

# Indice

	pag.
Premessa	9
<b>1 Introduzione</b>	<b>11</b>
<b>2 Modello di regressione lineare semplice</b>	<b>25</b>
1 Stima dei minimi quadrati . . . . .	27
1.1 Media e varianza degli stimatori dei minimi quadrati . . . . .	30
1.2 Stimatore di $\sigma^2$ . . . . .	33
2 Coefficiente di determinazione $R^2$ . . . . .	36
3 Normalità e funzione di verosimiglianza . . . . .	38
3.1 Stimatore di massima verosimiglianza . . . . .	39
3.2 Distribuzione di $(\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2)$ . . . . .	40
4 Inferenza sui parametri $\beta_1$ e $\beta_2$ . . . . .	41
4.1 Verifica di ipotesi . . . . .	41
4.2 Intervalli di confidenza . . . . .	43
4.3 Test del log-rapporto di verosimiglianza . . . . .	44
5 Legame tra $t_2$ e $R^2$ . . . . .	46
6 Previsione con il modello di regressione semplice . . . . .	48
7 Esempio: altezze di madri e figlie . . . . .	49
8 Esempio con R: Analisi dei dati <code>olimpiadi100m</code> . . . . .	54
8.1 La regressione semplice passo per passo . . . . .	54
8.2 La regressione con la funzione <code>lm</code> . . . . .	60
9 Richiami sulla verosimiglianza . . . . .	65
10 Esercizi . . . . .	67
<b>3 Analisi dei residui</b>	<b>69</b>
1 Proprietà dei residui . . . . .	70
2 Analisi grafiche . . . . .	73
3 Verifica dell'ipotesi di omoschedasticità . . . . .	75
4 Verifica della normalità . . . . .	76
4.1 Confronto tra densità e istogramma . . . . .	77
4.2 Confronto tra funzione di ripartizione teorica e funzione di ripartizione empirica . . . . .	79
4.3 Confronto tra quantili teorici ed empirici . . . . .	80
5 Esempio con R: Analisi dei dati <code>olimpiadi100m</code> . . . . .	83
6 Esercizi . . . . .	87

	pag.
<b>4 Modello di regressione lineare multipla</b>	<b>89</b>
1 Il modello . . . . .	91
2 Rappresentazione matriciale . . . . .	93
3 Stima dei parametri . . . . .	95
3.1 Stima di $\beta$ . . . . .	95
3.2 Stima di $\sigma^2$ . . . . .	96
4 Alcuni risultati sul modello stimato . . . . .	97
5 Interpretazione geometrica . . . . .	99
6 Teorema di Gauss-Markov . . . . .	101
7 Distribuzione degli stimatori . . . . .	103
7.1 Distribuzione di $\hat{\beta}$ . . . . .	104
7.2 Distribuzione di $\hat{\sigma}^2$ . . . . .	104
7.3 Distribuzione congiunta di $(\hat{\beta}, \hat{\sigma}^2)$ . . . . .	105
8 Inferenza sul modello . . . . .	105
8.1 Inferenza su un singolo coefficiente . . . . .	105
8.2 Verifica d'ipotesi sulla nullità di un gruppo di coefficienti . . . . .	106
8.3 Caso particolare: nullità di un singolo coefficiente . . . . .	109
8.4 Caso particolare: verifica del modello nel complesso . . . . .	110
8.5 Altri sistemi di ipotesi . . . . .	111
8.6 Caso generale: verifica di ipotesi su un gruppo di coefficienti . . . . .	111
8.7 Interpretazione geometrica del confronto tra modelli . . . . .	114
8.8 Costruzione di regioni di confidenza . . . . .	115
8.9 Confronto di modelli non annidati . . . . .	115
8.10 Previsione con il modello di regressione lineare multipla . . . . .	117
9 Esempio: i dati sui ciliegi . . . . .	118
10 Esempio: calcoli matriciali . . . . .	120
11 Esempio con R: Analisi dei dati <code>hills</code> . . . . .	124
12 Esempio con R: Analisi dei dati <code>uscrime</code> . . . . .	130
13 Richiami sulla normale multidimensionale . . . . .	141
14 Esercizi . . . . .	143
<b>5 Alcuni esempi notevoli: Test <math>t</math> a due campioni, ANOVA, ANCOVA</b>	<b>149</b>
1 Confronto tra medie in due popolazioni normali . . . . .	149
1.1 Test $t$ di Student a due campioni . . . . .	150
1.2 Il test $t$ e il modello di regressione lineare semplice . . . . .	151
1.3 Verifica degli assunti . . . . .	156
1.4 Scomposizione della somma dei quadrati . . . . .	158
1.5 Esempio con R: Analisi dei dati <code>memoria1</code> . . . . .	159
1.6 Esercizi . . . . .	165
2 Effetto di un trattamento: ANOVA . . . . .	166
2.1 ANOVA a un fattore . . . . .	166
2.2 L'ANOVA e il modello di regressione lineare . . . . .	169
2.3 Esempio con R: Analisi dei dati <code>memoria</code> . . . . .	177
2.4 Esercizi . . . . .	181
3 Effetto di due trattamenti: ANOVA a due fattori . . . . .	183
3.1 ANOVA a due fattori senza interazione . . . . .	189

