



Classificazione Decimale Dewey:

501 (23.) SCIENZE NATURALI E MATEMATICA. FILOSOFIA E TEORIA

LEOPOLDO TRIESTE

PROPEDEUTICA ALLE SCIENZE SPERIMENTALI

**INTRODUZIONE AL METODO SCIENTIFICO
E ALL'INFERENZA STATISTICA
GUIDA A USO DEGLI STUDENTI**





ISBN
979-12-218-1495-8

PRIMA EDIZIONE
ROMA 24 SETTEMBRE 2024

«È interessante notare che sono
quasi sempre il sole e la luna
a rimanere più a lungo animati.
Sono infatti i soli corpi il cui moto
sembri altrettanto spontaneo
quanto quello degli animali.»

J. Piaget

«Nulla di grande è stato compiuto
nel mondo senza passione.»

G.W.F. Hegel

INDICE

13	<i>Introduzione</i>
----	---------------------

PARTE I

Introduzione al metodo scientifico

21	Capitolo I Perché la scienza? 1.1. Il cosa e il come, 23 – 1.2. Come definire la scienza?, 24
27	Capitolo II Il metodo scientifico 2.1. Il racconto della scienza, 27 – 2.2. Gli albori della scienza moderna, 29 – 2.3. Un rinnovato interesse per i classici, e per la natura, 30 – 2.3.1. <i>Aristotele e la fisica</i> , 30 – 2.4. L'indipendenza della filosofia, 32 – 2.5. Da Copernico a Galileo, 32 – 2.6. Keplero, 34 – 2.7. Galileo, 34 – 2.7.1. <i>Le teorie sostenute da Aristotele</i> , 35 – 2.7.2. <i>Il sapere esclusivamente dedotto</i> , 38 – 2.7.3. <i>Le proprietà qualitative e quantitative</i> , 39 – 2.7.3.1. <i>Il fisico e l'astronomo</i> , 39 – 2.7.4. <i>L'identità di esperienza e ragione</i> , 42 – 2.7.4.1. <i>Quali origini ha l'identità tra ragione ed esperienza?</i> , 43 – 2.7.4.2. <i>Quali conseguenze?</i> , 44 – 2.7.5. <i>Il modello galileiano di indagine scientifica</i> , 47 – 2.8. Newton, 48 – 2.8.1. <i>Le leggi e le forze della natura</i> , 49 – 2.8.2. <i>Il metodo newtoniano</i> , 50
53	Capitolo III Il metodo scientifico oggi 3.1. Il riduzionismo e l'individualismo metodologico, 54 – 3.1.1. <i>Il riduzionismo trasversale</i> , 54 – 3.1.2. <i>Il riduzionismo orizzontale (o metodologico)</i> ,

56 – 3.1.3. *Il riduzionismo analitico*, 58 – 3.2. Falsificabilità delle proposizioni, 60 – 3.3. Indipendenza delle osservazioni, 60 – 3.4. Riproducibilità degli esperimenti e dei risultati, 61 – 3.5. Ciò che non può essere misurato non è scientifico, 62 – 3.6. I modi di ragionare della scienza, 62 – 3.7. Programmare o essere anarchici?, 66 – 3.7.1. *Basta che funzioni*, 70 – 3.8. Scienza e tecnologia: l'altro lato dell'analogia, 70 – 3.9. Le barriere alle nuove teorie scientifiche, 71 – 3.9.1. *Effetti Colombo e ingegnere*, 71 – 3.10. Lo scopo della scienza, 73

