

STATISTICA APPLICATA

ALLA RICERCA E ALLE PROFESSIONI SCIENTIFICHE

MANUALE DI
STATISTICA UNIVARIATA E BIVARIATA
PARAMETRICA E NON-PARAMETRICA
(Edizione del 30 MARZO 2006)

Lamberto Soliani

Email: lamberto.soliani@unipr.it

Tel.0521/905662 Fax 0521/905402

Le dispense (oltre 2900 pagine in 26 capitoli) riportano uno spettro abbastanza ampio della statistica applicata che è richiesta dalla professione e dalla ricerca nelle discipline scientifiche ed è presentata nei testi internazionali più completi e più diffusi.

Con intensità crescente negli ultimi anni, i tecnici, i ricercatori e i responsabili di strutture impegnate nei problemi della ricerca e delle professioni scientifiche chiedono gli strumenti per 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 li ha preparati ad analizzarli e li ha forniti di competenze adeguate a quanto richiesto nei confronti internazionali. 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, essi trovano numerose opzioni; ma quasi mai i manuali riportano spiegazioni chiare, che siano comprensibili anche alle persone prive di una esperienza specifica nella statistica, seppure possiedano elevata cultura nella loro disciplina e ottime conoscenze di matematica.

Il mercato richiede una conoscenza non banale sia dei concetti statistici di base sia dei metodi di un elenco abbastanza completo di test.

L'autore ha cercato di rispondere a questa domanda così diversificata, con una presentazione elementare ma completa dei concetti e dei metodi dell'**inferenza statistica univariata e bivariata, sia parametrica che non parametrica**, con 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, a volte perfino banali e non sempre metodologicamente rigorosi, come può succedere anche nelle lezioni universitarie, quando l'obiettivo primario è favorire la comprensione dei concetti di base.

Ideato e scritto per la formazione e l'aggiornamento, questo manuale si è dimostrato utile sia per la preparazione e formazione nelle Università e nelle Aziende, sia per approfondimenti su alcuni metodi statistici più recenti e meno noti anche a chi ha già familiarità con la disciplina.

Tuttavia per raggiungere una visione complessiva della disciplina, per la scelta ragionata dei metodi e l'interpretazione corretta degli output dei programmi informatici, lo studio personale molto spesso non è sufficiente.

E' indispensabile seguire un corso impostato su queste finalità. La logica della statistica non è né ovvia né banale, lo stesso problema può essere affrontato con metodi differenti, che non sempre forniscono risultati uguali. Si tratta di capire i limiti e le potenzialità dei vari approcci.

Serve una guida esperta, che illustri le possibilità di scelta tra le varie opzioni, introduca al ragionamento statistico, mostri i limiti dei vari test, aiuti alla interpretazione dei risultati. Un punto particolarmente difficile è il passaggio dall'analisi statistica all'interpretazione disciplinare e infine alla decisione.

Lamberto Soliani

Attualmente, professore ordinario di "Fondamenti di analisi dei sistemi ecologici" (gruppo BIO 7).

Già prof. ordinario di Demografia Investigativa all'Università di Bari e all'Università La Sapienza di Roma.

Docente di Statistica applicata e Biometria presso l'Università di Parma nei corsi di laurea in Scienze Ambientali, Agraria, Scienze Biotecnologiche e Biologia Ecologica, Scienze Naturali, Chimica, sia nelle lauree triennali che in quelle specialistiche della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali.

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 (quali APAT, CTN, ARPA regionali, Aziende Farmaceutiche Italiane, Aziende Alimentari nazionali e internazionali, Enti regionali di ricerca in Agricoltura).

Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma

Viale delle Scienze 11/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 | 57 |
| 1.12. Le misure di tendenza centrale | 63 |
| 1.12.1 <i>Le misure di tendenza centrale o posizione</i> | 64 |
| 1.12.2 <i>La mediana</i> | 68 |
| 1.12.3 <i>La moda</i> | 69 |
| 1.13. Misure di dispersione o variabilità | 71 |
| 1.13.1 <i>Intervallo di variazione</i> | 72 |
| 1.13.2 <i>La differenza interquartile</i> | 72 |
| 1.13.3 <i>Lo scarto medio assoluto dalla media</i> | 73 |
| 1.13.4 <i>Lo scarto medio assoluto dalla mediana</i> | 73 |
| 1.13.5 <i>La devianza</i> | 74 |
| 1.13.6 <i>La varianza</i> | 76 |
| 1.13.7 <i>La deviazione standard</i> | 77 |
| 1.13.8 <i>L'errore standard</i> | 77 |
| 1.13.9 <i>Il coefficiente di variazione</i> | 80 |
| 1.13.10 <i>Stime robuste della variabilità: Average Deviation e MAD</i> | 82 |
| 1.13.11 <i>La varianza in dati raggruppati: correzione di Sheppard</i> | 84 |
| 1.14. Indici di forma: simmetria e curtosi. I momenti di una distribuzione | 87 |
| 1.15. Accuratezza e precisione. La scelta del numero di cifre significative | 100 |
| 1.16. Metodi per calcolare un generico quantile da una serie di dati | 107 |

