

Sharon Bertsch
McGrayne

LA TEORIA CHE NON VOLEVA MORIRE

Come la formula di Bayes ha decifrato il codice Enigma, ha dato la caccia ai sottomarini russi ed è emersa trionfante da due secoli di controversie

scienza **FA**



FrancoAngeli

scienza **FA**

Una collana di saggi per il lettore non specialista:
per comprendere la realtà che ci circonda

Collana diretta da:
Renato Betti, Politecnico di Milano
Roberto Lucchetti, Politecnico di Milano
Giuseppe Rosolini, Università di Genova

Sharon Bertsch
McGrayne

LA TEORIA CHE NON VOLEVA MORIRE

Come la formula di Bayes ha decifrato il codice Enigma,
ha dato la caccia ai sottomarini russi ed è emersa
trionfante da due secoli di controversie

scienza **FA**

FrancoAngeli

Progetto grafico di copertina: Geraldine D'Alessandris

*Titolo originale: The Theory That Would Not Die.
How Bayes' Rule Cracked the Enigma Code,
Hunted Down Russian Submarines
and Emerged Triumphant from Two Centuries of Controversy*
Yale University Press, New Haven & London, 2011

Copyright © 2011 by Sharon Bertsch McGrayne
Originally published by Yale University Press
All rights reserved

Traduzione dall'inglese: Pierluigi Micalizzi

Copyright © 2022 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito www.francoangeli.it.

Quando i fatti cambiano, io cambio opinione. Lei cosa fa?

John Maynard Keynes

Indice

Prefazione all'edizione paperback	pag.	9
Prefazione e nota per i lettori	»	11
Ringraziamenti	»	15

Parte 1 – Illuminismo e reazione antibayesiana

1. Cause nell'aria	»	19
2. L'uomo che fece tutto	»	32
3. Molti dubbi, pochi difensori	»	60

Parte 2 – L'epoca della Seconda guerra mondiale

4. Bayes va in guerra	»	97
5. Morto e sepolto nuovamente	»	132

Parte 3 – Il glorioso revival

6. Arthur Bailey	»	137
7. Da strumento a teologia	»	145

8. Jerome Cornfield, il tumore polmonare e l'infarto	pag. 160
9. C'è sempre una prima volta	» 174
10. 46.656 varietà	» 187

Parte 4 – Per dimostrarne il valore

11. Decisioni aziendali	» 201
12. Chi scrisse i <i>Federalist Papers</i> ?	» 221
13. Il guerriero di ghiaccio	» 232
14. Three Mile Island	» 250
15. Le ricerche della marina	» 257

Parte 5 – Vittoria

16. Eureka!	» 297
17. Le steli di Rosetta	» 324
Epilogo	» 348
Appendice A. Il registro del dr. Fisher: il dottore vede la luce, di <i>Michael J. Campbell</i>	» 355
Appendice B. Il teorema di Bayes in pratica	» 357
Glossario per lettori non matematici	» 370
Bibliografia	» 373
Consigli di lettura	» 415

Prefazione all'edizione paperback

Quando iniziai a lavorare a questo libro, il teorema di Bayes era quasi sconosciuto fuori dalla cerchia degli addetti ai lavori. Mi ricordo ancora la felicità quando cercai sul web la parola “bayesiano” nel 2003 e trovai 100.000 siti web. Nel momento in cui sto scrivendo questa Prefazione, i motori di ricerca producono 14 milioni di occorrenze. L'interesse tecnico e scientifico per Bayes è esploso. Un cambiamento di rotta radicale.

Ma dalla pubblicazione di questa edizione, Bayes si è imposto anche come un'autentica icona del processo decisionale basato sui dati e del pensiero scientifico.

John Allen Paulos ha dato un consiglio ai lettori della *New York Times Book Review*: “Se non pensate come un bayesiano, forse dovrete iniziare a farlo”.

