

## INDICE

<b>1</b>	<b>Introduzione: definizione e classificazione dei segnali.....</b>	<b>1</b>
1.1	Introduzione all'elaborazione numerica dei segnali.....	1
1.2	Classificazione dei segnali.....	2
1.2.1	Esempi di segnali determinati: periodici e di energia.....	3
1.2.2	Esempio di segnale aleatorio.....	4
1.3	Energia e Potenza di un Segnale.....	5
1.4	Esempi di segnali particolari.....	7
1.4.1	L'impulso discreto e l'impulso di Dirac.....	7
1.4.2	La funzione seno cardinale.....	9
1.4.3	Segnali complessi: l'esponenziale.....	10
1.5	Componente Continua di un Segnale.....	12
1.6	Dinamica di un Segnale.....	12
1.6.1	Scala logaritmica e decibel.....	12
1.6.2	La Saturazione.....	12
1.7	Processo di conversione Analogico - Numerico.....	13
1.7.1	Quantizzazione e codifica.....	15
1.7.2	L'errore di quantizzazione.....	17
1.8	Schema completo di elaborazione.....	18
1.9	Trasformazione di Segnali.....	18
1.10	Esempio di Elaborazione del Segnale.....	21
1.11	Vantaggi dell'Elaborazione Numerica del Segnale.....	21
1.12	Sistemi di comunicazione analogici e numerici.....	22
<b>2</b>	<b>Analisi armonica dei segnali.....</b>	<b>25</b>
2.1	Introduzione.....	25
2.2	Analisi armonica: la serie di Fourier.....	29
2.2.1	Calcolo dei coefficienti di Fourier.....	30
2.2.2	Convergenza della serie di Fourier.....	31
2.2.3	Forma esponenziale complessa della serie di Fourier.....	32
2.3	Spettro di Ampiezza e Spettro di Fase.....	32
2.3.1	Teorema di Parseval per segnali periodici.....	33
2.3.2	Calcolo dei coefficienti di Fourier di un "treno" di impulsi rettangolari.....	34
2.3.3	Derivazione della serie di Fourier.....	39
2.4	Analizzatore di spettro per segnali periodici.....	40
2.5	Trasformata di Fourier (Integrale di Fourier).....	40
2.5.1	Inversione dell'integrale di Fourier.....	42
2.5.2	Richiamo sulla convoluzione di due funzioni.....	45
2.5.3	Trasformata di Fourier della convoluzione.....	47

2.5.4	Teorema di Parseval per segnali di energia .....	47
2.6	Impiego della trasformata di Fourier.....	48
2.7	Proprietà dell'integrale di Fourier.....	49
2.8	Esempi di trasformate di Fourier .....	53
2.9	Larghezza di banda di un segnale .....	60
2.9.1	Segnali in banda "base" e segnali in banda "stretta" .....	61
2.10	Brevi cenni storici.....	62
2.11	Esercizi da risolvere .....	64
<b>3</b>	<b>Il Campionamento e la Trasformata di Fourier Discreta .....</b>	<b>65</b>
3.1	Il campionamento ed il fenomeno dell'aliasing.....	65
3.1.1	Esempio: lo stroboscopio .....	65
3.2	Il processo di campionamento .....	66
3.2.1	Inversione della trasformata di Fourier del segnale campionato.....	68
3.2.2	Relazione tra spettro del segnale continuo e spettro del segnale campionato.....	69
3.2.3	Esempio di spettro di un segnale reale.....	70
3.3	Ricostruzione del segnale dai suoi campioni.....	71
3.3.1	Il teorema del campionamento (Shannon - Nyquist).....	75
3.4	Campionamento dello spettro e trasformata di Fourier discreta.....	75
3.5	Relazione tra dominio del Tempo e della Frequenza.....	77
3.6	Finestre temporali.....	78
3.7	Finestre frequenziali.....	79
3.8	Definizione e proprietà della Trasformata di Fourier Discreta (DFT).....	80
3.8.1	Proprietà della DFT.....	80
3.8.2	Legame tra convoluzione lineare e circolare tra due sequenze.....	82
3.9	Accenni sulla Trasformata di Fourier veloce (Fast Fourier Transform, FFT).....	85
3.10	Esempi.....	86
<b>4</b>	<b>La trasformata Z.....</b>	<b>93</b>
4.1	Definizione di trasformata Z.....	93
4.1.1	Convergenza della Trasformata Z.....	93
4.1.2	Legame tra le proprietà di $z$ e la regione $R$ di .....	95
4.2	Trasformata Z inversa .....	98
4.2.1	Trasformata Z inversa di funzioni razionali.....	98
4.2.2	Espansione in fratti semplici .....	99
4.2.3	Osservazioni.....	100
4.2.4	Trasformata Z inversa di funzioni esprimibili in serie di potenze.....	100
4.3	Proprietà della trasformata Z.....	102