| | |
|--|-----|
| 1.17. Rappresentazioni grafiche e semi-grafiche delle distribuzioni: data plot, box-and-whisker, line plot, stem-and-leaf | 111 |
| 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: 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 | 143 |
| 1.22. Alcuni sviluppi recenti dei box-plot: notched box-plot, histoplot, vaseplot | 149 |

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> | 36 |
| 2.3.5 <i>Distribuzione ipergeometrica</i> | 40 |
| 2.3.6 <i>Distribuzione binomiale negativa</i> | 45 |
| 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> | 61 |
| 2.4.2 <i>Distribuzioni asintoticamente normali, con approssimazioni e trasformazioni</i> | 68 |
| 2.4.3 <i>Dalla disuguaglianza di Tchebycheff all'uso della distribuzione normale</i> | 70 |
| 2.4.4 <i>Approssimazioni e correzioni per la continuità</i> | 79 |
| 2.4.5 <i>Distribuzione rettangolare</i> | 82 |
| 2.4.6 <i>Distribuzione esponenziale negativa</i> | 83 |
| 2.4.7 <i>Le curve di Pearson</i> | 83 |
| 2.4.8 <i>La distribuzione gamma</i> | 86 |
| 2.5. Distribuzioni campionarie derivate dalla normale ed utili per l'inferenza | 89 |

| | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----|
| 2.5.1 | La distribuzione χ^2 | 89 |
| 2.5.2 | La distribuzione <i>t</i> di Student | 95 |
| 2.5.3 | La distribuzione <i>F</i> di Fisher | 96 |
| TABELLE della distribuzione normale | | 98 |

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 | 8 |
| 3.3. | Le tabelle di contingenza 2 x 2 (fourfold tables) | 12 |
| 3.4. | Correzioni per la continuità in tabelle 2 x 2: Yates e Haber | 21 |
| 3.5. | Confronti tra frequenze relative con la distribuzione normale e sua correzione per la continuità | 27 |
| 3.6. | Confronto tra test χ^2 per tabelle 2 x 2 e test <i>Z</i> , senza e con le correzioni per la continuità | 35 |
| 3.7. | Confronto di una proporzione osservata con una attesa: il test <i>Z</i> per grandi campioni e la distribuzione binomiale per piccoli campioni | 41 |
| 3.8. | Tabelle di contingenza 2 x 2 in piccoli campioni: il metodo esatto di Fisher | 46 |
| 3.9. | Le tabelle 2 x <i>N</i> con la formula generale e quella di Brandt-Snedecor. Le tabelle <i>M</i> x <i>N</i> | 51 |
| 3.10. | Il log-likelihood ratio o metodo <i>G</i> | 60 |
| 3.10.1 | Confronto tra una distribuzione osservata ed una attesa con la correzione di Williams | 64 |
| 3.10.2 | Tabelle 2 x 2, con la correzione di Williams e quella di Mantel-Haenszel | 67 |
| 3.10.3 | Tabelle <i>M</i> x <i>N</i> con la correzione di Williams | 70 |
| 3.11. | Il chi quadro con il metodo di Cochran e di Mantel-Haenszel | 75 |
| 3.12. | Esercizi svolti per dati in tabelle di contingenza | 82 |
| TABELLE dei valori critici del chi quadrato | | 88 |