Alan Krueger, capo-consigliere economico dell'ex Presidente Obama, ha parlato del libro in questi termini con un intervistatore: “Il teorema di Bayes è una teoria statistica con una storia lunga e interessante. È importante per prendere decisioni, per capire quanto fermamente si dovrebbe restare fedeli alle proprie opinioni e quanto le si dovrebbe rivedere sulla base di nuove informazioni. In modo intuitivo usiamo Bayes tutti i giorni”.

Perciò, malgrado per una buona parte del scorso secolo la parola “Bayes” sia stata considerata troppo problematica per essere utilizzata, oggi il teorema di Bayes non è più solo per gli adepti. Per esempio, quando stava per uscire l'edizione rilegata di questo libro, nel 2011,

il governo francese attribuì all'utilizzo di metodi bayesiani il ritrovamento del relitto del volo Air France 447, dopo due anni di ricerche. Questo straordinario episodio è raccontato nell'Epilogo del libro.

Naturalmente, non posso che essere felice per i risultati conseguiti da Bayes. Quando iniziai a lavorare a questo libro, consideravo le fantastiche storie dei processi a Bayes e i suoi successi un modo per informare i lettori di una rivoluzione scientifica in grado di fornire uno strumento per affrontare i problemi della conoscenza. Ma, quasi immediatamente, il teorema di Bayes diventò qualcosa di più per me.

Nell'epoca dogmatica nella quale stiamo vivendo, Bayes ci dice che è possibile affrontare una situazione partendo da un'idea approssimata. Il reverendo Thomas Bayes consigliava di cominciare con una "congettura" e, in assenza di altre informazioni, assegnare una probabilità di 50-50. Ma poi il teorema di Bayes ci impone di modificare le nostre idee iniziale ogniqualevolta otteniamo una nuova informazione. E l'impegno costante a cambiare idea in base alle nuove conoscenze esercita su di me una profonda attrazione.

Le recensioni di questo libro sono state sorprendentemente entusiastiche. Ma molti lettori e recensori hanno richiesto un maggior numero di problemi in cui si potesse vedere Bayes all'opera. Pertanto, questa edizione comprende un'Appendice ampliata in cui vengono presentati diversi facili problemi bayesiani relativi all'emofilia, al tragico caso di errore giudiziario di Sally Clark, alla localizzazione di imbarcazioni scomparse in mare e all'efficacia degli a priori soggettivi quando si dispone di pochi dati. Ogni problema illustra un particolare risolto del teorema di Bayes e intendo ringraziare John Carlin, Daniel Gianola, Ray Hill, Albert Madansky e Henry R. "Tony" Richardson per il loro contributo.

Altri lettori hanno chiesto letture supplementari di difficoltà intermedia tra questo libro e quelli elencati nella Bibliografia, dopo la quale ho aggiunto alcuni consigli di lettura.

Per finire, vorrei ribadire la mia gratitudine a tutti coloro che mi hanno aiutata nella realizzazione di questo libro e che mi hanno incoraggiata in questo primo anno dalla pubblicazione.

Sharon Bertsch McGrayne

Seattle, agosto 2012

Prefazione e nota per i lettori

In un celebre esempio di impresa scientifica che non ha avuto successo, i geologi hanno accumulato prove a favore di quella che nel 1912 hanno definito la “deriva dei continenti” per poi sostenere durante i successivi cinquant’anni che i continenti non possono muoversi.

La battaglia scientifica che ha interessato il teorema di Bayes è sicuramente meno nota ma è durata molto più a lungo, 150 anni. Essa ha riguardato una questione più ampia e fondamentale: come analizzare le prove, cambiare idea quando si ottengono nuove informazioni e prendere decisioni razionali in situazioni di incertezza. E la questione non si è risolta fino agli inizi del Ventunesimo secolo.

In prima istanza, il teorema di Bayes è semplice e lineare: aggiornando l’ipotesi iniziale con nuove informazioni oggettive, otteniamo una nuova ipotesi più accurata. Per i suoi sostenitori, si tratta di un’asserzione elegante che riguarda l’apprendimento dall’esperienza. Generazioni di convertiti ricordano di aver vissuto una sorta di epifania religiosa nel cadere sotto l’influsso della sua logica interna. I suoi oppositori, invece, considerano il teorema di Bayes come la fiera della soggettività.

