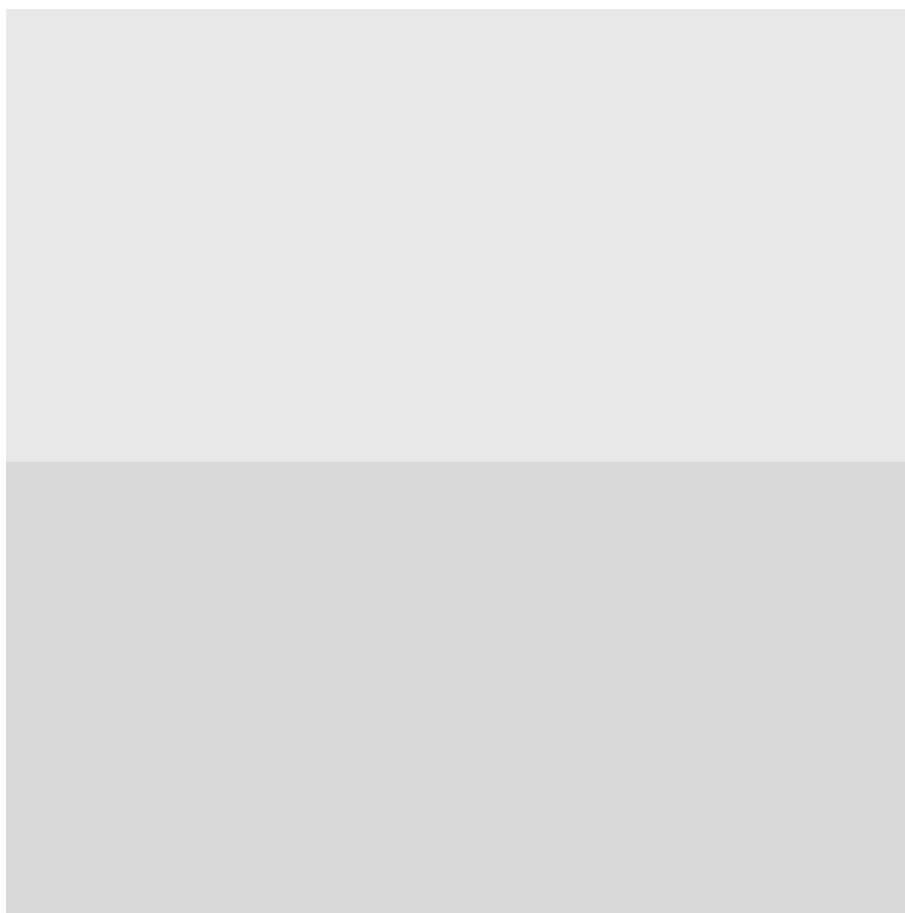


Paolo Biscari | Tommaso Ruggeri
Giuseppe Saccomandi | Maurizio Vianello

MECCANICA RAZIONALE PER L'INGEGNERIA

SECONDA EDIZIONE



MONDUZZI EDITORIALE

Indice

1	Cinematica del punto	1
1.1	Componenti intrinseche di velocità e accelerazione	3
1.2	Moto piano in coordinate polari	5
2	Cinematica del corpo rigido	7
2.1	Configurazioni rigide	8
2.2	Angoli di Eulero	10
2.2.1	Angoli di Cardano	13
2.2.2	Rotazioni intorno a un asse prefissato	14
2.3	Velocità angolare	14
2.3.1	Formule di Poisson	15
2.4	Caratterizzazione dei moti rigidi	17
2.5	Moti rigidi	18
2.5.1	Moto traslatorio	19
2.5.2	Moto rototraslatorio	20
2.5.3	Moto polare	23
2.6	Velocità angolare e rotazioni	25
2.7	Atto di moto rigido	26
2.8	Teorema di Mozzi	29
2.8.1	Centro di istantanea rotazione	31
2.9	Campo spaziale delle accelerazioni	32
3	Cinematica relativa	33
3.1	Derivata di un vettore rispetto a due osservatori	34
3.2	Teorema di Galileo	35
3.3	Teorema di Coriolis	36
3.4	Legge di composizione delle velocità angolari	37
3.5	Velocità angolare e angoli di Eulero	39
4	Sistemi vincolati	43
4.1	Esempi di sistemi vincolati	43
4.1.1	Punto su una guida circolare fissa	44

