

# Sapere critico e sapere positivo: l'importanza dei risultati negativi

PEPPE LONGO

La riflessione critica *sulle* teorie correnti è al centro delle costruzioni scientifiche positive, perché la scienza si costruisce contro l'evidenza e il buon senso, contro le illusioni della conoscenza immediata, contro le conoscenze già stabilite. L'alto livello di tecnicismo degli epicicli di Tolomeo, per esempio, lasciava fortemente perplessi numerosi pensatori del Rinascimento, tra cui Copernico, Galileo, Keplero...: epicicli che si sovrapponevano ad epicicli, costruzioni di straordinaria finezza matematica, ma incredibilmente complicate, non convincevano affatto lo sguardo critico di questi scienziati rivoluzionari. E Bachelard lo ha visto bene: la costruzione di conoscenza si basa, come già nel pensiero greco, su una rottura epistemologica, che opera una separazione rispetto al pensiero precedente. Ma sono gli esempi recenti che ci interessano, in cui il punto di vista critico è espresso in modo più puntuale attraverso "risultati negativi".

Spieghiamoci meglio.

Quando Poincaré lavora ai calcoli degli astronomi, per prevedere il moto dei pianeti nei loro campi gravitazionali, egli arriva, per via puramente matematica, a un grande risultato negativo: egli dimostra che la determinazione formale (tramite un sistema di equazioni) non implica la predittibilità matematica. Una vera rivoluzione, che rovescia una prospettiva scientifica in cui ci si aspettava, in positivo, la grande equazione della conoscenza del mondo, strumento di predizione scientifica potenzialmente completa.

Il risultato negativo -è così che lo chiama Poincaré- (espresso da enunciati come: "non si può predire, cioè calcolare...") è, evidentemente, importante in sé, ma il suo ruolo sarà meglio compreso nel tempo, quando le *tecniche* della dimostrazione (del teorema dei Tre Corpi) consentiranno di aprire un campo nuovo del sapere, la geometria dei sistemi dinamici, le cui applicazioni hanno una grande importanza nella scienza contemporanea. Non è un caso che ci siano voluti più di 70 anni (1) perché queste tecniche fossero sviluppate, un risultato negativo sovverte le aspettative positive ma non dice necessariamente in quale direzione si debba andare. *Les Méthodes Nouvelles* erano nei testi di Poincaré, è vero, ma la negazione di un'aspettativa non si traduce immediatamente in acquisizioni positive in ambito scientifico: il ritardo con cui seguono le applicazioni sembrerebbe dimostrare che occorre prima assimilare

(filosoficamente) il versante critico e i limiti che esso impone al sapere esistente, affinché una nuova costruzione di oggettività ne consegua.

D'altra parte il punto di vista critico è uno dei presupposti del teorema di incompletezza di Göedel. Il suo autore non credeva all'ipotesi di Hilbert sulla completezza e decidibilità delle teorie formali sufficientemente espressive. Egli esplora allora una variante sintattica (in aritmetica) del "paradosso del mentitore" (grosso modo: "questa frase è *indimostrabile*", invece di "questa frase è *falsa*", ma il gioco è ben più fine di questa analogia superficiale ed abusata, v. riferimenti), che si può dimostrare equivalente alla coerenza dell'Aritmetica. I due enunciati sono formalmente indimostrabili, se l'aritmetica è coerente. L'impatto è enorme. Da una parte, l'enunciato del teorema, come nel caso di Poincaré, sorprende e affascina, dall'altro le tecniche della dimostrazione aprono un campo nuovo: la teoria della calcolabilità. La nozione di Göedelizzazione, la classe delle funzioni ricorsive, definite nella dimostrazione, la riflessività della meta-teoria nella teoria (aritmetica) saranno al centro delle analisi della deduzione e del calcolo effettivo, a partire dagli anni '30. L'equivalenza degli approcci di calcolo (e di deduzione) formali, i lavori di Church, Turing, Kleene ecc. faranno nascere, a partire dai metodi di dimostrazione del grande teorema negativo di Göedel, ("non si può decidere...") una nuova disciplina, che sta cambiando il mondo, l'informatica: per affermare che non si può decidere, è stato necessario precisare bene che cosa vuol dire "procedura effettiva di calcolo (e di decisione)".