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 $p < 0.05$? E' un rito oppure una scelta razionale? | 8 |
| 4.3. | Procedura di verifica delle ipotesi. Vero o falso? Utile o dannoso? | 12 |
| 4.4. | I fattori che determinano la potenza di un test | 18 |
| 4.5. | Calcolo della potenza, del numero minimo di dati e della differenza minima | |

| | |
|--|-----|
| in test per un campione, con la distribuzione z | 27 |
| 4.6. Stima approssimata della varianza della popolazione; il criterio di Cohen per la scelta di β ; l'effetto della media sulla potenza | 47 |
| 4.7. Intervallo di confidenza o di fiducia di una media con σ^2 nota | 50 |
| 4.8. Intervallo di confidenza di una mediana con varianza nota e ignota | 53 |
| 4.9. Stima della media con un intervallo di confidenza prefissato o con un errore prefissato, nel caso di varianza nota | 58 |
| 4.10. Significatività della differenza tra due medie, con varianza nota | 61 |
| 4.11. Potenza e numero di dati per la significatività della differenza tra due medie, con la distribuzione normale z | 66 |
| 4.12. Stima della differenza tra due medie con un errore o un intervallo di confidenza prefissati, nel caso di varianza nota | 76 |
| 4.13. Significatività della differenza tra una varianza campionaria S^2 e una varianza attesa σ^2 | 80 |
| 4.14. La potenza a posteriori e a priori per la significatività della differenza tra una varianza osservata e una varianza attesa | 87 |
| 4.15. Intervallo di confidenza o di fiducia di una varianza, con equal tail method e shortest unbiased confidence intervals | 97 |
| 4.16. Intervallo di confidenza della deviazione standard e stima della dimensione del campione | 103 |
| 4.17. Il test F per il rapporto tra due varianze; relazioni tra F e χ^2 ; valori di F per $\alpha > 0,5$ | 110 |
| 4.18. Potenza a priori e a posteriori del test F per l'uguaglianza di due varianze | 120 |
| 4.19. Intervallo di confidenza del rapporto F tra due varianze; stima di F con un errore o un intervallo di confidenza prefissati | 129 |
| 4.20. Il confronto tra un coefficiente di variazione (CV) osservato e uno teorico o atteso | 136 |
| 4.21. Test per la differenza tra due coefficienti di variazione con la distribuzione Z | 137 |
| 4.22. Parametri e statistiche. Le proprietà ottimali di uno stimatore: correttezza, consistenza, efficienza, sufficienza. La robustezza di un test | 139 |
| 4.23. Precisione e accuratezza di uno strumento o di una analisi | 147 |
| 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. Test sulla differenza tra due proporzioni, con il metodo di Feldman e Kluger, per abbreviare il metodo esatto di Fisher | |
| 78 | |
| 5.13. Significatività e intervallo di confidenza della differenza tra due proporzioni, con la distribuzione normale | |
| 82 | |
| 5.14. Potenza a posteriori ($1-\beta$) e a priori (n) dei test sulla differenza tra due proporzioni; bilanciamento di due campioni | 86 |
| 5.15. Il rapporto tra due proporzioni (R): intervallo di confidenza e significatività; formula test-based di Miettinen per r | |
| 101 | |
| 5.16. Il rapporto tra due odds (OR): intervallo di confidenza e significatività; formula test-based di Miettinen per or | |
| 111 | |
| 5.17. Il rapporto tra due tassi (RR): intervallo di confidenza e significatività; formula test-based di Miettinen | |
| 120 | |
| 5.18. Dimensioni dei campioni e potenza, per test sulla differenza e sull'odds ratio delle proporzioni di due campioni indipendenti | 129 |

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 calcolo dei limiti di confidenza di una media, con σ ignota | 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 | 17 |
| 6.5. Il test t per 2 campioni dipendenti o per dati appaiati con intervallo di confidenza della media delle differenze | 20 |
| 6.6. Test di Sandler per due campioni dipendenti | 29 |
| 6.7. Il test t per 2 campioni indipendenti o per dati non appaiati | 32 |
| 6.8. Il test F bilaterale, il test di Bartlett e il test di Lévène per la verifica dell'uguaglianza di due varianze | 37 |
| 6.9. Significatività e intervallo di confidenza di una differenza | 52 |
| 6.10. Potenza a priori e a posteriori del test t , con un campione e con due campioni dipendenti o indipendenti | 59 |
| 6.11. Dimensione del campione e precisione nella stima sia di una media sia di una differenza tra due medie | 76 |
| 6.12. Il bilanciamento di due campioni indipendenti: vantaggi e costi | 80 |
| 6.13. Correzione per il campionamento in una popolazione finita e il concetto di superpopolazione | 85 |
| 6.14. Test per la differenza tra due coefficienti di variazione con la distribuzione t di Student | 92 |
| 6.15. Il confronto tra due medie con varianze differenti o problema di Behrens-Fisher; la statistica Welch e il metodo di Satterthwaite | 93 |
| 6.16. Effetto trattamento: $\hat{\omega}^2$ e cenni di $\hat{\eta}^2$, nel test t di Student per due campioni indipendenti | 104 |
| 6.17. Limiti di tolleranza e population coverage, quando la distribuzione dei dati è normale | 106 |
| 6.18. Calcolo dell'indice k , per la stima dell'intervallo di tolleranza a una code e a due code | 116 |
| TABELLE dei valori critici della distribuzione t di Student | 121 |

