



POLITECNICO DI TORINO  
Repository ISTITUZIONALE

Passi nell'oleodinamica. Vol. 1-2

*Original*

Passi nell'oleodinamica. Vol. 1-2 / Nervegna, Nicola; Rundo, Massimo. - STAMPA. - 1-2(2020), pp. 1-762.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2833372 since: 2020-06-06T15:22:22Z

*Publisher:*

Epics sas di O. I. Jimenez e C.

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

openAccess

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

## Prefazione

*“Passi nell’Oleodinamica” testimonia un cammino di conoscenza molto esteso nel tempo che è iniziato nei primi anni ‘80 al Politecnico di Torino. Questa esperienza, che non ha mai subito pause e che tuttora è ricca di nuovi stimoli, è nata e si è formata nell’intento di riuscire a trasmettere ai tantissimi allievi ingegneri l’entusiasmo e la curiosità per una disciplina allora relativamente sconosciuta che ancora oggi non riceve quella attenzione che, per certo, meriterebbe.*

*Questo volume ha anche le sue peculiarità che il lettore attento potrà progressivamente porre in luce. Il contenuto è assai vasto ed in qualche modo testimonia un approccio metodologico originale. Ciò è frutto sia degli aspetti didattici sia delle molte e fruttuose collaborazioni di ricerca che, nel tempo, si sono sviluppate.*

*Sussiste l’auspicio che possa risultare di aiuto a quanti per studio o per professione avranno la passione e la volontà di servirsene. A coloro che lo faranno va il pensiero riconoscente e le scuse per le indubie manchevolezze ed omissioni unitamente all’augurio sincero di un proficuo lavoro.*

*Nicola Nervegna (1942-2019), già Ordinario di Oleodinamica*

*Torino, febbraio 2018*

*La struttura di questo libro è stata concepita per fornire sia i concetti di base dell’Oleodinamica che le loro applicazioni negli impianti reali. Grande attenzione è stata posta nell’illustrare le soluzioni costruttive tramite disegni di componenti reali realizzati nel corso degli anni presso il laboratorio di Oleodinamica. Di alcuni sistemi, oltre a un’analisi qualitativa, viene anche presentato uno studio quantitativo ottenuto tramite software di simulazione commerciali, che consentono al lettore di comprenderne in maniera più efficace il funzionamento, oltre che fornire lo spunto per ulteriori approfondimenti.*

*Il livello di dettaglio nella spiegazione dei vari argomenti, che in alcuni casi è molto particolareggiato, è strettamente legato alle attività di ricerca che sono state condotte tramite contratti o tesi di laurea; pertanto, non necessariamente componenti o sistemi trattati in maniera meno esauriente devono essere considerati meno importanti.*

*Nel primo volume sono illustrati principalmente i componenti, con particolare attenzione alle macchine volumetriche e alle valvole oleodinamiche, spiegandone sia il funzionamento teorico che le cause di non idealità. Nel secondo volume si passa ad analizzare interi sistemi, sia di tipo industriale che per applicazioni su veicoli.*

*Molto spesso si fa uso di schemi simbolici equivalenti secondo la normativa ISO che permettono di comprendere il funzionamento del componente svincolandosi dalla particolare soluzione costruttiva adottata. Questo approccio si spera possa essere utile al lettore per imparare una metodologia di analisi applicabile a qualsiasi sistema oleodinamico.*

*Un particolare ringraziamento va a Giorgio Altare e Alessandro Corvaglia per il prezioso lavoro di revisione e ottimizzazione dei disegni dei componenti riportati nei due volumi.*

*Questo libro esce a pochi mesi dalla scomparsa del Prof. Nicola Nervegna che ha lavorato alla sua stesura fino a quando ne ha avuto la forza. È il frutto del suo lavoro trentennale nel campo dell’Oleodinamica, portato avanti con grande passione ed entusiasmo, che adesso vede finalmente compimento e manterrà ancor più vivo il suo ricordo.*

*Massimo Rundo, Professore Associato*

*Torino, gennaio 2020*

## **Presentazione**

*È avvolto di mestizia il privilegio di partecipare al battesimo di quest'opera a due mesi dalla scomparsa del professor Nervegna, a cui mi ha legato una lunga e profonda amicizia. Posso testimoniare che la concepì nell'infanzia del Corso di Oleodinamica - qualunque nome abbia assunto nel tempo - e poi, anno dopo anno, la integrò ripensò espanse corresse valorizzando anche il contributo di studenti e collaboratori che seppe sempre coinvolgere con l'impegno personale e l'esemplare perseveranza.*

*Scorrendo o studiando queste pagine, chiunque si accosti all'oleodinamica per la prima volta o sia già familiare con l'argomento avrà modo di apprezzarne i contenuti ma non dovrà trascurare di soffermarsi sul rigore espositivo che viene dall'esperienza diretta e talvolta faticosa su componenti e sistemi. Per il professor Nervegna questa era una indiscutibile conseguenza del dovere di chi svolge un servizio pubblico di mettere a disposizione i migliori strumenti di conoscenza possibili: un prezioso imperativo per chi deve continuare.*

*Un ringraziamento particolare è dovuto al professor Rundo che ha a lungo collaborato con il professor Nervegna e ha curato la revisione finale dell'opera, che resterà come silenziosa ma tangibile commemorazione.*

G. Luca Zarotti

Torino, gennaio 2020

# INDICE

## Volume 1

<b>1. NOTE INTRODUTTIVE .....</b>	<b>1</b>
1.1 Campi d'impiego dell'oleodinamica .....	1
1.2 Sistemi di trasmissione della potenza .....	1
<b>2. BLOCCHI FUNZIONALI.....</b>	<b>4</b>
2.1 Regole per il tracciamento dello schema a blocchi funzionali .....	4
2.2 Blocchi funzionali dei principali componenti.....	4
2.2.1 Motore elettrico.....	4
2.2.2 Pompa e serbatoio .....	5
2.2.3 Motore idraulico.....	6
2.2.4 Giunzioni a 2 e a 3 bocche .....	6
2.2.5 Valvola limitatrice di pressione .....	7
2.2.6 Strozzatore.....	7
2.2.7 Valvola unidirezionale (o di non ritorno).....	8
2.2.8 Accumulatore .....	8
2.3 Esempio applicato a una trasmissione idrostatica in circuito aperto .....	9
<b>3. ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEI BLOCCHI FUNZIONALI .....</b>	<b>10</b>
3.1 Circuito idraulico di riferimento .....	10
3.2 Schema a blocchi funzionali .....	11
3.3 Calcolo della potenza assorbita dalla pompa .....	11
3.4 Caratteristica meccanica (F-v) e caratteristica (F-p).....	12
3.4.1 Carico resistente e limitatrice chiusa.....	12
3.4.2 Carico resistente e limitatrice in regolazione .....	12
3.4.3 Carico resistente e annullamento della velocità.....	13
3.4.4 Carico resistente e inversione del moto .....	14
3.4.5 Carico trascinate per inversione della forza con contropressione allo scarico.....	15
3.4.6 Carico trascinate e intervento della valvola anticavitazione .....	15
<b>4. GRUPPI DI ALIMENTAZIONE .....</b>	<b>17</b>
4.1 Gruppo di alimentazione a portata fissa (GAQF).....	17
4.1.1 Analisi qualitativa del funzionamento .....	17
4.1.2 Analisi quantitativa .....	18
4.1.2.1 Schema a blocchi.....	18
4.1.2.2 Caratteristica stazionaria ideale e rendimento .....	19
4.1.2.3 Caratteristica reale .....	20
4.1.3 Simulazione di un GAQF.....	21
4.1.4 GAQF con limitatrice pilotata e distributore di Vent.....	21
4.2 Gruppo di alimentazione a portata variabile per valori discreti (GAQVD) .....	22
4.2.1 Analisi qualitativa del funzionamento .....	22
4.2.2 Analisi quantitativa .....	23
4.2.2.1 Schema a blocchi.....	23
4.2.2.2 Caratteristica stazionaria ideale e rendimento .....	24
4.2.3 GAQVD con limitatrice di pressione a pilotaggio remoto.....	25
4.2.4 Simulazione di un GAQVD .....	25
4.2.5 Esempio di GAQVD .....	27
4.3 Gruppi di alimentazione a portata variabile per valori continui (GAQVC) .....	28
4.3.1 Gruppo di alimentazione per circuiti aperti (GAQVCA).....	28
4.3.2 Gruppo di alimentazione per circuiti chiusi (GAQVCC) .....	29
4.4 Gruppi di alimentazione a pressione fissa (GAPF) .....	31
4.4.1 Gruppo di alimentazione a pressione fissa vera (GAPFV) .....	31
4.4.1.1 Principio di funzionamento .....	31
4.4.1.2 Caratteristica reale del limitatore ad azionamento diretto .....	32
4.4.1.3 Limitatore ad azionamento pilotato - prima configurazione .....	33

