

Prefazione		XIII
1 Digitalizzazione di segnali		1
1.1 Segnali tempo-continuo e tempo-discreto		1
1.2 Teorema del campionamento		2
1.2.1 Ricostruzione di un segnale campionato		5
1.3 Campionamento di segnali passa-banda		8
1.3.1 Conversione digitale di frequenza		8
1.3.2 Campionamento delle componenti in fase e quadratura		9
1.4 Campionamento in condizioni non ideali		12
1.4.1 Segnali non limitati in banda		13
1.4.2 Campionamento non ideale		14
1.4.3 Ricostruzione non ideale		15
1.5 Quantizzazione di segnali campionati		16
1.5.1 Quantizzatori uniformi		17
1.5.2 Modello dell'errore di quantizzazione		20
1.6 Trasformata di Fourier per sequenze		25
1.6.1 Definizione		25
1.6.2 Trasformata inversa		26
1.6.3 Convergenza		27
1.6.4 Riepilogo trasformate di Fourier		30
1.7 Operazioni tra sequenze, sequenze elementari		31
1.8 Teoremi sulla trasformata di Fourier		32
1.9 Esercizi svolti ed esempi al calcolatore		33
1.10 Problemi		66
2 Trasformata Z		69
2.1 Definizione		69
2.2 Convergenza della trasformata Z		70
2.3 Trasformata Z inversa (I parte)		73
2.4 Teoremi sulla trasformata Z		75
2.5 Trasformata Z inversa (II parte)		75
2.6 Convoluzione complessa, relazione di Parseval		78
2.7 Esercizi svolti ed esempi al calcolatore		80
2.8 Problemi		108

3	Sistemi tempo-discreto	111
3.1	Definizioni	111
3.2	Sistemi LTI	112
3.3	Proprietà dei sistemi LTI	113
3.3.1	Connessione in parallelo	113
3.3.2	Connessione in serie	115
3.3.3	Stabilità	116
3.3.4	Causalità	117
3.4	Esempi di sistemi LTI elementari	117
3.5	Equazioni lineari alle differenze finite	119
3.6	Funzione di trasferimento	120
3.7	Risposta in frequenza	125
3.8	Ritardo di fase e di gruppo	129
3.9	Sistemi LTI con fase lineare	134
3.9.1	Sistemi FIR con fase lineare	134
3.9.2	Sistemi IIR con fase lineare	136
3.10	Sistemi passa-tutto e sistemi a fase minima	138
3.11	Alcuni sistemi lineari tempo-varianti notevoli	141
3.11.1	Decimatore o sottocampionatore	142
3.11.2	Interpolatore o sovracampionatore	145
3.11.3	Le identità nobili	146
3.12	Relazione tra filtraggio analogico e numerico	147
3.13	Esercizi svolti ed esempi al calcolatore	149
3.14	Problemi	194
4	Strutture realizzative per sistemi tempo-discreto	199
4.1	Componenti elementari per la realizzazione di sistemi LTI	199
4.2	Strutture dirette	200
4.3	Strutture trasposte	203
4.4	Strutture per sistemi FIR a fase lineare	205
4.5	Strutture in cascata e in parallelo	206
4.6	Strutture a traliccio	210
4.6.1	Sistemi FIR	210
4.6.2	Sistemi IIR con solo poli	214
4.6.3	Sistemi IIR con poli e zeri	217
4.7	Esercizi svolti ed esempi al calcolatore	219
4.8	Problemi	242
5	Trasformata Discreta di Fourier	245
5.1	Serie Discreta di Fourier	245
5.2	Trasformata Discreta di Fourier	248
5.3	Relazioni tra DFT, $X(z)$ e $X(F)$	249
5.4	Proprietà della DFT	251
5.5	Convoluzione circolare	256
5.6	Algoritmo FFT con decimazione nel tempo	261
5.6.1	Calcolo sul posto	266