4.1.2	Asta con estremo vincolato su guida fissa	45
4.1.3	Due aste vincolate in un sistema biella-manovella	47
4.1.4	Punto vincolato su guida mobile	50
4.1.5	Vincolo unilatero	52
4.2	Vincoli, spostamenti e velocità virtuali	54
4.3	Atti di moto e spostamenti rigidi virtuali	55
4.4	Coordinate libere	57
4.5	Sistemi labili, iperstatici e isostatici	58
4.6	Vincoli bilateri olonomi	60
4.7	Vincoli di puro rotolamento e di contatto	60
4.7.1	Disco che rotola senza strisciare	61
4.8	Vincoli di mobilità e vincoli anolonomi	63
4.9	Gradi di libertà	66
4.10	Base e rulletta	67
5	Geometria delle masse	69
5.1	Baricentro	70
5.2	Momenti di inerzia	75
5.3	Momenti di inerzia rispetto ad assi paralleli	75
5.4	Momenti di inerzia rispetto ad assi concorrenti	78
5.4.1	Assi e momenti principali d'inerzia	80
5.5	Ellissoide di inerzia	81
5.6	Ricerca degli assi principali	82
5.7	Sistemi piani	85
6	Forze, lavoro, potenziale	89
6.1	Sistemi di forze	90
6.1.1	Riduzione di sistemi di vettori applicati	93
6.2	Lavoro elementare	97
6.3	Lavoro lungo un cammino finito	98
6.3.1	Lavoro e potenza	98
6.3.2	Forze posizionali	99
6.4	Forze conservative	100
6.4.1	Potenziali di forze conservative	100
6.4.2	Energia potenziale	102
6.5	Lavoro di un sistema di forze	102
6.5.1	Lavoro di forze agenti su un corpo rigido	103
6.5.2	Lavoro di forze agenti su un sistema olonomo	104
7	Leggi della Meccanica	107
7.1	Principi della Meccanica	108
7.1.1	Riferimenti inerziali	108
7.1.2	Equazione fondamentale della dinamica	108
7.1.3	Principio di azione e reazione	108
7.1.4	Principio di sovrapposizione delle forze	109

7.2	Determinismo meccanico	109
7.3	Sistemi di riferimento non inerziali	111
7.4	Postulato delle reazioni vincolari	111
7.5	La natura sperimentale delle forze	113
7.5.1	Forze interne ed esterne	113
7.6	Il punto di vista di Mach	114
8	Statica	117
8.1	Legge di Coulomb-Morin	119
8.2	Vincoli ideali	122
8.3	Principio dei lavori virtuali	126
8.4	Statica dei sistemi olonomi	128
8.4.1	Vincoli bilaterali	128
8.4.2	Vincoli unilateri	128
8.4.3	Teorema di stazionarietà del potenziale	132
8.5	Equilibrio stabile in senso statico	133
8.5.1	Diagrammi di biforcazione	137
8.5.2	Tecnica dello svincolamento	138
8.6	Equazioni cardinali della statica	139
8.6.1	Riducibilità delle forze nei corpi rigidi	144
8.7	Equilibrio di corpi rigidi	145
8.7.1	Corpo rigido appoggiato su un piano orizzontale liscio	145
8.7.2	Equilibrio di una scala	149
8.7.3	Equilibrio di un corpo rigido con un punto fisso	150
8.7.4	Equilibrio di un corpo rigido con un asse fisso	150
8.8	Statica relativa	152
8.8.1	Sistemi equivalenti alle forze di trascinamento	152
8.8.2	Componenti conservative della forza di trascinamento	156
8.8.3	Forza peso	158
9	Dinamica del punto materiale	161
9.1	Moto su traiettoria prestabilita	163
9.2	Studio qualitativo del moto	166
9.3	Moto sotto forze centrali	170
9.4	Leggi di Keplero. Legge di gravitazione universale	174
9.5	Dinamica relativa	177
9.5.1	Problema dei due corpi	177
9.5.2	Deviazione verso Oriente nella caduta dei gravi	180
10	Dinamica dei sistemi	183
10.1	Quantità di moto	183
10.2	Momento delle quantità di moto	184
10.2.1	Momento delle quantità di moto in un atto di moto rigido	185
10.2.2	Derivata temporale del momento delle quantità di moto	188
10.3	Energia cinetica	190