PARTE II

Come si diventa scienziati

79 Capitolo iv

Come si diventa scienziati

4.1. Ridiventare bambini, 80 – 4.2. La cultura scientifica e l'interazione sociale, 85

89 Capitolo v

Cosa manca al bambino per diventare scienziato

5.1. Essere riduttivi e vivere felici, 91 – 5.2. L'abito scientifico serve a tradurre la realtà, 92

PARTE III

Le fasi della ricerca sperimentale

101 Capitolo vi

Le idee, la creatività

6.1 Approcci complementari, 101 – 6.1.1. *Primo approccio*, 101 – 6.1.2. *Secondo approccio*, 102 – 6.2. Il pensiero creativo, 103 – 6.3. Teorie psicologiche della creatività, 104 – 6.3.1. *La creatività nella fenomenologia e nella Gestalt*, 105 – 6.3.2. Teorie psicoanalitiche della creatività, 105 – 6.3.2.1. Jaspers, 106 – 6.3.2.2. Jung, 107 – *Cosa insegnano i miti del processo di creazione*, 109 – *Meccanismi e costanti nel processo di creazione*, 109 – *Creazione e sacrificio*, 109 – *Sentimenti della creazione*, 110 – *Il demiurgo o l'artigiano*, 111 – 6.3.3. *La prospettiva comportamentistica*, 113 – 6.3.4. *La prospettiva cognitivista*, 113 – 6.3.5. *Razionalità, incertezza procedurale e creatività*, 114 – 6.3.6. *La prospettiva storico-culturale*, 115 – 6.3.6.1. *Creatività e stimoli artificiali*, 116 – 6.3.6.2. *Creatività: stimoli e risultati*, 120 – 6.3.7. *La mente creativa nelle neuroscienze*, 122 – 6.3.7.1. *Pattern stabili*, 123 – 6.3.7.2. *Novità e corteccia prefrontale*, 124 – 6.3.7.3. *La salienza*, 125 – 6.3.7.4. *Intuizione e ragione nella decisione*, 126 – 6.4. I tipi di cambiamento, 126 – 6.5. Le fasi del processo creativo, 127 – 6.6. L'impatto del pensiero creativo, 128

131 Capitolo VII

Il pensiero laterale

7.1. Cos'è il pensiero laterale, 131 – 7.2. Creatività e pensiero laterale, 133 – 7.2.1. *Differenze tra pensiero obliquo, veloce, laterale*, 135 – 7.2.2. *Pensiero laterale, razionalità e massimizzazione*, 136 – 7.2.3. *Fiducia e comportamento laterale*, 138 – 7.2.4. *Pensiero laterale e pensiero*, 139 – 7.3. Come funziona il pensiero laterale?, 140 – 7.3.1. *Grammatica e retorica del pensiero laterale*, 140 – 7.3.2. *La grammatica del pensiero laterale*, 141 – 7.3.3. *L'oggetto di partenza e il risultato*, 144 – 7.3.4. *Almeno due meccanismi di trasformazione*, 146 – 7.4. La gestione della nuova idea, 147 – 7.4.1. *Marketing laterale e sociale nelle scienze*, 147

149 Capitolo VIII

Dalle idee al modello

8.1. Cos'è un modello, 149 – 8.1.1. *Costruzione di un modello*, 150 – 8.1.2. *Errori concettuali*, 151 – 8.1.3. *La costruzione del modello*, 151 – 8.1.4. *Approccio qualitativo o quantitativo?*, 154

157 Capitolo IX

Gli approcci fenomenologico e fisico

10.1. L'approccio fenomenologico, 157 – 9.2. L'approccio fisico, 159 – 9.2.1. *Verità sperimentali, teoremi matematici*, 162 – 9.2.2. *Determinismo e modelli statistici*, 163 – 9.2.3. *Equilibrio e non equilibrio*, 165 – 9.2.4. *L'approccio fisico e le scienze sociali*, 166 – 9.3. Dal modello statistico al modello inferenziale, 166 – 9.4. Perché la statistica, 168 – 9.5. L'approccio classico frequentista, 169 – 9.5.1. *Approccio di Fisher*, 169 – 9.5.2. *L'approccio di Neyman-Pearson*, 169 – 9.5.3. *Le differenze concettuali*, 170 – 9.6. Non confondere il mezzo con il fine, 171 – 9.7. Non confondere l'associazione con la causa, 172 – 9.7.1. *Che cos'è il caso*, 174 – 9.8. L'approccio Bayesiano, 175 – 9.8.1. *Probabilità oggettive e soggettive*, 175 – 9.8.2. *Il processo di apprendimento Bayesiano*, 176 – 9.8.3. *La diffusione dell'approccio Bayesiano*, 177 – 9.9. Inferenza abduzione, 177

