

IL METODO SCIENTIFICO

Alessandro Marani – Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti - Venezia

Riassunto – Nel testo viene formulato il metodo scientifico attraverso tre enunciati che sono illustrati con un esempio. L'esempio si basa su quattro algoritmi (quattro fogli elettronici di una cartella Excel) con i quali le informazioni contenute negli esperimenti (114 valori) vengono sintetizzate nei parametri relativi ai singoli modelli (rispettivamente 2, 4, 4 e 6 valori). Gli algoritmi contengono operazioni matematiche che sono riproducibili ed esplicitabili, cioè verificabili. Di ognuno dei modelli è dato un livello di confidenza attraverso un indicatore di falsificabilità (SQS) che ne misura il merito. Qualora si realizzi parità di merito (stessi valori di SQS) si sceglie il modello sulla base di un criterio di semplicità (ad esempio privilegiando il modello che ha il minor numero di parametri). Si mostra che i quattro modelli usati sono tutti compresi nel quarto e che, da un punto di vista logico, il metodo induttivo della scienza altro non è che un metodo deduttivo ripetuto. Tutti i modelli selezionati per applicare il metodo scientifico hanno numerose ricadute perché consentono di estrapolare il passato, ma non sono gli oracoli dei maghi, né i vaticini dei profeti.

Nella letteratura scientifica è difficile trovare una definizione chiara e concisa della locuzione «metodo scientifico» e con la presente nota si tenta di colmare la lacuna sintetizzando concetti espressi nel corso dei secoli (da G. Galilei ad oggi) in modo da formularne la versione attuale. In questa chiave, il metodo scientifico è un filtro che, applicato, differenzia la conoscenza «scientifica» da quella «non scientifica» senza stabilire graduatorie di qualità. Infatti, affinché un sapere appartenga alla scienza è necessario e sufficiente che riguardi oggetti o fenomeni misurabili, falsificabili e semplici. In dettaglio i requisiti che definiscono il filtro sono:

- 1° - «**commensurabilità**» - perché gli oggetti ed i fenomeni trattati dalla scienza devono essere osservabili, cioè accessibili (direttamente o indirettamente) ai sensi dell'uomo (la scienza esplora la natura) e riproducibili per poter essere misurati ed illustrati a terzi;
- 2° - «**falsificabilità**» - perché ogni risultato sia confrontabile con altri in modo da classificare il merito di risultati diversi.

Un criterio accessorio, utile per eliminare le ambiguità che si avrebbero quando la falsificabilità affrontasse condizioni equivalenti, è quello di «**semplicità**» (principio del «Rasoio di Occam») che rigetta, in condizioni di parità, i risultati più complicati.

I requisiti di riproducibilità e falsificabilità riguardano anche la comunicazione dei risultati scientifici, processo che richiede necessariamente l'uso di «modelli concettuali» i quali devono a loro volta essere scientifici, cioè *riproducibili e falsificabili*.

Nella pratica, i modelli finiscono sempre per essere algoritmi formali o numerici perché quelli fisici non sono veri e propri modelli in quanto essi stessi sono oggetti fisici che devono essere trasformati in concetti (un piano inclinato è un modello di un grave che cade solo se si assume la legge di scomposizione delle forze che è un algoritmo). In definitiva gli strumenti della conoscenza scientifica sono algoritmi che, in quanto algoritmi, risultano dotati del secondo requisito perché permettono di stabilire confronti con altri algoritmi. Infatti, producono risultati quantitativi confrontabili direttamente con le misure attraverso indicatori di conformità come, ad esempio, la somma del quadrato degli scarti fra valori calcolati e valori sperimentali.

Infine, a complemento della «falsificabilità» si deve ricordare l'assunto secondo il quale ogni conoscenza scientifica è tale «fino a prova contraria», cioè fino a quando non si acquisisce una conoscenza migliore che per principio esiste sempre.

L'applicazione del «metodo scientifico» si effettua operando in successione per: (i) definire il problema; (ii) raccogliere i dati che lo caratterizzano; (iii) costruire il modello che interpreta i dati. Di fatto, si percorre la successione ciclicamente più volte (forse indefinitamente) perché, ogni volta che si risolve un problema, si è in grado di riformularlo in modo più preciso così da promuovere altra sperimentazione, perfezionare il modello e, con esso, migliorare la soluzione. Il procedimento

richiede criteri di confronto adatti ad indicare quale modello interpreti meglio le risultanze sperimentali.

