

MANUALE DI STATISTICA

Statistica univariata e bivariata, parametrica e non-parametrica

(Edizione 2010)

Lamberto Soliani

Email: lamberto.soliani@unipr.it

Tel.0521/905662 Fax 0521/905402

Iniziato come dispense per corsi universitari e di formazione-aggiornamento presso aziende, il manuale (oltre 4100 pagine in 29 capitoli) riporta uno spettro ampio dei metodi della statistica, che sono richiesti nella ricerca e nelle professioni delle discipline scientifiche. E' una illustrazione dettagliata dei metodi riportati nei testi internazionali più completi e più diffusi, nelle guide della Environmental Protection Agency degli Stati Uniti e nei programmi informatici.

Con intensità crescente negli ultimi anni, ai ricercatori è chiesta una conoscenza operativa delle metodologie statistiche. La diffusione dell'informatica e lo sviluppo delle tecnologie permettono di raccogliere con facilità molti dati. Ma l'università italiana raramente fornisce competenze adeguate ai confronti internazionali, per quanto riguarda l'applicazione della statistica nelle discipline scientifiche.

Per tutti coloro che ricorrono alla statistica applicata, hanno un'importanza relativa le dimostrazioni matematiche, mentre è necessaria un'illustrazione chiara e semplice dei test più diffusi. Quando utilizzano programmi informatici, trovano numerose opzioni; ma quasi mai i manuali riportano spiegazioni comprensibili anche per le persone che non hanno una esperienza specifica, seppure possiedano elevata cultura nella loro disciplina e ottime conoscenze di matematica e informatica. Inoltre, negli ultimi anni, stanno cambiando i test proposti nei programmi informatici. I test classici, proposti nei decenni che precedono la diffusione dell'informatica e studiati all'università, erano fondati su calcoli abbastanza semplici, applicabili manualmente in un tempo ragionevole. E' il concetto di "potenza applicata" o "portabilità" di un test, allora necessario per la diffusione dei metodi statistici.

L'autore ha cercato di rispondere a questa domanda così diversificata di conoscenza dei test statistici, con una presentazione elementare ma completa dei concetti e dei metodi dell'inferenza statistica univariata e bivariata, sia parametrica che non parametrica, esemplificata in numerose applicazioni.

Nella stesura di questo testo-manuale, le linee guida sono state la completezza e l'operatività, da raggiungere sempre con un linguaggio e una simbologia semplici.

Ideato e scritto per la formazione e l'aggiornamento, questo manuale si dimostra utile sia nei corsi di primo e di secondo livello e nei master universitari al momento della tesi, sia nei corsi per la formazione e l'aggiornamento in aziende pubbliche e private, quando occorre stendere rapporti o relazioni.

Parma, Gennaio 2010

Lamberto Soliani

Professore ordinario di “Fondamenti di analisi dei sistemi ecologici” (gruppo BIO 7) dal 1990.

Dal 1986 al 1990 già prof. ordinario di Demografia Investigativa presso la Facoltà di Economia dell’Università di Bari e poi nella Facoltà di Scienze Statistiche, Demografiche e Attuariali dell’Università “La Sapienza” di Roma.

Il primo incarico di Biometria è del 1976. Dal 1990 è docente di Statistica Applicata e di Biometria nei corsi di laurea in Scienze Ambientali, Agraria, Scienze Biotecnologiche, Biologia Ecologica, Scienze Naturali e nelle lauree specialistiche in Chimica della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell’Università di Parma.

Responsabile della formazione in statistica applicata

- in vari master (Scienze Forensi, Analisi chimiche per gli alimenti e l’inquinamento, ecc. ...),
- in corsi di formazione - aggiornamento presso aziende ed associazioni professionali (ARPA regionali, Aziende Farmaceutiche Italiane, Aziende Alimentari nazionali e internazionali, Enti di ricerca in Agraria, Enti regionali e provinciali per il controllo di qualità),
- nel comitato etico, per una impostazione corretta dell’esperimento e l’utilizzazione più ampia dei dati raccolti.

Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma
Viale G.P. Usberti 33/A, Campus
43100 Parma

Per qualsiasi informazione è possibile contattare l'autore.

Email: : lamberto.soliani@unipr.it

Tel.0521/905662 Fax 0521/905402

I N D I C E

Pag.

CAPITOLO I - INTRODUZIONE ALLA STATISTICA APPLICATA E STATISTICA DESCRITTIVA PER DISTRIBUZIONI UNIVARIATE

1.1. La statistica nella ricerca ambientale, biologica, agraria e medica	1
1.2. Il disegno sperimentale, il campionamento e l'inferenza	3
1.3. Il programma di un corso di statistica applicata	7
1.4. Le scale di misura di Stevens: nominale, ordinale, a intervalli, di rapporti	11
1.5. Il raggruppamento dei dati in classi, per una variabile discreta con dispersione ridotta	18
1.6. Il numero ottimale di classi in tabelle e istogrammi, per una variabile continua: regole di Sturges, Doane, Freedman e Diaconis, Scott e altri	23
1.7. Costruzione di una tabella, per una variabile continua	30
1.8. Scopi e metodi delle rappresentazioni grafiche, per distribuzioni univariate: istogrammi e poligoni	35
1.9. Altri errori nella costruzione degli istogrammi	43
1.10. Rappresentazioni grafiche di dati qualitativi	50
1.11. I diagrammi a figure o pittogrammi e il Lie Factor	59
1.12. Le misure di tendenza centrale	65
1.12.1 <i>Le misure di tendenza centrale o posizione</i>	66
1.12.2 <i>La mediana</i>	70
1.12.3 <i>La moda</i>	71
1.13. Misure di dispersione o variabilità	73
1.13.1 <i>Intervallo di variazione</i>	74
1.13.2 <i>La differenza interquartile</i>	74
1.13.3 <i>Lo scarto medio assoluto dalla media</i>	75
1.13.4 <i>Lo scarto medio assoluto dalla mediana</i>	75
1.13.5 <i>La devianza</i>	76
1.13.6 <i>La varianza</i>	78
1.13.7 <i>La deviazione standard</i>	79
1.13.8 <i>L'errore standard</i>	79
1.13.9 <i>Il coefficiente di variazione</i>	82
1.13.10 <i>Stime robuste della variabilità: Average Deviation e MAD</i>	84
1.13.11 <i>La varianza in dati raggruppati: correzione di Sheppard</i>	86
1.14. Le proprietà della media campionaria in una distribuzione normale ed effetti pratici del teorema del limite centrale	89

1.15. Indici di forma: simmetria e curtosi. I momenti di una distribuzione	91
1.16. Metodi per calcolare un generico quantile da una serie di dati	105
1.17. Rappresentazioni grafiche e semi-grafiche delle distribuzioni: data plot, box-and-whisker, line plot, stem-and-leaf	110
1.18. La correzione di Sheppard nel calcolo dei momenti di una distribuzione di frequenza: discussione generale	132
1.19. Il dibattito sui tipi di scala di Stevens: sono adeguati o errati?	136
1.20. La scala Likert e altre scale di valutazione	139
1.21. Output di programmi statistici sulle misure di tendenza centrale, dispersione, simmetria e curtosi	144
1.22. Alcuni sviluppi recenti dei box-plot: notched box-plot, histoplot, vaseplot	150
1.23. I box-plot più diffusi nei programmi informatici	165
1.24. La distribuzione, il principio e il diagramma di Pareto	171

CAPITOLO II - DISTRIBUZIONI E LEGGI DI PROBABILITÀ'

