

La scoperta scientifica: rinascita e raffinamento dei metodi

1

Paradossi al cuore della conoscenza

La nozione di genio romantico ha ridato impulso a una visione psicologista e irrazionalistica della **scoperta scientifica**, in quanto legata alla prodigiosa intuizione di una mente geniale. Chiunque voglia spiegare la scoperta scientifica senza affidarsi a nozioni oscure come quella di *illuminazione*, o *intuizione*) si troverà ad affrontare una questione fondamentale: *come è possibile l'avanzamento razionale della conoscenza?*

Tale questione è stata già esplicitamente affrontata dai filosofi antichi, e ha sollevato problemi profondi. Per esempio, Platone ha formulato quello che è oggi noto come il **paradosso di Menone**, che propone un argomento a sostegno dell'impossibilità di avanzamento della conoscenza. A un certo punto del dialogo, Menone sostiene:

Ma in quale modo, Socrate, potrai cercare ciò che ignori del tutto? E quali delle cose che ignori farai oggetto di ricerca? E se per un caso ti imbatti in essa, come farai ad accorgerti che è proprio quella che cercavi, se non la conosci?

Socrate risponde così:

Capisco quello che vuoi dire, Menone! Che bel discorso eristico proponi! L'argomento secondo cui non è possibile all'uomo cercare né quello che sa né quello che non sa: quel che sa perché conoscendolo non ha bisogno di cercarlo; quel che non sa perché neppure sa che cosa cerca.

La risposta al paradosso di Menone, che cerca di stabilire l'impossibilità di una ricerca, ovviamente sta nel notare che non è vero che o si conosce del tutto o non si conosce affatto qualcosa, ma che la si conosce o la si può conoscere in parte e che possiamo avanzare in questa conoscenza.

Superata questa difficoltà filosofica in materia di avanzamento razionale della conoscenza, ne incontriamo tuttavia un'altra, nota come il **paradosso dell'infenza**. Il paradosso afferma quanto segue:

Se in un'inferenza la conclusione non è contenuta nelle premesse, allora non può essere corretta.

D'altra parte, se la conclusione di un'inferenza non contiene qualcosa di essenzialmente nuovo rispetto alle premesse, non può essere ampliativa. Ma la conclusione di una inferenza non può essere contenuta nelle premesse e al contempo contenere qualcosa di essenzialmente nuovo rispetto ad esse. Dunque, un'inferenza non può essere corretta e ampliativa allo stesso tempo.

Questo paradosso pone un problema ben più arduo del paradosso di Meno: se l'acquisizione di nuova conoscenza deve essere fatta attraverso l'uso di inferenze, allora sembrerebbe che non abbiamo a disposizione ragionamenti che preservino *contemporaneamente* la **correttezza** e l'**ampliatività**, ossia che non conducano a errori e che producano al contempo qualcosa di davvero nuovo nelle loro conclusioni. Come superare questo secondo paradosso?

La risposta è semplice: non possiamo superarlo. Dobbiamo accettarlo. In altre parole, il paradosso dell'inferenza è **costitutivo** della nostra conoscenza: è il punto di partenza di una qualsiasi indagine, di una pratica e di un metodo per la scoperta scientifica. Il fatto che non abbiamo garanzia di poter ottenere qualcosa di corretto mediante inferenze ampliative non deve scoraggiarci o bloccare i tentativi di costruire metodi per scoprire: il paradosso infatti ci dice che, sì, il rischio di sbagliare esiste sempre, non è eliminabile, ma senza correre questo rischio non si può ottenere davvero nuova conoscenza. La ricerca e la costruzione di un metodo di scoperta scientifica, e di inferenze che ci guidino in questo compito, servono a mitigare questo rischio, ma non possono azzerarlo.

2

Inferenze e contenuto

Il paradosso dell'inferenza ci porta a considerare un altro aspetto importante ai fini della costruzione di metodi razionali per la scoperta scientifica, ossia il concetto di **inferenza**. In particolare, esistono due modi di classificare le inferenze:

1. in termini di **verità**;
2. in termini di **contenuto**.

Il primo modo, quello tradizionale, afferma che possiamo distinguere le inferenze in due classi:

- a) La classe delle inferenze che **preservano la verità** dalle premesse alla con-

clusione, ossia le inferenze **deduttive** (come i sillogismi aristotelici). Prendiamo per esempio la seguente inferenza:

Se studio, farò bene il compito. Se farò bene il compito, prenderò un buon voto, dunque se studio prenderò un buon voto.

Tale inferenza può essere formalizzata nel modo seguente:

Se A allora B, se B allora C, dunque se A allora C.

