

## PARTE PRIMA

*Fondamenti e Prime Applicazioni dei Modelli Statistici*

<b>1.1</b>	<b>Introduzione e concetti base della teoria della probabilità .....</b>	<b>1</b>
	Definizione di fenomeno aleatorio .....	1
<b>1.1.1</b>	<b>Richiami di teoria degli insiemi .....</b>	<b>9</b>
	Concetto di insieme ed esempi .....	9
	L'appartenenza .....	10
	L'inclusione e l'eguaglianza .....	11
	Unione e Intersezione di insiemi .....	11
	Le differenze .....	12
	L'insieme complementare .....	12
	Partizione di un insieme .....	14
<b>1.1.2</b>	<b>Richiami di calcolo combinatorio .....</b>	<b>15</b>
	Le disposizioni .....	15
	Le combinazioni .....	16
<b>1.1.3</b>	<b>Esperimenti ed eventi .....</b>	<b>17</b>
	Eventi particolari: evento impossibile, evento certo .....	17
	Operazioni sugli eventi; eventi incompatibili .....	17
	Numero di eventi definibili .....	18
	Campi .....	18
<b>1.1.4</b>	<b>Il concetto di probabilità .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.5</b>	<b>La teoria assiomatica .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.6</b>	<b>L'interpretazione frequentista .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.7</b>	<b>La definizione classica .....</b>	<b>21</b>
	Applicazione della definizione classica al lancio di dadi .....	21
	Probabilità dell'unione di eventi .....	22
	Critiche alla definizione classica .....	23
	Paradosso di Bertrand (*) .....	23
<b>1.1.8</b>	<b>L'interpretazione soggettiva (*) .....</b>	<b>25</b>
	Una considerazione finale sulle definizioni di probabilità .....	25
<b>1.1.9</b>	<b>Probabilità condizionata ed indipendenza .....</b>	<b>26</b>
	Definizione di probabilità condizionata .....	26
	Probabilità condizionata di eventi particolari .....	26
	La probabilità condizionata secondo l'interpretazione della frequenza relativa .....	26
	Proprietà della probabilità condizionata .....	26
	Fattorizzazione delle probabilità congiunte .....	27
	Eventi indipendenti .....	27
	Indipendenza di eventi e probabilità condizionata .....	27
	Proprietà relative ad eventi indipendenti .....	29
<b>1.1.10</b>	<b>Teoremi della probabilità totale e di Bayes .....</b>	<b>31</b>
	Teorema della probabilità totale .....	31

32	Il teorema di Bayes .....
33	1.1.11 Esempi ricapitolativi.....
34	Esercizi da risolvere.....
37	1.2 Variabili aleatorie .....
37	Alcuni richiami matematici .....
39	Teoria elementare della probabilità e teoria della probabilità.....
40	1.2.1 Prove ripetute.....
40	Interpretazione empirica delle prove ripetute .....
40	L'interpretazione concettuale delle prove ripetute .....
42	1.2.2 Prove bernoulliane e legge binomiale.....
42	Probabilità di $k$ successi in un dato ordine.....
43	Probabilità di $k$ successi in un qualsiasi ordine: legge binomiale .....
43	Il lancio di una moneta .....
43	Legge binomiale generalizzata .....
46	1.2.3 Eventi "rari" e teorema di Poisson .....
46	Eventi rari e formula di Bernoulli.....
46	Teorema di Poisson.....
47	Esperimento dei punti di Poisson.....
48	1.2.4 Le variabili aleatorie.....
48	Definizione di variabile aleatoria.....
49	Esempi di variabili aleatorie.....
50	Eventi generati da variabili aleatorie.....
50	1.2.5 La distribuzione di probabilità .....
50	Definizione ed esempi .....
52	Proprietà della funzione di distribuzione.....
53	Variabili aleatorie di tipo continuo .....
54	Variabili aleatorie di tipo discreto.....
54	Variabili aleatorie di tipo misto.....
55	La distribuzione empirica .....
56	1.2.6 I percentili.....
56	Definizione .....
56	Calcolo dei percentili per interpolazione .....
56	La mediana.....
57	La curva empirica dei percentili (curva di Quelelet) .....
58	1.2.7 La densità di probabilità.....
58	Definizione.....
58	Proprietà della funzione di densità.....
59	L'istogramma .....
60	Relazione tra densità di probabilità e percentili .....
60	La funzione di massa di probabilità.....
61	1.2.8 Momenti di una variabile aleatoria.....
61	Il valore atteso .....
63	Varianza di una variabile aleatoria.....