	<b>pag.</b>
3.2	ANOVA a due fattori con interazione . . . . . 195
3.3	Esempio con R: Analisi dei dati <code>nails</code> . . . . . 198
3.4	Esercizi . . . . . 201
4	Il modello ANCOVA . . . . . 202
4.1	Il modello ANCOVA . . . . . 207
4.2	Esempio con R: Analisi dei dati <code>olimpiadi100m_mf</code> . . . . . 211
4.3	Esercizi . . . . . 215
<b>6</b>	<b>Punti leva, anomali, influenti</b> . . . . . <b>219</b>
1	Diagnostiche . . . . . 220
1.1	Punti leva . . . . . 222
1.2	Punti anomali . . . . . 224
1.3	Valori influenti . . . . . 225
1.4	Derivazione di alcune formule . . . . . 228
2	Cause e rimedi . . . . . 232
3	Esempio con R: Analisi dei dati <code>alctobacco</code> . . . . . 233
4	Esempio con R: Analisi dei dati <code>lunatics</code> . . . . . 239
5	Esercizi . . . . . 246
<b>7</b>	<b>Limiti del modello lineare e cenni alle principali estensioni</b> . . . . . <b>249</b>
1	Non linearità . . . . . 250
1.1	Interpretazione con un modello trasformato . . . . . 251
1.2	Modelli polinomiali ed estensioni . . . . . 253
2	Non normalità . . . . . 254
2.1	Trasformazioni di Box-Cox . . . . . 255
2.2	Modelli lineari generalizzati . . . . . 258
3	Eteroschedasticità . . . . . 259
3.1	Trasformazioni per stabilizzare la varianza . . . . . 260
3.2	Minimi quadrati generalizzati . . . . . 262
4	Dipendenza . . . . . 264
4.1	Autocorrelazione . . . . . 264
4.2	Test di autocorrelazione . . . . . 266
4.3	Rimedi all'autocorrelazione . . . . . 267
5	Multicollinearità . . . . . 269
6	Esercizi . . . . . 271
<b>8</b>	<b>Modelli per variabili risposta discrete</b> . . . . . <b>273</b>
1	Introduzione . . . . . 273
2	Famiglia esponenziale e verosimiglianza . . . . . 274
2.1	Esempio: regressione logistica . . . . . 278
2.2	Esempio: regressione di Poisson . . . . . 279
3	Inferenza . . . . . 279
3.1	Confronto tra modelli annidati . . . . . 280
4	Bontà del modello e residui . . . . . 283
5	Esempio con R: Analisi dei dati <code>stress</code> . . . . . 284
6	Esempio con R: Analisi dei dati <code>challenger</code> . . . . . 289

	<b>pag.</b>
7 Esercizi . . . . .	292
<b>Bibliografia</b>	<b>297</b>
<b>Alfabeto greco</b>	<b>301</b>
<b>Indice analitico</b>	<b>303</b>