

Indice

Capitolo 1	METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE	1
1.1	Aspetti economici della progettazione	1
1.2	Fasi del lavoro di sviluppo e progettazione	4
1.2.1	Pianificazione	4
1.2.2	Ricerca di nuove soluzioni	6
1.2.3	Scelta della soluzione	10
1.2.4	Realizzazione della soluzione scelta	12
1.2.5	Esecuzione dei particolari	12
1.3	Tipologie di progetto	12
1.4	Cause dei cedimenti. Calcoli	14
1.4.1	Calcoli nella progettazione	14
1.4.2	Calcolo per la progettazione, pre-dimensionamento	15
1.4.3	Verifica dei calcoli, verifica di resistenza	15
1.4.4	Metodi numerici di calcolo	16
1.4.5	Carichi, sollecitazioni	16
1.4.5.1	Tipologie di sollecitazione	16
1.4.5.2	Metodi di calcolo per componenti sollecitati staticamente	17
1.4.5.3	Metodi di calcolo per componenti sollecitati con carichi variabili nel tempo	18
1.4.5.4	Punto più sollecitato per carichi statici o variabili nel tempo	18
1.4.5.5	Regolamenti	21
1.4.6	Definizioni	21
1.4.7	Valutazione dei risultati dei calcoli	21
1.4.8	Sicurezza dei componenti	22
1.5	Progettazione assistita dal computer	26
1.6	Modelli	27

1.7	Sperimentazione	28
1.8	Bibliografia	28
Capitolo 2	DISEGNO E DEFINIZIONE DELLA FORMA	31
2.1	Componente progettato in funzione degli sforzi	31
2.1.1	Sforzi e resistenza	31
2.1.2	Deformazione	33
2.1.2.1	Deformazione sotto carico	33
2.1.2.2	Deformazioni termiche	34
2.1.2.3	Stabilità	35
2.2	Vibrazioni e rumore: vibrazioni meccaniche, emissione acustica	35
2.2.1	Forze motrici che producono vibrazioni meccaniche ed emissioni acustiche	35
2.2.2	Possibili rimedi – in generale	38
2.2.3	Riduzione delle vibrazioni meccaniche	38
2.2.4	Riduzione della trasmissione delle vibrazioni meccaniche	39
2.2.5	Riduzione delle emissioni acustiche	40
2.2.5.1	Mediante riduzione del livello delle emissioni	41
2.2.5.2	Mediante incapsulamento sonoro delle macchine	42
2.3	Ergonomia	44
2.3.1	Sicurezza sul lavoro e dell’ambiente	44
2.3.2	Manipolazione ergonomica	45
2.4	Processo di lavorazione e scelta del materiale	47
2.4.1	Pezzi fusi e stampati	49
2.4.1.1	Tecnologia di formatura e colata	49
2.4.1.2	Processo di colata	49
2.4.2	Pezzi fucinati	55
2.4.2.1	Processo di fucinatura	55
2.4.2.2	Regole per la definizione della forma	56
2.4.3	Lamiere e tubi	56
2.4.4	Pezzi in plastica stampati ad iniezione	57
2.4.5	Pezzi lavorati per asportazione di truciolo	60
2.4.5.1	Superfici lavorate	61
2.4.5.2	Fori e fori passanti	61
2.4.5.3	Filettature e centraggi	63
2.4.5.4	Finitura superficiale e tolleranze	63
2.5	Progettazione per il montaggio	64
2.6	Ispezione, manutenzione, assistenza (DIN 31 051)	65

2.7	Riciclaggio	66
2.7.1	Processo di riciclaggio	66
2.7.2	Configurazione di prodotti adatti al riciclaggio in conformità con le normative VDI 2243	67
2.8	Forma estetica e design	70
2.9	Bibliografia	70
Capitolo 3	VERIFICA DI RESISTENZA	73
3.1	Simboli e unità di misura	74
3.2	Carichi esterni (forze, momenti)	77
3.2.1	Punto di applicazione della forza e pressione di contatto	77
3.2.2	Principio di de Saint Venant	77
3.3	Sollecitazioni	78
3.3.1	Forze interne e momenti	78
3.3.2	Stati di sforzo nei componenti sollecitati (cerchio di Mohr) ..	80
3.3.3	Calcolo degli sforzi nominali	82
3.3.3.1	Sforzo normale dovuto a forza assiale	82
3.3.3.2	Sforzo normale dovuto a momento flettente	83
3.3.3.3	Sforzi scambiati fra due superfici (pressione superficiale o di contatto)	86
3.3.3.4	Sforzi normali in tubi in pressione	87
3.3.3.5	Sforzi normali dovuti a flessione deviata (flessione su più assi)	88
3.3.3.6	Sforzi normali dovuti a flessione nelle travi a grande curvatura	89
3.3.3.7	Sforzi di scorrimento dovuti al taglio	90
3.3.3.8	Sforzi di scorrimento dovuti alla torsione	90
3.3.3.9	Composizione di sforzi nella stessa direzione	95
3.3.3.10	Composizione di sforzi normali e tangenziali	95
3.3.4	Sollecitazioni variabili nel tempo	98
3.3.5	Sforzi locali (effetto d'intaglio)	98
3.3.5.1	Sforzi locali: calcolo classico	98
3.3.5.2	Metodo degli elementi finiti (FEM) e metodo degli elementi di contorno (BEM)	100
3.3.6	Sforzi residui	102
3.3.7	Stabilità: carico di punta e pressoflessione	103
3.3.7.1	Carico di punta	104
3.3.7.2	Pressoflessione	106