Nei due casi, un teorema che dice "no", pone dei confini a una forma di sapere scientifico (il determinismo di Laplace, la deduzione formale...) e, al tempo stesso, esplicita le tecniche per sviluppare o per meglio strutturare il campo così delimitato (ad es. i metodi qualitativi o geometrici, il calcolo effettivo). Perché, in effetti, c'è una differenza. *Les Méthodes Nouvelles* di Poincaré contengono già i germi della teoria dei sistemi dinamici, mentre il teorema di Göedel è "solo" un teorema (diagonale) d'indecidibilità: esso non dice niente sulla dimostrazione possibile dell'enunciato indecidibile (in effetti, la coerenza dell'aritmetica). Bisognerà attendere alcuni anni (2) per dare e analizzare le prove di coerenza. I due teoremi dunque stabiliscono dei confini, ma uno suggerisce anche che cosa si può

fare “oltre” quei confini, l’altro costruisce, con rigore, tutto quel che si può fare “al di qua” di questi limiti. Occorrerà citare un altro immenso “risultato” negativo in campo scientifico: non si tratta di un teorema matematico, ma di un cambiamento del punto di vista teorico, seguito ad esperienze fisiche. Il risultato consiste nell’interpretazione teorica dell’esperienza e nel proporre un ribaltamento radicale nella costruzione dell’oggettività fisica. *Non si può determinare*, simultaneamente, e con una precisione grande come si vuole, la posizione e l’impulso di una particella, in microfisica. Planck, Bohr, Heisenberg... impongono un cambiamento di punto di vista che pone dei limiti insormontabili alla fisica classica: l’atomo non è un piccolo sistema planetario, a cui si possano applicare i metodi classici. La validità della fisica classica termina là dove comincia una nuova analisi, basata sull’indeterminazione essenziale e sulle correlazioni di probabilità *che sostituiscono* la causalità classica... per arrivare alla non-localizzazione, non separabilità degli osservabili quantici. *Non* si tratta dell’impredittibilità di un sistema deterministico, come in Poincaré, né dell’incompletezza delle teorie formali (Gödel), ma dell’indeterminazione intrinseca di un sistema completo, *per quel che riguarda* la microfisica.

In questo caso, l’approccio critico si forma contemporaneamente all’analisi dell’esperienza, ma senza la totale libertà di un pensiero “ermeneutico”, che sappia porre a priori dei limiti al pensiero del suo tempo, la nuova costruzione non sarebbe stata pensabile: una costruzione, *all’inizio*, ben poco *matematizzata*, rispetto alla fisica classica. L’adesione acritica al tecnicismo esistente nella scienza ha il suo grande predecessore nella splendida geometria degli epicicli planetari, dei volumi interi, oggi del tutto dimenticati.

Dal punto di vista matematico, noi pensiamo che, in biologia e nelle scienze cognitive ci sarebbe bisogno di un grande teorema negativo (o di più teoremi), oppure di una svolta teorica paragonabile a quella della meccanica quantistica. Se si vuole stabilire un nuovo dominio teorico, possibilmente dotato di una sua autonomia matematica, *comparabile* a quella dei sistemi dinamici o della fisica quantistica, ma anche per precisare e affinare i metodi esistenti (come è successo dopo Gödel), bisogna anche considerare, da un punto di vista critico, i limiti di questi metodi.

Quali sono le funzioni o le strutture cerebrali (cellulari) di cui si può dimostrare la non interpretabilità per mezzo della matematica delle reti neuronali e la fisica statistica?

Quali limiti si devono porre all’analisi del vivente in termini di fisica dei sistemi critici o termodinamici?

Come andare al di là dell’incompletezza delle teorie computazionali del DNA, “programma” completo del vivente, che aggiungono programmi genetici regolato-

ri ad altri programmi genetici regolatori, come al tempo degli epicicli?

C’è un’indeterminazione intrinseca, e propria del fenomeno del vivente, nella filogenesi, paragonabile, ma differente, *rispetto* all’indeterminazione in microfisica (le analisi in termini di dinamica fisica ci danno tutt’al più una impredittibilità deterministica)?