2.1. Elementi di calcolo combinatorio semplice	1
2.1.1 <i>Permutazioni semplici</i>	2
2.1.2 <i>Disposizioni semplici</i>	3
2.1.3 <i>Combinazioni semplici</i>	4
2.1.4 <i>Risposte alle domande del paragrafo 2.1</i>	5
2.2. Definizioni di probabilità: matematica, frequentista e soggettiva, con elementi di statistica bayesiana	7
2.3. Alcune distribuzioni discrete	16
2.3.1 <i>Distribuzione binomiale</i>	16
2.3.2 <i>Distribuzione multinomiale</i>	23
2.3.3 <i>Distribuzione poissoniana</i>	24
2.3.4 <i>Distribuzione geometrica e distribuzione di Pascal</i>	37
2.3.5 <i>Distribuzione ipergeometrica</i>	41
2.3.6 <i>Distribuzione binomiale negativa</i>	46
2.3.7 <i>Distribuzione uniforme o rettangolare</i>	60
2.4. Alcune distribuzioni continue	61
2.4.1 <i>Distribuzione normale o di Gauss</i>	62
2.4.2 <i>Distribuzioni asintoticamente normali, con approssimazioni e trasformazioni</i>	69
2.4.3 <i>Dalla disuguaglianza di Tchebycheff all'uso della distribuzione normale</i>	71
2.4.4 <i>Approssimazioni e correzioni per la continuità</i>	80
2.4.5 <i>Distribuzione rettangolare</i>	83

2.4.6	<i>Distribuzione esponenziale negativa</i>	84
2.4.7	<i>Le curve di Pearson</i>	84
2.4.8	<i>La distribuzione Gamma</i>	87
2.5.	Distribuzioni campionarie derivate dalla normale ed utili per l'inferenza	90
2.5.1	<i>La distribuzione χ^2</i>	90
2.5.2	<i>La distribuzione t di Student</i>	96
2.5.3	<i>La distribuzione F di Fisher</i>	97
TABELLE DELLA DISTRIBUZIONE NORMALE		99
CAPITOLO III - ANALISI DELLE FREQUENZE		
3.1.	Confronti tra distribuzioni osservate e distribuzioni attese	1
3.2.	Condizioni di validità del χ^2 e correzione di Yates	9
3.3.	Le tabelle di contingenza 2 x 2 (fourfold tables)	13
3.4.	Correzioni per la continuità in tabelle 2 x 2: Yates e Haber	22
3.5.	Confronti tra frequenze relative con la distribuzione normale e sua correzione per la continuità	28
3.6.	Confronto tra test χ^2 per tabelle 2 x 2 e test Z, senza e con le correzioni per la continuità	36
3.7.	Confronto di una proporzione osservata con una attesa: il test Z per grandi campioni e la distribuzione binomiale per piccoli campioni	42
3.8.	Tabelle di contingenza 2 x 2 in piccoli campioni: il metodo esatto di Fisher	47
3.9.	Le tabelle 2 x N con la formula generale e quella di Brandt-Snedecor. Le tabelle M x N	52
3.10.	Il log-likelihood ratio o metodo G	61
3.10.1	<i>Confronto tra una distribuzione osservata ed una attesa con la correzione di Williams</i>	64
3.10.2	<i>Tabelle 2 x 2, con la correzione di Williams e quella di Mantel-Haenszel</i>	68
3.10.3	<i>Tabelle M x N con la correzione di Williams</i>	71
3.11.	Il chi quadro con il metodo di Cochran e di Mantel-Haenszel	76
3.12.	Esercizi svolti per dati in tabelle di contingenza	83
3.13.	Proprietà della distribuzione χ^2	89
Tabelle dei valori critici del chi quadrato		91

CAPITOLO IV - VERIFICA DELLE IPOTESI - TEST PER UN CAMPIONE SULLA TENDENZA
CENTRALE CON VARIANZA NOTA E TEST SULLA VARIANZA CON INTERVALLI
DI CONFIDENZA

4.1. Risultati significativi e non-significativi	1
4.2. Perché $p < 0.05$? È un rito oppure una scelta razionale?	8
4.3. Procedura di verifica delle ipotesi. Vero o falso? Utile o dannoso?	13
4.4. I fattori che determinano la potenza di un test	19
4.5. Calcolo della potenza, del numero minimo di dati e della differenza minima in test per un campione, con la distribuzione z	28
4.6. Stima approssimata della varianza della popolazione; il criterio di Cohen per la scelta di β ; l'effetto della media sulla potenza	48
4.7. Intervallo di confidenza o di fiducia di una media con σ^2 nota	51
4.8. Intervallo di confidenza di una mediana con varianza nota e ignota	54
4.9. Stima della media con un intervallo di confidenza prefissato o con un errore prefissato, nel caso di varianza nota	59
4.10. Significatività della differenza tra due medie, con varianza nota	62
4.11. Potenza e numero di dati per la significatività della differenza tra due medie, con la distribuzione normale z	67
4.12. Stima della differenza tra due medie con un errore o un intervallo di confidenza prefissati, nel caso di varianza nota	77
4.13. Significatività della differenza tra una varianza campionaria S^2 e una varianza attesa σ^2	81
4.14. La potenza a posteriori e a priori per la significatività della differenza tra una varianza osservata e una varianza attesa	88
4.15. Intervallo di confidenza o di fiducia di una varianza, con equal tail method e shortest unbiased confidence intervals	98
4.16. Intervallo di confidenza della deviazione standard e stima della dimensione del campione	104
4.17. Il test F per il rapporto tra due varianze; relazioni tra F e χ^2 ; valori di F per $\alpha > 0,5$	111
4.18. Potenza a priori e a posteriori del test F per l'uguaglianza di due varianze	121
4.19. Intervallo di confidenza del rapporto F tra due varianze; stima di F con un errore o un intervallo di confidenza prefissati	130
4.20. Il confronto tra un coefficiente di variazione (CV) osservato e uno teorico o atteso	137
4.21. Test per la differenza tra due coefficienti di variazione con la distribuzione Z	138
4.22. Parametri e statistiche. Le proprietà ottimali di uno stimatore: correttezza, consistenza, efficienza, sufficienza. La robustezza di un test	140
4.23. Precisione e accuratezza di uno strumento o di una analisi	148

CAPITOLO V - PROPORZIONI E PERCENTUALI - RISCHI, ODDS E TASSI

5.1. Termini tecnici in epidemiologia: misure del rischio	1
5.2. Altri termini tecnici: sensibilità, specificità, valore predittivo e efficienza di un test o di una classificazione	8
5.3. Perché la varianza di p è pq e sue conseguenze; varianza e errore standard di una frequenza relativa o assoluta, in una popolazione infinita e finita	19
5.4. Intervallo di confidenza di una frequenza relativa o assoluta con la normale, in una popolazione infinita o finita; metodi grafici per l'intervallo fiduciale e la stima del numero di dati.	28
5.5. Intervallo di confidenza di una proporzione, mediante la distribuzione F	41
5.6. Calcolo del campione minimo necessario, per la stima di una proporzione campionaria, con un errore massimo prefissato	47
5.7. Il confronto tra una proporzione campionaria e una proporzione attesa con il test z ; dimensione minima del campione, con la distribuzione normale	52
5.8. La potenza a posteriori e a priori di un test sulla proporzione per un campione, con la normale	57
5.9. Test per una proporzione: la binomiale per campioni piccoli e intervallo di confidenza con F per campioni grandi	64
5.10. La potenza di un test per una proporzione, con l'uso della distribuzione binomiale	68
5.11. Test per la bontà dell'adattamento di una distribuzione osservata e la distribuzione binomiale, costruita con una proporzione nota e con una proporzione ignota	71
5.12. Esempi dell'EPA su test z per una proporzione, suo intervallo di confidenza e dimensione minima del campione	78
5.13. Test sulla differenza tra due proporzioni, con il metodo di Feldman e Kluger, per abbreviare il metodo esatto di Fisher	82
5.14. Significatività e intervallo di confidenza della differenza tra due proporzioni, con la distribuzione normale	86
5.15. Potenza a posteriori ($1-\beta$) e a priori (n) dei test sulla differenza tra due proporzioni; bilanciamento di due campioni	90
5.16. Esempi dell'EPA su test z per la differenza tra due proporzioni, suo intervallo di confidenza e dimensione minima dei due campioni	105
5.17. Il rapporto tra due proporzioni (R): intervallo di confidenza e significatività; formula test-based di Miettinen per r	109
5.18. Il rapporto tra due odds (OR): intervallo di confidenza e significatività; formula test-based di Miettinen per or	119
5.19. Il rapporto tra due tassi (RR): intervallo di confidenza e significatività; formula test-based di Miettinen	128