3.4	Analisi degli sforzi: generalità	106
3.4.1	Principi di calcolo	106
3.4.2	Coefficiente di sicurezza e resistenza del componente	107
3.4.3	Carichi di rottura	108
3.4.4	Durezza	110
3.4.5	Resilienza	112
3.5	Resistenza di componenti metallici sollecitati staticamente	113
3.5.1	Resistenza statica dei materiali (con provini unificati)	116
3.5.2	Resistenza statica del materiale (nel componente reale)	118
3.5.3	Resistenza statica del pezzo	121
3.5.3.1	Principi fondamentali, fattori di influenza	122
3.5.3.2	Calcolo della resistenza statica a rottura ed a snervamento	131
3.5.4	Verifica della resistenza statica	131
3.5.4.1	Sollecitazioni semplici	132
3.5.4.2	Sollecitazioni composte	132
3.5.5	Coefficienti di sicurezza minimi per sollecitazione statica	134
3.6	Resistenza di componenti metallici soggetti a sollecitazioni variabili nel tempo (fatica)	135
3.6.1	Limite di fatica, resistenza a fatica: principi fondamentali	136
3.6.1.1	Determinazione della resistenza a fatica e del limite di fatica	136
3.6.1.2	Curve di durata e di danno	136
3.6.1.3	Diagrammi della resistenza a fatica	137
3.6.1.4	Calcolo del coefficiente di sicurezza a fatica	140
3.6.2	Limite di fatica alternata simmetrica del materiale (con provini unificati)	142
3.6.3	Limite di fatica alternata simmetrica (nel componente reale)	142
3.6.4	Limite di fatica alternata simmetrica del componente	143
3.6.4.1	Principi fondamentali, fattori di influenza	143
3.6.4.2	Calcolo del limite di fatica alternata simmetrica	155
3.6.5	Resistenza a fatica del componente (influenza della sollecitazione media)	155
3.6.6	Calcolo del limite di fatica del componente	160
3.6.6.1	Calcolo per sollecitazioni semplici	160
3.6.6.2	Calcolo per sollecitazioni composte	161
3.6.7	Coefficiente di sicurezza per sollecitazioni di fatica	162
3.6.8	Sicurezza contro i sovraccarichi per sollecitazioni di fatica	162
3.7	Resistenza di componenti in materia plastica	163
3.7.1	Sollecitazioni di breve durata	164
3.7.2	Sollecitazioni statiche di lunga durata	165
3.7.3	Sollecitazioni di fatica	165

3.7.4	Suggerimenti	168
3.7.5	Esempio di calcolo	168
3.8	Resistenza in esercizio	169
3.8.1	Andamento della sollecitazione nel tempo, spettri di carico ..	170
3.8.2	Calcolo della vita media	170
3.8.3	Determinazione sperimentale della resistenza in esercizio ...	172
3.9	Meccanica della frattura	172
3.9.1	Simboli, unità di misura, rapporti di conversione	173
3.9.2	Utilizzo della meccanica della frattura	175
3.9.3	Resistenza statica; definizione di K_{Ic}	175
3.9.3.1	Il fattore di intensità degli sforzi K_I	175
3.9.3.2	Campo d'applicazione	175
3.9.3.3	Valori limite, plasticità	178
3.9.4	Resistenza statica; meccanica della frattura elasto-plastica (MFEP)	180
3.9.4.1	Campo d'applicazione	180
3.9.4.2	Valori limite	181
3.9.5	Resistenza a fatica; definizione di ΔK	181
3.9.5.1	Campo d'applicazione	182
3.9.5.2	Calcolo dell'avanzamento della cricca per sollecitazione di fatica; valori limite	182
3.9.6	Note	184
3.10	Bibliografia	185
Capitolo 4	COSTRUZIONI LEGGERE	189
4.1	Simboli e unità	190
4.2	Costruzioni leggere: modifica delle condizioni	191
4.3	Costruzioni leggere: scelta del materiale	192
4.3.1	Caratteristiche dei materiali	192
4.3.2	Costruzioni leggere realizzate con leghe leggere	195
4.3.2.1	Leghe leggere	196
4.3.2.2	Confronto fra leghe leggere, acciaio e ghisa	196
4.3.2.3	Impiego delle leghe leggere	199
4.3.3	Costruzioni leggere realizzate con materie plastiche e materiali compositi	199
4.3.3.1	Materie plastiche non rinforzate	199
4.3.3.2	Materie plastiche rinforzate con fibre	200
4.3.3.3	Materiali compositi (pannelli sandwich)	200