Volendo un esempio esente da complicazioni concettuali, si è scelto di considerare un problema demografico sull'evoluzione di due popolazioni che sono in competizione per l'uso delle stesse risorse territoriali. I modelli usati sono riportati in tabella:

Tabella – Modelli utilizzati. ($V=dN/dt$ = velocità di crescita dei residenti; N = numero dei residenti; r = potenziale della popolazione residente; k = popolazione sostenibile; α = coefficiente d'interferenza dei turisti verso i residenti; $W=dM/dt$ = velocità di crescita dei turisti; M = numero dei turisti; R = potenziale della popolazione turistica; K = popolazione turistica sostenibile; β = coefficiente d'interferenza dei residenti verso i turisti).

Nome	TIPO (autori)	VELOCITÀ di CRESCITA $V=dN/dt$; $W=dM/dt$	ANNOTAZIONI
«A»	Due Esponenziali (Malthus)	$\begin{cases} V = rN \\ W = RM \end{cases}$	Velocità proporzionali al numero di componenti della popolazione.
«B»	Due Logistiche (Verhulst)	$\begin{cases} V = rN \left(1 - \frac{N}{k}\right) \\ W = RM \left(1 - \frac{M}{K}\right) \end{cases}$	Velocità ridotte per l'interazione fra individui della stessa specie (intraspecifiche). Probabilità di incontro proporzionale a $N \times N$.
«C»	Volterra-Lotka (Lotka e Volterra)	$\begin{cases} V = rN \left(1 - \alpha \frac{M}{k}\right) \\ W = RM \left(1 - \beta \frac{N}{K}\right) \end{cases}$	Velocità ridotte per l'interazione fra specie (interspecifiche). Probabilità di incontro proporzionale a $N \times M$. «A» modificato per comprendere interazioni preda-predatore.
«D»	Competizione per interferenza (Anonimo)	$\begin{cases} V = rN \left(1 - \frac{N}{k} - \alpha \frac{M}{k}\right) \\ W = RM \left(1 - \frac{M}{K} - \beta \frac{N}{K}\right) \end{cases}$	Velocità ridotte per effetto di interazioni intra- e inter-specifiche. Modello «A» modificato per comprendere i contenuti di «B» e «C».

Il criterio di confronto *SQS* è la somma dei quadrati degli scarti fra i valori sperimentali e quelli calcolati dal modello. *SQS* misura il livello di somiglianza tra tali dati. I dati sono disponibili in siti internet relativi al Centro Storico nel Comune di Venezia e riguardano il numero dei [residenti](#) e delle [presenze turistiche](#).

I calcoli sono stati sviluppati attraverso quattro [fogli elettronici](#) di una [cartella Excel](#) che costituiscono gli algoritmi con i quali si è evitata nel dettaglio l'algebra perché i fogli elettronici sono stati organizzati in modo da cambiare a piacimento i parametri dei modelli e, quindi, di funzionare come algoritmi autonomi senza richiedere all'utente di conoscere le formule di calcolo.

Più precisamente, i fogli della «[cartella algoritmi](#)» (l'algoritmo si sceglie cliccando l'etichetta ai piedi della videata con il nome del modello) riportano l'andamento dei residenti e dei turisti in funzione del tempo (v. in figura l'immagine video dell'algoritmo «competizione per interferenza») e forniscono per ciascuno di essi:

- un diagramma (il ramo alto per i residenti, N , e quello basso per i turisti, M) con:
 - in rosso, i punti sperimentali;
 - in blu, le curve calcolate proiettando tramite il modello alle differenze finite (in alto a destra) i valori sperimentali dell'anno precedente;
 - in verde, le curve calcolate proiettando tramite il modello alle differenze finite (in alto a destra) i valori sperimentali dell'anno 1951;
- un riquadro (caselle del foglio elettronico a sfondo giallo) con i valori dell'indicatore di conformità *SQS*. È stato scelto questo indicatore perché molto semplice e molto noto, ma potevano essere anche altri.