5.20. Dimensioni dei campioni e potenza, per test sulla differenza e sull'odds ratio delle proporzioni di due campioni indipendenti	137
---	-----

CAPITOLO VI - INFERENZA SU UNA O DUE MEDIE CO IL TEST t DI STUDENT

6.1. Dalla popolazione infinita al campione piccolo: la distribuzione t di Student	1
6.2. Confronto tra una media osservata e una media attesa, con σ ignota; limiti di confidenza di una media	8
6.3. Confronto tra una singola osservazione e la media di un campione	14
6.4. Il confronto tra le medie di due campioni	19
6.5. Il test t per 2 campioni dipendenti o per dati appaiati con intervallo di confidenza della media delle differenze	22
6.6. Test di Sandler per due campioni dipendenti	31
6.7. Il test t per 2 campioni indipendenti o per dati non appaiati	35
6.8. Test per l'omoschedasticità di due campioni indipendenti: Folded Form F test o Standard F ratio, test di Bartlett e test di Bartlett-Kendall	40
6.9. Le quattro varianti del test di Levene; il Levene modificato o test di Brown-Forsythe	53
6.10. Significatività e intervallo di confidenza di una differenza	59
6.11. Potenza a priori e a posteriori del test t , con un campione e con due campioni dipendenti o indipendenti	66
6.12. Dimensione del campione e precisione nella stima sia di una media sia di una differenza tra due medie	83
6.13. Il bilanciamento di due campioni indipendenti: vantaggi e costi	87
6.14. Correzione per il campionamento in una popolazione finita e il concetto di superpopolazione	92
6.15. Test per la differenza tra due coefficienti di variazione con la distribuzione t di Student	99
6.16. Il test tra due medie con varianze differenti o problema di Behrens-Fisher	100
6.17. Le tabelle dei valori critici di Sukhatme e le soluzioni approssimate di Cochran, di Welch-Satterthwaite e di Moser-Stevens	106
6.18. Intervallo di confidenza delle differenza tra due medie, con varianze differenti	119
6.19. Effect size o effetto trattamento nel test t per uno e per due campioni: il d di Cohen, il g di Hedges, il Δ di Glass, il metodo di Graw e Wong	121
6.20. L'effect size come proporzione di varianza spiegata: $\tilde{\eta}^2$ e $\tilde{\omega}^2$	136
6.21. Limiti di tolleranza o population coverage con la distribuzione normale	141
6.22. Calcolo dell'indice K , per la stima dell'intervallo di tolleranza	

a una coda e a due code	152
6.23. Gli intervalli di predizione (intervals prediction), per una media e per k osservazioni	157
6.24. Esempi dell'EPA sul test t per un campione, con stima della potenza; intervallo di confidenza e intervallo di tolleranza	165
6.25. Il test t per un campione stratificato in modo random	174
6.26. Il test t modificato di Johnson per una distribuzione asimmetrica e il test t di Chen per un campione con asimmetria destra	176
6.27. Il metodo di Land: l'intervallo di confidenza di una media, in una distribuzione log-normale	181
6.28. L'ineguaglianza di Chebyshev (metodo MVUE) per l'intervallo di confidenza, in distribuzioni di forma ignota o log-normale	188
6.29. L'intervallo di confidenza di una media, con il teorema del limite centrale aggiustato (adjusted CLT)	195
6.30. Esempi dell'EPA sul test t di Student per due campioni dipendenti, con stima della potenza	198
6.31. Esempi dell'EPA sul test t di Student e stima della potenza per due campioni indipendenti, con varianze uguali	203
6.32. Esempi dell'EPA su test t di Student e intervallo di confidenza per due campioni indipendenti, con varianze differenti	206
6.33. Il biistogramma e l'inferenza per due campioni indipendenti	209
6.34. Deviazioni standard ed errori standard	212
6.35. Intervallo di tolleranza non parametrico in distribuzioni continue	215
6.36. Output di programmi informatici per il test t	218
6.37. Confronto tra test parametrico e test non parametrico, per la scelta di quello più efficiente	228
TABELLE dei valori critici della distribuzione t di Student	231

CAPITOLO VII - METODI NON PARAMETRICI PER UN CAMPIONE

7.1. Le caratteristiche dei test non parametrici	1
7.2. I test esatti e il metodo Monte Carlo	8
7.3. Il test delle successioni (runs test) per un campione, con due categorie; distribuzioni centripete e distribuzioni centrifughe	11
7.4. Il test delle successioni (runs test) per un campione, con dati quantitativi: Runs Up and Down; Runs Above and Below the Median; eccezioni alla validità	25
7.5. Il test delle successioni (runs test) con più gruppi categoriali o qualitativi	31

7.6. Il test dei segni per un campione, con esempio dell'EPA e dimensione del campione (sample size)	36
7.7. Intervallo di confidenza per una probabilità o frequenza relativa, secondo il metodo di Clopper e Pearson	48
7.8. Intervalli di confidenza non parametrici e intervalli di tolleranza	53
7.9. Intervallo di confidenza della mediana, con il test dei segni	57
7.10. Il test dei segni per ranghi di Wilcoxon (Wilcoxon signed ranks test)	60
7.11. Differenze nulle e ties nel test T di Wilcoxon	71
7.12. Teoria del test T di Wilcoxon e della correzione per i ties	74
7.13. Esempio dell'EPA sul test dei ranghi con segno di Wilcoxon e stima della dimensione del campione (sample size)	80
7.14. Come analizzare le differenze nulle nel test dei segni e nel test di Wilcoxon	85
7.15. Intervalli di confidenza della locazione (mediana) con il T di Wilcoxon; medie di Walsh o quasimedians, stimatore di Hodges – Lehmann o pseudomedian	87
7.16. Test di casualizzazione (raw scores test, Pitman test, Fisher's randomization test)	93
7.17. Test T di Wilcoxon per la simmetria	98
7.18. Il test di Gosset per la eterogeneità di Poisson in conteggi; il test per l'indice di dispersione e il grafico di Elliott	105
7.19. Il metodo di Kolmogorov-Smirnov per un campione, con dati ordinali discreti e con dati continui	116
7.20. Il T^2 di Freeman-Tukey e confronto con il χ^2 e il G^2 nei test per la bontà dell'adattamento	136
7.21. Il dibattito sulla significatività dei test per la bontà dell'adattamento, rispetto a quelli per un parametro	146
7.22. Rinvio ad altri test per un campione	149
7.23. Presentazione dei risultati di programmi informatici e confronti tra test	150

CAPITOLO VIII - METODI NON PARAMETRICI PER DUE CAMPIONI DIPENDENTI

8.1. Test per 2 campioni dipendenti o per dati appaiati	1
8.2. Il test di McNemar o test per due proporzioni correlate e la correzione di Edwards	3
8.3. La potenza del test di McNemar	15
8.4. Il McNemar per il confronto tra due metodi qualitativi in microbiologia	19
8.5. Il test di McNemar con la distribuzione binomiale, per campioni piccoli	24
8.6. Relazioni del test di McNemar con il test t di Student	28
8.7. Analisi delle preferenze con due campioni dipendenti, in tabelle 2 x 2 e k x k	30
8.8. Il test di Bowker per la simmetria, in tabelle N x N	34
8.9. Il test di Stuart-Maxwell per l'omogeneità marginale; il test approssimato di Bhapkar con tabelle 3 x 3	39

8.10. Esempio di analisi congiunta per la simmetria con il test di Bowker e per l'omogeneità marginale con il test di Bhapkar; analisi del contributo delle varie classi	44
8.11. Il test binomiale esatto nel test di McNemar	47
8.12. Intervallo di confidenza della differenza tra le proporzioni di due campioni dipendenti	49
8.13. Il test dei segni, con stima della potenza a priori	51
8.14. Quando utilizzare il test dei segni	61
8.15. Il test T di Wilcoxon o test dei segni per ranghi, con stima della potenza	65
8.16. Output di programmi informatici del test T di Wilcoxon	75
8.17. Dimensioni minime del campione per il test di Wilcoxon	80
8.18. Intervallo di confidenza di una differenza con il test dei segni e il test T di Wilcoxon	82
8.19. Test di casualizzazione per 2 campioni dipendenti o Fisher's randomization test	94