5.6.2	Ordine a bit invertiti	267
5.6.3	FFT inversa	268
5.7	Algoritmo FFT con decimazione in frequenza	268
5.8	FFT a radice 4	271
5.9	FFT a fattore composito	274
5.10	Convoluzione veloce	276
5.10.1	Overlap & Add	277
5.10.2	Overlap & Save	279
5.11	Analisi spettrale	280
5.12	Esercizi svolti ed esempi al calcolatore	283
5.13	Problemi	309
6	Metodi di progetto per filtri FIR	313
6.1	Specifiche di progetto	313
6.2	Proprietà indotte dalla simmetria della risposta impulsiva	315
6.3	Progettazione di filtri numerici	316
6.4	Metodo delle finestre	317
6.4.1	Finestra di Kaiser	322
6.4.2	Progetto di finestre ottime	323
6.5	Applicazione del metodo delle finestre	325
6.5.1	Progetto di filtri passa-banda	325
6.5.2	Progetto di filtri derivatori	326
6.5.3	Progetto di filtri di Hilbert	328
6.6	Metodo dei minimi quadrati	330
6.7	Metodo del campionamento in frequenza	332
6.8	Metodo equiripple	334
6.8.1	Algoritmo di Parks-McClellan	336
6.9	Progetto di sistemi a fase minima	339
6.10	Esercizi svolti ed esempi al calcolatore	341
6.11	Problemi	364
7	Metodi di progetto per filtri IIR	367
7.1	Introduzione	367
7.2	Metodi di progetto indiretti	368
7.3	Progetto di prototipi analogici	370
7.3.1	Filtri di Butterworth	370
7.3.2	Filtri di Chebyshev	371
7.3.3	Filtri ellittici	374
7.4	Metodi di progetto diretti	377
7.5	Metodi di progetto nel dominio del tempo	378
7.6	Trasformazioni in frequenza	380
7.7	Esercizi svolti ed esempi al calcolatore	382
7.8	Problemi	410

8	Realizzazione di sistemi in precisione finita	413
8.1	Introduzione	413
8.2	Sistemi di numerazione	413
8.2.1	Rappresentazione in virgola fissa	413
8.2.2	Rappresentazione in virgola mobile	417
8.3	Modelli di errore dovuti alla precisione finita	418
8.3.1	Operazioni in virgola fissa	418
8.3.2	Operazioni in virgola mobile	419
8.4	Filtri numerici in precisione finita	421
8.4.1	Quantizzazione dei coefficienti	421
8.4.2	Controllo dell'overflow	424
8.4.3	Arrotondamento delle operazioni	432
8.5	FFT in precisione finita	437
8.5.1	Quantizzazione dei coefficienti	437
8.5.2	Controllo dell'overflow	439
8.5.3	Arrotondamento delle operazioni	440
8.6	Cicli limite	442
8.7	Esercizi svolti ed esempi al calcolatore	444
8.8	Problemi	469
9	Sistemi multirate	473
9.1	Introduzione	473
9.2	Decimazione per un fattore intero	474
9.3	Interpolazione per un fattore intero	476
9.4	Elaborazione di segnali deterministici e aleatori mediante sistemi multirate	477
9.4.1	Segnali deterministici	478
9.4.2	Processi aleatori	479
9.5	Variazione della frequenza di campionamento di un fattore razionale	482
9.6	Progetto di filtri per sistemi multirate	484
9.7	Strutture realizzative per sistemi multirate	486
9.7.1	Filtri polifase	487
9.8	Sistemi multirate multistadio	491
9.9	Applicazioni dei sistemi multirate	498
9.9.1	Traslazione frazionaria degli istanti di campionamento	498
9.9.2	Banchi di filtri	500
9.9.3	Transmultiplexer	507
9.10	Esercizi svolti ed esempi al calcolatore	508
9.11	Problemi	539
A	Processi aleatori tempo-discreto	543
A.1	Distribuzioni e densità di probabilità	543
A.2	Statistiche del primo e del secondo ordine	545
A.3	Processi stazionari ed ergodici	546
A.4	Densità spettrale di potenza	548
A.5	Processi aleatori e sistemi LTI	549

A.6	Campionamento di processi aleatori	552
A.7	Processi ciclostazionari	552
A.8	Esercizi svolti	555

Bibliografia	563
---------------------	------------

Indice analitico	565
-------------------------	------------