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 | 7 |
| 7.3. Il test delle successioni per un campione | 10 |

| | |
|---|-----|
| 7.4. Il test dei segni per un campione | 21 |
| 7.5. Intervallo di confidenza per una probabilità o frequenza relativa, secondo il metodo di Clopper e Pearson | 28 |
| 7.6. Intervalli di confidenza non parametrici e intervalli di tolleranza | 32 |
| 7.7. Intervallo di confidenza della mediana con il test dei segni | 36 |
| 7.8. Il test dei segni per ranghi di Wilcoxon | 39 |
| 7.9. Differenze nulle e ties nel test T di Wilcoxon | 50 |
| 7.10. Teoria del test T di Wilcoxon e della correzione per i ties | 53 |
| 7.11. Intervalli di confidenza della locazione (mediana) con il T di Wilcoxon; medie di Walsh o quasimedians, stimatore di Hodges – Lehmann o pseudomedian | 59 |
| 7.12. Test di casualizzazione (raw scores test, Pitman test, Fisher's randomization test) | 64 |
| 7.13. Test T di Wilcoxon per la simmetria | 69 |
| 7.14. Il test di Gosset per la eterogeneità di Poisson in conteggi; il test per l'indice di dispersione e il grafico di Elliott | 76 |
| 7.15. Il metodo di Kolmogorov-Smirnov per un campione, con dati ordinali discreti e con dati continui | 86 |
| 7.16. Il T^2 di Freeman-Tukey e confronto con il χ^2 e il G^2 nei test per la bontà dell'adattamento | 105 |
| 7.17. Il dibattito sulla significatività dei test per la bontà dell'adattamento, rispetto a quelli per un parametro | 115 |
| 7.18. Rinvio ad altri test per un campione | 118 |
| 7.19. Presentazione dei risultati di programmi informatici e confronti tra test | 118 |

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 con la correzione di Edwards; la stima della potenza | 3 |
| 8.3. Estensione del test di McNemar o test di Bowker | 14 |
| 8.4. Intervallo di confidenza della differenza tra le proporzioni di due campioni dipendenti | 20 |
| 8.5. Il test dei segni, con stima della potenza a priori | 22 |
| 8.6. Il test T di Wilcoxon o test dei segni per ranghi, con stima della potenza | 31 |
| 8.7. Intervallo di confidenza di una differenza con il test dei segni e il test T di Wilcoxon | 41 |
| 8.8. Test di casualizzazione per 2 campioni dipendenti o Fisher's randomization test | 48 |

CAPITOLO IX - METODI NON PARAMETRICI PER DUE CAMPIONI INDIPENDENTI

| | |
|--|---|
| 9.1. Test per 2 campioni indipendenti | 1 |
| 9.2. Test unilaterale per tabelle 2 x 2 analogo al χ^2 | 2 |
| 9.3. Test per l'effetto dell'ordine del trattamento o test di Gart | 4 |

| | |
|---|----|
| 9.4. Il test della mediana | 7 |
| 9.5. L'intervallo di confidenza per una differenza mediana, con il metodo esatto di Fisher | 12 |
| 9.6. Il test di Wilcoxon-Mann-Whitney della somma dei ranghi | 18 |
| 9.7. Calcolo delle probabilità associate ai valori di T, potenza ($1-\beta$, n) e robustezza del test di Wilcoxon-Mann-Whitney | 29 |
| 9.8. Il test U di Mann-Whitney o dell'ordine robusto dei ranghi | 35 |
| 9.9 L'intervallo di confidenza della differenza tra due mediane, con l'indice U di Mann-Whitney | 45 |
| 9.10. 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 | 47 |
| 9.11. Test di casualizzazione per 2 campioni indipendenti | 57 |
| 9.12. Il test delle successioni per due campioni o test di Wald-Wolfowitz | 65 |
| 9.13. Test di Siegel-Tukey per l'uguaglianza della varianza; cenni del test di Freund-Ansari-Bradley e del test di Conover | 74 |
| 9.14. Il test dei ranghi equivalenti di Moses per le differenze nella dispersione o variabilità | 81 |
| 9.15. Confronto tra due distribuzioni osservate: il metodo di Kolmogorov-Smirnov per 2 campioni indipendenti con dati ordinali discreti o gruppi e con dati continui | 89 |