Più astrattamente possiamo rappresentarla nel modo seguente:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow C \\ \hline A \rightarrow C \end{array}$$

Questa inferenza è tale che se accettiamo le verità delle premesse, ne segue necessariamente anche la verità della conclusione. La verità viene preservata nel passaggio dalle premesse alla conclusione.

b) La classe delle inferenze che **non preservano la verità** dalle premesse alla conclusione, ossia le inferenze **non-deduttive** (come l'induzione e l'analogia). Prendiamo, per esempio, la seguente inferenza induttiva: tutti i corvi finora osservati sono neri, dunque tutti i corvi (anche quelli non osservati) sono neri. Questa inferenza non è tale che, se accettiamo le verità delle premesse, ne segue necessariamente anche la verità della conclusione, perché potrebbe esserci un corvo non-nero.

Il secondo modo di classificare le inferenze, più recente, si basa invece sulla nozione di **contenuto**, e afferma che possiamo distinguere le inferenze in due classi:

a) la classe delle inferenze **ampliative**, ovvero le inferenze nelle quali la conclusione ha un contenuto che non è tutto presente né esplicitamente né implicitamente nelle premesse. Queste sono per esempio le inferenze analogiche.

b) la classe delle inferenze **non-ampliative**, ovvero le inferenze nelle quali il contenuto della conclusione è già implicito nelle premesse. Le inferenze deduttive (come i sillogismi aristotelici) sono non-ampliative.

Alla luce di questa nuova classificazione, dunque, il paradosso dell'inferenza non fa altro che esplicitare il fatto che per costruire *nuova* conoscenza (ossia tale che la conclusione contenga qualcosa di nuovo rispetto alle premesse) abbiamo bisogno di **inferenze ampliative**, che possono non essere corrette, ma che possono darci nuove informazioni, diversamente da quanto possono fare le inferenze ampliative, che sono corrette ma che non producono davvero qualcosa di nuovo. In questo senso pertanto non è un vero e proprio paradosso.

3

Tutta la vita è soluzione di problemi

Tutta la vita è soluzione di problemi. Questo slogan, che racchiude la concezione dell'intera impresa umana da parte del filosofo austriaco Karl R. Popper (1902-1994), esprime anche la concezione di coloro che recentemente hanno provato a sviluppare una descrizione razionale del processo di scoperta e di creatività scientifica. Lo stesso Popper riteneva che la scienza avanzi attraverso la continua soluzione di problemi.

In questo modo, la capacità di scoprire, e di essere creativi, nella scienza si riduce alla costruzione di un **metodo** per risolvere i problemi, e questo, a sua volta, si esprime in particolare attraverso due attività: **porre problemi** e **risolvere problemi**.

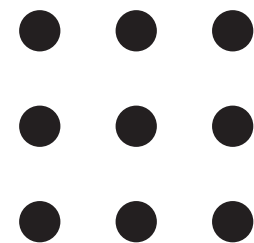
Come facciamo a porre un problema? Fondamentalmente compiamo due passi:

- a) stabiliamo quale esigenza o obiettivo soddisfare;
- b) produciamo una analisi delle condizioni sotto cui tale esigenza o obiettivo sarebbe soddisfatta.

Viene poi il passo successivo, ossia risolvere tale problema. Questo richiede essenzialmente di generare una ipotesi che implichi la soluzione del problema. Prendiamo per esempio il seguente problema, noto come il *problema dei 9 punti*, che recita quanto segue:

Abbiamo nove punti disposti in una matrice quadrata, ognuno dei quali è equidistante dai suoi vicini (Fig. 1). L'obiettivo è quello di collegare tutti i 9 punti usando al massimo quattro linee rette, senza sollevare la penna e senza tracciare la stessa linea più di una volta.

Fig. 1. Il problema dei 9 punti



Qual è la soluzione?

Indizio: provate a disegnare linee rette che collegano i punti che vanno oltre i confini dei nove punti. In altre parole, non assumete che le linee debbano giacere entro i confini "impliciti" del quadrato suggerito di nove punti.

Avete trovato la soluzione (Fig. 2)?

Dunque, basta liberarsi del vincolo "implicito" che le linee debbano essere inscritte nell'immaginario quadrato suggerito dai punti per ottenere l'ipotesi risoltrice.

