delle ossa	64
	2.15.1 La forma	64
	2.15.2 La struttura interna	65
	2.15.3 Un tessuto vivo	65
2.16	Tendini e legamenti	67
2.17	Cartilagine	70
2.18	Le articolazioni	71
	2.18.1 Classificazione delle articolazioni	71
	2.18.2 Classificazione delle diartrosi	74
2.19	L'arto superiore	77
	2.19.1 Struttura generale	77
	2.19.2 La spalla	78
	2.19.3 L'articolazione del gomito	80
	2.19.4 L'articolazione del polso	81
	2.19.5 La mano	82
2.20	L'arto inferiore	82
	2.20.1 Struttura generale	82
	2.20.2 L'anca	86
	2.20.3 Il ginocchio	86
	2.20.4 La caviglia	87
2.21	Il cranio	87
2.22	Il rachide	88
	2.22.1 Introduzione	88
	2.22.2 Le vertebre	89
	2.22.3 I dischi intervertebrali	90
	2.22.4 I muscoli del rachide	92
3	Cinematica	93
3.1	Posizione, velocità e accelerazione di un punto	93
	3.1.1 Moto rettilineo	97
	3.1.2 Moto balistico	99
	3.1.3 Moto circolare	100
3.2	Moto di un corpo rigido	103

3.2.1	Teoremi di Galileo e di Rivals	103
3.2.2	Centro di istantanea rotazione	107
3.3	Moto dei sistemi di corpi	111
3.3.1	Gradi di libertà e vincoli	112
3.3.2	Coppie cinematiche	113
3.3.3	Analisi di mobilità dei sistemi di corpi	118
3.3.4	Moto relativo tra corpi	122
3.4	Analisi cinematica	125
3.4.1	Analisi di posizione	126
3.4.2	Analisi di velocità e accelerazione	126
3.5	Moto nello spazio tridimensionale	138
3.5.1	Posizione e orientamento relativi tra corpi	138
3.5.2	Rappresentazioni dell'orientamento	142
3.6	Analisi matriciale di velocità e accelerazione	151
3.6.1	Concetti generali	151
3.6.2	Composizione dei moti	154
3.7	Esercizi	155
4	Statica	159
4.1	Forze e momenti	159
4.1.1	Definizioni e proprietà delle forze e dei momenti	159
4.1.2	Tipologie di forze	165
4.2	Forza di gravità e baricentro	169
4.3	Forza elastica	173
4.4	Forze di attrito e dissipative	175
4.4.1	Attrito radente statico e dinamico	176
4.4.2	Attrito volvente	181
4.4.3	Attrito viscoso	184
4.5	Azioni aerodinamiche	185
4.6	Reazioni vincolari	190
4.7	Equilibrio dei corpi	193
4.7.1	Equazioni cardinali della statica	193
4.7.2	Diagrammi di corpo libero	194
4.7.3	Analisi statica dei sistemi in presenza di attrito	201
4.8	Principi di statica applicati al corpo umano: le leve	205
4.9	Analisi matriciale della statica	207
4.10	Esercizi	208
5	Modelli per la cinematica e la statica del corpo umano	213
5.1	Considerazioni di base	213
5.2	Primo modello elementare dell'arto inferiore	214
5.3	Secondo modello dell'arto inferiore con segmenti rigidi pesanti	221
5.4	Limiti dei modelli considerati	223
5.5	Modello dell'arto inferiore tridimensionale semplificato	225

5.5.1	Descrizione anatomica	226
5.5.2	Analisi cinematica	228
5.5.3	Analisi degli sforzi	232
5.5.4	Confronto tra modelli	239
5.6	Modellazione delle azioni muscolari	240
5.7	Forze articolari	240
5.8	La cooperazione di vari muscoli	243
5.8.1	Sistema staticamente indeterminato	243
5.8.2	Formulazione matematica del problema	244
5.8.3	Interpretazione grafica	247
5.9	Confronto tra i diversi modelli dell'arto superiore	249
5.10	Cooperazione tra muscoli: alcune riflessioni	250
5.11	Modellizzazione elementare del rachide	251
6	Dinamica	255
6.1	Proprietà inerziali dei corpi	255
6.1.1	Momento di inerzia	255
6.1.2	Momento di inerzia per assi paralleli	259
6.1.3	Matrice di inerzia	261
6.2	Equazioni cardinali della dinamica	264
6.2.1	Dinamica del punto materiale	265
6.2.2	Dinamica del corpo rigido	266
6.2.3	Dinamica del corpo rigido in moto piano	272
6.3	Metodi energetici	278
6.3.1	Energia cinetica di un corpo rigido	278
6.3.2	Lavoro e potenza	280
6.3.3	Lavoro delle forze conservative	283
6.3.4	Teorema dell'energia cinetica	284
6.3.5	Flusso di potenza e bilancio energetico	288
6.3.6	Rendimento	291
6.4	Dinamica dei sistemi multibody	294
6.4.1	Formulazione di Newton-Eulero e principio di d'Alembert	294
6.4.2	Formulazione di Lagrange	298
6.5	Analisi matriciale della dinamica	301
6.6	Esercizi	303
7	Meccanica degli urti	307
7.1	Impulso e quantità di moto	307
7.2	Urti	310
7.2.1	Urto centrale diretto	311
7.2.2	Urto centrale obliquo	315
7.2.3	Urto eccentrico	318
7.3	Gli urti nella biomeccanica	321
7.3.1	La corsa	321

