

**STATISTICA APPLICATA**  
**ALLA RICERCA E ALLE PROFESSIONI SCIENTIFICHE**

MANUALE DI  
STATISTICA UNIVARIATA E BIVARIATA  
PARAMETRICA E NON-PARAMETRICA  
(Edizione 2007)

*Lamberto Soliani*

Email: [lamberto.soliani@unipr.it](mailto:lamberto.soliani@unipr.it)

Tel.0521/905662 Fax 0521/905402

Le dispense (oltre 3400 pagine in 27 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](mailto: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. La distribuzione, il principio e il diagramma di Pareto	165

## 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 <math>\chi^2</math></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 $\chi^2$ 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 $\chi^2$ 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
Tabelle dei valori critici del chi quadrato		89

### 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 $\beta$ ; l'effetto della media sulla potenza	47
4.7. Intervallo di confidenza o di fiducia di una media con $\sigma^2$ 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 $\sigma^2$	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 $\chi^2$ ; 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 $\sigma$ 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	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	34
6.8. Il test F bilaterale, il test di Bartlett e il test di Levene per la verifica dell'uguaglianza di due varianze	39
6.9. Significatività e intervallo di confidenza di una differenza	54
6.10. Potenza a priori e a posteriori del test t, con un campione e con due campioni dipendenti o indipendenti	61
6.11. Dimensione del campione e precisione nella stima sia di una media sia di una differenza tra due medie	79
6.12. Il bilanciamento di due campioni indipendenti: vantaggi e costi	83
6.13. Correzione per il campionamento in una popolazione finita e il concetto di superpopolazione	88
6.14. Test per la differenza tra due coefficienti di variazione con la distribuzione t di Student	95
6.15. Il confronto tra due medie con varianze differenti o problema di Behrens-Fisher; la statistica Welch e il metodo di Satterthwaite	96
6.16. Effetto trattamento: $\tilde{\omega}^2$ e cenni di $\tilde{\eta}^2$ , nel test t di Student per due campioni indipendenti	106
6.17. Limiti di tolleranza e population coverage, quando la distribuzione dei dati è normale	109
6.18. Calcolo dell'indice $k$ , per la stima dell'intervallo di tolleranza a una coda e a due code	120
6.19. Gli intervalli di predizione (intervals prediction) per una media e per k osservazioni	125
6.20. Il biistogramma e l'inferenza su due campioni indipendenti	133
6.21. Deviazioni standard ed errori standard	136
TABELLE dei valori critici della distribuzione t di Student	139

## 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	35
7.7. Intervallo di confidenza per una probabilità o frequenza relativa, secondo il metodo di Clopper e Pearson	44

7.8. Intervalli di confidenza non parametrici e intervalli di tolleranza	49
7.9. Intervallo di confidenza della mediana con il test dei segni	53
7.10. Il test dei segni per ranghi di Wilcoxon	56
7.11. Differenze nulle e ties nel test T di Wilcoxon	67
7.12. Teoria del test T di Wilcoxon e della correzione per i ties	70
7.13. Intervalli di confidenza della locazione (mediana) con il T di Wilcoxon; medie di Walsh o quasimedians, stimatore di Hodges – Lehmann o pseudomedian	75
7.14. Test di casualizzazione (raw scores test, Pitman test, Fisher’s randomization test)	82
7.15. Test T di Wilcoxon per la simmetria	87
7.16. Il test di Gosset per la eterogeneità di Poisson in conteggi; il test per l’indice di dispersione e il grafico di Elliott	94
7.17. Il metodo di Kolmogorov-Smirnov per un campione, con dati ordinali discreti e con dati continui	105
7.18. Il $T^2$ di Freeman-Tukey e confronto con il $\chi^2$ e il $G^2$ nei test per la bontà dell’adattamento	125
7.19. Il dibattito sulla significatività dei test per la bontà dell’adattamento, rispetto a quelli per un parametro	135
7.20. Rinvio ad altri test per un campione	138
7.21. Presentazione dei risultati di programmi informatici e confronti tra test	139

#### 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	32
8.7. Intervallo di confidenza di una differenza con il test dei segni e il test T di Wilcoxon	42
8.8. Test di casualizzazione per 2 campioni dipendenti o Fisher’s randomization test	49
8.9. Il diagramma di Youden (Youden plots) per il controllo di qualità di laboratori	56
8.10. Il test Z-Scores e i test di competenza (proficiency tests), con due campioni dipendenti	64
8.11. Esempi di proficiency test con Z-Scores e Youden plot	70