4.4.1.4 Limitatore ad azionamento pilotato - seconda configurazione .....	35
4.4.1.5 Caratteristica reale.....	35
4.4.2 Gruppo di alimentazione a pressione fissa approssimata (GAPFA).....	36
4.4.2.1 Circuito con valvola di esclusione .....	36
4.4.2.2 Simulazione del GAPFA con valvola di esclusione .....	38
4.4.2.3 Circuito con pressostato .....	39
4.5 Logiche di connessione dei gruppi di alimentazione .....	40
4.6 Esempio di gruppo di alimentazione reale .....	41
4.6.1 Circuito idraulico .....	41
4.6.2 Funzionamento.....	42
<b>5. GRUPPI DI UTILIZZAZIONE.....</b>	<b>43</b>
5.1 Blocchi funzionali per attuatori lineari .....	43
5.1.1 Condizioni di carico resistente.....	43
5.1.2 Condizioni di carico trascinante .....	43
5.2 Caratteristica meccanica di attuatori lineari .....	44
5.3 Caratteristica meccanica di motori (attuatori rotativi).....	45
5.3.1 Cilindrata fissa .....	45
5.3.2 Cilindrata variabile manualmente.....	46
5.3.3 Cilindrata variabile automaticamente .....	47
5.4 Sistemi per il controllo di carichi trascinanti.....	48
5.4.1 Valvole di controbilanciamento (VCB).....	49
5.4.1.1 Schema circuitale .....	49
5.4.1.2 Esempio di valvola VCB.....	51
5.4.2 Valvole overcentre (OVC).....	51
5.4.2.1 Schema circuitale .....	51
5.4.2.2 Esempi di valvole OVC .....	53
5.5 Analisi di un organo ad azionamento idraulico .....	56
5.5.1 Circuito idraulico e funzionamento .....	56
5.5.2 Analisi stazionaria e criteri di dimensionamento.....	57
5.5.3 Simulazione dinamica.....	58
5.5.4 Banco prova per caratterizzazione sperimentale .....	64
5.5.4.1 Circuito idraulico .....	64
5.5.4.2 Fase di sollevamento del carico .....	66
5.5.4.3 Fase di discesa del carico .....	66
5.5.4.4 Risultati .....	67
<b>6. ATTUATORI LINEARI CON RIGENERAZIONE DI PORTATA.....</b>	<b>68</b>
6.1 Principio di funzionamento .....	68
6.2 Selezione automatica della configurazione rigenerativa .....	69
6.3 Soluzioni diverse di impianti con rigenerazione .....	72
<b>7. SISTEMI MULTIUTENZA CON PRIORITÀ.....</b>	<b>73</b>
7.1 Considerazioni generali.....	73
7.2 Valvola di sequenza.....	73
7.2.1 Principio di funzionamento.....	73
7.2.2 Esempi .....	74
7.3 Valvola di priorità.....	76
<b>8. CIRCUITI PER SINCRONISMI.....</b>	<b>78</b>
8.1 Problematiche legate all'alimentazione in parallelo di due attuatori .....	78
8.2 Divisore di flusso.....	79
8.2.1 Funzionamento.....	79
8.2.2 Alcuni commenti sui blocchi funzionali .....	81
8.2.3 Valutazione della potenza dissipata nel divisore di flusso .....	81
8.2.4 Esempi di divisori di flusso .....	81
8.2.4.1 Divisore di flusso Gresen .....	81
8.2.4.2 Divisore/ricombinatore Fluid Controls .....	82
8.3 Martinetto dosatore.....	84

<b>9. CIRCUITI CON MOTORI IDRAULICI.....</b>	<b>86</b>
9.1 Controllo in velocità di motori.....	86
9.1.1 Ipotesi di carico costante.....	86
9.1.1.1 Circuito con strozzatore in serie.....	86
9.1.1.2 Circuito con strozzatore in parallelo.....	86
9.1.2 Ipotesi di carico variabile.....	87
9.1.2.1 Circuito con RQ2 in meter-in.....	87
9.1.2.2 Circuito con RQ2 in meter-out.....	87
9.1.2.3 Circuito con RQ2 in by-pass.....	88
9.1.2.4 Circuito con RQ3.....	89
9.1.3 Studio del controllo in velocità di un motore mediante simulazione.....	89
9.1.3.1 Ipotesi di carico costante.....	89
9.1.3.2 Ipotesi di carico variabile.....	92
9.2 Connessione serie-parallelo di motori idraulici.....	92
9.2.1 Connessione in parallelo.....	92
9.2.2 Connessione in serie.....	93
9.2.3 Considerazioni generali.....	94
<b>10. TRASFORMATORI IDRAULICI.....</b>	<b>95</b>
10.1 Trasformatori a una linea verso l'utenza.....	95
10.1.1 Amplificatore di pressione.....	95
10.1.2 Amplificatore di portata.....	96
10.2 Trasformatore a due linee verso l'utenza (divisore di flusso rotativo).....	97
10.3 Banco prova rigenerativo.....	98
10.3.1 Circuito idraulico.....	98
10.3.2 Equazioni dai blocchi funzionali del banco rigenerativo.....	99
10.3.3 Risoluzione con metodo alternativo.....	100
10.3.4 Un caso applicativo mediante simulazione.....	100
<b>11. MACCHINE VOLUMETRICHE.....</b>	<b>102</b>
11.1 Classificazione.....	102
11.2 Cilindrata.....	107
11.3 Ciclo di lavoro.....	107
11.4 Grandezze istantanee e medie.....	108
11.4.1 Portata di una pompa.....	108
11.4.2 Coppia di una pompa.....	110
11.4.3 Grado di irregolarità di portata.....	111
11.4.4 Velocità e pressione di un motore.....	113
<b>12. CARATTERISTICHE REALI DELLE POMPE VOLUMETRICHE.....</b>	<b>114</b>
12.1 Perdite in una pompa volumetrica.....	114
12.2 Cicli di lavoro reali.....	114
12.2.1 Ciclo limite.....	114
12.2.2 Ciclo indicato.....	115
12.3 Portata reale.....	116
12.3.1 Perdite di portata volumetrica.....	116
12.3.1.1 Trafilamenti.....	116
12.3.1.2 Comprimibilità.....	116
12.3.1.3 Incompleto riempimento.....	117
12.3.2 Dipendenza dalla pressione.....	118
12.3.3 Dipendenza dalla velocità.....	119
12.4 Coppia reale.....	120
12.4.1 Perdite di coppia.....	120
12.4.2 Dipendenza dalla velocità e dalla pressione.....	121
12.5 Misure indirette di cilindrata.....	121
12.5.1 Metodo ISO.....	122
12.5.2 Metodo Toet.....	123
12.6 Analisi dei rendimenti.....	123
12.6.1 Rendimento volumetrico.....	123
12.6.2 Rendimento meccanico-idraulico.....	124