<i>Momenti di una variabile aleatoria</i> .....	64
<i>Momenti centrali di una variabile aleatoria</i> .....	64
<i>Relazione tra media quadratica e varianza</i> .....	65
<i>Moda ed indicatori di forma (*)</i> .....	65
<b>1.2.9 Diseguaglianze sulla funzione di distribuzione</b> .....	66
<i>Diseguaglianza di Chebyshev</i> .....	66
<i>Diseguaglianza di Markov</i> .....	68
<b>Esercizi da risolvere</b> .....	69
<b>1.3 Modelli di variabili aleatorie</b> .....	71
<b>1.3.1 Il modello uniforme</b> .....	71
<b>1.3.2 Il modello gaussiano</b> .....	72
<b>1.3.3 Il modello di Rayleigh</b> .....	77
<b>1.3.4 Il modello esponenziale</b> .....	79
<b>1.3.5 Il modello binomiale</b> .....	81
<b>1.3.6 Il modello di Poisson</b> .....	84
<b>Esercizi da risolvere</b> .....	86
<b>1.4 Funzione di una variabile aleatoria</b> .....	87
<b>1.4.1 Definizione di una funzione di variabile aleatoria</b> .....	87
<i>Concetto di funzione di variabile aleatoria</i> .....	87
<i>Dominio e codominio di una funzione di variabile aleatoria</i> .....	87
<b>1.4.2 La funzione di distribuzione di probabilità</b> .....	88
<i>Funzione di distribuzione: caso generale</i> .....	88
<i>Distribuzione di probabilità di una funzione lineare</i> .....	88
<i>Distribuzione di probabilità di <math>Y = X^2</math></i> .....	89
<i>Distribuzione di probabilità all'uscita di un limitatore</i> .....	90
<i>Distribuzione di probabilità di una funzione nulla in un intervallo (*)</i> .....	92
<i>Distribuzione di probabilità di una funzione discontinua (*)</i> .....	93
<i>Distribuzione di probabilità di <math>y = F_X(x)</math></i> .....	93
<b>1.4.3 La funzione di densità di probabilità</b> .....	95
<i>Determinazione della densità di probabilità per differenziazione della</i> <i>funzione di distribuzione di probabilità</i> .....	95
<i>Teorema fondamentale per la densità di probabilità</i> .....	95
<i>Densità di probabilità di una funzione lineare</i> .....	96
<i>Densità di probabilità dell'inverso di una variabile aleatoria</i> .....	96
<i>Densità di probabilità del quadrato di una variabile aleatoria</i> .....	96
<i>Densità di probabilità di <math>Y = e^X</math></i> .....	97
<i>Densità di probabilità di una funzione sinusoidale</i> .....	97
<i>Massa di probabilità di una funzione di variabile aleatoria discreta</i> .....	98
<i>Massa di probabilità di una funzione a gradini (*)</i> .....	98
<b>1.4.4 Momenti di una funzione di variabile aleatoria</b> .....	101
<i>Valore atteso di una funzione di variabile aleatoria</i> .....	101

102	Valore atteso per il caso discreto .....
102	Valutazione approssimata del valore atteso (*) .....
102	Valutazione approssimata della varianza (*) .....
103	Uso di una "variabile indicatrice" (*) .....
105	Esercizi da risolvere.....
107	1.5 Coppie di variabili aleatorie .....
107	1.5.1 Distribuzioni di probabilità congiunte e marginali.....
112	1.5.2 Indipendenza statistica di due variabili aleatorie.....
115	1.5.3 Coppie di variabili aleatorie con densità di probabilità a simmetria circolare (*) .....
116	1.5.4 Funzione di una coppia di variabili aleatorie e suo valore atteso .....
117	1.5.5 Covarianza e correlazione.....
121	1.5.6 Regressione lineare.....
121	La retta di regressione .....
122	Calcolo dei coefficienti .....
124	1.5.7 Momenti congiunti .....
125	1.5.8 Funzioni di una coppia di variabili aleatorie .....
126	Il teorema fondamentale .....
127	Uso della variabile ausiliaria .....
127	1.5.9 Densità di probabilità della somma di due variabili aleatorie .....
137	1.5.10 Densità del prodotto e del rapporto di due variabili aleatorie.....
139	Esempi.....
148	Esercizi da risolvere.....
149	1.6 Il concetto di distribuzione condizionata .....
149	1.6.1 Il concetto di distribuzione condizionata .....
151	1.6.2 Densità condizionata: troncamento di una distribuzione .....
152	1.6.3 Densità condizionata di due variabili aleatorie.....
152	1.6.4 Teorema della probabilità totale e formula di Bayes per una coppia di variabili aleatorie .....
155	1.6.5 Valori attesi condizionali.....
156	1.6.6 Densità condizionale di una funzione di variabile aleatoria .....
156	1.6.7 Curva di regressione.....
157	Curva di regressione e stima ai minimi quadrati .....
158	1.6.8 Principio di ortogonalità (*).....
158	1.6.9 La bivariata gaussiana .....
170	Esercizi da risolvere.....