4.4	Costruzioni leggere: scelta della forma	201
4.4.1	Coefficiente di utilizzazione η_A	201
4.4.2	Scelta delle sezioni	203
4.4.3	Altre indicazioni sulla scelta delle sezioni	204
4.5	Regole generali per le costruzioni leggere; consigli per il progetto	209
4.6	Esempi	211
4.7	Bibliografia	212
Capitolo 5	MATERIALI, TRATTAMENTI TERMICI, TRATTAMENTI SUPERFICIALI	213
5.1	Simboli e unità	214
5.2	Scelta dei materiali	215
5.2.1	Quali proprietà sono importanti?	215
5.2.2	Analisi dei costi (fattori di costo)	216
5.2.3	Procedure speciali, metodi analitici	217
5.3	Materiali ferrosi	217
5.3.1	Trattamento termico	217
5.3.1.1	Ricottura	217
5.3.1.2	Tempra ordinaria	221
5.3.1.3	Rinvenimento e bonifica	221
5.3.1.4	Bonifica isoterma	222
5.3.1.5	Tempra superficiale	222
5.3.1.6	Cementazione	223
5.3.1.7	Nitrurazione	224
5.3.2	Acciaio	225
5.3.2.1	Fattori che influenzano le caratteristiche meccaniche dell'acciaio	225
5.3.2.2	Acciai da costruzione	230
5.3.2.3	Acciai da bonifica	232
5.3.2.4	Acciai per tempra superficiale (alla fiamma, a induzione, al laser)	232
5.3.2.5	Acciai da nitrurazione	232
5.3.2.6	Acciai da cementazione	235
5.3.2.7	Acciai automatici (DIN 1651)	235
5.3.2.8	Acciai inossidabili	235
5.3.2.9	Acciai per molle	238
5.3.2.10	Altri acciai	239

5.3.3	Acciai per getti (GS)	244
5.3.4	Sinterizzati ferrosi	247
5.3.5	Ghise	249
5.3.5.1	Ghisa con grafite lamellare (GJL)	249
5.3.5.2	Ghisa con grafite sferoidale (GJS)	252
5.3.5.3	Ghisa malleabile (GJMW, GJMB)	252
5.3.5.4	Ghisa speciale	255
5.4	Metalli non ferrosi	255
5.4.1	Alluminio e leghe d'alluminio	257
5.4.2	Sinterizzati d'alluminio	259
5.4.3	Leghe di magnesio	259
5.4.4	Leghe di titanio	263
5.4.5	Rame e leghe di rame	267
5.4.6	Altri metalli non ferrosi	268
5.5	Rivestimento dei metalli	268
5.5.1	Rivestimenti metallici	272
5.5.2	Rivestimenti non metallici	272
5.6	Materie plastiche (materiali polimerici)	273
5.6.1	Tipi di materie plastiche (sintesi)	274
5.6.2	Proprietà delle materie plastiche	274
5.6.3	Compositi rinforzati con fibre	277
5.7	Compositi ad elevata resistenza alla propagazione	281
5.8	Elastomeri (gomme, caucciù)	281
5.9	Materiali ceramici	282
5.10	Bibliografia	284
Capitolo 6	NORMATIVE, TOLLERANZE, ACCOPPIAMENTI E STATO DELLE SUPERFICI	287
6.1	Normative	287
6.2	Numeri normali	288
6.3	Tolleranze, scostamenti	288
6.3.1	Tolleranze dimensionali	289
6.3.2	Tolleranze di forma e posizione	292
6.3.3	Tolleranze in generale (tolleranze dimensionali nominali) ...	292
6.3.4	Principi fondamentali delle tolleranze	297

6.3.4.1	“Nuova” indicazione delle tolleranze fondamentali (principio di indipendenza)	297
6.3.4.2	“Vecchia” indicazione delle tolleranze fondamentali (principio di inviluppo)	297
6.3.4.3	Principio del massimo materiale	300
6.4	Accoppiamenti	300
6.4.1	Sistema foro-base	301
6.4.2	Sistema albero-base	302
6.5	Influenza di tolleranze e accoppiamenti sui costi di produzione	302
6.6	Superficie tecnica, macro e microgeometria	306
6.6.1	Generalità, definizioni fondamentali	306
6.6.2	Dimensioni microgeometriche	307
6.6.2.1	Linea di riferimento	307
6.6.2.2	Parametri della rugosità	308
6.6.3	Misurazione della rugosità	308
6.6.4	Esempio di utilizzo dei parametri	313
6.6.5	Indicazioni della finitura superficiale in conformità con le norme DIN ISO 1302	317
6.7	Bibliografia	317
Capitolo 7	GIUNZIONI SALDATE	319
7.1	Simboli e unità	320
7.2	Giunzioni saldate per fusione	321
7.2.1	Impiego, caratteristiche	321
7.2.2	Materiali	329
7.2.2.1	Materiali da costruzione adatti per la saldatura per fusione .	329
7.2.2.2	Materiale d’apporto	331
7.2.3	Realizzazione e sicurezza della saldatura	332
7.2.4	Tipologie di giunzioni e giunzioni continue	340
7.2.5	Indicazioni di disegno	343
7.3	Resistenza in esercizio di giunzioni saldate per fusione	343
7.3.1	Dimensionamento delle giunzioni saldate	343
7.3.2	Analisi delle sollecitazioni	343
7.3.2.1	Stati di sforzo	344
7.3.2.2	Resistenza per componenti in acciaio	346
7.3.2.3	Sollecitazione semplice	352
7.3.2.4	Sollecitazione composta	353
7.3.2.5	Sollecitazioni in giunti saldati speciali	354