12.7 Modelli delle prestazioni .....	126
12.7.1 Modello di Wilson .....	126
12.7.2 Modello di Schlösser .....	128
12.7.3 Modello di Thoma .....	129
12.7.4 Modello di Pacey-Turnquist-Clark (Wilson modificato).....	129
12.7.5 Modello di Olsson.....	129
12.7.6 Quadro riassuntivo .....	130
12.7.7 Confronto tra i modelli .....	131
<b>13. MACCHINE A PISTONI ASSIALI.....</b>	<b>132</b>
13.1 Introduzione.....	132
13.2 Calcolo della cilindrata.....	132
13.3 Pompa a piastra inclinata Casappa LVP.....	133
13.3.1 Descrizione della pompa.....	133
13.3.2 Approfondimenti sui particolari.....	134
13.3.2.1 Piastra di distribuzione .....	134
13.3.2.2 Tamburo porta-pistoni.....	135
13.3.2.3 Pattini e pistoni.....	135
13.3.2.4 Piastra inclinata e attuatori .....	136
13.3.3 Sistemi di variazione della cilindrata.....	137
13.3.3.1 Limitatore di pressione assoluto.....	137
13.3.3.2 Limitatore di pressione differenziale (controllo load sensing) .....	138
13.3.3.3 Limitatore di coppia - principi generali .....	140
13.3.3.4 Limitatore di coppia per pompe del tipo LVP .....	141
13.3.3.5 Considerazioni sul funzionamento del limitatore di coppia.....	144
13.3.4 Applicazione del modello di perdite secondo Wilson .....	145
13.3.4.1 Introduzione .....	145
13.3.4.2 Modello di simulazione e risultati ottenuti.....	145
13.4 Pompa Casappa DVP .....	147
13.5 Motore a pistoni assiali Vickers .....	148
13.6 Effetti inerziali del fluido all'interno di una pompa a pistoni assiali .....	149
<b>14. MACCHINE A PISTONI RADIALI.....</b>	<b>152</b>
14.1 Introduzione.....	152
14.2 Calcolo della cilindrata e della portata istantanea .....	152
14.3 Esempio di pompa a corpo cilindri fisso .....	153
14.3.1 Descrizione .....	153
14.3.2 Cilindrata e portata media della macchina.....	155
14.3.3 Considerazioni sulla irregolarità della portata istantanea .....	156
14.4 Esempio di pompa a corpo cilindri rotante.....	157
14.4.1 Descrizione .....	157
14.4.2 Limitatore di pressione assoluto .....	158
<b>15. MACCHINE A PALETTE .....</b>	<b>161</b>
15.1 Introduzione.....	161
15.2 Calcolo della cilindrata.....	161
15.2.1 Rotore equilibrato .....	161
15.2.2 Rotore non equilibrato .....	162
15.3 Irregolarità di portata teorica con rotore non equilibrato .....	163
15.3.1 Numero pari di palette .....	164
15.3.2 Numero dispari di palette.....	165
15.3.3 Confronti tra numeri pari e dispari .....	167
15.4 Variazione del volume di una camera di una pompa a rotore non equilibrato .....	168
15.5 Esempi di macchine a rotore equilibrato .....	171
15.5.1 Pompa Denison Hydraulics T6C .....	171
15.5.2 Motore Denison M5C .....	173
15.5.3 Pompa Vickers con intra-vane.....	174
15.5.4 Pompa ZF per impiego autoveicolistico .....	175
15.6 Esempi di macchine a rotore non equilibrato .....	177
15.6.1 Pompa a palette Continental .....	177

15.6.2 Pompa di lubrificazione a palette Pierburg .....	179
15.6.3 Pompa a palette a cilindrata variabile Glyco (Chrysler) .....	181
<b>16. MACCHINE GEROTOR .....</b>	<b>183</b>
16.1 Introduzione .....	183
16.2 Cicli al giro e cilindrata .....	183
16.3 Profili ad arco di cerchio .....	184
16.3.1 Parametri geometrici .....	184
16.3.2 Determinazione del profilo interno .....	185
16.3.3 Influenza dei parametri geometrici .....	187
16.4 Calcolo diretto della derivata del volume di una camera .....	189
16.4.1 Metodo dei raggi vettori .....	189
16.4.2 Metodo della coppia .....	191
16.4.3 Applicazioni .....	192
16.5 Calcolo del volume di una camera .....	193
16.6 Esempi di macchine gerotor .....	194
16.6.1 Pompa di lubrificazione .....	194
16.6.2 Motore Gresen .....	195
<b>17. MOTORI ORBITALI .....</b>	<b>196</b>
17.1 Introduzione .....	196
17.2 Principio di funzionamento .....	196
17.2.1 Cinematica e cilindrata .....	196
17.2.2 Metodo alternativo per il calcolo del numero di cicli al giro .....	197
17.2.3 Confronto tra gerotor e orbitali .....	197
17.3 Esempi costruttivi .....	199
17.3.1 Motore Danfoss OMM 32 .....	199
17.3.2 Motore Danfoss OMT 160 .....	201
17.3.3 Motore Danfoss OMT 250 FH con freno di stazionamento .....	204
<b>18. MACCHINE A INGRANAGGI .....</b>	<b>206</b>
18.1 Introduzione .....	206
18.2 Cilindrata .....	206
18.2.1 Macchine a ingranaggi esterni .....	206
18.2.2 Macchine a lunetta .....	207
18.3 Geometria del rotismo .....	208
18.3.1 Richiami sui profili a evolvente di cerchio .....	208
18.3.2 Parametri delle ruote dentate .....	208
18.3.3 Spessore del dente della ruota motrice .....	210
18.3.4 Calcolo del fattore di correzione dei profili .....	211
18.3.5 Condizione di sottotaglio .....	211
18.4 Disegno dei profili .....	212
18.4.1 Ruota a dentatura esterna .....	212
18.4.1.1 Sistemi di riferimento e matrici di rotazione .....	212
18.4.1.2 Tratto a evolvente .....	213
18.4.1.3 Raccordo di piede .....	214
18.4.1.4 Esempio di profilo .....	215
18.4.2 Ruota a dentatura interna .....	216
18.4.2.1 Sistemi di riferimento e matrici di rotazione .....	216
18.4.2.2 Geometria dell'utensile .....	216
18.5 Derivate dei volumi .....	217
18.5.1 Macchine a ingranaggi interni .....	217
18.5.2 Macchine a ingranaggi esterni .....	220
18.5.3 Calcolo dei raggi vettori .....	221
18.5.4 Fattore di ricoprimento .....	222
18.6 Portata istantanea e grado di irregolarità .....	223
18.6.1 Determinazione analitica .....	223
18.6.2 Confronto tra ingranaggi esterni e interni .....	225
18.7 Ottimizzazione della cilindrata di macchine a ingranaggi esterni .....	226
18.7.1 Parametri di progetto .....	226