CAPITOLO IX - METODI NON PARAMETRICI PER DUE CAMPIONI INDIPENDENTI

9.1. I test per 2 campioni indipendenti	1
9.2. Test Z unilaterale per tabelle 2 x 2 analogo al χ^2	3
9.3. Il confronto tra due conteggi poissoniani, con la normale	6
9.4. Test per l'effetto dell'ordine del trattamento o test di Gart, con risposte binarie; il test di Rayner-Best	9
9.5. Analisi congiunta con il test chi-quadrato e il test di Gart	16
9.6. Il test della mediana o test di Mood o di Brown-Mood, per due campioni indipendenti	20
9.7. L'intervallo di confidenza per la differenza tra due mediane, con il metodo esatto di Fisher	28
9.8. Il test di Wilcoxon-Mann-Whitney o della somma dei ranghi	35
9.9. Calcolo delle probabilità associate ai valori di T, potenza ($1-\beta$, n) e robustezza del test di Wilcoxon-Mann-Whitney	49
9.10. Il test U di Mann-Whitney o dell'ordine robusto dei ranghi	55
9.11. L'intervallo di confidenza della differenza tra due mediane, con l'indice U di Mann-Whitney	66
9.12. Il test S di Kendall e suoi rapporti con il test T e il test U; potenza-efficienza dei tre test e confronti tra i metodi	69
9.13. Il test di casualizzazione per due campioni indipendenti	78
9.14. Il test del quantile	87
9.15. Le indicazioni di Duckworth per i quick test e la potenza pratica	93
9.16. Il Tukey's quick test o Tukey-Duckworth test per due campioni indipendenti	95
9.17. Il test di Levene con la modifica di Brown-Forsythe, per l'uguaglianza nella variabilità tra due campioni indipendenti	105
9.18. Il test di Siegel-Tukey per l'uguaglianza della variabilità; cenni del test di Freund-Ansari-Bradley e del test di Conover	108

9.19. Il test dei ranghi equivalenti di Moses per le differenze nella dispersione o variabilità	115
9.20. Confronto tra due distribuzioni campionarie: il metodo di Kolmogorov-Smirnov per 2 campioni indipendenti, con dati ordinali discreti o gruppi e con dati continui	123
9.21. Il test delle successioni per due campioni indipendenti o test di Wald-Wolfowitz	139

CAPITOLO X - ANALISI DELLA VARIANZA A UN CRITERIO E CONFRONTI TRA VARIANZE

10.1. Il confronto tra le medie di due o più gruppi e la nascita della statistica moderna con Fisher	1
10.2. Analisi della varianza ad un criterio di classificazione o a campionamento completamente randomizzato	4
10.3. Output dell'ANOVA con un programma informatico	18
10.4. Confronto tra due medie, con il test t di Student per 2 campioni indipendenti e l'ANOVA one-way	24
10.5. I primi test per l'omogeneità della varianza: Neyman-Pearson, Cochran, Bartlett, Bartlett-Kendall, Hartley, log-ANOVA di Scheffé-Box, Box	29
10.6. Esempi dei test storici per l'omogeneità della varianza tra k campioni: Hartley, Cochran e Bartlett	39
10.7. Esempi del test log-ANOVA di Scheffé-Box	54
10.8. I test per l'omogeneità della varianza diffusi con l'informatica: Levene, Brown-Forsythe, O'Brien	62
10.9. La varianza con dati trimmed e winsorized	74
10.10. I test per l'omogeneità della varianza sono necessari prima dell'ANOVA?	77
10.11. Esempio di ANOVA a un criterio, con discussione sulle condizioni di validità	83
10.12. Condizioni di validità dell'ANOVA e elenco di test per la verifica	99
10.13. Stima semplice della dimensione di k gruppi campionari per la significatività dell'ANOVA	106
10.14. Confronto tra medie con ANOVA, da dati aggregati di k campioni	110
10.15. Violazioni delle condizioni di validità dell'ANOVA a un criterio: enunciazioni teoriche e conseguenze pratiche	113
10.16. L'ANOVA one-way con varianze eterogenee; robustezza e ANOVA pesata (variance-weighted ANOVA)	117
10.17. L'ANOVA one way di Brown-Forsythe, Welch, Brown-Forsythe modificata, l'ANOVA approssimata e il test di Cochran	122
10.18. Esempi del test F con ANOVA one-way classica, ANOVA di Brown-Forsythe e ANOVA di Welch con programmi informatici	128

10.19. ANOVA pesata dei minimi quadrati (weighted least squares ANOVA)	134
TABELLE dei valori critici della distribuzione F di Fisher-Snedecor	138

CAPITOLO XI - I CONFRONTI MULTIPLI A PRIORI E A POSTERIORI

11.1. La filosofia dell'inferenza multipla o dei confronti multipli: il controllo dell'errore α o di tipo I	1
11.2. La logica dei confronti pianificati o a priori tra più medie	8
11.3. I contrasti lineari o confronti ortogonali mediante i coefficienti polinomiali	12
11.4. Esempi di scomposizione della devianza, con i confronti ortogonali; significatività dei contrasti con il test t	22
11.5. Input e output di un programma informatico per i confronti ortogonali o a priori	35
11.6. I contrasti di Helmert per la verifica di gradienti tra livelli ordinati: teoria ed esempi con programmi informatici	40
11.7. La logica dei confronti multipli a posteriori (UMPC): experimentwise o familywise e comparisonwise	49
11.8. Prime indicazioni per una scelta operativa dei test post-hoc più diffusi	56
11.9. Una classificazione accademica dei test post-hoc e l'errore di Tipo III	65
11.10. Perché i computer propongono anche test errati. Quale tipo di errore controllare?	67
11.11. Le due procedure dei confronti post-hoc e le rappresentazioni grafiche dei risultati, per l'uncertainty interval	71
11.12. Il principio di Bonferroni e la procedura di Dunn-Bonferroni	81
11.13. Le probabilità comparisonswise di Dunn-Sidak e confronto con quelle di Bonferroni; le procedure single-step e step-wise	101
11.14. Uso della media armonica o metodo di Miller-Winer	105
11.15. Il test LSD di Fisher e il t protetto o test di di Fisher-Hayter	106
11.16. Il test FSD o GSD di Scheffé, con la SCD	112
11.17. Dal t di Student al q studentizzato; lo studentized maximum modulus	122
11.18. Il test (WSD, HSD, T-method) di Tukey; la procedura di Tukey-Kramer	129
11.19. Il test di Newman-Keul studentizzato o test SNK	140
11.20. Il test Tukey b; confronto con Tukey, SNK, Bonferroni, Scheffé e Fisher	151
11.21. Il test di Duncan. E' una distrazione nella storia dei confronti multipli? Cenni sul test di Waller-Duncan	158
11.22. Il test di Dunnett per il confronto dei trattamenti con il controllo	172
11.23 Cenni sul test t di William e sul test di Gupta	191
11.24. Il test multiplo sequenziale di Holm o Bonferroni sequenziale e confronto	

con il Bonferroni; cenni sul metodo di Shaffer	193
11.25. Il test Gabriel e il test GT2 di Hochberg, per campioni non bilanciati	201
11.26. Altre procedure step-down: i test REGWQ e REGWF, il test di Peritz e Begun-Gabiel	212
11.27. Metodi per varianze differenti e campioni non bilanciati, con i test t e i test q . La procedura GH di Games-Howell, il T3 e il C di Dunnett, il T2 di Tamhane	220
11.28. Quale è il test post-hoc migliore?	225
11.29. Nei confronti multipli, è preferibile controllare l'errore α oppure l'errore β ?	230
11.30. Un approccio nuovo ai confronti multipli post-hoc: il false discovery rate (FDR)	232
11.31. Confronti post-hoc tra varianze	240
11.32. Dimensioni dei campioni, per ottenere differenze significative tra k medie	247