<b>1.7 Elementi di teoria dell'affidabilità .....</b>	<b>171</b>
1.7.1 "Vita" di un sistema e affidabilità .....	171
1.7.2 Tempo medio tra guasti (MTBF) .....	172
1.7.3 Probabilità condizionata di un guasto in un intervallo di tempo infinitesimo.....	173
1.7.4 Legame tra frequenza condizionata di guasti e affidabilità.....	175
1.7.5 Tasso di guasti di un sistema ad $N$ componenti .....	176
1.7.6 Andamenti tipici del tasso di guasti .....	177
1.7.7 Interconnessione di sistemi.....	178
Esercizi da risolvere.....	184
 <b>1.8 Legge dei Grandi Numeri e collegamenti tra i modelli.....</b>	<b>185</b>
1.8.1 La legge dei grandi numeri.....	185
Legge dei grandi numeri e frequenza relativa.....	186
1.8.2 Teorema centrale del limite .....	186
Teorema centrale del limite e legge dei grandi numeri.....	187
1.8.3 Teorema di De Moivre - Laplace .....	187
1.8.4 Modello binomiale e modello di Poisson .....	190
Approssimazione del modello binomiale .....	190
1.8.5 Legami tra le variabili aleatorie fondamentali.....	192
Esercizi da risolvere.....	195
 <b>1.9 Applicazioni statistiche.....</b>	<b>197</b>
1.9.1 La statistica .....	197
1.9.2 Stima e predizione.....	197
1.9.3 Teoria degli errori.....	198
Modello statistico degli errori di misura .....	199
Uso di più misure: media campionaria.....	200
Uso di due gruppi di misure.....	201
La propagazione degli errori (*).....	202
 <b>1.10 Entropia ed informazione.....</b>	<b>207</b>
1.10.1 Generalità sull'Informazione.....	207
1.10.2 Ridondanza di un messaggio; entropia .....	208
Richiami storici sull'entropia .....	211
Proprietà dell' entropia .....	212
L'entropia nel caso continuo .....	212
1.10.3 Breve cenno alla storia dei codici .....	213
Codifica della Sorgente.....	214
Codifica di una sorgente nel caso di sorgenti correlate (con memoria) .....	215

Entropia di una sorgente senza memoria.....	215
Codifica di sorgente con perdita.....	218
Cenni sulla codifica di canale.....	219
Esempio di applicazione della codifica CRC.....	220
<b>I.11 Processi Aleatori: elementi di base.....</b>	<b>225</b>
<b>I.11.1 Definizione di processo aleatorio.....</b>	<b>225</b>
<b>I.11.2 Classificazione dei processi aleatori.....</b>	<b>226</b>
<b>I.11.3 Gerarchie di un processo aleatorio.....</b>	<b>231</b>
Funzioni di densità e distribuzione n-dimensionali.....	231
Mutua correlazione (cross-correlation) e mutua covarianza.....	233
<b>I.11.4 Indipendenza statistica di processi.....</b>	<b>236</b>
<b>I.11.5 Stazionarietà.....</b>	<b>236</b>
Stazionarietà congiunta, ciclostazionarietà.....	239
Proprietà delle funzioni di auto e mutua correlazione.....	239
<b>I.11.6 Ergodicità.....</b>	<b>243</b>
Esercizi da risolvere.....	245