18.7.2	Interasse e raggio di testa imposto .....	226
18.7.3	Interasse imposto e raggio di testa variabile .....	227
18.7.4	Interasse e raggio di testa variabili .....	228
18.8	Esempi di pompe a ingranaggi .....	229
18.8.1	Casappa PPL51/HDP51 .....	229
18.8.2	Pompa John S. Barnes .....	231
18.9	Modelli di pompe a ingranaggi esterni .....	234
18.9.1	Introduzione .....	234
18.9.2	Modello 3V (3 volumi variabili).....	235
18.9.2.1	Definizione dei volumi di controllo .....	235
18.9.2.2	Struttura del modello .....	236
18.9.3	Modello 2N+2 (2N+2 volumi variabili) .....	237
18.9.3.1	Definizione del volume di controllo .....	237
18.9.3.2	Variazione dei volumi di controllo .....	237
18.9.3.3	Aree di passaggio .....	239
18.9.3.4	Struttura del modello .....	239
18.9.4	Confronto dei modelli .....	240
18.9.5	Validazione sperimentale.....	241
<b>19.</b>	<b>CARATTERISTICHE REALI DEI MOTORI.....</b>	<b>243</b>
19.1	Metodo di prova .....	243
19.2	Esempio di banco prova .....	243
19.2.1	Catena cinematica .....	243
19.2.2	Circuito idraulico .....	245
19.3	Esecuzione delle prove .....	246
19.3.1	Prove con salto di pressione ai capi del motore costante.....	246
19.3.2	Prove con portata in ammissione al motore costante.....	247
19.3.3	Elaborazione delle caratteristiche e commento dei risultati .....	247
<b>20.</b>	<b>ATTUATORI LINEARI .....</b>	<b>248</b>
20.1	Generalità .....	248
20.2	Impiego degli attuatori lineari .....	248
20.2.1	Attuatori a doppio e semplice effetto.....	249
20.2.2	Attuatori per usi speciali .....	249
20.2.2.1	Attuatori a stelo passante .....	249
20.2.2.2	Attuatori con antirotazione dell'asta .....	249
20.2.2.3	Attuatori telescopici .....	249
20.2.2.4	Servoattuatori .....	249
20.2.2.5	Attuatori doppi .....	250
20.3	Standardizzazione dei cilindri .....	250
20.4	Sistema frenante a fondocorsa.....	250
20.4.1	Principio di funzionamento.....	250
20.4.2	Utilizzo di corpi frenanti interni all'attuatore .....	250
20.5	Esempio: cilindro ATOS .....	254
20.5.1	I componenti .....	255
20.5.1.1	Testata posteriore .....	255
20.5.1.2	Bussola freno posteriore.....	257
20.5.1.3	Snodo sferico.....	257
20.5.1.4	Testa anteriore .....	258
20.5.1.5	Bussola freno anteriore .....	258
20.5.1.6	Bussola di guida .....	259
20.5.1.7	Spilli di regolazione .....	259
20.5.1.8	Pistone .....	259
20.5.1.9	Boccola o pistone freno anteriore .....	260
20.5.1.10	Stelo e pistone freno posteriore.....	260
20.5.1.11	Camicia .....	260
20.5.2	Le tenute .....	261
20.5.2.1	Guarnizione del pistone.....	261
20.5.2.2	Guarnizione dello stelo .....	261
20.5.2.3	Raschiatore.....	262

20.5.2.4 Pattini antifrizione .....	263
20.5.3 Modelli e analisi delle prestazioni.....	263
20.5.3.1 Influenza della viscosità .....	266
20.5.3.2 Andamenti teorico-sperimentali della pressione in camera di frenatura .....	266
20.5.3.3 Variazione del grado di apertura dello spillo .....	267
<b>21. VALVOLE DI CONTROLLO DELLA PRESSIONE.....</b>	<b>268</b>
21.1 Valvola limitatrice di pressione a comando diretto .....	268
21.1.1 Caratteristica stazionaria .....	268
21.1.2 Strozzatori dinamici .....	270
21.1.3 Esempio di valvola limitatrice a comando diretto.....	271
21.1.4 Simulazione di una valvola limitatrice a comando diretto.....	271
21.1.4.1 Costruzione del modello.....	271
21.1.4.2 Comportamento in condizioni stazionarie: caratteristiche adimensionalizzate.....	272
21.1.4.3 Comportamento in transitorio.....	274
21.1.5 Osservazioni sulla limitatrice di pressione con pilotaggio remoto .....	275
21.2 Valvola limitatrice di pressione pilotata .....	276
21.2.1 Principio di funzionamento .....	276
21.2.2 Messa a vent e regolazioni su più livelli di pressione.....	277
21.2.3 Esempi.....	278
21.2.3.1 Valvola Denison con montaggio a piastra.....	278
21.2.3.2 Valvola Denison con stadio proporzionale.....	279
21.2.3.3 Valvola Fluid Controls a cartuccia .....	279
21.3 Valvola riduttrice di pressione a comando diretto .....	280
21.3.1 Caratteristica stazionaria .....	280
21.3.2 Esempi.....	282
21.3.2.1 Valvola Sun Hydraulics a cartuccia .....	282
21.3.2.2 Valvola Fluid Controls .....	283
21.4 Valvola riduttrice di pressione pilotata.....	284
21.4.1 Principio di funzionamento .....	284
21.4.2 Esempi.....	285
21.4.2.1 Valvola ATOS con montaggio a piastra.....	285
21.4.2.2 Valvola a cartuccia .....	286
21.4.2.3 Valvola Denison con regolatrice di portata sullo stadio pilota.....	286
21.4.3 Studi sulla riduttrice pilotata Denison Hydraulics R4R03 .....	289
21.4.3.1 Modello matematico .....	289
21.4.3.2 Analisi sperimentale .....	290
21.4.3.3 Caratteristiche stazionarie .....	291
<b>22. VALVOLE DI REGOLAZIONE DELLA PORTATA.....</b>	<b>293</b>
22.1 Introduzione .....	293
22.2 Valvola regolatrice di portata a 2 bocche (RQ2).....	294
22.2.1 Principio di funzionamento .....	294
22.2.2 Caratteristica stazionaria .....	294
22.2.3 Modello matematico adimensionale .....	296
22.2.4 Esempi.....	298
22.2.4.1 ATOS QV-06.....	298
22.2.4.2 Denison 2F1C compensata in temperatura.....	299
22.3 Valvola regolatrice di portata a 3 bocche (RQ3).....	301
22.3.1 Principio di funzionamento .....	301
22.3.2 Modello adimensionale .....	301
22.3.3 Esempi.....	303
22.3.3.1 ATOS QV-10.....	303
22.3.3.2 Fluid Controls 2F96.....	304
22.3.3.3 Oleostar VPR.....	304
22.4 Strozzatore proporzionale .....	306
<b>23. VALVOLE DI CONTROLLO DELLA DIREZIONE.....</b>	<b>308</b>
23.1 Introduzione .....	308
23.2 Distributori a centri aperti.....	311
23.3 Distributori a centri chiusi .....	313