CAPITOLO XII - ANALISI DELLA VARIANZA A PIU' CRITERI DI CLASSIFICAZIONE

12.1. Analisi della varianza a due criteri di classificazione o a blocchi randomizzati, con una sola osservazione per casella	1
12.2. Confronto tra analisi della varianza a due criteri e test t di Student per 2 campioni dipendenti	11
12.3. Analisi della varianza a tre o più criteri	16
12.4. Quadrati latini e greco-latini	22
12.5. Dati mancanti o anomali in disegni a più fattori	32
12.6. Efficienza relativa (E.R.) e capacità predittiva (R^2)	52
12.7. Effetto trattamento nell'analisi della varianza: r^2 , $\tilde{\omega}^2$ e $\tilde{\eta}^2$	58
12.8. Potenza a priori e a posteriori nell'ANOVA, con grafici di Pearson e Hartley	61
12.9. Lettura di tabulati sull'analisi della varianza	71
GRAFICI di Pearson e Hartley per il calcolo della potenza nell'ANOVA	86

CAPITOLO XIII - ANALISI FATTORIALE E DISEGNI COMPLESSI CON FATTORI INCROCIATI

13.1. Analisi fattoriale ed interazione	1
13.2. Interazione tra due fattori a più livelli	2
13.3. Rappresentazioni grafiche dell'interazione a due fattori	19
13.4. Analisi della varianza a due fattori con repliche non bilanciate	22
13.5. Il test T di Tukey per il confronto tra le medie in disegni a due fattori con repliche	26
13.6. Esempio di analisi dell'interazione a tre fattori con repliche, mediante discussione dell'output	30
13.7. Esperimenti fattoriali 2×2 e $2 \times 2 \times 2$ con i confronti ortogonali	47

13.8. Esperimenti fattoriali con P fattori a k livelli	57
13.9. Test di Tukey per la non-additività con 1 df	63
13.10. Quadrati latini con repliche	75
13.11. ANOVA fattoriale non bilanciata e il paradosso di Simpson o effetto di Yule-Simpson	81
13.12. Devianze (Sum of Squares) Type I, II, III e IV nell'ANOVA	88
13.13. Lettura di un tabulato informatico	99

CAPITOLO XIV - TRASFORMAZIONI DEI DATI; TEST PER NORMALITA' E PER OUTLIER

14.1. Motivi delle trasformazione dei dati	1
14.2. Gli effetti delle trasformazioni dei dati	4
14.3. Le trasformazioni più frequenti: proprietà e usi	8
<i>A – La trasformazione lineare</i>	8
<i>B – La trasformazione in ranghi</i>	9
<i>C – La trasformazione in normale (standard score, rango percentile, scala Stanine, Normal Curve Equivalent, Grade Equivalent)</i>	12
<i>D – La trasformazione logaritmica</i>	19
<i>E – La trasformazione in radice quadrata e in radice cubica</i>	22
<i>F – La trasformazione reciproca</i>	23
<i>G – La trasformazione in potenza (al quadrato e al cubo)</i>	25
<i>H – La trasformazione angolare o in gradi (arcoseno) delle proporzioni</i>	25
<i>I – La trasformazione probit e logit</i>	35
14.4. Altri effetti delle trasformazioni	36
14.5. La scelta della trasformazione idonea: il metodo di Box-Cox	41
14.6. Esempio degli effetti delle trasformazioni dei dati, sui risultati dell'ANOVA; altra indicazione di quella migliore	55
14.7. La trasformazione dei valori negativi e cenni su altre famiglie di trasformazioni di potenze: Tukey, Manly, John e Draper, Nickel e Doksum, Yeo e Johnson	67
14.8. Test per l'indipendenza (randomness) delle misure: i test dei segni e i runs test per la casualità	72
14.9. Test per l'indipendenza (randomness) delle misure: il rapporto di von Neumann e il test non-parametrico di Bartels	77
14.10. Verifiche della normalità univariata su dati campionari	93
14.11. Normal Quantile e Normal Probability Plot univariati: Q-Q, P-P e SP plot	100
14.12. I tipi di test per la verifica della normalità univariata di un campione; presentazione delle analisi statistiche	122
14.13. Misure e test per simmetria e curtosi, con i momenti intorno alla media (C-moments):	

$g_1, \sqrt{b_1}, G_1, g_2, b_2, G_2$	127
14.14. L'indice alternativo di Geary per la curtosi e il test di Geary per la normalità	147
14.15. Test rapidi per la normalità: il coefficiente di variazione (CV) e il metodo Studentized Range Test (W/S Test)	154
14.16. I momenti lineari (L-moments) di una distribuzione univariata, con Il test di Hosking e il test di Gini per la normalità	159
14.17. Verifica della normalità con il test χ^2	169
14.18. Verifica della normalità con il test di Kolmogorov-Smirnov e i valori critici di Stephens	178
14.19. Il test di Lilliefors o Kolmogorov-Smirnov modificato e il test di Van Soest con le tabelle di Mason-Bell	190
14.20. Test di tipo quadratico: Cramér-von Mises e Anderson-Darling	196
14.21. Test di correlazione: Shapiro-Wilk o W test, il test di Shapiro-Francia o W' test e il test di Royston	206
14.22. Altri test di regressione/correlazione: test di Filliben e test di Gan-Koehler	223
14.23. Test con indici di simmetria e curtosi: D'Agostino, Anscombe-Glynn e D'Agostino-Pearson	229
14.24. Il test di Jarque-Bera per la normalità dei residui	248
14.25. Effetti della dimensione del campione e scelta del test di normalità	251
14.26. L'outlier: dato anomalo o dato sbagliato? Definizioni di extreme value, stragglers e outlier.	257
14.27. Identificazione degli outlier con il grafico Box-and-Whiskers di Tukey: vantaggi, limiti e modifiche	266
14.28. Il probability plot per la ricerca degli outlier	279
14.29. Metodi statistici per grandi campioni: verifica degli outlier con la distribuzione di Chebyshev e la distribuzione Z, il g test di Gauss, la "huge rule"	281
14.30. Il test di Grubbs o maximum normed residual secondo la Royal Society of Chemistry e il Michigan Department of Environmental Quality	293
14.31. Il test Q di Dixon (extreme value test) o test ratios for gross errors, per un outlier con campioni piccoli; la modifica di Gibbons per più outlier	309
14.32. Il test della discordanza (Discordance Test)	321
14.33. Il test di Rosner	324
14.34. Il test non parametrico di Walsh	335
14.35. La extreme studentized deviate (ESD) parametrica, il masking effect e il numero massimo di outlier	337
14.36. La median absolute deviation (MAD) non-parametrica e il test MAD modificato	346
14.37. Il tau di Thompson modificato (modified Thompson's-tau), per identificare i bad data	352
14.38. I criteri di Chauvenet e di Peirce	358

14.39. La natura soggettiva dell'individuazione e il trattamento degli outlier. Eliminarli o utilizzarli? Come?	367
14.40. Il test per l'omogeneità e i valori estremi di Darling	375

CAPITOLO XV - L'ANALISI GERARCHICA E LE COMPONENTI DELLA VARIANZA

15.1. Analisi gerarchica o nested in ANOVA I, II e III	1
15.2. Nested ANOVA I o a effetti fissi	4
15.3. Interazione: l'analisi gerarchica in esperimenti fattoriali	15
15.4. Disegni con fattori nested e crossed	19
15.5. Confronti multipli e intervalli fiduciali in nested ANOVA I	24
15.6. Potenza del test nell'analisi fattoriale e in nested ANOVA I	26
15.7. Il concetto di effetti random e condizioni di validità del test	28
15.8. ANOVA II e le componenti della varianza con un solo fattore e campioni bilanciati o ineguali	31
15.9. Cenni di nested ANOVA II in disegni a due e a più fattori	35
15.10. Cenni di ANOVA III o a effetti misti	38
15.11. Analisi nested e pattern spaziale	39
15.12. Analisi nested e pattern temporale	42
15.13. Esempio di analisi della varianza a due fattori con interazione, in un modello a effetti fissi e uno a effetti random, su gli stessi dati; esempio di stima delle componenti della devianza	46
15.14. Lettura di un tabulato informatico	68