## PARTE SECONDA

*Modelli Stocastici e Metodi Statistici*

<b>2.0 Introduzione ai metodi statistici:</b> .....	<b>249</b>
<i>La decisione statistica</i> .....	249
<b>2.0.1 I problemi di decisione statistica</b> .....	<b>249</b>
<b>2.0.2 Gli strumenti probabilistici dei problemi decisionali</b> .....	<b>251</b>
<b>2.0.3 Introduzione ai capitoli</b> .....	<b>252</b>
<b>2.1 Probabilità e variabili aleatorie</b> .....	<b>255</b>
<b>2.1.1 Richiami dei concetti di base</b> .....	<b>255</b>
<i>Esperimenti, risultati, eventi</i> .....	255
<i>Probabilità</i> .....	255
<i>Variabili aleatorie, distribuzione, densità di probabilità</i> .....	257
<i>Momenti, valore atteso, varianza</i> .....	259
<i>Variabili aleatorie notevoli</i> .....	259
<i>Trasformazione di variabili aleatorie</i> .....	260
<b>2.1.2 Modelli probabilistici</b> .....	<b>260</b>
<i>Il Modello Lognormale</i> .....	260
<i>Momenti della lognormale (*)</i> .....	261
<i>Il modello di Weibull e la funzione Gamma</i> .....	262
<i>La funzione Gamma</i> .....	264
<i>Momenti della Weibull (*)</i> .....	264
<i>Il modello Chi Quadro</i> .....	265
<i>Il modello di Student</i> .....	266
<i>Il modello di Erlang</i> .....	267
<i>Il modello Iperesponenziale</i> .....	269
<i>Il modello Gamma</i> .....	270
<i>Il modello K (*)</i> .....	271
<i>Il modello Beta (*)</i> .....	272
<i>Il modello di Laplace</i> .....	273
<i>Il Modello di Cauchy</i> .....	274
<i>Il modello di Pareto (*)</i> .....	275
<i>Il modello geometrico</i> .....	275
<i>Il modello ipergeometrico</i> .....	277
<i>Il modello binomiale negativo (*)</i> .....	277
<b>2.1.3 La funzione caratteristica</b> .....	<b>278</b>
<i>Definizione di funzione caratteristica</i> .....	278
<i>Proprietà della funzione caratteristica</i> .....	278
<i>Uso della funzione caratteristica per il calcolo dei momenti</i> .....	279
<i>La funzione generatrice dei momenti</i> .....	279
<i>Teorema dei momenti</i> .....	280
<i>Espansione della funzione dei momenti in serie di Mac Laurin</i> .....	280

La seconda funzione caratteristica e la seconda funzione dei momenti	280
Cumulanti di una variabile aleatoria	280
Espressione in serie di Mac Laurin della seconda funzione dei momenti	281
Cumulanti e momenti	281
La funzione caratteristica per variabili aleatorie discrete	282
La funzione caratteristica per variabili aleatorie intere	282
La funzione dei momenti per variabili aleatorie discrete	282
Teorema dei momenti per variabili aleatorie intere	283
Funzione caratteristica di variabili notevoli	283
Legge Binomiale	283
Legge Poissoniana	283
Legge Gaussiana	284
Legge Esponenziale	284
Legge Erlangiana	284
Legge Gamma (*)	285
Legge uniforme (*)	285
Legge di Laplace	286
Legge di Cauchy (*)	286
Calcolo di media e varianza mediante la funzione caratteristica	286
Binomiale	287
Poisson	287
Normale standard	287
Esponenziale	288
Erlang	288
Gamma (*)	288
Uniforme (*)	288
Laplace	289
La funzione caratteristica per coppie di variabili aleatorie	290
<b>2.1.4 Sequenze (sistemi) di variabili aleatorie</b>	<b>291</b>
Funzioni di densità e distribuzione n-dimensionali	291
Funzione caratteristica n-dimensionale	292
Trasformazione di variabili aleatorie	292
Covarianza	293
Variazioni aleatorie complesse e vettori (sequenze) aleatori complessi (*)	294
Multivariata gaussiana reale	296
Bivariata gaussiana e retta di regressione	298
Multivariata gaussiana complessa (*)	299
Densità e distribuzioni condizionate	300
Somma di variabili aleatorie indipendenti	301
Statistiche d'ordine (*)	304
<b>2.1.5 Convergenza di una sequenza di variabili d'ordine</b>	<b>307</b>
Convergenza in media quadratica	307
Convergenza in probabilità	308
Convergenza in distribuzione	308
Forme quadratiche (*)	309
<b>Esercizi da risolvere</b>	<b>312</b>