23.4 Distributori a sezioni Gresen V20 .....	314
23.5 Distributori monoblocco Walvoil SD5 .....	315
23.6 Prestazioni dei distributori a posizionamento discreto .....	318
<b>24. DISTRIBUTORI A POSIZIONAMENTO CONTINUO .....</b>	<b>321</b>
24.1 Caratteristiche generali .....	321
24.2 Caratteristiche stazionarie di cassette a posizionamento continuo .....	323
24.2.1 Modello matematico .....	323
24.2.2 Centro critico .....	325
24.2.3 Ricoprimento positivo .....	326
24.2.4 Ricoprimento negativo .....	327
24.3 Stabilità del sistema .....	329
24.4 Manipolatore per distributori a posizionamento continuo .....	329
24.4.1 Descrizione .....	329
24.4.2 Risultati della simulazione .....	331
24.5 Distributore elettroidraulico proporzionale ATOS .....	332
24.5.1 Descrizione .....	332
24.5.2 Posizioni fondamentali di lavoro .....	333
24.5.3 Aree di efflusso .....	334
24.5.4 Forze di flusso .....	336
<b>25. SERVOVALVOLE .....</b>	<b>338</b>
25.1 Introduzione .....	338
25.2 Servovalvole per il controllo della portata .....	338
25.2.1 Servovalvole nozzle-flapper .....	338
25.2.2 Servovalvole jet-pipe .....	341
25.3 Servovalvola a tre stadi .....	342
25.4 Caratteristiche delle servovalvole .....	344
25.4.1 Diagramma portata-corrente .....	344
25.4.2 Criteri distintivi tra servovalvole e valvole proporzionali .....	345
25.5 Riflessioni sulle servovalvole .....	346
25.5.1 Portata attraverso un distributore a posizionamento continuo .....	346
25.5.2 Potenza massima trasferibile al carico da una servovalvola .....	347
25.5.2.1 Approccio dimensionale .....	349
25.5.2.2 Studio adimensionale .....	350
25.5.3 Criteri di scelta di una servovalvola .....	350
<b>26. BANCO PROVA SERVOVALVOLE ELETTROIDRAULICHE .....</b>	<b>353</b>
26.1 Introduzione .....	353
26.2 Descrizione del sistema .....	353
26.2.1 Circuito idraulico .....	353
26.2.2 Rack di comando .....	355
26.2.3 Funzionamento .....	355
26.3 Prove stazionarie .....	356
26.3.1 Prova portata-corrente .....	356
26.3.2 Prova portata-pressione .....	357
26.3.3 Prova delle fughe interne (prova di leakage) .....	357
26.4 Prove dinamiche .....	359
26.4.1 Descrizione .....	359
26.4.2 Programma di controllo e acquisizione .....	359
26.4.2.1 Definizione dei parametri del ciclo .....	359
26.4.2.2 Posizionamento iniziale dell'attuatore .....	360
26.4.2.3 Esecuzione della prova dinamica .....	360
26.4.2.4 Analisi dei dati .....	361
<b>27. EQUILIBRAMENTO ASSIALE DI CASSETTI E OTTURATORI .....</b>	<b>363</b>
27.1 Origine delle forze di flusso .....	363
27.2 Forze di flusso nelle valvole a cassetto .....	364
27.2.1 Applicazione della conservazione della quantità di moto .....	364
27.2.2 Analisi della dipendenza delle forze di flusso dallo spostamento del cassetto .....	366

27.2.2.1 Sistema a pressione costante (piccole aperture del cassetto).....	366
27.2.2.2 Sistema a portata costante (grandi aperture del cassetto).....	366
27.3 Compensazione delle forze di flusso .....	367
27.3.1 Fori di efflusso radiali .....	368
27.3.2 Generazione di caduta di pressione.....	368
27.3.3 Inclinazione della superficie del risalto.....	368
27.3.4 Ricircolo.....	369
27.3.5 Profilatura dello stelo .....	369
27.3.6 Inclinazione della bocca d'ingresso .....	370
27.4 Applicazioni reali dei metodi di compensazione.....	370
27.4.1 Valvola regolatrice di portata a tre bocche .....	370
27.4.2 Valvola limitatrice di pressione diretta .....	371
27.4.3 Distributori per il controllo del calettamento delle pale in turbine idrauliche .....	372
27.4.4 Forze di flusso in una valvola con otturatore a bicchiere.....	374
27.5 Forze di flusso in otturatori conici .....	376
27.5.1 Studio analitico.....	376
27.5.2 Studio CFD.....	378
<b>28. ALTRE VALVOLE OLEODINAMICHE.....</b>	<b>380</b>
28.1 Valvole di non ritorno pilotate .....	380
28.1.1 Valvola pilotata in apertura ATOS .....	380
28.1.2 Valvola pilotata in apertura a cartuccia Fluid Controls .....	381
28.1.3 Valvola pilotata in apertura Denison Hydraulics .....	381
28.1.4 Valvola di non ritorno a doppio stadio elettropilotata .....	382
28.2 Valvola di decelerazione.....	383
<b>29. ACCUMULATORI.....</b>	<b>385</b>
29.1 Generalità.....	385
29.2 Caratteristica pressione-volume.....	386
29.2.1 Accumulatori a gravità e a molla .....	386
29.2.2 Accumulatori a gas compresso.....	386
29.3 Dimensionamento dell'accumulatore a gas .....	387
29.4 Applicazioni.....	389
29.4.1 Dimensionamento della pompa e dell'accumulatore in una pressa oleodinamica.....	389
29.4.2 Applicazione degli accumulatori idraulici a trasmissioni ibride parallele .....	390
29.4.3 Riduzione oscillazioni di pressione su una linea idraulica.....	391
29.5 Frequenza naturale di un accumulatore .....	392

# INDICE

## Volume 2

<b>30. SISTEMI LOAD SENSING (LS)</b> .....	<b>393</b>
30.1 Il problema.....	393
30.2 Principio di funzionamento.....	394
30.2.1 Sistemi LS con pompa a cilindrata variabile.....	394
30.2.2 Sistemi LS con pompa a cilindrata fissa.....	395
30.2.3 Distributore proporzionale LS.....	396
30.2.4 Passaggio a più utenze controllate in velocità.....	397
30.2.4.1 Carichi identici.....	397
30.2.4.2 Carichi diversi.....	397
30.2.5 I compensatori locali.....	398
30.3 Riflessioni ulteriori sui sistemi LS: interazione fra i carichi.....	399
30.3.1 Sistema LS senza compensatori.....	399
30.3.2 Sistema LS pre-compensato.....	400
30.3.3 Sistema LS post-compensato (o con compensatori anti-saturazione).....	401
30.3.4 Configurazione a riposo dei compensatori locali.....	402
30.3.5 Taratura dei compensatori: impianti pre-compensati.....	403
30.3.6 Taratura dei compensatori: impianti post-compensati.....	404
30.3.7 Differenze nel comportamento dei compensatori locali in saturazione di portata.....	404
30.4 Esempio di controllo load sensing per pompa a pistoni assiali.....	405
30.4.1 Descrizione del componente.....	405
30.4.2 Modello di simulazione.....	406
30.5 Esempi di distributori load sensing commercializzati.....	407
30.5.1 Distributori pre-compensati: modulo PVB60 del gruppo Danfoss PVG60.....	408
30.5.2 Distributori pre-compensati: modulo PVB32 del gruppo Danfoss PVG32.....	409
30.5.3 Distributori post-compensati: modulo Linde WV18.....	411
30.5.3.1 Principio di funzionamento.....	411
30.5.3.2 Saturazione in portata.....	412
30.5.3.3 Saturazione in pressione.....	412
30.5.3.4 Particolarità costruttive.....	413
30.5.4 Distributori post-compensati: modulo PVB100 del gruppo PVG100 di Danfoss.....	415
30.5.5 Distributori post-compensati: modulo DPX160 di Walvoil.....	417
30.5.5.1 Comportamento del compensatore durante i transitori.....	418
30.5.5.2 Comportamento del compensatore a regime.....	419
30.5.5.3 Azionamento del carico massimo.....	419
30.5.5.4 Azionamento di un carico che non è il massimo.....	420
30.5.6 Distributori ibridi: modulo Komatsu.....	420
30.5.6.1 Compensatore locale.....	421
30.5.6.2 Comportamento del compensatore durante i transitori.....	422
30.5.6.3 Comportamento del compensatore a regime.....	423
30.5.6.4 Condizione di carico massimo.....	423
30.5.6.5 Gestione di un carico che non è il massimo.....	424
<b>31. IMPIANTO LOAD SENSING PER CARRELLO A FORCHE</b> .....	<b>425</b>
31.1 Schema generale dell'impianto.....	425
31.2 Distributore proporzionale PVG60.....	427
31.2.1 Modulo PVP.....	427
31.2.1.1 Modulo per unità a cilindrata variabile.....	427
31.2.1.2 Modulo per unità a cilindrata fissa.....	428
31.2.2 Modulo PVB.....	429
31.2.2.1 Cassetto principale.....	430
31.2.2.2 Modulo di azionamento elettroidraulico PVE.....	430
31.2.2.3 Compensatore locale per carichi trascinanti.....	431
31.2.2.4 Limitatrici locali.....	432
31.2.2.5 Valvole antishock e anticavitazione.....	433
31.3 Pompa a cilindrata variabile a pistoni radiali load sensing.....	434