La formula di Bayes mosse i primi passi all’interno di una disputa religiosa al calor bianco nell’Inghilterra degli anni Quaranta del Settecento: possiamo giungere a conclusioni razionali su Dio basate sull’evidenza disponibile nel mondo intorno a noi? Un matematico dilettante, il reverendo Thomas Bayes, scoprì la formula e oggi lo

celebriamo come il padre iconico della teoria delle decisioni. Ma Bayes consegnò la sua scoperta all'oblio. Ai suoi tempi, egli era una figura minore e oggi conosciamo la sua opera solo grazie al suo amico e curatore Richard Price, un eroe quasi dimenticato della Rivoluzione americana.

Di norma, il teorema di Bayes dovrebbe portare il nome di un altro: un francese, Pierre Simon Laplace, uno dei più grandi matematici e scienziati di tutti i tempi. Per venire a capo di un flusso di dati senza precedenti, Laplace scoprì in modo autonomo la formula nel 1774. Nei quarant'anni successivi, egli la sviluppò fino a darle la forma che oggi conosciamo. Applicando il suo metodo, Laplace concluse che un fatto consolidato – che nascono più maschi rispetto alle femmine – era quasi certamente da considerarsi il risultato di una legge naturale. Solo la convenzione storica ci costringe a chiamare la scoperta di Laplace teorema di Bayes.

Dopo la morte di Laplace, i ricercatori e gli accademici che cercavano risposte precise e oggettive ritenevano il suo metodo soggettivo, morto e sepolto. Ma al contempo, chi intendeva risolvere problemi pratici per affrontare le emergenze del mondo reale vi faceva ricorso. Durante la Seconda guerra mondiale si ottenne un successo spettacolare quando Turing utilizzò Bayes per decifrare Enigma, il codice segreto della marina tedesca, contribuendo in questo modo a salvare la Gran Bretagna e ad aprire la strada ai computer e ai software moderni. Anche altri matematici eminenti – Andrej Kolmogorov in Russia e Claude Shannon a New York – utilizzarono Bayes per prendere decisioni relative alla guerra.

Negli anni in cui i teorici della torre d'avorio credevano di aver neutralizzato Bayes, il suo metodo consentì di calcolare gli indennizzi assicurativi per i lavoratori negli Stati Uniti; di salvare il sistema della Bell Telephone dal panico finanziario del 1907; di fare uscire Dreyfus dalle carceri francesi; di guidare l'artiglieria degli Alleati e di localizzare gli U-boot tedeschi; di individuare l'epicentro dei terremoti e di dedurre (erroneamente) che il nucleo della Terra è composto di ferro fuso.

Teoricamente, il teorema di Bayes era *verboten*, ma esso era in grado di operare con tutti i tipi di dati, scarsi o abbondanti che fossero. Durante la Guerra fredda, Bayes contribuì al ritrovamento di

una bomba H che mancava all'appello e a localizzare i sommergibili sovietici; ad analizzare la sicurezza delle centrali nucleari; a prevedere la tragedia del *Challenger*; a dimostrare che il fumo di sigaretta provoca il cancro ai polmoni e che il colesterolo provoca l'infarto miocardico; a prevedere i vincitori delle elezioni presidenziali nei notiziari televisivi più popolari e a molto altro ancora.

Altrimenti come avrebbero potuto scienziati razionali, matematici e statistici diventare così ossessionati da un teorema, tanto da trasformare la disputa in quella che un commentatore definì una lotta per la sopravvivenza? La risposta è semplice. In definitiva, Bayes si contrappone alla convinzione inveterata che la scienza moderna richieda oggettività e precisione. Bayes è un modo per valutare una credenza e afferma che possiamo imparare anche da dati inadeguati o insufficienti, dall'approssimazione e dall'ignoranza.