<b>2.2 Statistica matematica: concetti fondamentali.....</b>	<b>315</b>
<b>2.2.1 Significato della statistica.....</b>	<b>315</b>
<b>2.2.2 Il campione aleatorio.....</b>	<b>317</b>
<b>2.2.3 Le statistiche campionarie.....</b>	<b>319</b>
I percentili.....	319
La media di campione.....	320
La varianza di campione.....	323
Le statistiche campionarie.....	325
<b>2.2.4 La decisione statistica.....</b>	<b>326</b>
<b>2.2.4.1 Stima e verifica di ipotesi come problemi di decisioni.....</b>	<b>326</b>
<b>2.2.4.2 Il processo di decisione.....</b>	<b>327</b>
La stima di parametro come decisione statistica.....	328
La verifica delle ipotesi come decisione statistica.....	329
<b>2.2.4.3 Qualità della decisione; criteri di decisione.....</b>	<b>331</b>
<b>2.2.5 Il criterio della massima verosimiglianza.....</b>	<b>332</b>
<b>2.2.6 Il criterio di Bayes (e della minima probabilità di errore).....</b>	<b>333</b>
Criterio della minima probabilità di errore.....	335
<b>2.2.7 Il Criterio di Neyman - Pearson.....</b>	<b>335</b>
Uso del criterio di Neyman - Pearson; le curve R.O.C. ....	337
<b>2.2.8 Stima bayesiana (*).....</b>	<b>343</b>
<b>Esercizi da risolvere.....</b>	<b>345</b>
<b>2.3 Verifica delle ipotesi statistiche parametriche e non.....</b>	<b>347</b>
<b>2.3.1 Le ipotesi statistiche parametriche.....</b>	<b>347</b>
Ipotesi Semplici e Composte.....	347
Il test statistico; errori di primo e secondo tipo.....	347
Un esempio di verifica delle ipotesi.....	349
<b>2.3.2 Test sul valor medio.....</b>	<b>351</b>
Ipotesi di base ed ipotesi alternative.....	351
Varianza nota.....	351
Varianza incognita.....	354
<b>2.3.3 Test sulla uguaglianza di due valori medi (*).....</b>	<b>356</b>
Campioni accoppiati (*).....	356
Campioni sequenziali (*).....	357
<b>2.3.4 Test sulla varianza.....</b>	<b>358</b>
Caso di valore atteso noto; esempio.....	358
Caso di valore atteso incognito; esempio.....	358
Test di eguaglianza di due varianze (*).....	359
Valori medi noti (*).....	359
Confronto delle varianze nel caso di valori medi incogniti ed esempio (*).....	359
<b>2.3.5 Test sulla probabilità.....</b>	<b>360</b>
Test unilatero ed esempio: limite di accettazione per un radar.....	362