È interessante notare come eliminando un altro vincolo implicito (ossia un vincolo che noi assumiamo implicitamente, ma che la formulazione del problema non pone) sia possibile dare una soluzione tracciando *una sola linea*. Riuscite a immaginarla? La chiave sta nel formulare l'ipotesi che i 9 punti

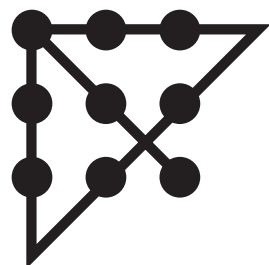
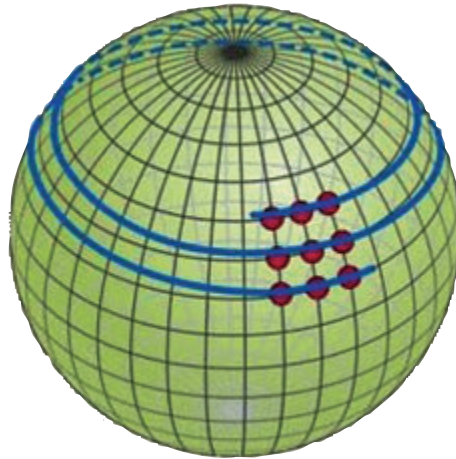


Fig. 2. Soluzione del problema dei 9 punti

Fig. 3. Soluzione alternativa del problema dei 9 punti



giacciono sulla superficie di una sfera (Fig. 3).

Il punto teorico e filosofico di rilievo, qui, è che sulle modalità attraverso cui arrivare a risolvere un problema mediante la formulazione di una ipotesi scienziati e filosofi si dividono, arrivando ad avere opinioni piuttosto diverse.

Popper, per esempio, ridando fiato in un certo senso alla concezione romantica e irrazionalista della scoperta scientifica, ritiene che il processo, o

meglio l'atto, che ci conduce ad avere una idea per risolvere un problema non sia una questione che può essere affrontata mediante un metodo o una logica. Ecco come si esprime al riguardo.

STORIA DELLA SCIENZA

T1

Karl R. Popper: l'irrazionalità della scoperta scientifica

K.R. Popper, *Logica della scoperta scientifica*, Einaudi, Torino 2010, pp. 9-11

Lo stadio iniziale, l'atto del concepire o dell'inventare una teoria, non mi sembra richiedere un'analisi logica né esserne suscettibile. La questione: come accada che a un uomo venga in mente un'idea nuova – un tema musicale, o un conflitto drammatico o una teoria scientifica – può rivestire un grande interesse per la psicologia empirica ma è irrilevante per l'analisi logica della conoscenza scientifica. Quest'ultima prende in considerazione non già questioni di fatto (il *quid facti?* di Kant), ma soltanto questioni di giustificazione o validità (il *quid juris?* di Kant). Le sue questioni sono del tipo seguente.

Può un'asserzione essere giustificata? E, se lo può, in che modo? È possibile sottoporla a controlli? È logicamente dipendente da certe altre asserzioni? O le contraddice? Perché un'asserzione possa essere esaminata logicamente in questo modo, dev'esserci già stata presentata; qualcuno deve averla formulata e sottoposta ad esame logico.

Di conseguenza farò una netta distinzione tra il processo che consiste nel concepire una nuova idea, e i metodi e i risultati dell'esaminarla logicamente. Per quanto riguarda il compito della logica della conoscenza – in quanto distinta dalla psicologia della conoscenza – procederò basandomi sul presupposto che esso consista unicamente nell'investigare i metodi impiegati in quei controlli sistematici ai quali dev'essere sottoposta ogni nuova idea che si debba prendere seriamente in considerazione.

Qualcuno potrebbe obiettare che sarebbe più rispondente allo scopo il considerare ufficio dell'epistemologia la produzione di quella che è stata chiamata la

«ricostruzione razionale» dei passi che hanno condotto lo scienziato a scoprire – a trovare – qualche nuova verità. Ma la questione è: che cosa, precisamente, vogliamo ricostruire? Se ciò che si deve ricostruire sono i processi che entrano in gioco quando si stimola o si dà sfogo a un'ispirazione, allora rifiuto di considerare questa ricostruzione come il compito della logica della conoscenza. I processi in parola interessano la psicologia empirica, non la logica. Se invece vogliamo ricostruire razionalmente i controlli successivi in seguito ai quali si può scoprire che l'ispirazione è una scoperta, o diventa noto che è una conoscenza, questa è un'altra questione. Siccome lo scienziato giudica criticamente, altera o respinge la propria ispirazione, possiamo, se proprio lo vogliamo, considerare l'analisi metodologica qui intrapresa come una specie di «ricostruzione razionale» dei processi di pensiero corrispondenti. Ma questa ricostruzione non riesce a descrivere tali processi come avvengono di fatto: essa può soltanto fornire un'impalcatura logica della procedura dei controlli. Forse però coloro che parlano di una «ricostruzione razionale» dei modi in cui otteniamo le nostre conoscenze non intendono dire niente di più.