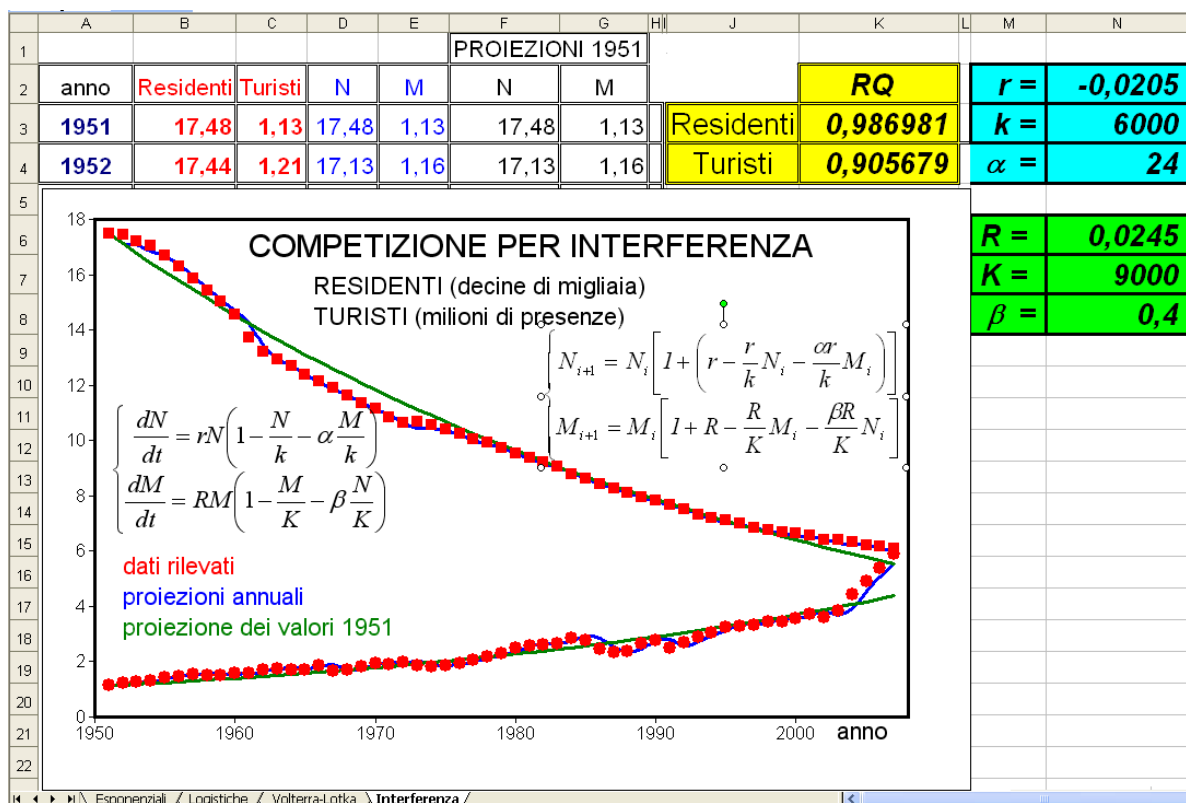


Figura – Foglio elettronico della «cartella algoritmi». Le etichette in basso a sinistra della cartella indicano i modelli.

In alto a destra (caselle a sfondo azzurro per i residenti ed a sfondo verde per le presenze turistiche) sono riportati i valori (modificabili) dei parametri usati dal modello. Cambiando i valori cambiano automaticamente le curve restituite dal modello ed i valori degli indicatori di conformità, cosicché è possibile:

- ottimizzare i parametri cambiandoli in modo da rendere *SQS* minimo;
- confrontare la capacità che ha un modello di «spiegare» i dati sperimentali e di stabilire quindi loro graduatorie di merito (*falsificabilità*);
- misurare un livello di approssimazione di un modello quando viene usato con particolari valori dei parametri, ovvero stabilire la sensibilità del modello al variare dei parametri.