CAPITOLO XVI - TEST NON PARAMETRICI PER PIU' CAMPIONI

16.1. I test non parametrici più utilizzati, per k campioni	1
16.2. Estensione del test della mediana o test di Brown-Mood per k campioni indipendenti	3
16.3. Confronti multipli tra mediane con le frequenze, nel test di Brown-Mood	13
16.4. Cenni sul test di Nemenyi e altri test per la mediana	22
16.5. Analisi della varianza per ranghi ad un criterio di classificazione: il test di Kruskal-Wallis	25
16.6. Metodi per i confronti multipli tra le medie dei ranghi: casualizzazione o permutation test, Bonferroni-Dunn, tipo-Tukey di Nemenyi e tipo-Scheffé	43
16.7. Confronti multipli post-hoc per il test di Kruskal-Wallis, con il test U di Mann-Whitney;	60
16.8. Equivalenza del test di Kruskal-Wallis con il test U di Mann-Whitney, quando $k = 2$	66
16.9. Rappresentazione grafica per confronti multipli tra mediane: il notched box-and-whiskers plot	68
16.10. Test non parametrici di Levene e di Brown-Forsythe, per la differenza nella variabilità tra k campioni; la formula di Sprent	71

16.11. Confronti tra più proporzioni e confronti multipli relativi	78
16.12. Il test Q di Cochran	88
16.13. Il test di Friedman o analisi della varianza per ranghi a 2 criteri di classificazione, con una e con k repliche	93
16.14. I confronti multipli tra medie di ranghi nell'analisi della varianza non parametrica, a due criteri di classificazione	112
16.15. Test di Quade	121
16.16. L'esempio di Koch: uso di metodi non parametrici, nell'analisi statistica di un esperimento complesso con k fattori	128

CAPITOLO XVII - LA REGRESSIONE LINEARE SEMPLICE

17.1. La statistica bivariata: quando scegliere la regressione oppure la correlazione?	1
17.2. Descrizioni grafiche di una distribuzione bivariata	3
17.3. La regressione dei figli verso la mediocrità	10
17.4. Modelli di regressione	15
17.5. La regressione lineare semplice	17
17.6. Valore predittivo della retta di regressione: estrapolazione o interpolazione?	32
17.7. Significatività del coefficiente angolare β o test per la linearità, mediante il test F e il test t	37
17.8. Test per la significatività dell'intercetta α	53
17.9. Output informatico di una regressione lineare semplice	57
17.10. Verifica delle condizioni di validità, per la regressione lineare: linearità, indipendenza, omoschedasticità, normalità	61
17.11. Cosa fare, quando le condizioni di validità della regressione sono violate?	75
17.12. Cause e conseguenze dell'autocorrelazione o correlazione seriale, nella regressione lineare semplice	78
17.13. Verifica della correlazione seriale: il test di Durbin-Watson	83
17.14. Test non parametrico per l'autocorrelazione: il test delle successioni (runs test) o test dei cambiamenti di segno di Geary	91
17.15. Test per la omoschedaticità degli errori: Levene modificato e Breusch-Pagan o Cook-Weisberg	94
17.16. Le trasformazioni della retta di regressione e la bulging rule	98
17.17. Alcuni esempi di analisi grafiche dei residui, per verificare le condizioni di validità della retta di regressione	108
17.18. Scelta dell'intervallo dei valori di X, per ottenere una regressione più significativa	116
17.19. La potenza e la dimensione minima del campione, nel test della regressione:	

rinvio alla correlazione	120
17.20. Differenze e analogie tra intervalli di confidenza, tolleranza e predizione nella retta di regressione	127
17.21. Intervalli di confidenza dei parametri β e α	130
17.22. Intervallo di confidenza per un singolo Y stimato	138
17.23. L'intervallo di tolleranza nella retta di regressione	144
17.24. L'intervallo di predizione per un singolo valore Y e per la media di più valori Y	148
17.25. L'intervallo di predizione non parametrico per singoli valori di Y, nella retta dei minimi quadrati	156
17.26. Significatività della differenza tra un valore Y medio calcolato e un valore Y medio atteso	159
17.27. Indici della capacità predittiva della regressione, coefficienti di determinazione e di alienazione: R^2 , R_{adj}^2 , $S_{Y/X}^2$, <i>PRESS</i>	160

CAPITOLO XVIII - LA PREDIZIONE INVERSA, LA RETTA PER L'ORIGINE

E I CONFRONTI TRA RETTE

18.1. La predizione inversa o calibrazione: stima del valore di X e del suo intervallo di confidenza a partire da un valore di Y	1
18.2. Un altro metodo per calcolare l'intervallo di confidenza della regressione inversa	12
18.3. La predizione inversa per la media \bar{Y} di m valori	16
18.4. Limiti di determinazione e di rilevabilità, mediante la retta di calibrazione	19
18.5. Analisi della relazione dose-effetto con Y ripetute: calcolo della retta di regressione e test per la linearità	22
18.6. Calcolo dei termini della regressione, mediante i coefficienti polinomiali	36
18.7. Test di linearità con Y ripetute, in campioni non bilanciati	45
18.8. Cenni sulla regressione pesata per la varianza e il numero di dati, con la sua calibrazione	54
18.9. La regressione semplice con Y ripetute: perché è errato usare le medie	58
18.10. La regressione con le medie di Snedecor-Cochran	61
18.11. La regressione per l'origine: metodi e problemi	65
18.12. Altri metodi per la relazione lineare tra due variabili	83
18.13. Confronto tra i parametri di due rette di regressione con il test t di Student e calcolo della retta comune	89
18.14. Confronto tra punti su due rette di regressione	104
18.15. Confronto tra più rette di regressione con il test F, calcolo della retta comune e intervalli di confidenza	107

18.16. Confronti multipli tra più coefficienti angolari	118
18.17. La regressione lineare per il confronto tra le medie di due o più gruppi, con una variabile dummy	119
18.18. Come leggere l'ANOVA a uno e a due criteri, in un output per la regressione lineare	128
18.19. Devianza di tipo I, II, III, IV, V, VI nell'analisi della regressione e nell'ANOVA a più fattori e la codifica dummy a più livelli	133
18.20. Esempio di una regressione nell'ANOVA a due criteri	139
18.21. Esempio di una retta di regressione nell'ANOVA a più criteri	146
18.22. La regressione lineare multipla e il modello generale di regressione lineare	156

CAPITOLO XIX - CORRELAZIONE E COVARIANZA

19.1. La correlazione	1
19.2. Condizioni di validità e significatività di r con $\rho = 0$ e con $\rho \neq 0$	17
19.3. Significatività della retta con R^2 ?	30
19.4. Intervallo di confidenza di ρ	33
19.5. Potenza a priori e posteriori per la significatività di r	45
19.6. Differenza tra due coefficienti di correlazione in campioni indipendenti e calcolo del coefficiente comune	49
19.7. Potenza a priori e a posteriori del test per la significatività della differenza tra due coefficienti di correlazione	58
19.8. Test per la differenza tra più coefficienti di correlazione; coefficiente di correlazione comune r_w e sua significatività	63
19.9. Cenni sui confronti multipli tra più r	71
19.10. La correlazione parziale o netta di primo ordine e di ordine superiore; la correlazione semiparziale	72
19.11. Test per la differenza tra due coefficienti di correlazione in campioni dipendenti o tra due coefficienti di correlazione parziale	80
19.12. Analisi della covarianza per due gruppi, con test t di Student per rette parallele e per rette non parallele	83
19.13. Analisi della covarianza per k gruppi (ANCOVA) e riduzione proporzionale della varianza d'errore	92
19.14. Gli outlier nell'analisi di regressione e correlazione	107
19.15. L'analisi dei residui per l'identificazione degli outlier; residuals, studentized residuals, standardized residuals	112
19.16. Hat value o leverage, studentized deleted residuals	119

19.17. La distanza euclidea tra le statistiche della retta e la distanza di Cook; applicazioni del jackknife	133
19.18. Lettura di tre tabulati di programmi informatici su regressione e correlazione lineare semplice	142
19.19. Confronto tra quattro output informatici sulla regressione lineare semplice: SAS, MINITAB, SYSTAT, SPSS	147
19.20. Correlazione e regressione, con misure Y ripetute per X diverse; l'unità di analisi e di campionamento	151
19.21. Calcolo del coefficiente di correlazione con osservazioni ripetute e campioni non bilanciati: correlazione entro soggetti e correlazione tra soggetti	156

