

Indice

Prefazione	xiii
1 Comportamento della ruota con pneumatico	1
1.1 Sistema di riferimento e azioni ruota-strada	2
1.2 Moto della ruota con pneumatico rispetto alla strada	5
1.2.1 Velocità angolare del cerchione	6
1.3 Moto di una ruota rigida su un piano	7
1.3.1 Puro rotolamento	9
1.3.2 Velocità di rotolamento, di avanzamento e di scorrimento	12
1.3.3 Scorrimento traslatorio e scorrimento rotatorio	13
1.4 Ruota con pneumatico in “puro rotolamento”	15
1.4.1 Assenza di velocità di imbardata e/o camber	15
1.4.2 Presenza di velocità di imbardata e/o camber	17
1.5 Scorrimenti per ruota con pneumatico	18
1.5.1 Asse elicoidale del cerchione	18
1.6 Modello a spazzola	19
1.6.1 Impronta a terra	20
1.6.2 Pressione verticale	21
1.6.3 Cinematica	22
1.6.4 Aderenza	23
1.6.5 Legame costitutivo	24
1.7 Comportamento del modello a spazzola	25
1.7.1 Zona di aderenza	25
1.7.2 Zona di strisciamento	27
1.7.3 Forza e momento dovuti alle azioni tangenziali	27
1.8 Aderenza su tutta l'impronta (comportamento lineare)	30
1.9 Ruota con solo scorrimento traslatorio σ (puro avanzamento) .	32
1.9.1 Forza tangenziale	34
1.9.2 Derivate e linearizzazioni	39
1.9.3 Azioni combinate	41
1.9.4 Ancora sulle azioni combinate	43
1.9.5 Momento di autoallineamento	46

1.10	Ruota con solo scorrimento rotatorio φ (camber e/o imbardata)	50
1.10.1	Spinta di camber (comportamento lineare)	51
1.10.2	Elevati valori di camber	54
1.11	Ruota in moto generico (σ e φ non nulli)	57
1.11.1	Ruota con camber e deriva	57
1.11.2	Ruota frenata con camber	62
1.12	Condizioni tipiche di impiego	62
1.12.1	Ruota frenata ($\sigma_x > 0, \sigma_y = \varphi = 0$)	62
1.12.2	Ruota motrice ($\sigma_x < 0, \sigma_y = \varphi = 0$)	65
1.12.3	Ruota in deriva pura ($\sigma_y \neq 0, \sigma_x = \varphi = 0$)	66
1.13	Effetti del carico verticale	69
1.14	Formule empiriche	73
1.14.1	Magic Formula	74
1.14.2	Influenza del carico verticale	77
1.15	Comportamento nei transitori	77
1.15.1	Modello di pneumatico con carcassa deformabile	79
1.15.2	Variazione del carico verticale	82
1.16	Pressione di gonfiaggio	83
1.17	Resistenza di rotolamento	84
1.18	Riepilogo	86
2	Aerodinamica	89
2.1	Comprimibilità e velocità del suono	89
2.2	Fluidi newtoniani e viscosità	90
2.3	Equazioni di Navier-Stokes	90
2.4	Strato limite e vorticità	92
2.5	Corpi aerodinamici e corpi tozzi	93
2.6	Forze aerodinamiche	95
2.7	Marcia in rettilineo in aria calma	99
2.8	Resistenza aerodinamica	99
2.8.1	Resistenza d'attrito	99
2.8.2	Resistenza di pressione	100
2.9	Portanza-deportanza	101
2.10	Momento di beccheggio	102
2.11	Vento laterale	102
2.12	Riepilogo e considerazioni conclusive	103
3	Frenatura	105
3.1	Ipotesi semplificative	105
3.2	Modello di veicolo in frenatura	106
3.3	Trasferimento di carico	108
3.4	Decelerazione massima	109
3.5	Ripartizione della frenatura	110
3.6	Variazione del coefficiente di aderenza	112

3.7	Influenza della posizione del baricentro	114
3.8	Bloccaggio delle ruote	115
3.9	Un esempio numerico	116
3.10	Proporzionamento dell'impianto frenante	117
4	Comportamento direzionale (handling)	121
4.1	Ipotesi semplificative	121
4.2	Dal veicolo al modello matematico	124
4.3	Equazioni di congruenza	125
4.3.1	Equazioni di congruenza linearizzate	129
4.3.2	Veicolo cinematico	132
4.3.3	Scorrimenti dei pneumatici	133
4.4	Equazioni di equilibrio	136
4.4.1	Termini inerziali	137
4.4.2	Forze e momenti	139
4.4.3	Trasferimenti di carico laterali	143
4.4.4	Carichi verticali	146
4.5	Equazioni costitutive (modello di pneumatico)	146
4.5.1	Pneumatico linearizzato	147
4.5.2	Pneumatico linearizzato con ritardo di risposta	148
4.5.3	Pneumatico non lineare	148
4.5.4	Pneumatico non lineare con ritardo di risposta	149
4.5.5	Caratteristica effettiva dell'assale	150
4.5.6	Approccio con il Force-Moment Method (FMM)	152
4.6	Modello monotraccia di autoveicolo	155
4.6.1	Vere coordinate e quasi-coordinate	158
4.7	Modello monotraccia classico	160
4.8	Modello monotraccia lineare	161
4.8.1	Soluzione generale per velocità di avanzamento costante	163
4.8.2	Studio della stabilità di marcia	165
4.8.3	Tipo di moto durante il transitorio	167
4.8.4	Comportamento a regime: steering pad	171
4.8.5	Gradiente di assetto K_β e gradiente di sottosterzo K_γ	173
4.8.6	Forza di trazione	176
4.8.7	Spinta laterale	177
4.8.8	Manovra di sine sweep	180
4.8.9	Transitorio: colpo di sterzo	183
4.9	Modello monotraccia con pneumatici "rilassati"	188
4.9.1	Studio della stabilità di marcia	191
4.9.2	Comportamento a regime	193
4.9.3	Colpo di sterzo	194
4.10	Modello monotraccia con pneumatici non lineari	196
4.10.1	Moto a regime (handling diagram)	198
4.10.2	Manovre tipiche	203