7.3.2	Il tennis	323
7.4	Esercizi	327
8	Meccanica delle vibrazioni	329
8.1	Vibrazioni e modelli di sistemi vibranti	329
8.2	Effetti delle vibrazioni sull'uomo	332
8.3	Modello a un grado di libertà	333
8.4	Risposta libera	335
8.4.1	Smorzamento subcritico ($\zeta < 1$)	336
8.4.2	Smorzamento critico ($\zeta = 1$)	339
8.4.3	Smorzamento supercritico ($\zeta > 1$)	339
8.5	Risposta forzata	343
8.5.1	Risposta a una forzante armonica	344
8.5.2	Trasmissibilità e isolamento dalle vibrazioni	348
8.5.3	Vibrazioni causate dal moto del basamento	352
8.6	Cenni sui sistemi vibranti a più gradi di libertà	357
8.7	Considerazioni conclusive	359
8.8	Esercizi	361
9	Introduzione alla meccanica dei corpi deformabili	363
9.1	Introduzione	363
9.2	Azioni interne	363
9.3	Proprietà geometriche delle sezioni	371
9.3.1	Baricentro	371
9.3.2	Momenti di inerzia	372
9.4	Tensione e deformazione	373
9.4.1	Tensione	373
9.4.2	Deformazione	376
9.4.3	Legame costitutivo elastico: legge di Hooke	377
9.5	Tensioni principali	381
9.6	Trazione	383
9.7	Flessione	384
9.8	Taglio	390
9.9	Torsione	391
9.10	Contatti superficiali e usura	395
9.10.1	Contatti puntiformi	396
9.10.2	Contatti lineari	398
9.10.3	Usura	399
9.10.4	Cenni sulla lubrificazione	401
9.11	Esercizi	403
10	Proprietà meccaniche dei materiali e dei tessuti	405
10.1	Elasticità e plasticità	405
10.2	Viscoelasticità	408
10.2.1	Modelli elementari: molle e smorzatori	409

10.2.2	Modello di Kelvin-Voight	411
10.2.3	Modello di Maxwell	412
10.2.4	Modello a tre elementi: solido lineare standard (SLS) . . .	412
10.2.5	Isteresi	413
10.3	Proprietà meccaniche dei tessuti biologici	415
10.3.1	Il tessuto osseo	415
10.3.2	I tendini e i legamenti	418
10.3.3	La cartilagine ialina	419
11	Antropometria	421
11.1	L'antropometria	421
11.2	L'evoluzione dell'antropometria	423
11.3	Classificazione delle diverse corporature	425
11.3.1	Indice di massa corporea	426
11.3.2	Problemi statistici	426
11.3.3	Differenze tra i sessi e con l'età	428
11.3.4	Normalizzazione dei valori	429
11.4	Dimensioni e proprietà di massa del corpo e dei segmenti corporei	430
11.4.1	Introduzione	430
11.4.2	Densità corporea	431
11.4.3	Dimensioni, masse, inerzie e volumi	432
11.4.4	Proprietà di massa dell'intero corpo umano	436
11.5	Procedimenti sperimentali elementari di stima dei parametri . . .	436
11.5.1	Baricentri	436
11.5.2	Momenti d'inerzia	437
11.6	Determinazione delle proprietà di massa, densità e inerzia per scansione	438
12	La misura e l'analisi del movimento	443
12.1	Cenni storici	443
12.2	I laboratori di analisi del movimento	444
12.3	Strumenti e metodi di analisi	446
12.4	Elettrogoniometri ed esoscheletri	447
12.4.1	Introduzione alla misura delle rotazioni	447
12.4.2	Elettrogoniometri monoassiali	447
12.4.3	Rotazioni pluriassiali	448
12.4.4	Elettrogoniometri flessibili	450
12.4.5	Esoscheletri	452
12.5	La misura del movimento tramite telecamere	453
12.5.1	Introduzione	453
12.5.2	Principi di fotogrammetria	455
12.5.3	I marker	457
12.5.4	Modello e calibrazione di una telecamera	461
12.5.5	Ricostruzione 2D e 3D delle coordinate reali di un punto .	465