Eventi rari ed esecuzione del test.....	364
<b>2.3.6 Test di scorrelazione.....</b>	<b>364</b>
<b>2.3.7 Le ipotesi statistiche non parametriche.....</b>	<b>365</b>
Testi di Kolmogorov - Smirnov (K.S.).....	365
Esempio numerico di test K.S. ....	367
<b>2.3.8 Test del Chi-quadro.....</b>	<b>367</b>
Ipotesi nulla incompleta e statistica di Pearson modificata.....	369
Uso del test del Chi-quadro per la conformità tra dati e funzione densità.....	369
<b>2.3.9 Test di indipendenza statistica (*).....</b>	<b>372</b>
Tavole di contingenza (*).....	372
<b>2.3.10 Testi sequenziali (*).....</b>	<b>373</b>
Uso di un numero di campioni non definito a priori (*).....	373
Rapporto delle densità (statistica NP) e regione di accettazione (*).....	373
Determinazione delle costanti $c_0$ e $c_1$ in funzione delle probabilità di errore (*).....	374
Esempio di test sequenziale (*).....	375
Troncamento di un test sequenziale (*).....	376
<b>2.3.11 Controllo di qualità (*).....</b>	<b>376</b>
Verifica della qualità di un impianto; la "carica di controllo" (*).....	376
Controllo di qualità - falsi allarmi (*).....	377
Controllo delle medie (varianze note) (*).....	377
Esempio di controllo della media - varianza nota; esempio (*).....	378
Controllo della media - varianza incognita; esempio (*).....	378
Controllo della deviazione standard (*).....	379
Controllo del numero di pezzi difettosi (*).....	380
<b>Esercizi da risolvere.....</b>	<b>381</b>
<b>2.4 Teoria della stima.....</b>	<b>383</b>
<b>2.4.1 Definizione e caratteristiche degli stimatori.....</b>	<b>383</b>
Stimatori consistenti.....	384
Stimatore ottimo.....	384
Costruzione di stimatori.....	384
<b>2.4.2 Stima del valore atteso: polarizzazione e varianza.....</b>	<b>384</b>
<b>2.4.3 Stima per intervalli.....</b>	<b>385</b>
Generalità e definizioni.....	385
Calcolo dei limiti di confidenza per la media popolazione - gaussiana.....	387
Intervalli monolateri per la media - popolazione gaussiana.....	389
Limiti di confidenza per la media - popolazione non gaussiana.....	389
Limiti di confidenza per la media - varianza incognita (popolazione gaussiana).....	390
Uso della legge di Studenti.....	391
Confronto tra il caso di varianza nota (legge normale) e quello di varianza incognita (legge di Studenti).....	392
Intervalli di confidenza per la media - varianza dipendente alla media.....	393

Intervalli di confidenza per la probabilità di un evento .....	395
Intervalli di confidenza per la probabilità quando il numero di prove è elevato .....	397
<b>2.4.4 Stima della differenza tra due valori attesi (*) .....</b>	<b>399</b>
<b>2.4.5 Stima della varianza .....</b>	<b>401</b>
Stima di una varianza - popolazione gaussiana, valor medio noto .....	401
Stima di una varianza - popolazione gaussiana, valor medio incognito .....	401
Stima di una potenza .....	403
Stima di una deviazione standard (*) .....	403
<b>2.4.6 Stima della covarianza e della correlazione .....</b>	<b>404</b>
Coefficiente di correlazione campionario .....	404
Densità di probabilità di $\hat{r}$ e variabile Z di Fisher .....	405
<b>2.4.7 Stima dei percentili e della funzione di distribuzione .....</b>	<b>408</b>
Stima dei percentili (*) .....	408
Stima della funzione di distribuzione .....	410
Intervalli di confidenza per la $F(x)$ , $x$ assegnato .....	410
Intervalli di confidenza per la $F(x)$ secondo Kolmogoroff .....	410
<b>2.4.8 Il metodo dei momenti .....</b>	<b>412</b>
Esempi di stima con il metodo dei momenti .....	412
<b>2.4.9 Il metodo di stima a massima verosimiglianza .....</b>	<b>413</b>
Funzione di verosimiglianza e stima a massima verosimiglianza .....	413
Stima a massima verosimiglianza basata su $n$ campioni indipendenti .....	414
Funzione di verosimiglianza logaritmica .....	415
Stimatore a massima verosimiglianza (M.L.) .....	415
Esempi di stima a massima verosimiglianza .....	415
Stima - a massima verosimiglianza - congiunta di più parametri .....	418
Esempio di stima M.L. congiunta: la gaussiana .....	418
<b>2.4.10 Stimatori ottimi e limite di Cramer-Rao (*) .....</b>	<b>421</b>
Densità di probabilità regolari (*) .....	422
Il limite di Cramer-Rao (CRLB) (*) .....	422
<b>Esercizi da risolvere .....</b>	<b>431</b>
<b>2.5 Metodi dei minimi quadrati .....</b>	<b>433</b>
<b>2.5.1 Adattamento di una funzione ad un insieme di dati .....</b>	<b>433</b>
L'interpretazione deterministica .....	434
L'interpretazione statistica .....	434
L'interpretazione predittiva .....	434
<b>2.5.2 L'interpretazione deterministica .....</b>	<b>435</b>
Retta di regressione - caso omogeneo .....	437
Il "Principio di ortogonalità" (*) .....	437
Modelli linearizzabili (*) .....	438
Regressione Lineare Multipla (*) .....	439
Trattazione matriciale della regressione multipla e calcolo dei coefficienti (*) .....	440