31.4 Valvola di priorità.....	435
31.5 Tarature dei componenti.....	436
31.5.1 Compensatori locali di pressione.....	436
31.5.2 Valvola di priorità.....	436
31.5.3 Valvole limitatrici di pressione.....	437
31.5.3.1 Limitatrice sulla linea LS.....	437
31.5.3.2 Limitatrice sulla linea dell'utenza secondaria.....	437
<b>32. CONTROLLI NEI SISTEMI IDRAULICI DI VEICOLI “OFF ROAD” .....</b>	<b>438</b>
32.1 Hydraulic Load Sensing (HLS).....	438
32.2 Electronic Load Sensing (ELS).....	438
32.3 Electronic Flow Matching (EFM).....	439
32.3.1 EFM: prima soluzione.....	439
32.3.2 EFM: seconda soluzione.....	440
32.4 Negative Flow Control (NFC).....	441
32.5 Negative Flow Control (NFC) e limitazione della coppia.....	441
32.6 Positive Flow Control (PFC).....	442
32.7 Electro Positive Flow Control (EPC).....	444
32.8 Impiego dei distributori “twin spools”.....	445
32.9 Pump Controlled Actuation (PCA).....	446
<b>33. SERVOSISTEMI .....</b>	<b>448</b>
33.1 Introduzione.....	448
33.2 Controllo della cilindrata di una pompa.....	448
33.3 Idrocopiatore.....	449
33.3.1 Analisi con i blocchi funzionali.....	451
33.3.2 Modello matematico.....	451
33.3.2.1 Equazioni del sistema.....	451
33.3.2.2 Analisi della velocità.....	452
33.3.2.3 Analisi dinamica con segnale a gradino.....	453
33.3.2.4 Analisi dinamica con segnale sinusoidale.....	453
<b>34. SISTEMI DI STERZATURA IDROSTATICI .....</b>	<b>456</b>
34.1 Il servosterzo.....	456
34.1.1 Principio di funzionamento.....	456
34.1.2 Il sistema TRW.....	458
34.1.2.1 I componenti principali.....	458
34.1.2.2 Geometria del distributore rotante.....	460
34.1.2.3 Descrizione delle posizioni di funzionamento.....	461
34.1.3 Un servosterzo diverso.....	462
34.1.3.1 I componenti principali.....	462
34.1.3.2 Schema simbologico equivalente.....	463
34.1.3.3 Geometria del distributore rotante.....	464
34.1.3.4 Analisi del funzionamento.....	466
34.1.3.5 Il sistema di sterzata completo.....	467
34.1.4 Gruppi di alimentazione per servosterzo.....	468
34.1.4.1 Pompa a cilindrata fissa.....	468
34.1.4.2 Pompa a cilindrata variabile.....	468
34.1.5 Simulazione del servosterzo.....	469
34.2 L'idroguida.....	471
34.2.1 Principio di funzionamento.....	471
34.2.2 Unità di sterzata idrostatica Danfoss OSPC.....	473
34.2.3 Unità di sterzata a centro aperto - non reattiva.....	475
34.2.3.1 Geometria del distributore rotante.....	476
34.2.3.2 Descrizione delle posizioni di funzionamento.....	477
34.2.3.3 Dettaglio delle valvole presenti.....	479
34.2.4 Unità di sterzata load sensing.....	481
34.2.4.1 Geometria del distributore rotante.....	482
34.2.4.2 Descrizione delle posizioni di funzionamento.....	483
34.2.4.3 Leggi di variazione delle luci di passaggio nel distributore rotante.....	485

34.2.5 Caratteristiche indesiderate .....	487
34.2.5.1 Kick-back .....	487
34.2.5.2 Hardening .....	488
34.2.6 Unità di sterzata LS dinamica con amplificatore di portata.....	489
34.2.6.1 Principio di funzionamento .....	489
34.2.6.2 Idroguida Danfoss OSPQ .....	490
34.2.7 Unità di sterzata Danfoss OSPM power beyond .....	492
34.3 Confronto tra idroguida e servosterzo .....	493
<b>35. AMPLIFICATORI DI PORTATA PER IDROGUIDE .....</b>	<b>495</b>
35.1 Introduzione .....	495
35.2 Amplificatore Danfoss OSQ .....	495
35.2.1 Componenti interni e schemi simbologici equivalenti.....	496
35.2.1.1 Livello superiore.....	497
35.2.1.2 Livello intermedio .....	499
35.2.1.3 Livello inferiore.....	502
35.2.2 Schema simbologico equivalente complessivo.....	502
35.3 Amplificatore Danfoss OSQA8.....	503
35.3.1 Generalità .....	503
35.3.2 Valvole interne e loro collegamenti .....	504
35.3.2.1 Valvola di priorità.....	505
35.3.2.2 Stadio di amplificazione .....	506
35.3.2.3 Valvole antishock e anticavitazione .....	508
35.3.2.4 Cassetto principale.....	509
35.3.3 Schema simbologico equivalente.....	510
35.3.4 Studio del comportamento del componente in una manovra di sterzata.....	510
35.3.5 Sterzata di emergenza .....	512
35.3.6 Verifica del rapporto di amplificazione .....	513
35.3.6.1 Modello della camicia .....	513
35.3.6.2 Simulazione e risultati ottenuti.....	514
<b>36. TRASMISSIONI IDROSTATICHE.....</b>	<b>516</b>
36.1 Definizioni .....	516
36.2 Trasmissioni idrostatiche in circuito aperto e chiuso.....	517
36.2.1 Inversione del senso di rotazione dell'albero di uscita .....	517
36.2.2 Interventi per evitare la cavitazione della pompa .....	517
36.2.3 Dimensioni del serbatoio.....	518
36.2.4 Comportamento con carichi trascinanti .....	518
36.2.5 Variazione di cilindrata e verso di rotazione.....	518
36.3 Caratteristiche stazionarie di una trasmissione idrostatica .....	519
36.3.1 Primario a cilindrata variabile e secondario a cilindrata fissa (PV-SF).....	519
36.3.2 Primario a cilindrata fissa e secondario a cilindrata variabile (PF-SV).....	521
36.3.3 Primario e secondario a cilindrata variabile (PV-SV).....	522
36.3.4 Rendimento di una trasmissione idrostatica.....	523
36.3.5 Limiti al campo di utilizzazione di una trasmissione idrostatica .....	524
36.4 Funzione di trasferimento di una trasmissione PV-SF .....	524
36.5 Scelta di una trasmissione idrostatica .....	526
36.5.1 Scelta della taglia .....	526
36.5.2 Campo di Conversione di Coppia .....	526
36.6 Riflessioni su trasmissioni idrostatiche PV-SV .....	527
36.6.1 Limiti alla potenza trasmissibile .....	529
36.6.2 Dimensionamento delle macchine idrostatiche.....	530
36.7 Trasmissione idrostatica con cambio meccanico posto a valle.....	530
36.8 Trasmissione idrostatica con doppio motore idraulico .....	531
36.8.1 Confronto con la configurazione tradizionale.....	533
36.8.2 Confronto tra le principali grandezze di interesse.....	533
36.8.3 Osservazioni sul Campo di Conversione di Coppia.....	534
36.9 Trasmissioni Power-Split.....	536
36.9.1 Relazioni utili allo studio .....	536
36.9.2 Versione con rotismo epicicloidale a valle .....	536