7.3.2.6	Sollecitazioni in leghe d'alluminio	354
7.3.3	Pericolo di frattura fragile	356
7.3.4	Rigidezza e vibrazioni di strutture saldate	357
7.3.5	Indicazioni di disegno	358
7.4	Saldature a punti e continue	362
7.4.1	Dimensionamento	362
7.4.2	Sollecitazioni nelle giunzioni con saldatura a punti	364
7.4.3	Sollecitazioni nelle giunzioni con saldatura a rulli	370
7.4.4	Indicazioni di disegno	371
7.5	Saldature su risalti	371
7.6	Saldature di testa a pressione	372
7.7	Saldature ad attrito	373
7.8	Giunti saldati per impieghi diversi dalle macchine	373
7.8.1	Giunti saldati per costruzioni in acciaio e per gru	373
7.8.2	Giunti saldati per serbatoi e caldaie	374
7.8.3	Giunti saldati per applicazioni aeronautiche	374
7.9	Esempi	375
7.10	Bibliografia	377
Capitolo 8	GIUNTI BRASATI, INCOLLATI E MISTI	381
8.1	Giunti brasati	381
8.1.1	Simboli ed unità	381
8.1.2	Impiego, caratteristiche, funzioni	382
8.1.3	Procedimento di brasatura	383
8.1.3.1	Aspetto della superficie da brasare	383
8.1.3.2	Temperatura	383
8.1.3.3	Considerazioni preliminari e lavorazione	384
8.1.4	Materiali	387
8.1.4.1	Materiale del componente	387
8.1.4.2	Materiale d'apporto: leghe per brasatura	387
8.1.4.3	Fondente	390
8.1.5	Esecuzione e portata	390
8.1.5.1	Dimensionamento	390
8.1.5.2	Analisi delle sollecitazioni	393
8.1.6	Suggerimenti di disegno	399
8.1.7	Esempio	401

8.2	Giunti incollati	402
8.2.1	Simboli e unità	402
8.2.2	Impiego, caratteristiche, funzioni	403
8.2.3	Realizzazione	404
8.2.4	Materiali	405
8.2.4.1	Materiale del componente (caratteristiche, requisiti)	405
8.2.4.2	Adesivi	407
8.2.5	Capacità di carico di superfici piane incollate	408
8.2.5.1	Dimensionamento	409
8.2.5.2	Analisi delle sollecitazioni	413
8.2.6	Suggerimenti di disegno	417
8.3	Metodi di giunzione misti (saldatura a punti, rivettatura, bullonatura, incollaggio)	419
8.4	Bibliografia	420
Capitolo 9	GIUNTI RIVETTATI, GIUNTI AGGRAFFATI, LAMIERE ACCOPPIATE	423
9.1	Simboli e unità	423
9.2	Rivettatura: procedimento e caratteristiche	424
9.2.1	Realizzazione	424
9.2.2	Funzioni, impieghi e caratteristiche	424
9.3	Elementi del giunto rivettato	426
9.3.1	Forma di rivetti (chiodi) ed elementi speciali	426
9.3.2	Materiali per giunti rivettati	428
9.4	Dimensionamento, indicazioni di disegno	428
9.5	Particolarità per la costruzione di aerei	432
9.6	Analisi delle sollecitazioni	432
9.6.1	Ipotesi di carico e sollecitazioni reali	432
9.6.2	Sollecitazioni in componenti rivettati	436
9.6.3	Sollecitazioni nei rivetti	438
9.6.4	Capacità di carico di rivetti ciechi	442
9.7	Tecniche speciali di giunzione	442
9.7.1	Aggraffature	442
9.7.2	Giunzioni a scatto	445
9.7.3	Lamiere accoppiate	446
9.8	Esempi	450
9.9	Bibliografia	453

Capitolo 10 COLLEGAMENTI A VITE, FILETTATURE	455
10.1 Simboli e unità	455
10.2 Generalità	457
10.2.1 Funzioni e caratteristiche delle viti di fissaggio	457
10.2.2 Impieghi e tipologie delle viti di fissaggio	458
10.2.2.1 Tappi filettati	458
10.2.2.2 Viti di fissaggio non precaricate, soggette a carico assiale .	458
10.2.2.3 Viti di fissaggio serrate con carico assiale	459
10.2.2.4 Viti di fissaggio precaricate, soggette a carico assiale	459
10.2.2.5 Viti di fissaggio soggette a carico radiale	459
10.2.3 Viti di manovra (azionamenti a vite)	460
10.2.4 Tipi di filettature	460
10.3 Viti di fissaggio, dadi, accessori (costruzione e tipo, criteri di scelta, dati per l'ordine)	461
10.3.1 Viti	462
10.3.2 Dadi	464
10.3.3 Rosette	466
10.3.4 Fermi per viti	467
10.4 Filettature	467
10.4.1 Filetti e loro parametri geometrici	467
10.4.2 Filettature comuni	467
10.4.2.1 Filettature di fissaggio per la meccanica	467
10.4.2.2 Filettature per tubi e armature	471
10.4.2.3 Filettature di manovra	471
10.4.3 Filettature speciali	471
10.4.4 Forze e momenti nelle filettature, rendimento	472
10.4.4.1 Trasmissione del movimento	472
10.4.4.2 Forze nel filetto quadro	473
10.4.4.3 Forze nel filetto triangolare	474
10.4.4.4 Autobloccaggio	474
10.4.4.5 Fattore frenante	477
10.4.4.6 Rendimento η	477
10.5 Viti: materiali, realizzazione, trattamenti superficiali, lubrificazione	477
10.5.1 Materiali	477
10.5.2 Realizzazione, precisione	480
10.5.3 Trattamento superficiale	481
10.5.4 Lubrificazione, lubrificanti	481