CAPITOLO X - ANALISI DELLA VARIANZA (ANOVA I) A UN CRITERIO DI CLASSIFICAZIONE

| | |
|--|----|
| 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. Confronto tra analisi della varianza con due trattamenti e test t di Student per 2 campioni indipendenti | 17 |
| 10.4. Test per l'omogeneità della varianza tra più campioni: test di Hartley, Cochran, Bartlett, Levene e Levene modificato di Brown-Forsythe | 21 |
| 10.5. Esempio completo di ANOVA a un criterio, con discussione sulle condizioni di validità | 44 |
| 10.6. Importanza delle condizioni di validità nell'ANOVA, con elenco di test per la verifica | 60 |
| 10.7. Stima della dimensione n di k gruppi campionari per l'ANOVA | 67 |
| 10.8. Confronto tra medie con ANOVA, da dati aggregati di k campioni | 71 |
| 10.9. Violazioni delle condizioni di validità dell'ANOVA a un criterio: enunciazioni teoriche e conseguenze pratiche | 73 |
| TABELLE dei valori critici della distribuzione F di Fisher-Snedecor | 78 |

CAPITOLO XI - I CONFRONTI MULTIPLI

| | |
|--|-----|
| 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 tra trattamenti con i confronti ortogonali | 22 |
| 11.5. Input e output di un programma informatico per i confronti ortogonali o a priori | 32 |
| 11.6. La logica dei confronti multipli a posteriori (UMPC): experimentwise o familywise e comparisonwise | 35 |
| 11.7. Prime indicazioni per una scelta operativa dei test post-hoc più diffusi | 42 |
| 11.8. Una classificazione accademica dei test post-hoc e l'errore di Tipo III | 51 |
| 11.9. Perché i computer propongono anche test errati. Quale tipo di errore controllare? | 53 |
| 11.10. Le due procedure dei confronti post-hoc e le rappresentazioni grafiche dei risultati, per l'uncertainty interval | 57 |
| 11.11. Il principio di Bonferroni e la procedura di Dunn-Bonferroni | 67 |
| 11.12. Le probabilità comparisonswise di Dunn-Sidak e confronto con quelle di Bonferroni; le procedure single-step e step-wise | 87 |
| 11.13. Uso della media armonica o metodo di Miller-Winer | 91 |
| 11.14. Il test LSD di Fisher e il t protetto o test di Fisher-Hayter | 92 |
| 11.15. Il test FSD o GSD di Scheffé, con la SCD | 98 |
| 11.16. Dal t di Student al q studentizzato; lo studentized maximum modulus | 107 |
| 11.17. Il test (WSD, HSD, T-method) di Tukey; la procedura di Tukey-Kramer | 114 |
| 11.18. Il test di Newman-Keul studentizzato o test SNK | 125 |
| 11.19. Il test Tukey b; confronto con Tukey, SNK, Bonferroni, Scheffé e Fisher | 136 |
| 11.20. Il test di Duncan. E' una distrazione nella storia dei confronti multipli? Cenni sul test di Waller-Duncan | 143 |
| 11.21. Il test di Dunnett per il confronto dei trattamenti con il controllo | 157 |
| 11.22. Cenni sul test t di William e sul test di Gupta | 176 |
| 11.23. Il test multiplo sequenziale di Holm o Bonferroni sequenziale e confronto con il Bonferroni; cenni sul metodo di Shaffer | 178 |
| 11.24. Il test Gabriel e il test GT2 di Hochberg, per campioni non bilanciati | 186 |
| 11.25. Altre procedure step-down: i test REGWQ e REGWF, il test di Peritz e Begun-Gabiel | 197 |
| 11.26. 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 | 205 |
| 11.27. Quale è il test post-hoc migliore? | 210 |

| | |
|---|-----|
| 11.28. Nei confronti multipli è preferibile controllare l'errore α oppure l'errore β ? | |
| Un approccio nuovo: il False Discovery Rate (FDR) | 214 |
| 11.29. Confronti multipli post-hoc tra varianze | 224 |
| 11.30. Dimensione dei campioni, per ottenere una differenza significativa tra k medie | 231 |