Quale fenomeno biologico è non-misurabile, in rapporto a qualsiasi misura di complessità fisica?

E’ possibile che la “resistenza” filosofica al cambiamento di punto di vista che tutto questo richiederebbe sia ancora più forte di quella che ha avuto luogo di fronte ai sistemi deterministici impredittibili, all’incompletezza formale e all’indeterminazione quantistica: il vivente siamo noi, e noi vogliamo essere in questo mondo (fisico), in quanto monisti. Ma l’unità della scienza è un’acquisizione difficile, non può essere data da una forzatura trasversale degli stessi metodi applicati a diversi saperi, come quando si è tentato di trasferire all’atomo il modello del piccolo sistema planetario: non funziona. Occorre che si proponga innanzi tutto una nozione di “campo” (causale) del vivente, con i confini, se possibile matematici, che ne separino l’autonomia di impostazione teorica, per arrivare successivamente a una nuova sintesi, una unificazione di “campi” che li modificherà probabilmente tutti, per cogliere l’unità del mondo, ove possibile (la nostra scommessa epistemologica).

La resistenza potrebbe non essere soltanto filosofica, ma venire anche dalla “cultura dei risultati” (e la correlata *accountability*, il render conto contabile), che pretende sempre più di orientare completamente la ricerca scientifica. La conoscenza scientifica procede soprattutto per “intellegibilità”, sia che essa derivi o no da risultati “positivi”. Che ci sia bisogno di maggiori investimenti nella scienza applicata non c’è dubbio: la ricerca orientata, la ricerca industriale, scarseggiano gravemente in Europa, ma certo non per un eccesso di ricerca fondamentale. Anche sviluppando la prima, bisogna tutelare un ampio spazio per il pensiero totalmente e perfettamente indipendente da qualsiasi prevedibile applicazione.

Che cosa avrebbe detto un dirigente d’impresa se avesse chiesto di calcolare l’evoluzione di tre corpi in un certo campo fisico, di fronte a un risultato negativo, i cui sviluppi si sarebbero fatti attendere per 70 anni? E se fosse stata richiesta la determinazione esatta di posizione e quantità di moto di certe particelle atomiche come obiettivo di cui si potesse render conto? O se qualcuno avesse commissionato a Gödel la costruzione di una macchina numerica per dimostrare tutti i teoremi della combinatoria aritmetica? Il finanziatore di questo genere di lavori certo non sarebbe stato soddisfatto di quegli stravaganti di Poincaré, Heisenberg, Gödel... Che cosa avrebbe potuto raccontare

agli azionisti l'anno dopo? Il totale fallimento di un progetto di calcolo!

In questi casi il pregiudizio filosofico è tale che ancora oggi ci sono dei finanziamenti per la dimostrazione automatica, moderna identificazione del ragionamento col calcolo (finanziamenti in forte calo, rispetto ai fasti dell'Intelligenza artificiale classica di 20 o 30 anni fa, fortunatamente, spesso stornati su "proof-assistance" e "proof-checking", discipline formidabili, che lavorano entro i limiti godeliani, e loro versioni recenti).

Oggi più che mai, per ottenere dei finanziamenti, è meglio proporre un modello computazionale di non importa che cosa, in particolare in biologia e nelle scienze cognitive, possibilmente con tecniche ben stabilite, indipendenti dalla disciplina cui si applicano. Proporre di calcolare, decidere, determinare, è certamente un fatto centrale per la scienza, giustamente molto apprezzato. Ma sarebbe meglio, la storia lo insegna, se allo stesso tempo si fosse in grado -e si consentisse!- di costruire un punto di vista critico, con i suoi quadri concettuali e i suoi risultati negativi, cioè le demarcazioni che creano campi nuovi. E questo richiede anche un'ermeneutica della conoscenza scientifica, come è stato per la fisica galileiana e per la fisica quantistica.