10.6	Collegamenti con viti di serraggio	481
10.6.1	Montaggio delle viti	481
10.6.1.1	Serraggio con momento torcente	483
10.6.1.2	Serraggio con precarico assiale	484
10.6.2	Forze e deformazioni; effetto guarnizione	485
10.6.2.1	Precarico nel montaggio	485
10.6.2.2	Allungamento	487
10.6.2.3	Effetto guarnizione in esercizio	490
10.6.2.4	Allungamenti in caso di serraggio eccentrico	497
10.7	Resistenza delle viti	498
10.7.1	Cause di rottura e relativi rimedi	498
10.7.2	Calcolo della resistenza	500
10.7.3	Sollecitazioni e resistenza della vite	500
10.7.4	Coefficienti di sicurezza	503
10.7.5	Dimensionamento e analisi degli sforzi	504
10.7.5.1	Viti caricate staticamente o a fatica, serrate con momento torcente (per esempio viti per flange, viti per coperchi di cilindri)	504
10.7.5.2	Viti caricate staticamente o a fatica, serrate con precarico assiale (per esempio viti per flange, viti per coperchi di cilindri)	511
10.7.5.3	Vite caricata assialmente senza precarico (per esempio figura 10.2a)	512
10.7.5.4	Serraggio di viti soggette a carichi assiali (per esempio figura 10.2b)	512
10.8	Viti caricate radialmente	513
10.8.1	Trasmissione delle forze mediante collegamento ad attrito, viti passanti	513
10.8.1.1	Viti serrate con momento torcente, sottoposte a carico trasversale	513
10.8.1.2	Viti serrate con precarico assiale, sottoposte a carico trasversale	515
10.8.1.3	Configurazione e realizzazione di collegamenti ad attrito ..	515
10.8.2	Trasmissione di forza mediante accoppiamento di forma: viti calibrate, spine di sicurezza	516
10.8.2.1	Calcolo	517
10.8.2.2	Forma e realizzazione dei raccordi con viti calibrate	517
10.8.3	Trasmissione della forza con accoppiamenti per attrito	518
10.9	Disegno delle viti di serraggio	519
10.10	Bloccaggio delle viti di serraggio	524

10.10.1	Allentamento	524
10.10.2	Svitamento	525
10.10.3	Viti di sicurezza	527
10.11	Viti di manovra	527
10.11.1	Tipi, filettature	528
10.11.2	Trasmissione di forza e movimento, rendimento, azione autobloccante; fattore di bloccaggio, fattore di frenatura	529
10.11.3	Materiali, costruzione	531
10.11.4	Lubrificazione, lubrificanti	531
10.11.5	Dimensionamento e analisi degli sforzi	531
10.12	Esempi	533
10.13	Bibliografia	536
Capitolo 11 COLLEGAMENTI CON SPINE E PERNI		541
11.1	Simboli e unità	541
11.2	Collegamenti con spina	542
11.2.1	Esecuzione, impiego	543
11.3	Collegamenti con perno	545
11.4	Dimensionamento e sforzi nei collegamenti con spina e perno .	548
11.4.1	Dimensionamento	549
11.4.2	Analisi degli sforzi	549
11.5	Esempi di calcolo	553
11.6	Bibliografia	554
Capitolo 12 MOLLE		557
12.1	Simboli e unità	560
12.2	Parametri	562
12.2.1	Caratteristica delle molle	562
12.2.2	Rigidezza	563
12.2.3	Smorzamento	563
12.2.4	Lavoro elastico	564
12.2.5	Molle in parallelo e in serie	565
12.2.6	Coefficienti di utilizzazione	565

12.3	Generalità (norme, materiali, coefficienti di sicurezza, sollecitazioni ammissibili)	568
12.3.1	Norme DIN	568
12.3.2	Materiali	568
12.3.3	Resistenza, sollecitazione ammissibili, coefficiente di sicurezza: generalità	572
12.3.3.1	Calcolo per carico statico e quasi statico	572
12.3.3.2	Calcolo per carichi variabili nel tempo	572
12.4	Scelta, dimensioni, forma e resistenza delle molle metalliche ..	573
12.4.1	Molle di trazione e compressione	573
12.4.1.1	Tiranti, puntoni, molle di trazione a filo	573
12.4.1.2	Molle ad anello	573
12.4.2	Molle di flessione	574
12.4.2.1	Molle diritte	574
12.4.2.2	Molle curve	581
12.4.2.3	Molle elicoidali	582
12.4.2.4	Molle a tazza	587
12.4.2.5	Altre molle di flessione	592
12.4.3	Molle di torsione	595
12.4.3.1	Barre di torsione	595
12.4.3.2	Molle ad elica cilindrica	597
12.4.3.3	Altre molle ad elica	610
12.5	Molle di gomma	610
12.5.1	La gomma come materiale elastico	611
12.5.2	Calcolo e configurazioni costruttive	614
12.5.3	Particolarità delle molle in gomma soggette a sollecitazione assiali	621
12.6	Ammortizzatori a gas	621
12.7	Ammortizzatori idraulici	622
12.8	Esempi di calcolo	623
12.9	Bibliografia	627
Capitolo 13	CONTATTO DI SUPERFICI CILINDRICHE	629
13.1	Simboli e unità	629
13.2	Impiego, principi	631
13.3	Sforzi di contatto secondo la teoria di Hertz	633
13.3.1	Sforzi sulla superficie di contatto secondo la teoria di Hertz ..	635