4.10.3	Definizione di veicolo sovra-sottosterzante	205
4.10.4	Analisi mediante sistemi linearizzati	209
4.10.5	Studio della stabilità di marcia	210
4.10.6	Classificazione dei punti fissi e piano delle fasi	213
4.10.7	Ancora sull'handling diagram	216
4.11	Critica del modello monotraccia classico	216
4.12	Cedevolezza del sistema di sterzo	219
4.12.1	Veicolo a regime	222
4.13	Influenza della convergenza delle ruote	223
4.14	Riepilogo e note bibliografiche	223
5	Un nuovo approccio all'handling	225
5.1	Il veicolo cinematico non esiste	226
5.2	Definizione di veicolo	227
5.3	Equazioni di congruenza, di equilibrio e costitutive	228
5.3.1	Equazioni di congruenza	228
5.3.2	Equazioni di equilibrio	228
5.3.3	Equazioni costitutive	229
5.4	Equazioni del moto	229
5.5	Condizioni di regime	229
5.6	Sistemi linearizzati e derivate di stabilità	230
5.6.1	Oscillazione libera (a comandi bloccati)	230
5.6.2	Oscillazione forzata (perturbazione sui comandi)	232
5.7	Manovre stazionarie e derivate di stabilità	234
5.8	Gradiente di curvatura e gradiente di assetto	237
5.9	Soluzioni per moto perturbato (oscillazioni forzate)	238
5.9.1	Colpo di sterzo a gradino	238
5.10	Identificazione delle derivate di stabilità	240
5.11	Caratterizzazione dell'handling	240
5.12	Applicazione al modello monotraccia lineare	242
5.12.1	Veicoli differenti con handling quasi identico	245
5.13	Conclusioni	248
6	Veicolo dotato di sospensioni	251
6.1	Massa sospesa e massa non sospesa	252
6.2	Angoli di imbardata, di beccheggio e di rollio	253
6.3	Velocità di imbardata, di beccheggio e di rollio	256
6.4	Velocità del baricentro della massa sospesa	260
6.5	Definizione (elasto)cinematica di sospensione	262
6.6	Sospensioni a ruote indipendenti	264
6.6.1	Sospensioni monobraccio	264
6.6.2	Sospensioni multilink	266
6.6.3	Sospensioni a quadrilateri trasversali	266
6.6.4	Sospensioni MacPherson	267

6.7	Sospensioni ad assale rigido	268
6.8	Equilibrio in curva	270
6.9	Equilibrio in curva di “un solo assale”	271
6.9.1	Sospensioni a ruote indipendenti	273
6.9.2	Centro di rollio	276
6.9.3	Sospensioni a bracci longitudinali	278
6.9.4	Sospensioni ad assale rigido	279
6.10	Ripartizione del trasferimento di carico	281
6.11	Equilibrio in frenatura	282
6.12	Riepilogo	283
7	Comportamento direzionale del veicolo dotato di sospensioni	285
7.1	Ipotesi semplificative	285
7.2	Modello di veicolo	287
7.3	Equazioni di congruenza	288
7.4	Energia cinetica	291
7.5	Equazioni di equilibrio	294
7.5.1	Equazioni di equilibrio in coordinate lagrangiane	295
7.5.2	Equazioni di equilibrio in quasi-coordinate	296
7.5.3	Equazioni di equilibrio per il modello a due masse	297
7.6	Equazioni costitutive (modello di pneumatico)	298
7.7	Modello monotraccia con rollio	299
7.8	Configurazione di equilibrio (handling diagram)	300
7.9	Definizione di veicolo sovra-sottosterzante	302
7.10	Stabilità dell'equilibrio	304
7.11	Modello monotraccia lineare con rollio	308
7.11.1	Manovra di sine sweep	310
7.12	Ulteriori estensioni	314
7.13	Riepilogo	314
8	Comfort di marcia e tenuta di strada	315
8.1	Ipotesi semplificative	316
8.2	Profili stradali	317
8.3	Modello di veicolo	318
8.4	Oscillazioni libere	321
8.4.1	Alcuni casi particolari	326
8.5	Criteri di progetto per le rigidità	328
8.5.1	Un esempio numerico	330
8.6	Sospensioni interconnesse	332
8.7	Oscillazioni forzate (monosospensione)	334
8.8	Criteri di progetto per gli ammortizzatori	338
8.8.1	Accelerazione verticale della massa sospesa	338
8.8.2	Forza verticale al suolo	343
8.9	Non linearità	345

8.10 Ancora sui profili stradali	347
8.11 Riepilogo	349
Elenco dei principali simboli	351
Bibliografia	357
Indice analitico	363