12.5.6	Geometria epipolare	467
12.5.7	Sincronizzazione di più telecamere	468
12.5.8	Precisione di misura, accuratezza e risoluzione	469
12.5.9	Miglioramento della misura tramite modelli multicorpo adattabili	470
12.5.10	Analisi di immagini senza marker	471
12.6	Altri dispositivi di misura del movimento	472
12.7	La misura delle forze	473
12.7.1	Piattaforme di forza	473
12.7.2	La misura della pressione del piede	474
12.8	Analisi del movimento	474
12.8.1	Introduzione	474
12.8.2	Campionamento di segnali	475
12.8.3	Derivazione numerica, filtraggio e smoothing	478
12.8.4	Analisi cinematica	482
12.8.5	Analisi dinamica 2D	485
12.9	Misura dell'attività muscolare, l'elettromiografia EMG	486
12.9.1	Generalità	486
12.9.2	Gli elettrodi	487
12.9.3	Misura del segnale e stima della forza	488
12.9.4	Riduzione dei disturbi e artefatti	490
12.9.5	Note	490
12.10	Misura del consumo energetico	491
13	Analisi e simulazione di attività comuni e sportive	493
13.1	Il cammino	493
13.1.1	Il ciclo del passo	494
13.1.2	Le fasi del ciclo del passo	498
13.1.3	Analisi semplificata dei movimenti articolari	499
13.1.4	La forza scambiata con il terreno	501
13.1.5	Le coppie nelle articolazioni	503
13.1.6	Attività dei muscoli dell'arto inferiore nel cammino	504
13.1.7	Armonizzazione del movimento, i sei <i>determinanti</i> del cammino	505
13.1.8	Modello dinamico a corpi rigidi del cammino	507
13.1.9	Consumo e costo energetico	509
13.2	Il salto in lungo	510
13.2.1	Il salto nell'antica Grecia	511
13.2.2	Il ruolo del movimento delle braccia	513
13.2.3	Il salto in lungo moderno	518
13.2.4	La fase aerea (veleggiamento)	519
13.2.5	La battuta	527
13.2.6	La rincorsa	536
13.3	Analisi biomeccanica della pedalata	537

13.3.1	Forze e potenze nel ciclismo	539
13.3.2	Dispositivi di misura	540
13.3.3	Modello dell'arto inferiore	542
13.3.4	Limiti del modello	544
13.3.5	Modello cinematico per lo studio della pedalata	545
13.3.6	Considerazioni funzionali	546
13.3.7	Modello dinamico per lo studio della pedalata	547
13.3.8	Dinamica	547
13.3.9	Descrizione di alcune prove sperimentali tipiche	549
13.3.10	Analisi dei dati	549
13.3.11	Componenti della forza sui pedali	553
13.3.12	Forze nei piani NT (normale tangenziale) e NL (normale laterale)	558
13.3.13	Angolo del tubo sella (STA)	559
13.3.14	Movimenti e muscolatura degli arti inferiori	560
13.3.15	Attivazione muscolare	562
13.3.16	Funzioni biomeccaniche dell'arto durante la pedalata	564
13.3.17	Hand-Bike	565
13.3.18	Cyclette Ellittica	565
13.4	Analisi biomeccanica del servizio nel tennis	568
13.4.1	Introduzione	568
13.4.2	Metodo di analisi del movimento	569
13.4.3	Risultati e discussione	571
13.4.4	Influenza delle rotazioni articolari sulla velocità della racchetta	571
13.4.5	Effetto sulle forze articolari della variazione di stile	574
13.4.6	Urto pallina-racchetta	578
14	Endoprotesi articolari e protesi d'arto	579
14.1	Le endoprotesi articolari	579
14.2	Endoprotesi dell'anca	580
14.2.1	Condizioni e carichi di lavoro in attività routinarie	580
14.2.2	Struttura e criteri di progetto della protesi	583
14.2.3	Protesi non cementate	585
14.2.4	Protesi cementate	588
14.2.5	Interfaccia protesi-osso	588
14.2.6	Giunto articolare	589
14.3	Endoprotesi del ginocchio	591
14.3.1	Tipologie di protesi	592
14.3.2	Conformità della protesi	595
14.4	Altre tipologie di endoprotesi	595
14.4.1	Protesi del gomito	595
14.4.2	Protesi del polso e della caviglia	596
14.4.3	Fissatori vertebrali	596

14.4.4	Placche e chiodi	597
14.4.5	Fissatori esterni	600
14.5	Le protesi d'arto esterne	600
14.6	Le protesi d'arto superiore	602
14.6.1	Introduzione	602
14.6.2	Le protesi passive	604
14.6.3	Le protesi attive	605
14.6.4	Le protesi ibride	609
14.6.5	Lo stato dell'arte	610
14.7	Le protesi d'arto inferiore	611
14.7.1	Protesi di ginocchio mono e policentrico	612
14.7.2	Lo stato dell'arte	622
14.7.3	Piedi artificiali	625
	Bibliografia	627
	Indice analitico	635