13.3.2	Sforzi sotto la superficie	637
13.3.3	Sollecitazione di rotolamento	639
13.3.4	Contatto volvente lubrificato secondo la teoria elasto-idrodinamica (EHD)	643
13.4	Calcolo pratico della resistenza	647
13.4.1	Carico statico ammissibile	647
13.4.2	Carico dinamico ammissibile	648
13.4.2.1	Resistenza al pitting	648
13.4.2.2	Resistenza alle macchie grigie	657
13.5	Altri danneggiamenti superficiali	658
13.5.1	Resistenza al grippaggio	658
13.5.2	Resistenza all'usura	658
13.6	Attrito volvente	658
13.7	Esempi di calcolo	660
13.8	Bibliografia	660
Capitolo 14 CUSCINETTI A ROTOLAMENTO		665
14.0	Guide e cuscinetti	665
14.0.1	Cuscinetti	665
14.0.1.1	Tipi di costruzione	665
14.0.1.2	Requisiti	666
14.0.1.3	Scelta del modello di cuscinetto: cuscinetto a rotolamento o a strisciamento	666
14.0.1.4	Disposizione dei cuscinetti	667
14.0.2	Guide diritte	668
14.0.2.1	Elenco dei requisiti – scelta del modello	671
14.0.2.2	Impieghi	672
14.1	Simboli e unità	672
14.2	Forma dei cuscinetti a rotolamento, principio di funzionamento	673
14.2.1	Corpi volventi e linee di contatto	674
14.2.2	Gabbie	675
14.2.3	Guide degli elementi volventi, gabbie	678
14.2.4	Inclinazione, angolo di contatto, gioco del cuscinetto, gioco in funzionamento, rigidità	678
14.3	Realizzazione, lubrificazione, tenute	682
14.3.1	Materiali, trattamenti termici	682

14.3.2	Precisione, tolleranze	685
14.3.3	Lubrificazione	685
14.4	Tipi di cuscinetto	691
14.4.1	Caratteristiche e scelta	691
14.4.2	Tipologie speciali	698
14.4.3	Misure e denominazioni	700
14.5	Resistenza, dimensionamento	700
14.5.1	Generalità: resistenza, metodi di calcolo	700
14.5.2	Resistenza statica	703
14.5.3	Fattori che influiscono sulla resistenza dinamica	704
14.5.3.1	Elementi fondamentali	704
14.5.3.2	Carico e velocità di rotazione costante	707
14.5.3.3	Carico e velocità di rotazione variabile	712
14.5.3.4	Resistenza in condizioni di esercizio particolari	714
14.5.4	Calcolo della resistenza dinamica	716
14.5.4.1	Vita nominale (nominal rating life) secondo DIN ISO 281 ..	716
14.5.4.2	Vita nominale adattata (adjusted rating life) secondo DIN ISO 281	718
14.5.4.3	Vita nominale modificata (modified rating life) secondo il principio DIN ISO 281	721
14.5.5	Velocità di rotazione limite	723
14.6	Montaggio, configurazione	725
14.6.1	Scelta del sistema di bloccaggio	725
14.6.2	Disposizione dei cuscinetti	729
14.7	Attrito, temperatura	732
14.7.1	Perdite per attrito	732
14.7.2	Temperatura del cuscinetto	735
14.8	Costi, disponibilità	736
14.9	Esempi	736
14.10	Bibliografia	740
Capitolo 15	CUSCINETTI A STRISCIAMENTO	743
15.1	Simboli e unità	745
15.2	Fondamenti di lubrificazione idrodinamica e idrostatica	747
15.2.1	Flusso forzato (flusso di Hagen Poiseuille)	747
15.2.2	Flusso trascinato (flusso di Couette)	750

15.2.3	Sovrapposizione di flusso forzato e trascinato	751
15.3	Cuscinetti idrodinamici radiali (cuscinetti radiali cilindrici con carico stazionario)	751
15.3.1	Resistenza e coefficiente d'attrito; numero di Sommerfeld ..	751
15.3.2	Parametri che influenzano il numero di Sommerfeld e il coefficiente d'attrito	755
15.3.3	Parametri caratteristici delle condizioni di funzionamento ..	760
15.3.4	Riscaldamento e richiesta di lubrificante	761
15.3.5	Vibrazioni, stabilità	765
15.3.6	Forma costruttiva dei cuscinetti radiali lisci idrodinamici ..	767
15.4	Altri cuscinetti idrodinamici radiali	767
15.4.1	Cuscinetti lisci per funzionamento non stazionario	769
15.4.2	Cuscinetti lisci con meato non cilindrico	769
15.4.3	Cuscinetti lisci con lubrificazione a grasso	772
15.4.4	Cuscinetti a bussole flottanti	772
15.4.5	Cuscinetti a lamina	773
15.5	Cuscinetti idrodinamici assiali	773
15.5.1	Resistenza e coefficiente d'attrito: numero di Sommerfeld per pattini orientabili	775
15.5.2	Velocità di rotazione	776
15.5.3	Coefficiente d'attrito	776
15.5.4	Potenza dissipata per attrito	776
15.5.5	Dimensioni e numero dei segmenti	776
15.5.6	Bilancio termico	777
15.5.7	Portata del lubrificante	777
15.5.8	Tipi e configurazioni dei cuscinetti assiali idrodinamici	778
15.6	Cuscinetti idrostatici	780
15.6.1	Cuscinetti idrostatici radiali	782
15.6.1.1	Funzionamento, configurazione	782
15.6.1.2	Dimensioni, resistenza	783
15.6.2	Cuscinetti idrostatici assiali (supporti portanti e di spinta) ..	789
15.6.2.1	Tipi e configurazioni dei cuscinetti idrostatici assiali	789
15.6.2.2	Resistenza del cuscinetto a tazza	790
15.6.2.3	Resistenza di cuscinetti assiali di altro modello	793
15.7	Materiali e realizzazione di cuscinetti lisci	793
15.7.1	Materiale degli alberi	794
15.7.2	Materiale dei cuscinetti	794
15.8	Lubrificante ed alimentazione del lubrificante	799
15.8.1	Tipi di oli lubrificanti	800