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. Rappresentazione grafica 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. Esperimenti fattoriali 2×2 e $2 \times 2 \times 2$ con i confronti ortogonali | 30 |
| 13.7. Esperimenti fattoriali con P fattori a k livelli | 40 |
| 13.8. Test di Tukey per la non-additività con 1 df | 46 |
| 13.9. Quadrati latini con repliche | 58 |
| 13.10. Lettura di un tabulato informatico | 64 |

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 | 7 |
| <i>A – La trasformazione lineare</i> | 7 |
| <i>B – La trasformazione in ranghi</i> | 8 |
| <i>C – La trasformazione in normale (standard score, rango percentile, scala Stanine, Normal Curve Equivalent, Grade Equivalent</i> | 10 |
| <i>D – La trasformazione logaritmica</i> | 16 |
| <i>E – La trasformazione in radice quadrata e in radice cubica</i> | 18 |
| <i>F – La trasformazione in reciproco</i> | 20 |
| <i>G – La trasformazione in potenza (al quadrato e al cubo)</i> | 21 |
| <i>H – La trasformazione angolare o in gradi (arcoseno) delle proporzioni</i> | 21 |
| <i>I – La trasformazione probit e logit</i> | 31 |
| 14.4. Altri effetti delle trasformazioni | 32 |
| 14.5. La scelta della trasformazione idonea: il metodo di Box-Cox | 37 |
| 14.6. Effetti delle trasformazioni sui risultati dell'ANOVA | 46 |
| 14.7. Test per la verifica di normalità, simmetria e curtosi, con i metodi proposti da Snedecor-Cochran | 54 |
| 14.8. Metodi grafici e altri test (Lilliefors, D'Agostino-Pearson) per normalità, simmetria e curtosi (cenni dei test di Geary e di Shapiro-Wilk) | 67 |
| 14.9. Cenni del test di Cramer-Von Mises per un campione e per due campioni indipendenti | 88 |
| 14.10. L'outlier: dato anomalo o dato sbagliato? Definizioni di outlier | 91 |
| 14.11. Identificazione degli outlier con il metodi grafici: il box-and-whiskers di Tukey | 98 |
| 14.12. Metodi statistici per grandi campioni: la distribuzione di Chebyshev e la distribuzione normale; the huge rule | 102 |
| 14.13. Verifica degli outlier o gross error per campioni piccoli con distribuzione normale: il test di Grubbs o extreme studentized residual; il test q di Dixon | 108 |
| 14.14. La extreme studentized deviate (ESD) e la median absolute deviation (MAD) | 118 |
| 14.15. Il tau di Thompson modificato (modified Thompson's-tau), per identificare i bad data | 130 |
| 14.16. Trattamento degli outlier: eliminarli o utilizzarli? Come? | 135 |

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 piu' 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 | 3 |
| 16.3. | Cenni sul test di Nemenyi e altri test per la mediana | 11 |
| 16.4. | Analisi della varianza per ranghi ad un criterio di classificazione: il test di Kruskal-Wallis | 14 |
| 16.5. | Confronto con il test F e confronti multipli con i ranghi | 26 |
| 16.6. | Test per l'eterogeneità della varianza con k campioni | 33 |
| 16.7. | Confronti tra più proporzioni e confronti multipli relativi | 38 |
| 16.8. | Il test Q di Cochran | 48 |
| 16.9. | Test di Friedman o analisi della varianza per ranghi a 2 criteri di classificazione, con una e con k repliche | 53 |
| 16.10. | I confronti multipli tra medie di ranghi nell'analisi della varianza non parametrica, a due criteri di classificazione | 72 |
| 16.11. | Test di Quade | 81 |
| 16.12. | L'esempio di Koch: uso di metodi non parametrici, nell'analisi statistica di un esperimento complesso con k fattori | 88 |

CAPITOLO XVII - LA REGRESSIONE LINEARE SEMPLICE

| | | |
|-------|--|----|
| 17.1. | La statistica bivariata: utilizzare 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? | 31 |
| 17.7. | Significatività del coefficiente angolare β o test per la linearità, | |