#### 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 $\chi^2$	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. Il test della mediana o test di Mood o di Brown-Mood, per due campioni indipendenti	16
9.6. L'intervallo di confidenza per la differenza tra due mediane, con il metodo esatto di Fisher	24
9.7. Il test di Wilcoxon-Mann-Whitney o della somma dei ranghi	31
9.8. Calcolo delle probabilità associate ai valori di T, potenza ( $1-\beta$ , n) e robustezza del test di Wilcoxon-Mann-Whitney	42
9.9. Il test U di Mann-Whitney o dell'ordine robusto dei ranghi	48
9.10. L'intervallo di confidenza della differenza tra due mediane, con l'indice U di Mann-Whitney	59
9.11. 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	62
9.12. Il test di casualizzazione per due campioni indipendenti	71
9.13. Le indicazioni di Duckworth per i test rapidi (quick test) e il concetto di potenza pratica	80
9.14. Il test rapido di Tukey (Tukey's quick test), con la modifica di Neave e le tavole di Gans	82
9.15. Il test non parametrico di Levene con la modifica di Brown-Forythe, per l'uguaglianza nella variabilità tra due campioni indipendenti	91
9.16. Test di Siegel-Tukey per l'uguaglianza della variabilità; cenni del test di Freund-Ansari-Bradley e del test di Conover	94
9.17. Il test dei ranghi equivalenti di Moses per le differenze nella dispersione o variabilità	101
9.18. Confronto tra due distribuzioni campionarie: il metodo di Kolmogorov-Smirnov per 2 campioni indipendenti, con dati ordinali discreti o gruppi e con dati continui	109
9.19. Il test delle successioni per due campioni indipendenti o test di Wald-Wolfowitz	123

## 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	18
10.4. Test per l'omogeneità della varianza tra più campioni: test di Hartley, Cochran, Bartlett, Levene e Levene modificato di Brown-Forsythe	22
10.5. Esempio completo di ANOVAa un criterio, con discussione sulle condizioni di validità	45
10.6. Importanza delle condizioni di validità nell'ANOVA, con elenco di test per la verifica	61

10.7. Stima della dimensione n di k gruppi campionari per l'ANOVA	68
10.8. Confronto tra medie con ANOVA, da dati aggregati di k campioni	72
10.9. Violazioni delle condizioni di validità dell'ANOVA a un criterio: enunciazioni teoriche e conseguenze pratiche	74
TABELLE dei valori critici della distribuzione F di Fisher-Snedecor	80

## 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 $\alpha$ 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 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 $\alpha$ oppure l'errore $\beta$ ?	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 x 2 e 2 x 2 x 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	53
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	65
14.8. Test per l'indipendenza (randomness) delle misure: i test dei segni e i runs test per la casualità	70
14.9. Test per l'indipendenza (randomness) delle misure: il rapporto di von Neumann e il test non-parametrico di Bartels	75
14.10. Test per la verifica di normalità, simmetria e curtosi, con i metodi proposti da Snedecor-Cochran	91
14.11. Metodi grafici e altri test (Lilliefors, D'Agostino-Pearson) per normalità, simmetria e curtosi (cenni dei test di Geary e di Shapiro-Wilk)	106

14.12. Cenni del test di Cramer-Von Mises per un campione e per due campioni indipendenti	128
14.13. L'outlier: dato anomalo o dato sbagliato? Definizioni di extreme value, stragglers e outlier.	131
14.14. Identificazione degli outlier con il metodi grafici: il box-and-whiskers di Tukey	139
14.15. Metodi statistici per grandi campioni: la distribuzione di Chebyshev e la distribuzione normale; the huge rule	144
14.16. 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	150
14.17. La extreme studentized deviate (ESD) e la median absolute deviation (MAD)	160
14.18. Il tau di Thompson modificato (modified Thompson's-tau), per identificare i bad data	172
14.19. La natura soggettiva dell'individuazione e il trattamento degli outlier. Eliminarli o utilizzarli? Come?	177
14.20. Il test per l'omogeneità e i valori estremi di Darling	185

#### 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 $\beta$ o test per la linearità, mediante il test $F$ e il test $t$	37
17.8. Test per la significatività dell'intercetta $\alpha$	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	88
17.15. Test per la omoschedaticità degli errori: Levene modificato e Breusch-Pagan o Cook-Weisberg	91
17.16. Le trasformazioni della retta di regressione e la bulging rule	95
17.17. Alcuni esempi di analisi grafiche dei residui, per verificare le condizioni di validità della retta di regressione	105
17.18. Scelta dell'intervallo dei valori di X, per ottenere una regressione più significativa	113
17.19. La potenza e la dimensione minima del campione, nel test della regressione: rinvio alla correlazione	117
17.20. Differenze e analogie tra intervalli di confidenza, tolleranza e predizione nella retta di regressione	124
17.21. Intervalli di confidenza dei parametri $\beta$ e $\alpha$	127
17.22. Intervallo di confidenza per un singolo Y stimato	135
17.23. L'intervallo di tolleranza nella retta di regressione	141
17.24. L'intervallo di predizione per un singolo valore Y e per la media di più valori Y	145
17.25. L'intervallo di predizione non parametrico per singoli valori di Y, nella retta dei minimi quadrati	153
17.26. Significatività della differenza tra un valore Y medio calcolato e un valore Y medio atteso	156
17.27. Indici della capacità predittiva della regressione, coefficienti di determinazione e di alienazione: $R^2$ , $R_{adj}^2$ , $S_{Y/X}^2$ , $PRESS$	157