15.8.2	Parametri degli oli lubrificanti	800
15.8.3	Grasso lubrificante	801
15.8.4	Alimentazione del grasso lubrificante	802
15.9	Altri cuscinetti lisci	805
15.9.1	Cuscinetti porosi in metallo sinterizzato	805
15.9.2	Cuscinetti in materia plastica e cuscinetti compositi con strato di scorrimento in materia plastica	806
15.9.2.1	Materie plastiche per cuscinetti compatti	808
15.9.2.2	Materie plastiche con additivi	809
15.9.2.3	Resistenza dei cuscinetti in materia plastica	809
15.9.2.4	Accoppiamento di scorrimento di cuscinetti in materia plastica	811
15.9.2.5	Lubrificazione	812
15.9.2.6	Cuscinetti compositi con strato di scorrimento in materia plastica	812
15.9.2.7	Materiali termoindurenti	813
15.9.2.8	Gomma	813
15.9.3	Cuscinetti pneumatici; cuscinetti aerostatici	816
15.9.4	Cuscinetti magnetici	816
15.9.4.1	Cuscinetti magnetici a traferro	816
15.9.4.2	Cuscinetti magnetoidrodinamici	817
15.9.5	Cuscinetti a carbonio sintetico	817
15.9.6	Cuscinetti senza manutenzione con lubrificanti solidi	818
15.10	Esempi	818
15.11	Bibliografia	822
Capitolo 16	LUBRIFICAZIONE, LUBRIFICANTI, ATTRITO, USURA, CORROSIONE	825
16.1	Simboli e unità	827
16.2	Attrito, coefficiente d'attrito	828
16.3	Effetto della lubrificazione	829
16.3.1	Lubrificazione idrodinamica ed elasto-idrodinamica (EHD) .	830
16.3.2	Lubrificazione mista	831
16.3.3	Lubrificazione a secco	831
16.3.4	Lubrificazione limite	832
16.3.5	Lubrificazione idrostatica	832
16.4	Tipi di lubrificanti	832

16.5	Oli lubrificanti	833
16.5.1	Classificazione degli oli lubrificanti	833
16.5.2	Proprietà degli oli lubrificanti	834
16.5.2.1	Viscosità	834
16.5.2.2	Altre proprietà dei lubrificanti	838
16.5.3	Oli minerali	843
16.5.4	Oli sintetici	843
16.5.5	Oli lubrificanti facilmente biodegradabili	844
16.5.6	Additivi	845
16.6	Grassi lubrificanti	848
16.7	Lubrificanti solidi	849
16.8	Lubrificanti adesivi	852
16.9	Rivestimenti metallici e non metallici	852
16.10	Lubrificazione a gas	852
16.11	Scelta del lubrificante	852
16.11.1	Lubrificanti per componenti di macchine	853
16.11.2	Scelta dei lubrificanti; principi generali	853
16.12	Altri aspetti	854
16.12.1	Tipi di lubrificazione	854
16.12.2	Sistema di alimentazione	854
16.12.3	Smaltimento	855
16.13	Usura	855
16.14	Corrosione	857
16.14.1	Corrosione chimica per asportazione equivalente	857
16.14.2	Corrosione locale	858
16.14.3	Rimedi generali	859
16.15	Bibliografia	860
Capitolo 17	ASSI E ALBERI	863
17.1	Simboli e unità	863
17.2	Procedure per la progettazione e la costruzione	865
17.3	Azioni interne (forze, momenti)	866
17.4	Materiali	866

17.5	Realizzazione	867
17.6	Calcoli di progetto, dimensionamento	867
17.7	Forme costruttive	870
17.7.1	Assi ed alberi in generale	870
17.7.2	Alberi e assi rotanti	871
17.7.3	Assi fissi	872
17.8	Analisi delle sollecitazioni	872
17.8.1	Osservazioni preliminari	873
17.8.2	Analisi delle sollecitazioni statiche e di fatica degli alberi ...	874
17.9	Deformazione elastica	897
17.9.1	Freccia e inclinazione	897
17.9.2	Torsione	902
17.10	Vibrazioni	902
17.10.1	Vibrazioni flessionali	903
17.10.2	Vibrazioni torsionali	904
17.10.3	Equilibratura	905
17.11	Realizzazioni speciali	905
17.12	Bibliografia	906
Capitolo 18	COLLEGAMENTI ALBERO-MOZZO	909
18.1	Simboli e unità	913
18.2	Calettamenti per attrito	915
18.2.1	Forze e momenti torcenti trasmissibili	916
18.2.2	Coefficienti di attrito, sicurezza contro lo slittamento	918
18.2.3	Calettamento forzato, generalità	920
18.2.3.1	Realizzazione del calettamento forzato, definizioni	920
18.2.3.2	Requisiti del calettamento forzato	920
18.2.3.3	Calettamento elastico ed elastoplastico	921
18.2.3.4	Interferenza elastica	922
18.2.3.5	Calcolo del calettamento forzato; rapporti, analisi	930
18.2.3.6	Calcolo del calettamento forzato; condizioni dopo il calettamento, a riposo, a temperatura ambiente	933
18.2.3.7	Calcolo del calettamento forzato; bassa velocità periferica e dilatazione variabile di albero e mozzo	933
18.2.3.8	Calcolo del calettamento forzato; effetto della temperatura e della forza centrifuga	933