A causa di questa profonda divergenza filosofica, la storia del teorema di Bayes è la storia concreta di un piccolo gruppo di persone, che, pur incalzate, hanno continuato a credere nelle loro idee e hanno lottato per ottenere legittimazione e riconoscimento per la maggior parte del Ventesimo secolo. È la storia di un teorema che si è intrecciato ai segreti militari della Seconda guerra mondiale e della Guerra fredda; di un teorema in cerca di un computer e di un software. Ed anche la storia di un metodo che – ravvivato dagli outsider provenienti dalla fisica, dall'informatica e dall'intelligenza artificiale – è stato adottato quasi da un giorno all'altro perché funzionava. Con uno nuovo cambio di paradigma in direzione di un mondo pragmatico, l'uomo che aveva definito una delle principali tecniche bayesiane “la cocaina della statistica moderna [...] seducente, in grado di creare dipendenza, distruttiva” cominciò a reclutare bayesiani per Google.

Oggi, i filtri bayesiani antispam convogliano rapidamente le mail di contenuto pornografico o ingannevoli nel cestino dei nostri computer. Quando un'imbarcazione affonda, la Guardia costiera ricorre a Bayes e localizza i sopravvissuti che, magari, si trovano alla deriva da settimane. Gli scienziati scoprono i meccanismi di controllo e regolazione dei geni. Bayes vince anche premi Nobel. Il teorema di Bayes perlustra il web e vende film e canzoni. Esso si è aperto la strada nei campi dell'informatica, dell'intelligenza artificiale e del ma-

chine learning. Wall Street, astronomia e fisica, il Dipartimento della sicurezza interna degli Stati Uniti, Microsoft e Google: anche qui la presenza di Bayes è rilevante. Esso contribuisce a tradurre testi da una lingua a un'altra, abbattendo la plurimillennaria Torre di Babele mondiale; è diventato una metafora di come opera e apprende il nostro cervello. Bayesiani illustri sono persino diventati consulenti di agenzie governative per l'energia, l'istruzione e la ricerca.

Ma il teorema di Bayes non è solo un'oscura controversia scientifica che ha trovato una soluzione. Esso riguarda tutti noi. Si tratta di una logica di ragionamento che si applica a una vasta gamma di questioni della nostra vita che si trovano nel mezzo tra la verità assoluta e l'incertezza totale. Spesso disponiamo di informazioni che riguardano solamente una parte limitata delle questioni che ci interessano, ma tutti vorremmo prevedere qualcosa basandoci sulle nostre esperienze pregresse; le nostre credenze cambiano man mano che acquisiamo nuove informazioni. Dopo aver subito anni di fervente disprezzo, Bayes ha fornito un modo per pensare in modo razionale la realtà del nostro mondo.

Questa è la storia straordinaria di come è avvenuta questa trasformazione.

Ringraziamenti

Per la consulenza scientifica e per la pazienza dimostrata con chi ha posto una miriade di domande, sono profondamente grata a Dennis V. Lindley, Robert E. Kass e George F. Bertsch, che hanno letto e commentato in modo puntuale l'intero libro in una o più delle diverse stesure. Non avrei potuto scrivere questo libro senza George Bertsch, mio marito.

Per avermi fornito una guida preziosa in diversi passaggi cruciali, desidero esprimere la mia gratitudine a James O. Berger, David M. Blei, Bernard Bru, Andre I. Dale, Arthur P. Dempster, Persi Diaconis, Bradley Efron, Stephen E. Fienberg, Stuart Geman, Roger Han, R. "Tony" Richardson, Christina P. Robert, Stephen M. Stigler e David L. Wallace.

Molti altri specialisti hanno discusso con me, spesso a lungo, riguardo a certi periodi, problemi, dettagli e persone. Tra questi, il capitano Frank A. Andrews, Frank Anscombe, George Apostolakis, Robert A. e Shirley Bailey, Friedrich L. Bauer, Robert T. Bell, David R. Bellhouse, Julian Besag, Alan S. Blinder, George E.P. Box, David R. Brillinger, Brice Budowle, Hans Bühlmann, Frank Carter, Herman Chernoff, Juscelino F. Colares, Jack Copeland, Ann Cornifield, John Piña Craven, Lorraine Daston, Philip Dawid, Joseph H. Discenza, Ralph Erskine, Michael Fortunato, Karl Friston, Chris Frith John ("Jack") Frost, Dennis G. Fryback, Mitchell H. Gail, Alan E. Gelfand, Andrew Gelman, Edward I. George, Edgar N. Gilbert, Paul M. Goggans, I.J. "Jack" Good, Steven N. Goodman, Joel