| | |
|--|-----|
| mediante il test F e il test t | 34 |
| 17.8. Test per la significatività dell'intercetta α | 48 |
| 17.9. La potenza e la dimensione minima del campione, nel test della regressione: rinvio alla correlazione | 51 |
| 17.10. Intervalli di confidenza dei parametri β e α | 54 |
| 17.11. Intervallo di confidenza della retta di regressione e per un singolo \hat{Y}_k , stimato con i dati del campione | 60 |
| 17.12. Intervallo di confidenza o di previsione di \hat{Y}_k , stimato per un solo valore o per la media di valori aggiuntivi al campione | 68 |
| 17.13. Significatività della differenza tra un valore medio calcolato e un valore medio atteso | 75 |
| 17.14. Errori delle variabili e intervalli di tolleranza | 76 |
| 17.15. Indici della capacità predittiva della regressione: R^2 , R_{adj}^2 , $S_{Y/X}^2$, $PRESS$ e loro significatività | 80 |
| 17.16. La predizione inversa o problema della calibratura: stimare il valore medio e l'intervallo di confidenza di X partendo da Y | 86 |
| 17.17. La regressione per l'origine: retta, intervallo di confidenza e predizione inversa; vantaggi, limiti e alternative | 99 |
| 17.18. Limite di determinazione e limite di rilevabilità, mediante la retta di calibratura | 113 |
| 17.19. La regressione per il confronto tra le medie di due o più gruppi, con variabile dummy; regressione, test t di Student e ANOVA I | 115 |
| 17.20. Analisi della varianza a due criteri, mediante il metodo della regressione | 123 |
| 17.21. Devianza di tipo I, II, III, IV, V, VI nell'analisi della regressione | 126 |

CAPITOLO XVIII - CONFRONTI TRA RETTE, CALCOLO DELLA RETTA CON Y RIPETUTE, CON VERIFICA DELLA LINEARITÀ E INTRODUZIONE ALLA REGRESSIONE LINEARE MULTIPLA

| | |
|--|----|
| 18.1. Confronto tra due rette di regressione con il test t di Student e calcolo della retta comune | 1 |
| 18.2. Confronto tra punti su due rette di regressione | 14 |
| 18.3. Confronto tra più rette di regressione con il test F , calcolo della retta comune e intervalli di confidenza | 17 |
| 18.4. Confronti multipli tra più coefficienti angolari | 27 |
| 18.5. Analisi della relazione dose-effetto con Y ripetute: calcolo della retta di regressione e test per la linearità | 28 |
| 18.6. Calcolo dei termini della regressione, mediante i coefficienti polinomiali | 40 |

| | |
|--|----|
| 18.7. Test di linearità con Y ripetute, in campioni non bilanciati | 48 |
| 18.8. Cenni sulla regressione pesata e della sua calibrazione | 56 |
| 18.9. La regressione nell'analisi della varianza a più criteri | 59 |
| 18.10. Condizioni di validità della regressione con l'analisi dei residui; test per la costanza della varianza d'errore (Levene modificato e Breusch-Pagan o Cook-Weisberg), trasformazioni per la retta | 63 |
| 18.11. Scelta dei valori di X, per una regressione significativa | 71 |
| 18.12. La regressione lineare multipla e il modello generale di regressione lineare | 74 |

CAPITOLO XIX - CORRELAZIONE E COVARIANZA

| | |
|--|-----|
| 19.1. La correlazione | 1 |
| 19.2. Condizioni di validità e significatività di r con $\rho = 0$ e con $\rho \neq 0$ | 16 |
| 19.3. Significatività della retta con R^2 ? | 28 |
| 19.4. Intervallo di confidenza di ρ | 31 |
| 19.5. Potenza a priori e posteriori per la significatività di r | 43 |
| 19.6. Differenza tra due coefficienti di correlazione in campioni indipendenti e calcolo del coefficiente comune | 47 |
| 19.7. Potenza a priori e a posteriori del test per la significatività della differenza tra due coefficienti di correlazione | 51 |
| 19.8. Test per la differenza tra più coefficienti di correlazione; coefficiente di correlazione comune r_w e sua significatività | 56 |
| 19.9. Cenni sui confronti multipli tra più r | 64 |
| 19.10. La correlazione parziale o netta di primo ordine e di ordine superiore; la correlazione semiparziale | 65 |
| 19.11. Analisi della covarianza per due gruppi, con test t di Student per rette parallele e per rette non parallele | 73 |
| 19.12. Analisi della covarianza per k gruppi (ANCOVA) e riduzione proporzionale della varianza d'errore | 82 |
| 19.13. Gli outlier nell'analisi di regressione e correlazione | 97 |
| 19.14. L'analisi dei residui per l'identificazione degli outlier; residuals, studentized residuals, standardized residuals | 102 |
| 19.15. Hat value o leverage, studentized deleted residuals | 108 |
| 19.16. La distanza euclidea tra le statistiche della retta e la distanza di Cook; applicazioni del jackknife | 120 |
| 19.17. Lettura di tre tabulati di programmi informatici su regressione e correlazione lineare semplice | 129 |

| | |
|---|-----|
| 19.18. Confronto tra quattro output informatici sulla regressione lineare semplice: SAS, MINITAB, SYSTAT, SPSS | 134 |
|---|-----|