<b>5</b>	<b>Sistemi Lineari Tempo Invarianti (LTI)</b> .....	<b>103</b>
5.1	Linearità, tempo-invarianza e causalità.....	103
5.2	Elaborazione lineare.....	103
5.2.1	Sistemi LTI tempo-continui .....	104
5.2.2	Sistemi lineari tempo-discreti.....	108
5.3	Risposta in frequenza di un sistema LTI.....	111
5.3.1	LTI Tempo-continuo.....	111
5.3.2	LTI Tempo-discreto ottenuto per campionamento .....	112
5.4	Funzione di trasferimento di un sistema LTI tempo-discreto .....	113
5.5	Stabilità di un Sistema .....	113
<b>6</b>	<b>I filtri analogici</b> .....	<b>115</b>
6.1	Richiami di teoria delle reti .....	115
6.1.1	La funzione di trasferimento.....	115
6.1.2	Regime sinusoidale.....	116
6.2	Tipologie di filtri.....	118
6.3	Prestazioni dei filtri in frequenza .....	123
6.4	Filtri a fase lineare .....	124
6.5	Prestazioni dei filtri nel tempo.....	125
6.6	Filtro analogico come sistema LTI.....	125
6.7	Filtri di Butterworth.....	127
6.7.1	Proprietà dei filtri di Butterworth .....	128
6.8	Specifiche di un filtro in frequenza .....	130
6.9	Polinomi di Chebyshev .....	130
6.10	Filtri di Chebyshev.....	132
6.10.1	Il filtro di Chebyshev inverso .....	133
6.11	Confronto tra i filtri di Butterworth e di Chebyshev .....	134
6.12	La funzione ellittica ed i filtri ellittici (o di Cauer).....	134
6.13	Trasformazione Passa-Basso Passa-Alto.....	136
<b>7</b>	<b>I filtri numerici</b> .....	<b>143</b>
7.1	Considerazioni sulla presenza di poli e zeri: filtri FIR e IIR .....	144
7.2	Filtri FIR (Finite Impulse Response).....	147
7.3	Filtri a Fase Lineare.....	150
7.4	Filtri IIR (Infinite Impulse Response).....	151
7.5	Filtri generali con zeri e poli.....	152
7.5.1	Strutture di rete fondamentali per sistemi IIR.....	152
7.6	Esercizi da risolvere .....	154

<b>8. Rappresentazione Complessa dei Segnali</b> .....	<b>155</b>
8.1 Rappresentazione di un tono puro .....	155
8.2 Generazione di segnali complessi o “analitici” .....	156
8.2.1 Filtro di Hilbert.....	159
8.2.2 Risposta impulsiva del filtro di Hilbert .....	160
8.3 Rappresentazione complessa di un segnale a “banda stretta” .....	161
8.4 Rivelazione coerente di un segnale a “banda stretta” .....	162
8.4.1 Modulazione e De-modulazione in Fase e Quadratura ( $I, Q$ ) .....	164
8.4.2 Effetto dello shift Doppler .....	165
<b>9 Energia, Potenza e Correlazione di segnali</b> .....	<b>167</b>
9.1 Energia e potenza .....	167
9.2 Correlazione .....	168
9.3 Autocorrelazione.....	169
9.3.1 Proprietà della autocorrelazione .....	169
9.3.2 Legame tra correlazione e convoluzione.....	172
9.3.3 Legame tra autocorrelazione e spettro.....	172
9.4 Ricevitore a correlazione.....	176
9.5 Esercizi da risolvere .....	178
<b>10. Effetto Doppler</b> .....	<b>179</b>
10.1 Effetto Doppler col Ricevitore in moto e Sorgente fissa.....	179
10.2 Effetto Doppler con sorgente in movimento e ricevitore fisso.....	180
10.3 Effetto Doppler nei radar .....	181
10.4 L’ecografo ad ultrasuoni .....	182
<b>11. Elaborazione delle immagini</b> .....	<b>185</b>
11.1 Classificazione delle immagini .....	185
11.2 Elaborazione numerica delle immagini.....	185
11.2.1 Acquisizione di un’immagine .....	186
11.3 Unità fotometriche .....	187
11.3.1 Immagine monocromatica (bianco e nero) .....	189
11.3.2 Intensità delle immagini e scala di grigi .....	190
11.3.3 Immagine come matrice di pixel .....	190
11.3.4 La dinamica dell’immagine.....	190
11.4 Risoluzione spaziale e pixel .....	191
11.4.1 Effetti del numero di livelli di quantizzazione .....	193
11.5 Trasformata di Fourier bidimensionale applicata alle immagini .....	194
11.6 Campionamento spaziale.....	195
11.7 Trasformata 2D discreta di un’immagine .....	196
11.7.1 Trasformata di Fourier 2D Discreta.....	196