Accade così che le argomentazioni che espongo in questo libro siano del tutto indipendenti da questo problema. Comunque, il mio modo di vedere la cosa – per quello che vale – è che non esista nessun metodo logico per avere nuove idee, e nessuna ricostruzione logica di questo processo. Il mio punto di vista si può esprimere dicendo che ogni scoperta contiene un «elemento irrazionale» o «un'intuizione creativa» nel senso di Bergson. In modo analogo, Einstein parla della «ricerca di quelle leggi altamente universali... dalle quali possiamo ottenere un'immagine del mondo grazie alla pura deduzione. Non esiste alcuna via logica, egli dice, che conduca a queste... leggi. Esse possono essere raggiunte soltanto tramite l'intuizione, basata su un alcunché che possiamo chiamare immedesimazione (*Einfühlung*) cogli oggetti d'esperienza.

L'idea che non esiste un percorso razionale, e tanto meno logico, per la scoperta di nuove idee e ipotesi è condiviso anche da insigni scienziati. Uno tra tutti, Albert Einstein (1879-1955), che ha descritto nel modo seguente come, secondo lui, si possa arrivare a fare scoperte scientifiche, in particolare come si possano scoprire le leggi fisiche.

Albert Einstein: la forza dell'intuizione

A. Einstein, *Ideas and opinions*, Crown Publishers, New York 1954, trad. di E. Ippoliti

Le leggi generali sulle quali la struttura della fisica teorica si basa mirano a essere valide per qualsiasi fenomeno naturale. Con queste leggi dovrebbe essere possibile arrivare alla descrizione, vale a dire la teoria, di ogni processo naturale, compresa la vita, attraverso mezzi di pura deduzione, se tale processo di deduzione non fosse oltre la capacità dell'intelletto umano. Per un fisico la rinuncia alla completezza per il suo cosmo non è quindi una questione di principio fondamentale. Il compito supremo del fisico è di arrivare a quelle leggi

elementari universali da cui si può costruire il cosmo per pura deduzione. *Non esiste un percorso logico per queste leggi; solo l'intuizione, che poggia sulla comprensione empatica dell'esperienza, può raggiungerle.* In questa incertezza metodologica, si potrebbe pensare che ci sia un numero qualsiasi di sistemi di fisica teorica equivalenti e ugualmente ben giustificati; e questa opinione è senza dubbio corretta da un punto di vista teorico. Ma lo sviluppo della fisica ha dimostrato che in ogni dato momento, tra tutte le possibili teorie concepibili, una sola ha sempre dimostrato di essere decisamente superiore a tutte le altre. Nessuno che sia veramente andato a fondo nell'indagine del mondo fisico negherà che di fatto il mondo dei fenomeni determina in modo univoco il sistema teorico, nonostante il fatto che non vi sia un ponte logico tra i fenomeni e i loro principi teorici; questo è ciò che Leibniz ha descritto così felicemente con "armonia prestabilita". I fisici spesso accusano gli epistemologi di non aver prestato sufficiente attenzione a questo fatto. Qui, mi sembra, si trovano le radici della polemica nata alcuni anni fa tra Mach e Planck. Il desiderio di vedere questa armonia prestabilita è la fonte della inesauribile pazienza e perseveranza con cui Planck si è dedicato, come si è visto, al più generale dei problemi della nostra scienza, rifiutando di lasciarsi attrarre da obiettivi più mondani e più facilmente raggiungibili. Ho sentito spesso miei colleghi cercare di attribuire questo suo atteggiamento alla sua straordinaria forza di volontà e disciplina, a torto a mio avviso.

Lo stato mentale che consente a un uomo di fare un lavoro di questo tipo è simile a quello del religioso o dell'amante; lo sforzo quotidiano non viene da una intenzione o un programma, ma direttamente dal cuore. Ecco che siede lì, il nostro amato Planck, e sorride tra sé e sé al mio scherzo infantile con la lanterna di Diogene. Il nostro affetto per lui ha bisogno di nessuna logora spiegazione. Possa l'amore della scienza continuare a illuminare il suo percorso nel futuro e portarlo alla soluzione del più importante problema nella fisica attuale, che lui stesso ha posto e fatto così tanto per risolvere. Possa riuscire a unire la teoria dei quanti con l'elettrodinamica e la meccanica in un singolo sistema logico.