179 Capitolo X

Il disegno dello studio sperimentale

10.1. I trade off della sperimentazione, 180 – 10.2. I costi della sperimentazione, 181 – 10.3. L'accesso come diffusione, 181 – 10.4. Qualità, 181 – 10.5. Qualità, accuratezza, semplicità ed eleganza, 183 – 10.5.1. *Eстетica e scienza*, 184 – 10.6. Esperimenti e fallimenti, 184 – 10.6.1. *L'arte dell'esperimentale design*, 185 – 10.6.2. *L'esperimento in ambito psicologico*, 186 – 10.6.2.1. *Esperimento di Asch*, 186 – 10.6.2.2. *Commento agli esperimenti di Asch*, 188 – Esperimento del 1955, 188 – 10.6.3. *Esperimenti della fisica*, 189 – 10.6.3.1. *La vita media dei mesoni*, 189 – 10.6.3.2. *Il rivelatore di mesoni*, 190 – 10.6.3.3.

I mesoni come orologi, 191 – 10.6.3.4. *La caratteristica degli esperimenti in fisica*, 192 – 10.6.4. *Esperimenti in biologia*, 193 – 10.6.5. *Esperimenti nell'ambito della consumer neuroscience*, 195 – 10.7. Tipo di studi e l'experimental design, 196 – 10.7.1. *Gli studi osservazionali e interventistici*, 196

199 Capitolo xi

Raccolta dei dati e loro struttura

11.1. Come raccogliere i dati?, 199 – 11.1.1. *Errori di misura*, 201 – 11.2. La struttura dei dati raccolti, 201 – 11.3. Analisi preliminare dei dati raccolti, 201 – 11.3.1. *Analisi descrittiva*, 202 – 11.3.2. *Analisi esplorativa dei dati*, 202 – 11.3.2.1. *Precondizioni*, 202 – 11.3.2.2. *Tipi di analisi: idee e obiettivi*, 203

205 Capitolo xii

Inferenze e risultati

12.1. Prime inferenze, 205 – 12.2. Stima e verifica delle ipotesi, 206 – 12.3. Scoperte casuali, 206

PARTE IV

La tesi sperimentale

213 Capitolo xiii

La tesi sperimentale

13.1. Come scegliere un argomento di tesi, 213 – 13.2. Programmare il percorso di tesi, 215 – 13.3. Non potete fare da soli, 217

219 Capitolo xiv

Le forme della tesi

14.1. La tesi come forma letteraria, 219 – 14.2. La tesi come forma musicale, 220 – 14.3. La tesi come story telling, 222 – 14.3.1. *Il mondo*, 222 – 14.3.2. *L'obiettivo*, 223 – 14.3.3. *Problemi e interrogativi drammatici*, 224 – 14.3.4. *Il finale*, 224 – 14.4. La tesi come azione di marketing, 225 – 14.5. Elementi di una tesi sperimentale, 226

229 Capitolo xv

I volti della ricerca sperimentale nella tesi

15.1. Gli atteggiamenti per scrivere la tesi, 229

233 Capitolo xvi

Stile e retorica della scienza, e nella tesi

16.1. Come scegliere il titolo della tesi e dei capitoli, 233 – 16.2. Lunghezza, scrittura e stile, 234 – 16.3. Altre indicazioni, 238 – 16.4. La presentazione dei risultati, 239