18.2.3.9	Effetti della forma e del modo di funzionamento sugli sforzi	934
18.2.3.10	Rimedi in caso di resistenza insufficiente [18.3-1]	936
18.2.3.11	Forme costruttive	937
18.2.3.12	Assemblaggio e smontaggio di calettamenti forzati cilindrici	938
18.2.4	Calettamento conico	942
18.2.4.1	Calettamento conico deformato per errato serraggio meccanico	942
18.2.4.2	Calettamento conico deformato per errato serraggio idraulico	945
18.2.4.3	Calettamento conico con bloccaggio in posizione	945
18.2.5	Calettamenti mediante elementi di bloccaggio	946
18.2.5.1	Calettamento con anello elastico conico	946
18.2.5.2	Calettamento con serie di elementi di serraggio conici . . .	949
18.2.5.3	Calettamento con anello elastico a stella	950
18.2.5.4	Calettamento con bussole di pressione	950
18.2.5.5	Calettamento con rasamento	950
18.2.5.6	Bussola di serraggio idraulica	950
18.2.5.7	Accoppiamento con flange	950
18.3	Calettamenti di forma, generalità	951
18.3.1	Centraggio, generalità	952
18.3.2	Condizioni d'esercizio (momento torcente e forze di taglio), generalità	955
18.3.3	Calcolo di resistenza	956
18.3.4	Calettamenti di forma diretti	961
18.3.4.1	Alberi dentati	961
18.3.4.2	Alberi scanalati	966
18.3.4.3	Calettamenti con millerighe	968
18.3.4.4	Poligonali	968
18.3.5	Calettamenti di forma indiretti	972
18.3.5.1	Linguetta	972
18.3.5.2	Linguetta a disco	978
18.4	Calettamenti di forma precaricati	979
18.4.1	Chiavetta longitudinale	979
18.4.2	Altri accoppiamenti con chiavetta	980
18.5	Calettamenti albero-mozzo incollati	982
18.5.1	Calettamenti precisi di spinta incollati	982
18.5.1.1	Adesivi	983
18.5.1.2	Realizzazione	984
18.5.1.3	Resistenza, dimensioni, analisi delle sollecitazioni	984
18.5.1.4	Forme costruttive	989

18.5.2	Giunzione albero-mozzo incollata a caldo	990
18.5.2.1	Adesivi	991
18.5.2.2	Realizzazione	991
18.5.2.3	Resistenza, dimensioni, analisi delle sollecitazioni del giunto incollato a caldo	992
18.5.2.4	Forme costruttive	994
18.6	Confronto dei costi	994
18.7	Esempi	996
18.8	Bibliografia	1005
Capitolo 19	GUARNIZIONI DI TENUTA	1009
19.1	Simboli e unità	1009
19.2	Requisiti e funzioni	1011
19.3	Possibili soluzioni per risolvere problemi di tenuta di vario tipo	1012
19.4	Accoppiamenti statici a tenuta ermetica	1013
19.4.1	Guarnizioni per accoppiamenti statici	1013
19.4.2	Guarnizioni per accoppiamenti in movimento	1017
19.4.2.1	Guarnizioni piane	1017
19.4.2.2	Profilati di tenuta	1019
19.4.3	Membrane	1021
19.4.4	Soffietti (tenute a soffietto)	1022
19.4.5	Calcolo della pressione di appoggio di guarnizioni a flangia secondo DIN 2505	1022
19.5	Accoppiamenti a tenuta in movimento	1023
19.5.1	Guarnizioni di contatto per movimenti longitudinali	1026
19.5.1.1	Guarnizioni elastomeriche	1026
19.5.1.2	Premistoppa per movimenti lineari e rotatori	1029
19.5.1.3	Guarnizioni anulari e guarnizioni a labbro	1030
19.5.2	Guarnizioni di contatto per movimenti rotatori; guarnizioni per alberi	1031
19.5.2.1	Guarnizioni radiali per alberi, senza pressione	1031
19.5.2.2	Guarnizioni radiali per alberi a tenuta di pressione	1034
19.5.2.3	Rondella di feltro	1035
19.5.2.4	Tenuta assiale ad anello scorrevole	1035
19.5.2.5	Anello elastico di arresto (guarnizione per alberi senza pressione)	1038

19.5.2.6	Profilati di tenuta elastomerici, O-Ring	1039
19.5.3	Guarnizioni per movimenti relativi senza contatto	1039
19.5.3.1	Guarnizioni a fessura	1039
19.5.3.2	Guarnizioni a labirinto	1042
19.5.3.3	Tenute per alberi filettati	1044
19.5.4	Guarnizioni magnetoidrodinamiche	1045
19.5.5	Guarnizioni ermetiche	1045
19.6	Bibliografia	1045
 Indice analitico		 1047