CAPITOLO XX - TEST NON PARAMETRICI PER IL TREND CON DATI DISTINTI

20.1. La media mobile e la scelta del test per la tendenza	1
20.2. Il test di Cox e Stuart (e sue varianti) per il trend della tendenza centrale e della variabilità	7
20.3. Il test di Mann o di Mann-Kendall o test di Kendall per il trend, con una sola serie di dati e con la versione modificata per la stagionalità	20
20.4. Il test U di Mann-Whitney e il test T di Wilcoxon, per la differenza nella tendenza centrale tra due cicli	36
20.5. Il coefficiente di regressione di Sen o Theil-Sen o Sen-Kendall per il trend con dati distinti o raggruppati	41
20.6. Significatività e intervallo di confidenza del coefficiente angolare β di Sen, con il metodo di Hodges-Lehmann e quello di Mann-kendall	55
20.7. Il test di Farrell o di Sen-Farrell o di Farell-Van Belle-Hughes per il trend con stagionalità, in campioni uniformi	65
20.8. Il test di Pettitt per il punto di svolta (change point o turning point), con tempo ignoto e con tempo noto	75
20.9. Altri metodi per il trend, in riviste mediche: turning-point, difference-sign, il test di Dufour, il records test di Foster e Stuart	88
20.10. Analisi della affidabilità (reliability) nel tempo; il modello poissoniano, il modello NHPP e il grafico di Duane	122
20.11. Calcolo e interpretazione dei parametri della retta di Duane	130
20.12. Il reverse arrangement test di Bendat e Piersol, unilaterale e bilaterale: un test per l'affidabilità e per il trend	137
20.13. Altri test per l'affidabilità e per il trend: il military handbook test e il test di Laplace	148

CAPITOLO XXI - TEST NON PARAMETRICI PER IL TREND CON DATI RAGGRUPPATI

21.1. Regressioni per dati variabili: moving average filtering; curva LOWESS e curva LOESS, con metodo standard e metodo robusto	1
21.2. Il test di Jonckheere o di Jonckheere-Terpstra per alternative ordinate, in k campioni indipendenti	14
21.3. Il test di Cuzick per il trend	29
21.4. Il test di Mack-Wolfe o test dell'ombrello (umbrella test)	39
21.5. Il test di Page o delle alternative ordinate, in k campioni dipendenti	59
21.6. Rappresentazioni grafiche del trend con i percentili	75

CAPITOLO XXII - COEFFICIENTI DI ASSOCIAZIONE, DI COGRADUAZIONE E DELL'ACCORDO.
- RISCHIO RELATIVO E ODDS RATIO

22.1. I primi anni del chi- quadrato: cenni su nascita ed evoluzione	1
22.2. Il T^2 di Freeman-Tukey e confronto con il χ^2 e il g^2 nei test per la bontà dell'adattamento; cenni di altri test analoghi	7
22.3. Classificazione dei coefficienti d'associazione o d'indipendenza	20
22.4. Associazione fra variabili categoriali o qualitative: il c con la correzione di Sakoda e il ϕ di Pearson, il ϕ_c o v di Cramer, il d_t o t di Tschuprow	21
22.5. Altri indici di associazione per variabili dicotomiche o tabelle 2 x 2: q e y di Yule, d_{sim} e d_{xy} di Somers; cenni sul τ_b di Kendall	36
22.6. Associazione per variabili categoriali in tabelle r x c: la pre, il λ simmetrico ed asimmetrico di Goodman e Kruskal, cenni su la UC o U di Theil	44
22.7. Cograduazione per variabili ordinali in tabelle r x c: il γ di Goodman e Kruskal, il τ_c di Kendall-Stuart, il d_{ba} e d_{ab} di Somers	51
22.8. Il kappa di Cohen: stima dell'accordo (agreement) tra due valutazioni con scala nominale	63
22.9. Alcuni sviluppi della statistica kappa: la k pesata e i paradossi	81
22.10. Differenza tra rischi e rischio relativo, con intervalli di confidenza	95
22.11. Odds ratio e cross product ratio; intervallo di confidenza; test di significatività per uno e tra due odds ratio	101
22.12. Lettura dei tabulati di un pacchetto statistico	112

CAPITOLO XXIII - TEST NON PARAMETRICI PER CORRELAZIONE, CONCORDANZA,
REGRESSIONE MONOTONICA E REGRESSIONE LINEARE

23.1. La correlazione non parametrica ρ (rho) di Spearman, con la distribuzione di Hotelling-Pabst	1
23.2. Il coefficiente di correlazione τ (tau) di Kendall; il τ_a e τ_b di Kendall con i ties	11
23.3. Confronto tra ρ e τ ; potenza del test e numero di osservazioni necessarie per la significatività	20
23.4. Altri metodi per la correlazione non parametrica: test di Pitman con le permutazioni.	25
23.5. Il quadrant test o test della mediana di Blomqvist	31
23.6. Il test di Daniels per il trend	35
23.7. Significatività della regressione e della correlazione lineare parametrica con i test nonparametrici ρ e τ	43
23.8. I coefficienti di correlazione parziale: il $\tau_{12,3}$ di Kendall e il $\rho_{12,3}$ di Spearman	48
23.9. Il coefficiente di concordanza tra valutatori: la w di Kendall; sue relazioni con la correlazione non parametrica e con il test di Friedman per k campioni dipendenti. Cenni sulla top-down concordance	55
23.10. Cenni sul coefficiente di concordanza u di Kendall, in confronti appaiati	66
23.11. La regressione lineare non parametrica: elenco di metodi e scelta del migliore	68
23.12. Calcolo della retta di regressione non parametrica con il metodo di Theil o test di Theil-Kendall	78
23.13. La retta di Theil-Sen per Y ripetute	90
23.14. La retta di Theil in un programma informatico	92
23.15. Confronto tra la retta parametrica e la retta di Theil	96
23.16. Significatività di b con il τ di Kendall e il test dei segni	99
23.17. La regressione lineare non parametrica di Brown-Mood	109
23.18. La regressione lineare non parametrica con il metodo dei tre gruppi di Bartlett	114
23.19. Il test di Hollander per il confronto tra due coefficienti angolari	120
23.20. La regressione monotonica di Iman-Conover	126
23.21. Trend lineare di Armitage per le proporzioni e le frequenze	133
23.22. Altri test (obsoleti) per la correlazione parametrica e non parametrica: concetti e classificazione	138
23.23. La distribuzione puntuale della correlazione biseriale e il confronto con il test t di Student per due campioni indipendenti	140
23.24. La correlazione biseriale	148
23.25. La correlazione tetracorica	156

CAPITOLO XXIV - ALTRI METODI INFERENZIALI: NORMAL SCORES E RICAMPIONAMENTO

24.1. I normal scores di Van der Waerden; cenni su random normal deviates e su expected normal scores	1
24.2. Applicazioni dei normal scores di Van der Waerden ai test sulla mediana per uno, per due e per più campioni	9
24.3. Applicazione dei normal scores di Van der Waerden a test per omoschedasticità, regressione e correlazione semplici	31
24.4. Metodi di ricampionamento: Monte Carlo e principio plug-in	36
24.5. Il Jackknife	41
24.6. Il Bootstrap	47

CAPITOLO XXV - IL DISEGNO SPERIMENTALE: CAMPIONAMENTO, PROGRAMMAZIONE DELL'ESPERIMENTO E POTENZA

25.1. Il disegno sperimentale e il campionamento nella ricerca ambientale	1
25.2. Campioni non probabilistici e campioni probabilistici, con uso delle tavole di numeri casuali	9
25.3. L'errore di stima nel campionamento, per la scelta di quello più adeguato: l'esempio di Snedecor-Cochran	18
25.4. I parametri importanti per il campionamento	22
25.5. La programmazione degli esperimenti: scelta dei fattori sperimentali e effetti sulla varianza d'errore	28
25.6. Stime preliminari approssimate delle dimensioni del campione e della potenza del test, nella ricerca biologica e ambientale	29
25.7. Il disegno sperimentale totalmente randomizzato: vantaggi, limiti e potenza.	36
25.8. Il disegno sperimentale a blocchi randomizzati: vantaggi, limiti e potenza	42
25.9. Il disegno sperimentale a quadrati latini: vantaggi, limiti e potenza	46
25.10. Il disegno sperimentale fattoriale semplice (due fattori con interazione): calcolo della potenza a posteriori	50
25.11. L'assenza dell'evidenza non è l'evidenza dell'assenza; significatività statistica e rilevanza disciplinare	63
25.12. Presentazione dei risultati statistici in riviste e rapporti scientifici	69