11.7.2	La Trasformata Coseno Discreta (DCT) 2D.....	197
11.8	Elaborazioni locali spaziali di un'immagine.....	199
11.9	Sistemi numerici 2D.....	203
11.9.1	Esempi di elaborazioni di immagini.....	204
11.10	La Compressione JPEG.....	211
11.10.1	Il Metodo predittivo.....	211
11.10.2	Processo di compressione dell'immagine: Algoritmo Baseline.....	211
11.11	La Trasformata di Hough.....	219
<b>12.</b>	<b>Appendice: Applicazioni alla medicina.....</b>	<b>227</b>
12.1	Introduzione all'ecografia.....	227
12.1.1	La fisica dell' ecografia.....	227
12.1.2	Generazione del segnale e sua propagazione.....	230
12.1.3	Forma del fascio di ultrasuoni.....	230
12.1.4	Forma e durata dell' impulso.....	231
12.1.5	Risoluzione in range (longitudinale) e in angolo (laterale).....	232
12.1.6	Ecografia Doppler.....	232
12.1.7	Esempi applicativi.....	234
12.2	Introduzione alla Tomografia Assiale Computerizzata (TAC).....	236
12.2.1	Cenni storici e motivazioni della TAC.....	236
12.2.2	Principio di funzionamento.....	237
12.2.3	Applicazioni mediche e sviluppi della TAC.....	239
12.2.4	Ricostruzione di un'immagine tomografica.....	242
12.3	Introduzione allo standard DICOM.....	248
12.3.1	Immagini DICOM.....	249
12.3.2	Standard per la compressione di immagini mediche.....	252
12.3.3	Ambiti di utilizzo della codifica lossy di immagini mediche.....	254
12.3.4	Considerazioni finali.....	254
<b>13.</b>	<b>Appendice: Richiami sul sistema visivo umano ed introduzione ai sistemi ottici ...</b>	<b>257</b>
13.1	Richiami sul sistema visivo umano.....	257
13.2	Natura ondulatoria della luce.....	260
13.3	L'ottica geometrica.....	260
13.4	Sistemi ottici.....	262
Riflessione da specchio sferico concavo e convesso.....	264	
Oggetti estesi e costruzioni delle immagini.....	267	
Rifrazione da superficie sferica: il Diottro.....	269	
Lente semplice.....	270	
<b>14.</b>	<b>Appendice: Applicazioni al suono.....</b>	<b>273</b>
14.1	Grandezze acustiche.....	273
14.2	Cenni sul sistema uditivo umano.....	274
14.3	La Short Time Fourier Transform (STFT).....	275
Limiti della STFT.....	276	

<i>Interpretazione della STFT come banco di filtri</i> .....	277
<b>14.4 Standard di codifica del suono</b> .....	<b>279</b>
<i>Codifica PCM (Pulse Code Modulation)</i> .....	279
<i>La Codifica Percettiva (Perceptual Coding)</i> .....	280
<i>Algoritmi di compressione per il suono</i> .....	280
Il “mascheramento” in frequenza: .....	281
Il “mascheramento” temporale .....	282
<i>L’Algoritmo di compressione MPEG Audio Layer III – MP3</i> .....	283
<b>15. Appendice: Teoria dell’Informazione e Codifica di Sorgente</b> .....	<b>285</b>
15.1 <i>Generalità sull’Informazione</i> .....	285
15.2 <i>Ridondanza di un messaggio; entropia</i> .....	286
<i>Richiami storici sull’entropia</i> .....	289
<i>Proprietà dell’ entropia</i> .....	289
<i>L’entropia nel caso continuo</i> .....	290
15.3 <i>Breve cenno alla storia dei codici</i> .....	291
<i>Codifica della Sorgente</i> .....	292
<i>Codifica di una sorgente nel caso di sorgenti correlate (con memoria)</i> .....	293
<i>Entropia di una sorgente senza memoria</i> .....	293
<i>Codifica di sorgente con perdita</i> .....	296
<i>Cenni sulla codifica di canale</i> .....	297
<i>Esempio di applicazione della codifica CRC</i> .....	297
<b>Bibliografia</b> .....	<b>303</b>