Questa concezione psicologica della scoperta rende di fatto tale processo non indagabile razionalmente. La scoperta è ridotta a una sorta di "scatola nera", e l'unica cosa che conta è che qualcuno, in qualche modo, produca questa ipotesi per risolvere un problema così che la comunità scientifica la possa poi vagliare. L'attività scientifica razionale, in questo senso, è solo quella di *giustificare* una ipotesi o una teoria (ossia un insieme di ipotesi), non quella di *generarla*.

Un altro modo piuttosto popolare di negare che esista una logica della scoperta è di fare appello alla nozione di **serendipità**. Con questo termine normalmente si intende la facoltà di fare scoperte felici e inaspettate, quasi per sbaglio e senza volere. Il termine “serendipità”, coniato dallo scrittore Horace Walpole nel 1754, deriva dall’antico nome persiano dello Sri Lanka (Serendip appunto) in seguito alla diffusione di una fiaba, resa famosa già nel 1548, dello scrittore e traduttore italiano Cristoforo Armeno, la quale racconta le gesta di tre principi di Serendip che, girovagando per il mondo, fecero continue scoperte accidentali e fortuite, risolvendo così vari problemi e inconvenienti.

LETTERATURA

T3

I viaggi e le avventure dei tre principi di Serendippo

R. Bragantini, *Il riso sotto il velame*, Olschki, Firenze 1987, pp. 131-132

C'era anticamente ad Oriente, nel paese di Serendippo (l'attuale Sri Lanka), un grande e potente re, chiamato Giafar, il quale aveva tre figli maschi, coltissimi perché educati dai più grandi saggi del tempo, ma privi di un'esperienza altrettanto importante di vita vissuta.

Per provare, oltre alla loro saggezza, anche le loro attitudini pratiche, decise di allontanarli dal regno e, perché diventassero ancora più perfetti, stabilì che andassero a vedere il mondo per conoscere per esperienza diretta i diversi costumi e i modi di fare di molte nazioni che già conoscevano per averli studiati sui libri o appresi dai precettori. Durante il loro viaggio i tre fecero diverse scoperte, grazie al caso e alla loro sagacia, di cose che non stavano cercando.

Da poco giunti nel Paese del potente imperatore Bahrām, i principi si imbarcarono in un cammelliere, disperato perché aveva perduto il proprio animale. I tre pur non avendolo visto, dissero al poveretto di averlo incontrato un bel po' avanti, lungo la strada. Per assicurare il cammelliere gli fornirono, come prova, tre elementi: il cammello perduto era cieco da un occhio, gli mancava un dente in bocca ed era zoppo. Il buon uomo ripercorse a ritroso la strada ma non riuscì a ritrovare l'animale.

Il giorno seguente, ritornato sui suoi passi, incontrò di nuovo i tre giovani e li accusò di averlo ingannato. Per dimostrare di non aver mentito i tre principi aggiunsero altri tre elementi.

Gli dissero che il cammello aveva una soma, carica da un lato di miele e dall'altro di burro, portava una donna, e questa era incinta.

Di fronte a questi particolari, il cammelliere diede per certo che i tre avessero incontrato il suo animale ma, vista la ricerca infruttuosa, li accusò di avergli rubato il cammello. I nobili singalesi, imprigionati nelle segrete dell'imperatore Bahrām, affermarono di aver inventato tutto per burlarsi del cammelliere ma le apparenze li inchiodavano e così vennero condannati a morte perché ladri.

Fortunatamente un altro cammelliere, trovato il cammello e avendolo riconosciuto, lo ricondusse al legittimo proprietario. Dimostrata in tal modo la propria innocenza, i tre vennero liberati non senza una adeguata spiegazione di come avessero fatto a descrivere l'animale, senza averlo mai visto.