L'applicazione del metodo scientifico al caso attuale può essere immaginata come percorso di ricerca articolato come nella scaletta operativa seguente:

- 1° - uno scienziato «A», individua il problema e rappresenta le due popolazioni con due esponenziali di crescita/decrecita perché pensa che i loro tassi di variazione annua siano proporzionali al numero degli individui. Trova i valori ottimali dei parametri, (ovvero quelli che minimizzano *SQS*) e pubblica i risultati;
- 2° - un altro scienziato «B» legge l'articolo di «A» e osserva che la popolazione dei turisti non è limitata superiormente (tende a infinito). Esegue il [fitting dei dati](#) sperimentali con due funzioni logistiche. Così falsifica il primo modello da un punto di vista qualitativo (perché la popolazione dei turisti adesso è limitata) e quantitativo (perché migliora l'indicatore di conformità *SQS*);
- 3° - un terzo scienziato «C» controlla i risultati di «B» e rimane insoddisfatto perché il modello tratta le due popolazioni come indipendenti mentre è intuitiva la presenza di connessioni. Sceglie un modello per popolazioni che interagiscono direttamente (modello di Volterra-Lotka) e falsifica quello precedente da un punto di vista qualitativo (non necessariamente dal punto di vista quantitativo);

4° - un quarto scienziato «D» ritiene troppo rigido e diretto il legame fra le due popolazioni espresso dal modello di Lotka-Volterra e (incurante dell'«autorità»^(*) di Volterra e di Lotka) prova che il modello di «competizione per interferenza» falsifica i precedenti modelli in termini sia qualitativi che quantitativi perché li generalizza su base concettuale e matematica (i modelli usati da «A», «B» e «C» sono, di fatto sottomodelli di quello usato da «D» come descritto in tabella).

Naturalmente per i singoli scienziati «A», «B», «C» e «D» il lavoro si conclude con la comunicazione dei risultati, ma non è così per la scienza. Infatti, nell'attesa che un quinto scienziato falsifichi i risultati dei colleghi, inizia il lavoro di approfondimento che nel caso attuale si semplifica perché il modello «D» comprende gli altri. Ciò rende impliciti i confronti e trasforma gli indicatori di merito da falsificatori a criteri per valutare il livello di approssimazione dei singoli sottomodelli.

La particolare circostanza che ha permesso di costruire la tabella dei modelli permette di illustrare anche l'assenza, in campo scientifico, del metodo induttivo. Infatti, nel percorso scientifico illustrato si costruisce un risultato che cresce in contenuti scientifici passando dal modello «A» a «B», a «C», a «D» e può rimanere l'idea che si tratti di un processo induttivo, ma è solo un'illusione perché di fatto i quattro scienziati che partecipano all'operazione effettuano quattro distinti processi deduttivi: ogni volta, guardando i dati e partono con un nuovo modello nell'intento di falsificare quelli precedenti.

Una precisazione sull'uso dei modelli che non riguarda il metodo, ma solo i modelli (di qualsiasi tipo essi siano) si riferisce al fatto che essi non possono servire per fare previsioni, funzione questa che spetta ai maghi ed ai profeti, ma non agli scienziati. Infatti, un modello può solo permettere proiezioni delle condizioni passate, quelle delle quali è stato informato e non certo fornire conoscenza che non gli è stata data.

Rimane ancora da rilevare che una conoscenza scientifica non nasce *d'emblée* completa di dati, modelli e relativi connessi, ma progredisce a passi successivi cosicché la scienza comprende anche settori nei quali la matematica ha ancora poco spazio. Si tratta di ambiti in evoluzione, per lo più ancora nella fase tassonomica, che è preliminare a quella modellistica (non si può trasferire conoscenza a terzi senza aver definito un vocabolario). Tali settori sono ancora «acerbi» (troppo giovani e complessi) perché algoritmi messi a punto per altri contesti possano descriverli in modo organico e, probabilmente, richiederanno nuove matematiche, ma non per questo sono meno scientifici dei settori maturi. Va ricordato che [Galilei](#), [Newton](#) e [Leibniz](#) si sono dovuti costruire (o cercare) matematiche apposite come pure [Einstein](#), [Dirac](#) e tanti altri. Anche la sperimentazione è in evoluzione veloce e produrrà dati di qualità ed in quantità tali da favorire nuovi algoritmi. Del resto esistono già software capaci di apprendere e calcolatori che producono ragionamenti indistinguibili da quelli umani.

(*) Il «principio di autorità» sostiene che un'affermazione è tanto più robusta quanto più autorevole è la persona che l'ha pronunciata. È un principio tipico della filosofia medioevale e delle religioni, ma senza alcun significato per la scienza. E le citazioni di altri autori negli articoli scientifici vanno intese solo con funzioni storiche o per riconoscere i meriti di quanti hanno affermato in precedenza quella tesi.