36.9.2.1	Trasmissione puramente meccanica.....	537
36.9.2.2	Trasmissione mista idraulica-meccanica.....	537
36.9.2.3	Veicolo in stazionamento.....	538
36.9.2.4	Analisi della ripartizione della potenza.....	539
36.9.3	Versione con rotismo epicicloidale a monte.....	539
36.9.3.1	Trasmissione mista idraulica-meccanica.....	540
36.9.3.2	Veicolo in stazionamento.....	540
36.9.3.3	Trasmissione puramente meccanica.....	541
36.9.3.4	Analisi della ripartizione della potenza.....	541
36.9.4	Simulazione di una trasmissione power-split.....	542
<b>37.</b>	<b>TRASMISSIONE IDROSTATICA SAUER-DANFOSS .....</b>	<b>545</b>
37.1	Pompe serie 90.....	545
37.2	Valvola multifunzione.....	546
37.2.1	Schema simbologico equivalente.....	547
37.2.2	Funzionamento della valvola.....	549
37.2.2.1	Valvola di non ritorno.....	549
37.2.2.2	Valvola di sequenza.....	549
37.2.2.3	Comportamento dell'otturatore con valvola di sequenza in regolazione.....	549
37.2.2.4	Schema simbologico semplificato.....	549
37.2.3	Implementazione della valvola multifunzione in una pompa serie 90.....	550
37.2.3.1	Funzione by-pass.....	551
37.2.3.2	Comportamento in presenza di carichi trascinanti.....	551
37.2.4	Modello della valvola multifunzione.....	551
37.2.4.1	Spillo in regolazione (valvola di sequenza).....	552
37.2.4.2	Regolazione dell'otturatore (limitatrice differenziale).....	553
37.2.4.3	Funzionamento da valvola unidirezionale.....	554
37.3	Servocontrollo di tipo EDC.....	554
37.4	Motori serie H1.....	557
37.4.1	Descrizione.....	557
37.4.2	Variazione della cilindrata.....	559
37.4.3	I controlli del motore.....	560
37.4.3.1	Funzionamento complessivo.....	560
37.4.3.2	Valvola a pendolo e limitatrice di pressione.....	561
37.4.3.3	Controllo BPD.....	561
37.4.3.4	Controllo proporzionale della cilindrata.....	561
37.4.3.5	Controllo PCOR.....	562
<b>38.</b>	<b>CONTROLLO DELLE TRASMISSIONI IDROSTATICHE .....</b>	<b>564</b>
38.1	Controllo automobilistico per trasmissione a portata imposta.....	564
38.1.1	Controllo con strozzatore sezione costante.....	565
38.1.2	Variazione automatica dello strozzatore di controllo.....	566
38.1.3	Simulazione di un controllo automobilistico per trasmissione idrostatica.....	567
38.1.3.1	Trasmissione idrostatica senza controllo automobilistico.....	567
38.1.3.2	Trasmissioni idrostatica con controllo automobilistico.....	569
38.1.3.3	Avviamento della trasmissione con controllo automobilistico.....	571
38.1.3.4	Avviamento con variazione automatica dello strozzatore di controllo.....	573
38.2	Trasmissioni idrostatiche a pressione imposta con regolazione sul secondario.....	574
38.2.1	Controllo per trasmissioni a pressione imposta.....	575
38.2.2	Modello di trasmissione idrostatica a pressione imposta.....	577
<b>39.</b>	<b>TRASMISSIONE IDROSTATICA DENISON "GOLD CUP" .....</b>	<b>579</b>
39.1	Valvola per pressione servocomando di variazione della cilindrata.....	580
39.2	Valvola per pressione del ramo di bassa pressione.....	580
39.3	Dispositivo di variazione manuale della cilindrata del primario.....	581
39.4	Dispositivo automatico di variazione della cilindrata del primario.....	582
39.5	Controlli applicabili alla trasmissione Gold Cup.....	583
39.5.1	Avviamento del motore primo termico.....	583
39.5.2	Sistema di variazione della cilindrata.....	583
39.5.3	Variazione automatica della cilindrata del primario.....	585
39.5.4	Controllo a velocità costante del secondario.....	585



39.5.5 Controllo load sensing.....	586
39.5.6 Limitatore di potenza richiesta al motore termico .....	586
39.5.7 Limitatore di coppia .....	588
<b>40. SISTEMI DI FRENATURA ELETTROIDRAULICI .....</b>	<b>590</b>
40.1 Generalità.....	590
40.2 Componenti.....	590
40.2.1 Servofreno .....	590
40.2.2 Pompa doppia.....	595
40.2.3 Depressore.....	598
40.2.4 Sistema di frenatura antibloccaggio (ABS).....	600
40.3 ABS Bosch 2S .....	601
40.3.1 Principio di funzionamento .....	601
40.3.2 Analisi dei componenti .....	603
40.3.2.1 Sistema completo e collegamenti interni.....	603
40.3.2.2 Pompa di ricircolo .....	604
40.3.2.3 Valvola a solenoide 3/3 .....	605
40.4 ABS Bosch 5 con ESP.....	608
40.5 ABS Bosch 8.....	611
40.5.1 Sistema complessivo .....	611
40.5.2 Accumulatore a molla .....	612
40.5.3 Elettrovalvola di ammissione EV 2/2 .....	612
40.5.4 Elettrovalvola di scarico AV 2/2.....	613
40.5.5 Elettrovalvola USV 2/2 .....	614
40.5.6 Elettrovalvola HSV 2/2 .....	614
40.5.7 Pompa di ricircolo .....	615
40.6 ABS Nissin Honda.....	616
40.6.1 Descrizione.....	616
40.6.1.1 Corpo principale .....	616
40.6.1.2 Pistone modulatore .....	617
40.6.1.3 Elettrovalvole .....	618
40.6.2 Funzionamento .....	620
40.6.2.1 Frenatura normale (senza intervento dell'ABS).....	620
40.6.3 Funzionamento con ABS.....	620
40.6.4 Prevenzione bloccaggio ruote posteriori con ABS in avaria .....	622
<b>41. SISTEMI DI ATTUAZIONE ELETTRO-IDROSTATICI (EHA) .....</b>	<b>624</b>
41.1 Introduzione .....	624
41.2 Soluzioni con attuatore simmetrico .....	624
41.3 Soluzione con attuatore non simmetrico.....	625
41.4 Simulazione di un EHA .....	627
41.4.1 Attuatore a stelo passante e motore a velocità variabile .....	627
41.4.2 Attuatore differenziale con pompa a cilindrata variabile.....	629
<b>42. SISTEMA ELETTROIDRAULICO DI SELEZIONE E INNESTO MARCE .....</b>	<b>631</b>
42.1 Schema di principio .....	631
42.2 Simulazione dei componenti.....	632
42.2.1 Gruppo di alimentazione GAPFA.....	632
42.2.2 Distributore DF .....	632
42.2.3 Distributori DI.....	633
42.2.4 Distributore DS .....	635
42.3 Simulazione completa del sistema.....	635
<b>43. DISPOSITIVI IDRAULICI PER ALZATA VALVOLE IN MCI.....</b>	<b>637</b>
43.1 Punterie idrauliche .....	637
43.2 Dispositivo per valvole ad alzata variabile .....	638
43.2.1 Descrizione del principio del VVA.....	638
43.2.2 Una soluzione pratica del VVA .....	639
<b>44. AMMORTIZZATORI.....</b>	<b>641</b>