I tre rivelarono che ciascun particolare del cammello era stato immaginato, grazie alla capacità di osservazione e alla sagacia. Che fosse cieco da un occhio era dimostrato dal fatto che, pur essendo l'erba migliore da un lato della strada, era stata brucata quella del lato opposto, quello che poteva essere visto dall'unico occhio buono dell'animale. Che fosse privo di un dente lo dimostrava l'erba mal tagliata che si poteva osservare lungo la via. Che fosse zoppo, poi, lo svelavano senza ombra di dubbio le impronte lasciate dall'animale sulla sabbia. Sulla spiegazione del carico i tre dissero di aver dedotto che il cammello portasse da un lato miele e dall'altro burro perché lungo la strada da una parte si accalcavano le formiche (amanti del grasso) e dall'altro le mosche (amanti del miele); aveva sul dorso una donna perché in una sosta il passeggero si era fermato ai lati della strada a urinare, e questa urina era stata odorata da uno dei principi per curiosità, venendo egli preso da un desiderio carnale che può venire solo da urine di una donna, aveva dedotto che il passeggero doveva essere di sesso femminile. Infine, la donna doveva essere gravida, perché poco innanzi alle orme dei piedi c'erano quelle delle mani, usate dalla donna per rialzarsi a fatica visto che doveva avere un corpo pesante. Le spiegazioni dei tre stupirono a tal punto Bahrām che decise di fare dei tre giovani sconosciuti i propri consiglieri. I tre principi in incognito offrirono così i loro servigi all'imperatore, salvandogli anche la vita, risolvendo situazioni difficili o prevedendo il futuro.

Questa nozione ha avuto fortuna anche presso i produttori di Hollywood, che l'hanno usata per narrare, ad esempio, come si possa risolvere uno dei più antichi e attuali problemi al mondo: quello dell'amore e della possibilità di trovare un partner per la vita. Un film di successo infatti si intitola proprio *Serendipity* (2001), e narra la storia d'amore di due giovani (Sara, interpretata da Kate Beckinsale, e Jonathan, interpretato da John Cusack) che si incontrano accidentalmente durante lo shopping natalizio, e finiscono per bere insieme qualcosa

Fig. 4. Kate Beckinsale e John Cusack seduti a un tavolo del locale "Serendipity 3"



in un locale di New York che si chiama appunto "Serendipity 3" (Fig. 4) – locale che esiste davvero ed è tuttora aperto (https://www.tripadvisor.it/Restaurant_Review-g60763-d423867-Reviews-Serendipity_3-New_York_City-New_York.html).

Alcuni pensatori e scienziati sono arrivati a sostenere che in realtà tutte le scoperte siano serendipiche, ossia tali che il caso giochi un ruolo decisivo. Lo sostiene per esempio Francis Crick,

uno dei due scienziati scopritori della struttura a doppia elica del dna, lo psicologo Oscar Carl Simonton, o il filosofo Aharon Kantorovich. Secondo questa ricostruzione della scoperta scientifica, pertanto, la scienza avanzerebbe mediante passi fortuiti e dunque ne segue che non vi possa essere un metodo, e tanto meno una logica, della scoperta.

L'idea che tutte le scoperte siano fortuite, nel senso di essere fatte per caso, è tuttavia piuttosto debole e apre più problemi di quanti ne risolva. In realtà, nessuna scoperta viene fatta solo per caso o per circostanze fortunate. Come minimo, la scoperta richiede una **mente preparata e allenata**. Alla luce di ciò alcuni filosofi hanno provato a raffinare il concetto di serendipità. Per esempio, il filosofo inglese Donald Gillies afferma che la serendipità consiste nel *cercare una cosa e trovarne un'altra*. Gli esempi classici sono la scoperta della penicillina da parte di Fleming, o quella di Cristoforo Colombo: quest'ultimo stava cercando una rotta marittima verso le Indie orientali, ottenuta navigando verso ovest, ma invece scoprì l'America. In questo senso la scoperta è una circostanza fortunata.

Tuttavia, la serendipità, definita come cercare una cosa e trovarne un'altra, può essere naturalmente spiegata in termini di **metodo**. Infatti, nulla esclude in un metodo di scoperta che le ipotesi formulate per risolvere un problema possano risolvere qualche altro problema, invece di quello previsto.

Gillies elabora anche un concetto ulteriore di serendipità, quello per cui *il ricercatore scopre quello che stava cercando, ma, in aggiunta, scopre qualcos'altro di inaspettato*. Ma anche questa eventualità è compatibile con l'idea di metodo: infatti, ancora, una delle caratteristiche distintive dei metodi di scoperta è che le ipotesi formulate per risolvere un problema possono risolvere anche qualche altro problema, oltre a quello previsto.

Qualunque definizione di serendipità adottiamo, rimane il fatto che ogni scoperta avvenuta apparentemente “per caso” ha richiesto inferenze, strategie e pianificazione, che sono tutti **strumenti razionali**. Naturalmente, il prodotto finale era in un certo senso inaspettato, ma è stato trovato dopo che molte opzioni erano state esplorate e respinte dallo scopritore o da altri ricercatori, o dopo diversi studi controllati (come nel caso di Fleming che scopre la penicillina), o semplicemente la scoperta finale non era esclusa fin dall'inizio (nel tentativo di circumnavigare la terra da ovest, Colombo non poteva escludere che altre terre inesplorate potessero essere incontrate).