10.3.1	Energia cinetica in un atto di moto rigido	191
10.3.2	Energia cinetica di un sistema olonomo	192
10.4	Equazioni cardinali della dinamica	193
10.5	Integrali primi del moto	195
10.6	Moto del baricentro	196
10.7	Teorema dell'energia cinetica	198
11	Dinamica del corpo rigido	203
11.1	Corpo rigido libero	204
11.1.1	Equazioni di Eulero e angoli di Eulero	207
11.2	Moti alla Poinsot	208
11.2.1	Rotazioni permanenti	210
11.2.2	Stabilità delle rotazioni permanenti	211
11.2.3	Moti alla Poinsot di un giroscopio	214
11.3	Corpo rigido vincolato	217
11.4	Corpo rigido con un punto fisso	218
11.5	Corpo rigido con un asse fisso	223
11.6	Corpi rigidi sottoposti ad altri vincoli	228
11.6.1	Incastro	229
11.6.2	Collare cilindrico	229
11.6.3	Guida cilindrica	229
11.6.4	Vincoli piani	230
11.7	Corpo rigido appoggiato	231
11.8	Moto di un disco su una guida rettilinea	233
11.8.1	Attrito volvente	237
11.9	Dinamica relativa del corpo rigido	239
12	Meccanica lagrangiana	243
12.1	Principio di d'Alembert	244
12.1.1	Riduzione delle forze d'inerzia in un atto di moto rigido	245
12.2	Equazione simbolica della dinamica	246
12.3	Equazioni di Lagrange	248
12.3.1	Determinismo lagrangiano	250
12.3.2	Lagrangiana	252
12.4	Integrali primi lagrangiani	255
12.4.1	Integrale dei momenti cinetici	255
12.4.2	Hamiltoniana	257
12.5	Stabilità dell'equilibrio	259
12.5.1	Teorema di stabilità di Dirichlet-Lagrange	259
12.5.2	Criteri di instabilità	262
12.6	Stabilità di sistemi con un grado di libertà	263
12.7	Modi normali di sistemi con più gradi di libertà	268
12.7.1	Linearizzazione delle equazioni di moto	268
12.7.2	Analisi del moto approssimato	270
12.8	Funzione di dissipazione	276

12.9	Vincoli anolonomi lineari	278
13	Statica dei continui monodimensionali	281
13.1	Equilibrio dei corpi monodimensionali	282
13.1.1	Azioni interne	283
13.1.2	Forze e momenti esterni	284
13.2	Equazioni indefinite di equilibrio	285
13.2.1	Forze concentrate	287
13.3	Aste elastiche: il modello di Eulero	287
13.3.1	Asta pesante incastrata	288
13.4	Fili	290
13.5	Equilibrio di un filo omogeneo pesante	292
13.5.1	Archi resistenti a sole pressioni	293
13.5.2	Ponti sospesi	294
13.6	Filo teso su una superficie	295
A	Richiami di calcolo	297
A.1	Punti, vettori	297
A.2	Curve	301
A.3	Trasformazioni lineari, matrici	305
A.4	Diagonalizzazione simultanea di matrici simmetriche	310
A.5	Richiami di equazioni differenziali ordinarie	312
A.5.1	Equazioni differenziali a variabili separabili	312
A.5.2	Equazioni differenziali lineari	314
	Indice analitico	317

La *seconda edizione* del testo di Meccanica Razionale che abbiamo concepito in vista del rinnovamento dell'organizzazione e dei contenuti dei corsi offerti dalle Facoltà di Ingegneria è profondamente rivista e modificata rispetto alla precedente. Abbiamo riscritto ampie sezioni e apportando innumerevoli aggiustamenti più marginali, al fine di proporre un testo sempre più mirato alle necessità delle Facoltà di Ingegneria, dove il ruolo della Meccanica Razionale non è solo quello di introdurre alla modellizzazione fisico-matematica rigorosa, ma anche di propedeuticità all'insegnamento di specifiche applicazioni ingegneristiche. In particolare, ci è sembrata necessaria una trattazione che presenti i concetti fondamentali a partire da esempi e problemi concreti, anche comuni ad altre discipline, in vista di sinergie didattiche a volte favorite dalla presenza di corsi integrati. Abbiamo cercato di dare al libro una impostazione il più possibile coerente con questa finalità, soprattutto in alcune sezioni tradizionalmente caratterizzate da una trattazione forse più astratta: dai vincoli al Principio dei lavori virtuali, dal Principio di d'Alembert alla Meccanica Analitica.

Abbiamo però voluto anche mantenere la tradizionale e, a nostro parere, irrinunciabile struttura ipotetico-deduttiva nello svolgimento delle argomentazioni, che fa ancora della Meccanica Razionale una disciplina formalmente rigorosa. Sono perciò presenti dimostrazioni anche complesse, sia pure sempre motivate alla luce del contesto applicativo nel quale si vanno a collocare.

Le nostre formazioni, così come le realtà didattiche in cui ci muoviamo, sono significativamente diverse. Pur consapevoli che questo fatto avrebbe potuto costituire una difficoltà nella costruzione di una presentazione unitaria, abbiamo pensato che da un confronto fra punti di vista non uniformi sarebbe nata una trattazione forse più stimolante e meno prevedibile, con qualche elemento di originalità. Ci auguriamo che questa nostra aspettativa si sia almeno in parte realizzata.

Vogliamo infine ringraziare tutti coloro che ci hanno aiutato con osservazioni e commenti, fra i quali in particolar modo Sandra Forte e Augusto Muracchini, che hanno anche suggerito utili modifiche per eliminare carenze espositive.

Paolo Biscari
Tommaso Ruggeri
Giuseppe Saccomandi
Maurizio Vianello