44.1 Descrizione .....	641
44.2 Modello funzionale di una sospensione .....	642
44.2.1 Fase di compressione .....	643
44.2.2 Fase di rimbalzo .....	644
44.3 I componenti dell'ammortizzatore .....	644
44.3.1 Gruppo boccola .....	644
44.3.2 Valvola di compressione.....	645
44.3.3 Valvola di rimbalzo .....	645
44.4 Schema simbologico equivalente .....	646
<b>45. LA LUBRIFICAZIONE NEI MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA .....</b>	<b>648</b>
45.1 Introduzione .....	648
45.1.1 Scopi della lubrificazione .....	648
45.1.2 Utenze da lubrificare.....	648
45.1.3 Tipi di lubrificazione per motori a combustione interna .....	648
45.2 Circuito a carter umido .....	649
45.3 Circuito a carter secco .....	650
45.4 Pompa di lubrificazione.....	650
45.5 Percorso nell'albero a gomiti.....	652
45.6 Cuscinetti .....	654
45.6.1 Tipi di lubrificazione .....	654
45.6.2 Richiami di lubrificazione idrodinamica .....	654
45.6.3 Pattino lineare .....	655
45.6.4 Equazione di Reynolds .....	656
45.6.5 Applicazione ai cuscinetti.....	657
45.6.5.1 Cuscinetto di Sommerfeld.....	658
45.6.5.2 Cuscinetto di Ockvirk .....	659
45.6.6 Capacità di carico dei cuscinetti .....	659
45.6.7 Portata attraverso i cuscinetti.....	661
45.7 Ugelli di raffreddamento .....	662
45.8 Curve di funzionamento del circuito di lubrificazione.....	662
45.8.1 Caratteristiche portata-pressione.....	662
45.8.2 Andamenti in funzione della velocità .....	664
45.8.3 Analisi delle caratteristiche.....	664
45.8.3.1 Modelli semplificati lineari .....	664
45.8.3.2 Portata e pressione in funzione della velocità .....	665
45.8.3.3 Influenza della permeabilità del circuito.....	665
45.8.3.4 Influenza del rendimento della pompa.....	666
45.8.3.5 Influenza della temperatura.....	666
45.9 Dimensionamento del GA .....	667
45.9.1 Richieste del motore .....	667
45.9.2 Dimensionamento della cilindrata della pompa.....	668
45.9.3 Dimensionamento della pressione di regolazione della limitatrice .....	669
45.10 Analisi energetica .....	669
45.10.1 Analisi della potenza assorbita con pompa a cilindrata fissa.....	669
45.10.2 Metodi per ridurre la potenza assorbita .....	670
<b>46. ANALISI DELLA DINAMICA DI UN SISTEMA OLEODINAMICO .....</b>	<b>672</b>
46.1 Modello analitico.....	672
46.2 Analisi della stabilità .....	675
46.2.1 Test di Ruth-Hurwitz .....	675
46.2.2 Luogo delle radici .....	676
<b>47. PWM IN OLEODINAMICA.....</b>	<b>678</b>
47.1 Principio di funzionamento .....	678
47.2 Limitatrice di pressione comandata in PWM .....	680
<b>48. IL FLUIDO DI LAVORO .....</b>	<b>682</b>
48.1 Classificazione ISO dei fluidi idraulici .....	682
48.2 Proprietà fisiche dei fluidi idraulici .....	682

48.2.1	Equazione di stato .....	682
48.2.2	Densità.....	683
48.2.2.1	Dipendenza da temperatura e pressione .....	683
48.2.2.2	Misura della densità.....	685
48.2.3	Viscosità.....	685
48.2.3.1	Definizione e unità di misura .....	685
48.2.3.2	Misura della viscosità.....	686
48.2.3.3	Dipendenza dalla temperatura e classificazione ISO VG.....	687
48.2.3.4	Dipendenza dalla pressione .....	688
48.2.3.5	Influenza della viscosità sulle perdite di potenza .....	689
48.2.3.6	Equazioni per il calcolo della viscosità .....	690
48.2.4	Modulo di comprimibilità effettivo.....	691
48.2.5	Velocità di propagazione delle piccole perturbazioni.....	693
48.3	Contaminazione dei fluidi idraulici .....	694
48.3.1	Classi di contaminazione ISO .....	695
48.3.2	Variazione temporale del contaminante solido in un sistema.....	696
48.3.3	Contaminazione gassosa del fluido idraulico.....	697
48.4	Altri tipi di fluidi.....	698
48.4.1	Fluidi per lubrificazione di motori termici.....	698
48.4.1.1	Requisiti.....	698
48.4.1.2	Composizione chimica .....	699
48.4.1.3	Gradazioni SAE.....	699
48.4.2	Fluidi per impianti di frenatura elettroidraulici.....	700
48.4.3	Acqua .....	701
48.4.3.1	Vantaggi e svantaggi .....	701
48.4.3.2	Caratteristiche fisiche dell'acqua in rapporto ad altri fluidi .....	701
<b>49.</b>	<b>LA CAVITAZIONE NEI COMPONENTI OLEODINAMICI .....</b>	<b>703</b>
49.1	Aspetti generali .....	703
49.2	Incompleto riempimento nelle pompe .....	703
49.2.1	Il problema .....	703
49.2.2	Metodi per migliorare il riempimento.....	706
49.3	La cavitazione nelle valvole .....	709
49.4	Gli strozzatori e il fenomeno del "choked flow" .....	711
<b>50.</b>	<b>CONDIZIONAMENTO TERMICO DI IMPIANTI OLEODINAMICI.....</b>	<b>713</b>
50.1	Analisi della potenza persa in impianto tipo.....	713
50.2	Bilancio energetico semplificato di impianto .....	714
<b>APPENDICE A.</b>	<b>IL LINGUAGGIO DELL'OLEODINAMICA .....</b>	<b>717</b>
<b>APPENDICE B.</b>	<b>PORTATA NELLE RESISTENZE CONCENTRATE.....</b>	<b>722</b>
1.	Flusso turbolento stazionario .....	722
2.	Flusso laminare stazionario .....	723
2.1	Flusso in tubo a sezione circolare .....	723
2.2	Flusso in meato a sezione rettangolare.....	724
<b>APPENDICE C.</b>	<b>EFFETTI INERZIALI DEL FLUIDO .....</b>	<b>725</b>
<b>APPENDICE D.</b>	<b>MODULO DI COMPRIMIBILITÀ DI UN TUBO .....</b>	<b>727</b>
<b>APPENDICE E.</b>	<b>RICHIAMI SUI ROTISMI .....</b>	<b>728</b>
1.	Rotismi ordinari .....	728
2.	Rotismi ordinari composti .....	729
3.	Rotismi epicicloidali .....	729
3.1	Osservazioni sul numero di satelliti e sulla loro disposizione .....	731
3.2	Forza e coppie scambiate .....	732
<b>APPENDICE F.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLE MOLLE DI TORSIONE .....</b>	<b>733</b>
1.	Procedura .....	733
2.	Esempio di calcolo.....	734

<b>APPENDICE G . NOMENCLATURA .....</b>	<b>736</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>737</b>
1. Riferimenti.....	737
2. Libri .....	737
2.1 Testi in lingue straniere.....	737
2.2 Testi in lingua italiana.....	738
3. Riviste scientifiche e tecniche .....	738
4. Siti Internet .....	738
5. Tesi .....	738