PARTE V

Principi e metodi statistici

- 245 Capitolo xvii
 La statistica
 17.1. La probabilità oggettiva, 246 – 17.1.1. *Eventi indipendenti*, 247 – 17.1.2. *Probabilità condizionata*, 248 – 17.2. La variabile aleatoria e le funzioni associate, 249 – 17.2.1. *Funzioni della variabile aleatoria*, 251 – Entropia, 252 – 17.3. Statistiche, 252 – 17.4. Misura e calcolo degli errori, 253
- 255 Capitolo xviii
 L'inferenza
 18.1. Stima di parametri (approccio di Fisher), 255 – 18.2. Metodo della massima verosimiglianza (Fisher), 255 – 18.3. Proprietà degli stimatori, 257 – 18.4. La verifica di ipotesi e il p-value, 258 – Confronto tra medie di due gruppi, 264 – 18.5. Stima intervallare, 265 – 18.6. Inferenza non parametrica, 266 – 18.7. Importanza dell'analisi descrittiva prima della stima, 271
- 275 Capitolo xix
 Approccio di Neyman-Pearson
 19.1. Formulazione dell'ipotesi, 275 – 19.2. Determinazione dell'area di rifiuto, 276 – 19.2.1. *Proprietà del test*, 276 – 19.2.2. *Il lemma di Neyman-Pearson*, 277
- 281 Capitolo xx
 Dimensione campionaria
- 287 Capitolo xxi
 Il modello lineare
 21.1. Il modello, 287 – 21.1.1. *Stima dei coefficienti, in pratica*, 289 – 21.2. Analisi e interpretazione dei risultati, 289 – 21.2.1. *La valutazione e l'interpretazione del modello lineare*, 289 – 21.2.2. *La diagnosi del modello*, 291 – 21.3. Identificazione dei dati anomali, 296 – 21.4. Analisi della varianza, 297 – 21.4.1. *Cosa succede se non si randomizza*, 299 – 21.4.2. *La randomizzazione negli studi clinici*, 302 – 21.5. Endogeneità e coevoluzione, 303 – 21.6. Effetti di mediazione e moderazione, 304 – 21.7. Regressione con dati panel, 305 – 21.8. Modello lineare generalizzato e altri modelli, 310 – 21.8.1. *La lettura della stima*, 311 – 21.9. Regressione stepwise, 312 – 21.10. Regressione non lineare, 313 – 21.11. Modelli a equazioni strutturali, 314 – 21.12. Serie storiche, 314 – 21.12.1. *Modello di serie storica*, 315 – 21.12.2. *La caduta dei gravi come serie storica*, 316 – 21.12.3. *Analisi spettrale e periodogramma*, 320

321 Capitolo xxii

Come gestire piccoli campioni

22.1 Dati mancanti, 321 – 22.1.1 Tipi di dati mancanti, 322 – 22.1.2. Tecniche di gestione dei dati mancanti, 322 – *Eliminazione*, 322 – *Imputazione per singolo dato mancante*, 323 – *Imputazione multipla*, 323 – 22.2. Disegno dello studio e analisi della varianza, 324 – 22.2.1. *Experimental design per piccoli campioni*, 324 – 22.2.2. *Piccoli campioni e assunzioni per l'ANOVA*, 325 – 22.3. Piccoli campioni e bootstrapping, 325 – 22.3.1. *Piccoli campioni e Jackknife*, 326

329 Capitolo xxiii

L'inferenza da un punto di vista bayesiano

23.1. L'inferenza da un punto di vista Bayesiano, 330 – 23.4. Scelta della distribuzione a priori, 333 – 23.4.1. Statistica Bayesiana non parametrica, 334 – 23.3. Determinazione della distribuzione a posteriori, 335 – 23.4. Approccio Bayesiano e piccoli campioni, 336 – 23.5. Oggettività della soggettività, 336 – 23.6. Conclusioni, 337

339 *Bibliografia*

347 *Appendice A. Introduzione all'uso di R*

357 *Appendice B. Come costruire questionari*

363 *Appendice C. Alcune distribuzioni importanti*

INTRODUZIONE

Per pianificare, condurre e portare a termine una buona ricerca sperimentale occorre possedere doti organizzative e di *leadership* ma, innanzi tutto, e soprattutto, è necessario pensare scientificamente. Lo spirito scientifico è un *abito generale*. Avere o imparare a portare questo abito è, potremmo dire, una preconditione per ogni attività scientifica. Ma è la cosa più difficile e importante. “Il difficile a conseguire non è la scienza, ma lo spirito scientifico atto a edificarla” (Gabelli, cit. in Ciari 1973). Lo spirito scientifico non è altro che un modo per “considerare ogni aspetto della realtà fisica, naturale, economica e sociale, col metodo dell’esame dei fatti e della verifica sperimentale” (Ciari 1973).