Greenhouse, Ulf Grenander, Gerald N. Grob, Thomas L. Hankins, Jeffrey E. Harris, W. Keith Hastings, David Heckerman, Charles C. Hewitt Jr., Ray Hilborn, David C. Hoaglin, Antje Hoering, Marvin Hoffenberg, Susan P. Holmes, David Hounshell, Ronald H. Howard, David Howie, Bobby R. Hunt, Fred C. Iklé, David R. Jardini, William H. Jefferys, Douglas M. Jesseph.

E, ancora, Michael I. Jordan, David Kahn, David H. Kaye, John G. King, Kenneth R. Koedinger, Daphne Koller, Tom Kratzke, James M. Landwehr, Bernard Lightman, Richard F. Link, Edward P. Loane, Michael C. Lovell, Thomas L. Marzetta, Scott H. Matthews, John McCullough, Robert L. Mercer, Richard F. Meyer, Glenn G. Meyers, Paul J. Miranti Jr., il vice-comandante Dewitt Moody, il contrammiraglio Brad Mooney, R. Bradford Murphy, John W. Negele, il vice-ammiraglio John “Nick” Nicholson, Peter Norvig, Stephen M. Pollock, Theodore M. Porter, Alexandre Pouget, S. James Press, Alan Rabinowitz, Adrian E. Raftery, Howard Raiffa, John J. Rehr, John T. Riedl, Douglas Rivers, Oleg Sapozhnikov, Peter Schlaifer, Arthur Schelifer Jr., Michael N. Shadlen, Edward H. (“Ted”) Shortliffe, Edward H. Simpson, Harold C. Sox, David J. Spiegelhalter, Robert F. Stambaugh, Lawrence D. Stone, William J. Talbott, Judith Tanur, il Center for Defense Information, Sebastain Thrun, Oakley E. (Lee) Van Slyke, Gary G. Venter, Christopher Volinsky, Paul R. Wade, Jon Wakefield, Homer Warner, Frode Weierud, Robert B. Wilson, Wing H. Wong, Judith E. Zeh, Arnold Zellner.

Vorrei ringraziare due revisori esterni, Jim Berger e Andrew Dale; entrambi hanno letto attentamente il manoscritto e hanno fatto commenti utili per il suo miglioramento.

Molti amici e famigliari – Ruth Ann Bertsch, Ciandy Vahey Bertsch, Fred Bertsch, Jean Colley Genevra Gerhart, James Goodman, Carolyn Keating, Timothy W. Keller, Sharon C. Rutberg, Beverly Schaefer e Audrey Jensen Weitkamp – hanno fornito osservazioni cruciali. Ringrazio il personale della biblioteca di matematica dell’Università di Washington, la mia agente, Susan Rabiner, e il mio editor, William Frucht, che mi hanno costantemente sostenuta.

Nonostante i molti contributi, resta mia la responsabilità di eventuali errori nel testo.