5

Psicologia della scoperta

Gli approcci che cercano di render conto della scoperta scientifica mediante il genio romantico, o la serendipità, o processi mentali come l'illuminazione,

non offrono uno strumento scientifico per comprendere neanche un po' questo processo. Eppure, gran parte dei processi mentali che avvengono durante una scoperta scientifica sembrano razionali e ricostruibili. Di questo avviso è per esempio un altro grande scienziato, il matematico e pensatore francese Henri Poincaré (1854-1912).

STORIA DELLA SCIENZA

T4

Henri Poincaré: per una psicologia della scoperta

H. Poincaré, *Science et Méthode*, Flammarion, Paris 1908, trad. di E. Ippoliti

La genesi della scoperta matematica è un problema che deve ispirare lo psicologo con il più grande interesse. Questo è un processo in cui la mente umana sembra prendere in prestito meno dal mondo esteriore in cui agisce, e sembra agire solo da sé stessa e su sé stessa, così che studiando il processo seguito da un matematico quando pensa possiamo sperare di arrivare a ciò che è più essenziale nella mente umana.

Il primo problema che Poincaré cerca di risolvere è quello di fornire una definizione della scoperta basandosi sulla sua esperienza introspettiva, ossia su ciò che egli ritiene che avvenga, o sia avvenuto, nella sua mente quando è riuscito ad avere l'idea per risolvere problemi scientifici importanti. In particolare, Poincaré prende spunto dalla teoria psicoanalitica di Sigmund Freud, e cerca di fornire una sua descrizione dei processi mentali *inconsci* che avverrebbero durante la scoperta scientifica, che egli ritiene possa essere concepita essenzialmente come capacità di selezionare tra tante combinazioni di idee.

STORIA DELLA SCIENZA

T5

Henri Poincaré: scoprire è selezionare

H. Poincaré, *Science et Méthode*, Flammarion, Paris 1908, trad. di E. Ippoliti

Cos'è, dunque, la scoperta matematica? Questa non consiste semplicemente nel fare nuove combinazioni con entità matematiche che sono già conosciute. Questo può essere fatto da chiunque e le combinazioni che potrebbero essere così formate sarebbero infinite e la maggior parte di loro sarebbe assolutamente priva di interesse. La scoperta consiste precisamente non nel costruire combinazioni inutili, ma nella costruzione di quelle che sono utili, che sono una piccolissima minoranza. La scoperta è discernimento, selezione.

La teoria di Poincaré, pur basandosi su quella di Freud, è caratterizzata tuttavia da una grande differenza da quest'ultima: mentre Freud sostiene che attività conscia e attività inconscia sono fondamentalmente eterogenee, Poincaré sostiene che queste due attività siano di fatto del tutto omogenee – ossia diano luogo agli stessi processi. La proprietà che le differenzia è semplicemente la

velocità: l'attività inconscia genera processi (catene di idee) in modo parallelo, ossia processa dati contemporaneamente, mentre quella conscia lavora per via seriale, ossia dispone gli elementi in successione in modo da formare una sequenza.

Poincaré ci fornisce inoltre anche una “fenomenologia” della scoperta scientifica, secondo cui essa avverrebbe in quattro fasi:

1. *preparazione*, nella quale si tenta di risolvere *consciamente* un problema, non ci si riesce e si arriva a uno *stallo*, che spinge ad abbandonare il tentativo di risolverlo;

2. *incubazione*, nella quale l'inconscio continua a lavorare al problema, producendo moltissime combinazioni di idee;

3. *illuminazione*, per effetto della quale una idea risoltrice viene selezionata e affiora di nuovo alla nostra attività conscia;

4. *verifica*, nella quale l'idea viene vagliata con gli strumenti razionali e logici.