L’obiettivo principale del presente lavoro è offrire agli studenti indicazioni e strumenti per imparare a pensare scientificamente: formulare domande e ipotesi di ricerca, pianificare e implementare *esperimenti* volti a verificarle attraverso la raccolta e l’analisi dei dati.

In sintesi, si vuole offrire un metodo per *pensare*, appunto, scientificamente, evitando di condurre studi e analisi dai risultati non attendibili per la mancanza di rigore metodologico.

Il rigore metodologico, tuttavia, non è l’obiettivo ma il contenuto di un insieme di pratiche che definiscono un’arte: l’arte della ricerca scientifica. Giustamente Beveridge (1927) parlava di “arte” perché nessun metodo scientifico garantisce l’emergere di un fatto nuovo o una scoperta, né la formulazione d’ipotesi è determinata, né esiste un solo

modo per la scelta delle variabili o per definire il *setting* sperimentale per verificare le ipotesi. Ma, solo attraverso regole date e criteri rigorosi di analisi possono esprimersi la fantasia, l'ingegno e l'intuizione.

Pensare in modo scientifico, appropriarsi di determinate tecniche non è riduttivo, anzi la conoscenza del metodo e delle tecniche è indispensabile per valorizzare le capacità, le sensibilità e le curiosità di chi non vive con gli occhi chiusi o la testa fissa a terra, ma ha il desiderio di comprendere il mondo che gli sta davanti mettendo in relazione gli elementi della sua esperienza, cercando regolarità per formulare leggi che permettano di fare previsioni. Questo è anche un libro di pratiche.

Il presente lavoro vuole colmare una lacuna: si rivolge soprattutto a quegli studenti che, per diverse ragioni, ad es. per mancanza di corsi propedeutici, per il tipo di studi, per il tipo di approccio seguito, per il tipo di facoltà o corsi frequentati, non sono mai stati abituati a pensare scientificamente e che, volendo impegnarsi in una tesi sperimentale, non hanno né gli strumenti né l'attitudine per pianificare e condurre in modo rigoroso le attività di ricerca.

Il testo si rivolge agli studenti che hanno il fuoco dentro: la curiosità di capire e di non accettare le cose come date, che riflettono su ciò che è scontato e apparentemente ovvio. In qualche modo è un libro che cerca di organizzare il generale scetticismo degli studenti, la critica e spesso ipercritica ai modi di fare e insegnare, alle istituzioni e alla società, cercando di valorizzarli in un percorso che Schumpeter chiamerebbe di distruzione creatrice. Se organizzata, pianificata e coltivata con metodo e abnegazione, la creatività del senso critico non è sterile ma feconda di piccole o grandi soddisfazioni che contribuiscono alla crescita personale e al progresso di una civiltà. Da un'altra prospettiva si intende fornire una guida per sfruttare la propria follia (lo sguardo diverso dagli altri sulle cose) rendendola utile a sé stessi e alla comunità in cui si vive.

Struttura della guida

Articolata in V parti, la guida permette una prima ricognizione sul metodo e sul processo di ricerca teorica e sperimentale. Le parti I-III, insieme alla parte IV dedicata alle caratteristiche, alla struttura e al modo

di scrivere una tesi sperimentale, costituiscono un corpo coerente ed esaustivo. La parte V approfondisce i temi statistici per permettere allo studente di comprendere i principi, le ragioni e le procedure per la stima di parametri e la verifica di ipotesi. La guida non è un testo avanzato di statistica, alcuni temi sono solo accennati (ad es. l'analisi esplorativa dei dati, le equazioni strutturali, o l'analisi delle serie storiche) e non ci sono dimostrazioni. Ci sono infatti moltissimi libri di statistica, migliaia di *tutorial* su internet, centinaia di migliaia di spiegazioni e testi divulgativi relativi all'uso della statistica. Tuttavia, o proprio per questa disponibilità non filtrata, senza un criterio di selezione che faccia riferimento ai principi, ai campi di applicazione, ai limiti e alle potenzialità degli strumenti, è facile perdere l'orientamento o, peggio, fraintendere il ruolo della statistica inferenziale negli studi sperimentali e nell'analisi dei campioni di dati osservati. L'esempio più emblematico riguarda la pericolosa separazione tra gli obiettivi della stima o della verifica di ipotesi, da una parte, e l'analisi dei campioni, dall'altra, come se i *test* fossero rivolti a verificare ipotesi sul campione di dati osservati invece di riguardare le caratteristiche di una popolazione. Già non confondere il mezzo con il fine è indispensabile per capire la maggior parte degli strumenti statistici a disposizione delle scienze sperimentali. Così un testo di metodologia della ricerca ha innanzitutto l'opportunità di ristabilire la giusta prospettiva. Lo studente sarà inoltre introdotto a un approccio alternativo alla statistica frequentista classica: il metodo di apprendimento Bayesiano.