Parte 1

Illuminismo e reazione antibayesiana

1

Cause nell'aria

Nel corso degli anni Quaranta del Settecento, il reverendo Thomas Bayes pervenne al geniale teorema che porta il suo nome, ma che in seguito abbandonò inspiegabilmente. Il teorema fu riscoperto in modo indipendente da un uomo molto più celebre, Pierre Simon Laplace, che gli conferì la sua moderna forma matematica e la sua applicazione scientifica, per poi passare ad altri metodi. Per quanto il teorema di Bayes abbia suscitato l'interesse dei maggiori statistici del Ventesimo secolo, alcuni di essi ne denigrarono tanto il metodo quanto i sostenitori, lo demolirono e ne decretarono la morte. Eppure si tratta dello stesso teorema capace di risolvere questioni pratiche irresolubili con altri metodi: lo utilizzarono i difensori del capitano Dreyfus per dimostrarne l'innocenza; lo usano gli assicuratori per decidere i premi; se ne servì Alan Turing per decrittare il codice di Enigma, salvando probabilmente gli Alleati dalla disfatta nella Seconda guerra mondiale; la Marina degli Stati Uniti lo utilizzò per ritrovare una bomba H che mancava all'appello e per localizzare i sommergibili sovietici; grazie a esso RAND Corporation calcolò la probabilità di un incidente nucleare e lo impiegarono anche i ricercatori di Harvard e Chicago per stabilire la paternità dei *Federalist Papers*. Quando i suoi fautori ne scoprirono il valore, sperimentarono una conversione quasi religiosa ma dovettero nascondere l'uso, fingendo di aver utilizzato altre risorse. Per cancellarne il discredito e vederne l'adozione entusiastica, si è dovuto attendere il nuovo millennio. La nostra storia ha inizio con un semplice esperimento mentale.

Poiché la lapide di Bayes attesta che egli morì all'età di 59 anni nel 1761, sappiamo che visse nel periodo in cui l'Inghilterra era impegnata in un faticoso ritorno alla normalità dopo due secoli di conflitti religiosi, la guerra civile e un regicidio. In quanto membro della Chiesa Presbiteriana, confessione che subì persecuzioni per non essersi assoggettata alla Chiesa Anglicana, Bayes era considerato un "dissenziante" o "nonconformista". Nell'epoca in cui visse la generazione del nonno, duemila dissenzianti avevano trovato la morte nelle prigioni inglesi. Al tempo di Bayes, la matematica era divisa tra politica e religione e molti prolifici matematici erano dilettanti, poiché, in quanto dissenzianti, non avevano accesso alle università inglesi¹.

Non potendo acquisire un titolo di studio in Inghilterra, Bayes studiò teologia e presumibilmente matematica presso l'Università di Edimburgo nella presbiteriana Scozia, dove, per sua fortuna, gli standard accademici erano molto più rigorosi. Nel 1711 si recò a Londra, dove il padre, ministro presbiteriano, lo ordinò sacerdote e probabilmente lo impiegò come assistente.

1. La data della morte e il ritratto di Bayes hanno generato due errori che hanno trovato grande diffusione. In primo luogo, secondo l'archivio del cimitero e altri documenti coevi raccolti dai suoi biografi Andrew Dale e David Bellhouse, Bayes fu tumulato il 15 aprile, che è spesso indicata come la data della morte. Può darsi che la condizione di degrado in cui versa la tomba abbia contribuito all'equivoco.

In secondo luogo, il ritratto più noto di Thomas Bayes raffigura quasi certamente un'altra persona il cui nome è "T. Bayes". L'immagine fu pubblicata per la prima volta nel 1936 nel libro *History of Life Insurance in Its Formative Years* di Terence O'Donnell. La didascalia della figura a pagina 335 recita "Rev. T. Bayes, Improver of the Columnar Method Developed by Barrett", ma Barrett mise a punto il suo metodo solamente nel 1810, mezzo secolo dopo la morte del "nostro" reverendo Thomas Bayes.

Bellhouse (2004) è stato il primo a notare che l'acconciatura del ritratto è anacronistica. Osservazione con cui concorda Sharon North, curatrice della sezione Textiles and Fashion del Victoria and Albert Museum di Londra: "L'acconciatura di questo ritratto ha uno stile proprio del Ventesimo secolo [...] L'abito ecclesiastico è sempre di difficile datazione, in quanto le tonache e le fasce (collari) cambiano poco nel corso del tempo. Tuttavia, direi che l'acconciatura della persona [...] non corrisponde a quella dell'epoca (intorno al 1750). Per il ritratto avrebbe dovuto indossare una parrucca. I sacerdoti indossavano un tipo particolare di parrucca a caschetto (che prese il nome di "parrucca all'ecclesiastica"), un posticcio con taglio molto corto di crini di cavallo tinti di bianco".