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 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 di due cicli | 36 |
| 20.5. Coefficiente di regressione e intervallo di confidenza: metodo di Sen o Theil-Sen o Sen-Kendall per tempi distinti e raggruppati | 41 |
| 20.6. L'intervallo di confidenza del coefficiente angolare β di Sen, con il metodo di Hodges-Lehmann | 50 |
| 20.7. Il test di Farrell o di Sen-Farrell o di Farell-Van Belle-Hughes per il trend con stagionalità, in campioni uniformi | 60 |
| 20.8. Il test di Pettitt per il punto di svolta (change point o turning point), con tempo ignoto e con tempo noto | 70 |
| 20.9. Altri metodi per il trend, in riviste mediche: turning-point, difference-sign, il test di Dufour, records test di Foster e Stuart | 83 |
| 20.10. Analisi della affidabilità (reliability) nel tempo; il modello poissoniano, il modello NHPP e il grafico di Duane | 117 |
| 20.11. Calcolo e interpretazione dei parametri della retta di Duane | 125 |
| 20.12. Il reverse arrangement test di Bendat e Piersol, unilaterale e bilaterale: un test per l'affidabilità e per il trend | 132 |
| 20.13. Altri test per l'affidabilità e per il trend: il military handbook test e il test di Laplace | 143 |

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 |

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 | 42 |
| 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 | 65 |
| 23.11. La regressione lineare non parametrica | 68 |
| 23.12. Calcolo della retta di regressione non parametrica con il metodo di Theil o test di Theil-Kendall | 70 |
| 23.13. Confronto tra la retta parametrica e la retta di Theil | 78 |
| 23.14. Significatività di b con il τ di Kendall | 80 |
| 23.15. La regressione lineare non parametrica con il metodo dei tre gruppi di Bartlett | 88 |
| 23.16. Il test di Hollander per il confronto tra due coefficienti angolari | 94 |
| 23.17. La regressione monotonica di Iman-Conover | 100 |
| 23.18. Trend lineare di Armitage per le proporzioni e le frequenze | 107 |
| 23.19. Altri test (obsoleti) per la correlazione parametrica e non parametrica: concetti e classificazione | 112 |
| 23.20. La distribuzione puntuale della correlazione biseriale e il confronto con il test t di Student per due campioni indipendenti | 114 |
| 23.21. La correlazione biseriale | 122 |
| 23.22. La correlazione tetracorica | 130 |

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 |

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 | 74 |
| 26.13. La ripetibilità e la riproducibilità con le varianze dell'ANOVA, in un disegno sperimentale a due criteri con repliche | 82 |
| 26.14. Stima delle dimensioni minime del campione, per un'analisi della ripetibilità | 85 |
| 26.15. Le componenti della varianza negli studi R&R, con l'ANOVA a effetti random, fissi e misti | 88 |
| 26.16. Visione generale delle stime richieste nell'analisi di processo | 100 |
| 26.17. Storia del sei-sigma; un secolo di evoluzione dei metodi statistici, per il controllo di qualità | 102 |

INFORMAZIONI

Da questo è stata tratta una versione abbreviata per un corso di base e una versione di statistica non parametrica per un corso più avanzato.

Il **testo di base**, di circa 550 pagine, è per un **corso universitario di circa 40 ore o un corso di formazione che parta dal livello 0**.

Il testo di **statistica non parametrica**, di circa 770 pagine, è per **corsi universitari di secondo livello o per corsi di aggiornamento per aziende e professionisti**. Sono presentati molti metodi non parametrici, tutti quelli utilizzati nelle maggiori librerie informatiche e di uso comune nella ricerca biologica, ambientale, medica, sociologica e psicologica.

Per entrambi i testi, rivolgersi a

- **UNI.NOVA di Pietro Lia – Via Fleming,7 - 431000 Parma**
- **tel.: 0521-290245 cell. 335-8385704**

Presso la stessa casa editrice, è possibile **chiedere**

- **la stampa di questa versione completa di oltre 2900 pagine**
- telefonando ai numeri indicati

Prof. Lamberto Soliani
Parma, 30 marzo 2006