Volendo mantenersi il più vicino alla prassi dell'analisi statistica, questa parte tecnica adotta il linguaggio del *software* libero R. Un'introduzione al software è presente in appendice.

PARTE I

INTRODUZIONE AL METODO SCIENTIFICO

La prima parte della guida raccoglie tre capitoli introduttivi al metodo scientifico.

Il capitolo 2 introduce il tema della ricerca scientifica e si domanda se sia possibile o utile identificare un metodo, un approccio generale, un metodo insegnabile, alla luce della grande eterogeneità delle scienze e, all'interno di ogni scienza, dei paradigmi di indagine. Nel capitolo 3 si presenterà la storia della nascita della scienza moderna e il capitolo 4 mostrerà le analogie e le differenze con l'attuale metodo di indagine. Il quarto capitolo offre anche una descrizione sintetica di come evolve la scienza: come si diffondono le nuove idee, scoperte e teorie, e quali barriere incontrano per affermarsi.

Il lettore attento potrà fare un'obiezione forte come la delusione che l'ha generata. Devo imparare a disegnare e portare avanti una ricerca scientifica, a raccogliere e analizzare i dati, perché dovrei capire cosa dicono filosofi o scienziati sociali sulle cause sociologiche o religiose dei cambiamenti di paradigmi e degli ostacoli alla diffusione delle teorie scientifiche? Perché perdere tempo?

Chi fa scienza non vive in un'isola deserta. Un conto è non avere interessi per aspetti della propria disciplina che si conoscono, una cosa è ignorarli del tutto. È essenziale che oltre a sapere come si disegna un esperimento e si verifica un'ipotesi di ricerca, lo studente o il ricercatore

sappia muoversi tra le regole, i meccanismi e la prassi di una comunità (la comunità scientifica): come si diffondono meglio le idee, si difendono le teorie e gli esperimenti compiuti, si suggeriscono, si promuovono i cambiamenti di prospettiva. Queste nozioni, di solito, non si insegnano in un corso di metodologia della ricerca ma sono altrettanto necessarie ed essenziali come saper interpretare l'esito di un test statistico. Testi come quelli di Kuhn, di Lakatos o Feyerabend possono illuminare il lettore, non per sapere quale analisi sui dati è meglio condurre, ma per imparare a capire come si muove il mondo in cui si fa ricerca e quali variabili determinano il successo e il fallimento delle teorie, il rispetto e la considerazione o l'indifferenza verso esperimenti e risultati, lo sviluppo della conoscenza e il cambiamento delle prospettive di analisi. Infatti, un primo insegnamento essenziale è che non basta avere idee brillanti e fare esperimenti rivoluzionari. Anzi, più si è creativi e rivoluzionari, tanto più si dovrà faticare e lottare per difendere e promuovere le proprie idee.

Una seconda perplessità può nascere ex-post, dopo aver letto i capitoli introduttivi. Infatti, si parla dei principi e dei metodi della scienza moderna dicendo che questa ha rotto il passato con la filosofia, ma il discorso che spiega i motivi di questa rottura o indipendenza sono espressi in termini storici e filosofici, non scientifici. Così, se la filosofia è accompagnata alla porta, la si fa rientrare dalla finestra. La realtà è che le ragioni e i motivi del fare scienza non possono essere cercati nella scienza stessa, ma occorre un discorso più ampio dove sia possibile guardare alla scienza come una parte, nell'insieme dei saperi.