441	2.5.3 L'interpretazione statistica
442	Il metodo della massima verosimiglianza e i minimi quadrati
442	Teorema di Gauss-Markov (*)
442	2.5.4 L'interpretazione predittiva
442	Definizione di predittore
442	Minimizzazione dell'errore e calcolo dei parametri del modello
443	Predizione "Cieca" (*)
444	Generalizzazione della predizione lineare e principio di ortogonalità (*)
445	2.6 Simulazione al calcolatore
445	2.6.1 Struttura ed applicazioni della simulazione
445	Numeri casuali
446	2.6.2 Generazione di numeri casuali con distribuzione uniforme
446	Generalità
446	Generatori congruenziali
446	Il generatore di Lehmer
446	Verifica dei generatori casuali uniformi: generalità
449	Test dei gap e test spettrale (*)
449	2.6.3 Generazione di numeri casuali con distribuzione assegnata
451	2.6.4 Il metodo dell'inversione
451	Metodo dell'inversione analitica per variabili continue
451	Metodo dell'inversione analitica per variabili discrete
452	2.6.5 Generazione di numeri casuali con distribuzione esponenziale
453	2.6.6 Generazione di numeri casuali con distribuzione Rayleigh
453	2.6.7 Generazione di numeri casuali con distribuzione binomiale metodo diretto
454	2.6.8 Il metodo della trasformazione funzionali (*)
454	2.6.9 Generazione di numeri casuali con distribuzione di Erlang (*)
454	2.6.10 Generazione di numeri casuali con distribuzione Chi-Quadrato (*)
454	2.6.11 Generazione di numeri casuali con distribuzione di Student (*)
455	2.6.12 Generazione di numeri casuali con distribuzione Sendecor-Fisher (*)
456	2.6.13 Generazione di numeri casuali con distribuzione binomiale (*)
456	2.6.14 Il metodo di miscelamento (*)
457	2.6.15 Generazione di numeri casuali con distribuzione gaussiana
459	2.6.16 I metodi Montecarlo
460	Stima di $\pi$ con l'ago di Buffon (*)
465	2.6.17 Calcolo di un integrale definito mediante il metodo Montecarlo
465	Il metodo hit-or-miss
467	Il metodo della media campionaria (*)
469	Confronto dei metodi (*)

<b>2.7 Processi aleatori.....</b>	<b>471</b>
<b>2.7.1 Richiami dei concetti base: definizione, gerarchie, stazionarietà .....</b>	<b>471</b>
<b>2.7.2 Rumore bianco.....</b>	<b>472</b>
<b>2.7.3 Il processo gaussiano .....</b>	<b>475</b>
<b>2.7.4 Il processo di Poisson .....</b>	<b>475</b>
<b>2.7.5 Catene di Markov.....</b>	<b>478</b>
<b>2.7.6 Segnale telegrafico casuale.....</b>	<b>484</b>
<b>2.7.7 La passeggiata casuale.....</b>	<b>485</b>
<b>2.7.8 Il Processo di Wiener.....</b>	<b>487</b>
<b>2.7.9 Caratterizzazione spettrale dei processi aleatori.....</b>	<b>488</b>
<i>La densità spettrale di potenza .....</i>	<i>488</i>
<i>Lo spettro mutuo (*).....</i>	<i>492</i>
<i>Esempi di spettro.....</i>	<i>493</i>
<i>Effetto Doppler.....</i>	<i>495</i>
<i>Stima dello spettro di potenza (*) .....</i>	<i>496</i>
<b>Esercizi da risolvere.....</b>	<b>497</b>
<b>2.8 Risposta di sistemi ad ingressi aleatori.....</b>	<b>499</b>
<b>2.8.1 Sistemi con ingresso casuale.....</b>	<b>499</b>
<b>2.8.2 Sistemi deterministici e stocastici.....</b>	<b>499</b>
<b>2.8.3 Transitio di processi aleatori in sistemi privi di memoria.....</b>	<b>500</b>
<i>Rilevatore quadratico (*).....</i>	<i>500</i>
<i>Squadratore (*).....</i>	<i>502</i>
<b>2.8.4 Sistemi lineari tempo invarianti (LTI) con ingresso casuale.....</b>	<b>502</b>
<i>Risposta di un sistema LTI ad un generico ingresso .....</i>	<i>503</i>
<i>Valore atteso dell'uscita di un sistema LTI .....</i>	<i>506</i>
<i>Cross - correlazione tra ingresso e uscita di un sistema LTI .....</i>	<i>506</i>
<i>Autocorrelazione dell'uscita di un sistema LTI.....</i>	<i>506</i>
<i>Autocovarianza dell'uscita di un sistema LTI.....</i>	<i>507</i>
<i>Stazionarietà del processo d'uscita .....</i>	<i>507</i>
<i>Correlazione e covarianza per processi complessi (*).....</i>	<i>507</i>
<i>Risposta al rumore bianco stazionario (*) .....</i>	<i>508</i>
<i>Ingresso Gaussiano (*).....</i>	<i>509</i>
<b>2.9 Teoria delle file d'attesa .....</b>	<b>511</b>
<b>2.9.1 Definizioni e notazione.....</b>	<b>511</b>
<b>2.9.2 Processi di nascita e morte.....</b>	<b>513</b>
<b>2.9.3 Code <math>M/M/1</math> .....</b>	<b>517</b>
<b>2.9.4 Code <math>M/M/\infty</math> (*).....</b>	<b>519</b>
<b>2.9.5 Code <math>M/M/N/\infty</math> (*).....</b>	<b>520</b>
<b>2.9.6 Code <math>M/M/N/0</math> (*).....</b>	<b>521</b>