## 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 per l'origine: metodi e problemi	58
18.10. Altri metodi per la relazione lineare tra due variabili	76
18.11. Confronto tra i parametri due rette di regressione con il test t di Student e calcolo della retta comune	82
18.12. Confronto tra punti su due rette di regressione	97
18.13. Confronto tra più rette di regressione con il test F, calcolo della retta comune e intervalli di confidenza	100
18.14. Confronti multipli tra più coefficienti angolari	111
18.15. La regressione lineare per il confronto tra le medie di due o più gruppi, con una variabile dummy	112
18.16. Come leggere l'ANOVA a uno e a due criteri, in un output per la regressione lineare	121
18.17. 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	126
18.18. Esempio di una regressione nell'ANOVA a due criteri	132
18.19. Esempio di una retta di regressione nell'ANOVA a più criteri	139
18.20. La regressione lineare multipla e il modello generale di regressione lineare	149

## 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 $\rho$	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 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 $\beta$ di Sen, con il metodo di Hodges-Lehmann	50
20.7. Il test di Farrell o di Sen-Farrell o di Farrell-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
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 $\chi^2$ 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 $\phi$ di Pearson, il $\phi_c$ 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 $\tau_b$ di Kendall	36
22.6. Associazione per variabili categoriali in tabelle r x c: la pre, il $\lambda$ 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 $\gamma$ di Goodman e Kruskal, il $\tau_c$ 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 $\rho$ (rho) di Spearman, con la distribuzione di Hotelling-Pabst	1
23.2. Il coefficiente di correlazione $\tau$ (tau) di Kendall; il $\tau_a$ e $\tau_b$ di Kendall con i ties	11
23.3. Confronto tra $\rho$ e $\tau$ ; 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 $\rho$ e $\tau$	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	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	82
23.14. Significatività di $b$ con il $\tau$ di Kendall	84
23.15. La regressione lineare non parametrica di Brown-Mood	92
23.16. La regressione lineare non parametrica con il metodo dei tre gruppi di Bartlett	97
23.17. Il test di Hollander per il confronto tra due coefficienti angolari	103
23.18. La regressione monotonica di Iman-Conover	109
23.19. Trend lineare di Armitage per le proporzioni e le frequenze	116
23.20. Altri test (obsoleti) per la correlazione parametrica e non parametrica: concetti e classificazione	121
23.21. La distribuzione puntuale della correlazione biseriale e il confronto con il test $t$ di Student per due campioni indipendenti	123

23.22. La correlazione biseriale	131
23.23. La correlazione tetracorica	139

#### 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 E LA SUA PROPAGAZIONE

27.1. Accuratezza, precisione, errore implicito ed esplicito, numero di cifre significative e regole dello zero	1
27.2. Quante cifre significative rilevare?	15
27.3. Le caratteristiche di uno strumento	22
27.4. Il confronto tra due misure: accordo, discrepanza e differenza	26

27.5. Propagazione dell'incertezza o analisi dell'errore: il numero di cifre significative nel risultato di operazioni matematiche	29
<i>A - Addizione e sottrazione</i>	34
<i>B - Moltiplicazione e divisione</i>	40
<i>C - Moltiplicazione o divisione per una costante</i>	44
<i>D - Elevamento a potenza e radice</i>	46
<i>E - Mescolanza di più operazioni</i>	48
27.6. Esempi e calcoli della propagazione dell'incertezza in varie funzioni	50
27.7. Test di equivalenza di una misura con lo standard	57
27.8. La propagazione non lineare dell'incertezza	59
27.9. L'incertezza standardizzata di tipo A e di tipo B; la Combined Standard Uncertainty e la Expanded Uncertainty	61
27.10. Metodi statistici rapidi per stime dell'incertezza, fondati su modelli di distribuzione delle misure	65
27.11. Numero minimo di misure per ottenere una media con l'errore massimo prescelto	74

#### 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 3400 pagine**

telefonando ai numeri indicati

Prof. Lamberto Soliani

Parma, 30 marzo 2007