Un monismo ontologico non implica un monismo di metodi, ma un'unità scientifica da costruire. Come succede nel campo della fisica, si può mirare all'unificazione, una volta esplicitati i limiti relativi e differenziate le teorie (anche la Relatività, nei suoi aspetti matematici, è partita da una differenziazione tra la geometria -euclidea- dello spazio sensibile e quella dell'astrofisica -un risultato negativo: la geometria riemanniana non è chiusa per omotetie, quindi non si può trasferire ogni proprietà euclidea negli spazi interstellari).

Va dunque sottolineato il ruolo di un pensiero critico che non mira necessariamente a un risultato enunciato in positivo (calcolare questo, calcolare quello...), cioè a un risultato ricavato con metodi esplicitati in anticipo (perché il progetto sia *accountable* per i legami diretti che presenta tra promesse e risultati). E va salvaguardato uno spazio intangibile per una scienza che possa produrre anche dei "non-risultati" (dei risultati che dicono: spiacente, ma *non si può* calcolare, decidere, determinare... trasferire il tal metodo, il tal teorema). Questi risultati sono sempre di estrema difficoltà tecnica -e di grande originalità- ma anche un'idea controversa può essere più interessante di un calcolo eroico e prevedibile. L'*accountability* ci costringe alla scienza normale, direbbe Kuhn, ricca, *talvolta*, di applicazioni immediate; ma nelle scienze del vivente, anche più che altrove, abbiamo bisogno di una diversa prospettiva teorica, forse matematica, che sia propria della biologia. Siamo a un secolo e mezzo dalla teoria dell'evoluzione, un punto

di vista rivoluzionario sul mondo della vita e l'unica teoria veramente sviluppata all'interno della biologia, la sola forse paragonabile alle grandi teorie fisiche (relativistiche, dinamiche, quantistiche). L'esplicitazione dei confini rispetto ad altri saperi ben consolidati, fisici e matematici, che pretendano di trasferirsi sul vivente e sulle sue funzioni cognitive, potrebbe aiutare a proporre un nuovo sguardo teorico, dicendo "no", e contribuendo così a stabilire delle rotture epistemologiche.

Peppe Longo

#### Note

(1) Con l'eccezione dei lavori di Hadamard e di qualche grande scienziato russo isolato, bisognerà attendere il teorema KAM e i lavori di Ruelle, negli anni '50 e '70.

(2) Gentzen *epsilon 0* induzione, del 1936, l'articolo di Göedel del '58, e quindi la normalizzazione alla Girard, '70.

La versione francese originale di questo testo è in corso di pubblicazione su INTELLECTICA (traduz. italiana, di Franca Civile della redazione di NATURALMENTE)

#### Bibliografia

I seguenti riferimenti contengono anche un'ampia bibliografia (troppo vasta per essere inserita qui) e sono scaricabili da <http://www.di.ens.fr/users/longo>

G. Longo *On the Proofs of some formally unprovable Propositions and Prototype Proofs in Type Theory* Invited Lecture, Types for Proofs and Programs, Durham, (GB), Dec. 2000; LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE vol. 2277 (Callaghan et al. eds), pp. 160 - 180, Springer, 2002

G. Longo *Laplace, Turing and the "imitation game" impossible geometry: randomness, determinism and programs in Turing's test* Invited Lecture, Conference on Cognition, Meaning and Complexity, Roma, June 2002 (version française: INTELLECTICA n. 35, 2002/2, suivie par une "réponse aux commentaires") F. Bailly, G. Longo *Incomplétude et incertitude en Mathématiques et en Physique* dans *Il pensiero di Giulio Preti* (Parrini, Scarantino eds), Guerrini ed associati, Milano, 2004 (à paraître aussi aux *Actes du colloque en mémoire de Gilles Châtelet* Presses de Rue d'Ulm, 2005; an english version in *Images and Reasoning*, (M. Okada et al. eds) Keio University Press, Tokio, 2005

F. Bailly, G. Longo *Situations critiques étendues: la singularité physique du vivant* Conférence invitée aux Actes du Colloque *Détermination et complexité* (P. Bourguin, ed.) Cérisy, Juin 2004

G. Longo, P. E. Tendero *L'alphabet, la Machine et l'ADN: l'incomplétude causale de la théorie de la programmation en biologie moléculaire* Conférence invitée. Colloque *Le Logique et le Biologique* Paris, Sorbonne, avril 2005