523	Risultati degli esercizi.....
535	<b>Appendice A. Richiami di Analisi matematica – Derivate e integrali.....</b>
535	A1 – Richiami di calcolo differenziale.....
535	Derivata di una funzione.....
535	Derivata delle funzioni composte.....
536	Derivata del prodotto e del rapporto di due funzioni.....
536	Derivata logaritmica.....
537	Derivate di ordine superiore.....
537	Differenziale di una funzione.....
537	Derivate parziali.....
538	A2 – Richiami di calcolo integrale.....
538	Integrale indefinito.....
538	Metodo di integrazione per parti.....
539	Integrazione delle funzioni razionali fratte.....
540	Integrale definito.....
541	Integrazione definita per sostituzione.....
542	Proprietà dell'integrale definito.....
543	La funzione integrale.....
543	Integrale improprio.....
544	Integrale Doppio.....
544	Calcolo dell'Integrale Doppio (Formule di riduzione).....
546	Cambiamento di variabili in un integrale doppio.....
551	<b>Appendice B. Richiami sulle matrici.....</b>
551	Considerazioni generali.....
552	Somma di matrici.....
553	Prodotto di una matrice per uno scalare.....
553	Prodotto di matrici.....
556	Matrici particolari.....
560	Matrice inversa.....
562	Determinante, rango e grado di nullità di una matrice.....
565	Derivata di una matrice e di un determinante.....
566	Sistema di equazioni algebriche lineari.....
569	Autovalori e autovettori di una matrice.....
581	<b>Appendice C. Analisi di Fourier.....</b>
581	Serie di Fourier.....
583	Convergenza della serie di Fourier.....
583	Forma esponenziale complessa della serie di Fourier.....
584	Relazione tra i coefficienti delle due forme della serie di Fourier.....
584	Coefficienti di Fourier di una funzione reale.....
584	Spettro d'ampiezza e spettro di fase.....
584	Teorema di Parseval.....
586	Significato dei coefficienti di Fourier.....

---

<i>Derivazione della serie di Fourier</i> .....	588
<i>Trasformata di Fourier (integrale di Fourier)</i> .....	589
<i>Segnali di energia</i> .....	589
<i>Inversione dell'integrale di Fourier</i> .....	590
<i>Convoluzione di due funzioni</i> .....	591
<i>Trasformata di Fourier della convoluzione</i> .....	592
<i>Teorema di Parseval per segnali di energia</i> .....	594
<i>Proprietà dell'integrale di Fourier</i> .....	595
<b><i>Appendice D. Ipotesi statistiche in problemi di trasmissione della informazione....</i></b>	<b>597</b>
<i>La verifica delle ipotesi statistiche nei problemi di trasmissione della</i> <i>informazione</i> .....	597
<b><i>Tabelle</i></b> .....	<b>601</b>
<b><i>Bibliografia</i></b> .....	<b>605</b>