CAPITOLO XXVI - LA REGRESSIONE LINEARE MODELLO II O LEAST-PRODUCTS. IL
CONFRONTO TRA DUE METODI QUANTITATIVI. IL SEI-SIGMA NEL
CONTROLLO DI QUALITA'

26.1. I modelli I e II nella regressione lineare; il caso di Berkson	1
26.2. La retta del coefficiente angolare dell'asse maggiore.	7
26.3. Il plot delle differenze e delle medie; il test di Bland-Altman, per il confronto tra metodi e per la ripetibilità di un metodo.	15
26.4. La regressione modello II o least-products di Deming, per il confronto tra due metodi analitici.	24
26.5. Effetti degli outlier sulla retta least-squares e indicazioni operative per il calcolo della retta di confronto tra due metodi analitici.	31
26.6. La formula rapida di Mandel e la regressione least-products di York.	35
26.7. La regressione lineare e il test per l'equivalenza tra due metodi analitici di Passing-Bablok	37
26.8. Dibattito sul confronto tra due metodi di analisi cliniche ed esempi di test	43
26.9. Il confronto con il gold standard: utilizzare il metodo della calibration oppure quello della comparability?	54
26.10. Il test di Bland-Altman per il confronto tra due metodi, con misure ripetute per ogni metodo sullo stesso soggetto	61
26.11. La ripetibilità e la riproducibilità di uno strumento o di un metodo: il range & average method	64
26.12. La capability con il sei-sigma normale e Motorola	75
26.13. La ripetibilità e la riproducibilità con le varianze dell'ANOVA, in un disegno sperimentale a due criteri con repliche	84
26.14. Stima delle dimensioni minime del campione, per un'analisi della ripetibilità	87
26.15. Le componenti della varianza negli studi R&R, con l'ANOVA a effetti random, fissi e misti	90
26.16. Visione generale delle stime richieste nell'analisi di processo	103
26.17. Storia del sei-sigma; un secolo di evoluzione dei metodi statistici, per il controllo di qualità	104
26.18. Le tabelle Sei-Sigma Motorola	107

CAPITOLO XXVII - L'INCERTEZZA DELLE MISURE, LA SUA PROPAGAZIONE
E IL TEST DI YOUTDEN PER IL CONTROLLO DI QUALITA' DEI LABORATORI

27.1. Accuratezza e precisione, errore implicito ed esplicito, ripetibilità e riproducibilità	1
27.2. Numero di cifre significative e regole dello zero	11
27.3. Il numero di cifre significative o decimali che devono essere riportati nel risultato di operazioni	16
27.4. Quante cifre significative o decimali rilevare?	18

27.5. Le caratteristiche di uno strumento	29
27.6. Il confronto tra due misure: accordo, discrepanza e differenza	33
27.7. Propagazione dell'incertezza o analisi dell'errore: il numero di cifre significative nel risultato di operazioni matematiche	36
<i>A - Addizione e sottrazione</i>	42
<i>B - Moltiplicazione e divisione</i>	48
<i>C - Moltiplicazione o divisione per una costante</i>	52
<i>D - Elevamento a potenza e radice</i>	54
<i>E - Mescolanza di più operazioni</i>	56
27.8. Esempi e calcoli della propagazione dell'incertezza in varie funzioni	58
27.9. Test di equivalenza di una misura con lo standard	65
27.10. La propagazione non lineare dell'incertezza	68
27.11. L'incertezza standardizzata di tipo A e di tipo B; la Combined Standard Uncertainty, la Expanded Uncertainty, e la Reporting Uncertainty	70
27.12. Metodi statistici rapidi per stime dell'incertezza, fondati su modelli di distribuzione delle misure	81
27.13. Il sensitivity coefficient	92
27.14. Esempio di analisi dell'incertezza, tratto da UKAS M3003	93
27.15. Numero minimo di misure per ottenere una media con l'errore massimo prescelto	96
27.16. Tabelle di Stauffer con il numero minimo di misure di un campione, in funzione del coefficiente di variazione e della percentuale d'errore	105
27.17. Il diagramma di Youden (Youden plots) per il controllo di qualità di laboratori	122
27.18. Il test Z-Scores e i test di competenza (proficiency tests), con due campioni dipendenti	129
27.19. Esempi di proficiency test con Z-Scores e Youden plot	136

CAPITOLO XXVIII - L'ANALISI STATISTICA CON VALORI INFERIORI AI LIMITI DI RILEVAZIONE E DETERMINAZIONE DEI VALORI DEL FONDO NATURALE

28.1. Limiti di rilevazione e di quantificazione; valori non-detect e campioni left-censored	1
28.2. Calcolo della media e della varianza con i metodi di sostituzione	5
28.3. Il metodo di Aitchison per il calcolo della media \bar{X} e della deviazione standard s	9
28.4. Il metodo di Cohen o MLE per il calcolo media \bar{X} e della deviazione standard s	12
28.5. Scelta tra il metodo di Aitchison e quello di Cohen, con il P-P Plot e il Q-Q Plot; Normal Probability Plot o Rankit	20
28.6. Indicazioni dell'Istituto Superiore di Sanità; critiche di Helsel (EPA)	32
28.7. Critiche ai metodi di Aitchison e Cohen	36

28.8. Media trimmed; media e varianza Winsorized	38
28.9. Il metodo della regressione (ROS: Regression on Order Statistics) o log-probit o LPR method	43
28.10. I metodi bounding	53
28.11. Confronto tra alcuni metodi: trimmed, Winsorized, Aitchison, log-probit, bounding	55
28.12. Raccomandazioni della U. S. EPA nella scelta dei metodi	58
28.13. Rappresentazioni grafiche con dati ND	60
28.14. Quali analisi eseguire quando tutti i dati sono ND? Le proposte di Helsel	65
28.15. Metodi per la determinazione del fondo naturale e del fondo ambientale	74
20.16. Confronto tra il background e un sito, senza e con valori ND	85
20.17. Una scelta difficile: il campione ha una distribuzione log-normale oppure è l'insieme di almeno due distribuzioni normali?	89
28.18. Il test t per un campione trimmed o Winsorized	90
28.19. Il limite superiore dell'intervallo di confidenza (UCL), di predizione (UPL) e di tolleranza (UTL)	92
28.20. Uso statistico della concentrazione massima osservata	95
28.21. Test con valori non-detect	98
28.22. Indicazioni della Unified Guidance EPA 2009 sui metodi statistici con valori non-detect e critiche ai metodi di sostituzione	106

CAPITOLO XXIX - LA RIPETIBILITA' E LA RIPRODUCIBILITA' NELLA VALIDAZIONE DEI SISTEMI DI MISURA

29.1. La ripetibilità e la riproducibilità	1
29.2. Input e output di un programma informatico, con il metodo Range & Average e con l'ANOVA	8
29.3. Stima della ripetibilità, della riproducibilità e della variabilità, con il metodo Range & Average	11
29.4. Stima della ripetibilità, della riproducibilità e della variabilità, con l'ANOVA a due criteri crossed con repliche	21
29.5. Esempio con grafici; analisi di linearità e bias	31
29.6. Esempio di Minitab: ANOVA e stima delle componenti della varianza	36
29.7. Esempi di studi R&R in ANOVA I, ANOVA II e ANOVA III	45
29.8. Analisi R&R in test distruttivi o con misure non ripetibili	58
29.9. Esempio con l'ANOVA nested per test distruttivi	61
29.10. Cenni sul metodo Range e Average per test distruttivi	69
29.11. Dimensioni ottimali dell'esperimento per studi Gauge R&R	71
29.12. Elenco di altri metodi per studi Gauge R&R	74