Henri Poincaré: fenomenologia della scoperta

H. Poincaré, *Science et Méthode*, Flammarion, Paris 1908, trad. di E. Ippoliti

Si rimane colpiti dall'occorrenza di queste illuminazioni improvvise, indicazioni ovvie della presenza di un precedente lungo lavoro inconscio. Il ruolo giocato da questo lavoro inconscio nella scoperta matematica mi sembra indiscutibile e troveremo tracce di esso in altri casi in cui è meno evidente. Spesso quando stiamo lavorando a una questione difficile, non riusciamo a far nulla la prima volta che ci mettiamo al lavoro. Poi prendiamo un periodo di riposo più o meno lungo, e ci sediamo di nuovo al nostro tavolo. Durante la prima mezz'ora ancora non troviamo nulla, e poi di colpo, tutto in una volta, l'idea decisiva si presenta alla nostra mente. Potremmo anche pensare che il lavoro cosciente si rivela più fruttuoso se lo si interrompe, e il riposo restituisce forza e freschezza alla mente. Ma è più probabile che durante il riposo dell'attività conscia, eravamo occupati con un lavoro inconscio, e che il risultato di questo lavoro ci sia stato rivelato successivamente, esattamente come nei casi che ho citato, tranne che la rivelazione, invece di venire alla luce durante una passeggiata o un viaggio, è venuta durante un periodo di lavoro cosciente, ma indipendentemente da quel lavoro, che al massimo esegue solo il processo di sblocco, come se fosse lo stimolo che eccitava in forma cosciente i risultati già acquisiti durante il riposo. [...]

C'è un'altra osservazione da fare riguardo al ruolo di questo lavoro inconscio, ossia che non è possibile, o comunque non fruttuoso, a meno che non sia preceduto e poi seguito da un lavoro cosciente. Queste improvvise illuminazioni sono prodotte (e questo è già sufficientemente dimostrato dagli esempi che ho citato) solo a seguito di alcuni giorni di sforzi volontari e coscienti che sembravano as-

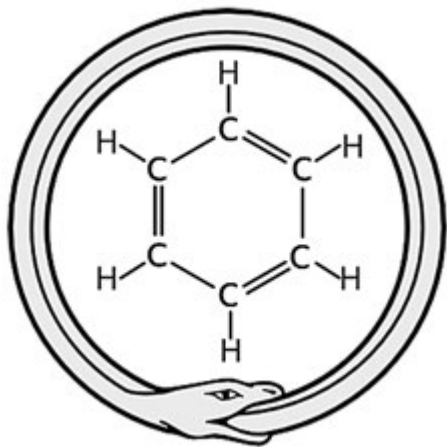


Fig. 5. Struttura del benzene

solamente infruttuosi, in cui si pensava di aver ottenuto quasi niente, e ci sembrava di essere su una pista totalmente sbagliata. [...] Questi sforzi, tuttavia, non erano così sterili come uno potrebbe pensare: mettono in moto la macchina dell'inconscio, e senza di loro questa non avrebbe funzionato affatto, e non avrebbe prodotto nulla.

La necessità di un secondo periodo di lavoro cosciente può essere ancora più facilmente compresa. È necessario per elaborare i risultati dell'illuminazione, dedurre le conseguenze immediate e metterle in ordine e per impostare le dimostrazioni; ma, sopra tutto, è necessario verificarli. Ho parlato del sentimento di assoluta certezza che accompagna l'illuminazione; nei casi citati questa sensazione non era ingannevole, e il più delle volte questo non lo è. Ma dobbiamo stare attenti a pensare che sia una regola senza

eccezioni. Spesso questa sensazione ci può ingannare, e lo rileviamo solo quando tentiamo di stabilire la dimostrazione dell'ipotesi formulata. Ho osservato questo in particolare, per quanto riguarda le idee che sono arrivate per me al mattino o alla sera, quando sono stato a letto in condizioni di dormiveglia.

La teoria psicologica della scoperta scientifica proposta da Poincaré, basata sull'attività inconscia, trova supporto nella descrizione che altri scienziati hanno dato del modo in cui sono giunti a scoprire ipotesi per risolvere problemi scientifici. Una fra tutte è quella fornita dal chimico tedesco Friedrich August Kekulé (1829-1896), che scoprì in questo modo la struttura molecolare del benzene (Fig. 5), un composto chimico basilare del petrolio dal caratteristico odore.

Ecco il resoconto che Kekulé scrisse (a trent'anni di distanza dagli eventi) per descrivere come sarebbe arrivato all'idea decisiva per risolvere il problema.

STORIA DELLA SCIENZA

17


Friedrich A. Kekulé: i miei sogni di scienziato

F.A. Kekulé, *Benzolfest: Rede*, in «Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft», vol. 23 (1), 1890, trad. di E. Ippoliti

Forse vi interesserà sapere, svelando cose altamente indiscrete della mia vita interiore, come sono arrivato ad alcune delle mie idee.

Durante il mio soggiorno a Londra sono stato per un considerevole tempo a Clapham Road nel quartiere di Clapham. Spesso, tuttavia, passavo le mie serate con il mio amico Hugo Miller a Islington, dalla parte opposta della città. Parlavamo di molte cose, ma per lo più della nostra amata chimica. Una bella sera d'estate stavo tornando con l'ultimo autobus. Ero un po' "fuori" come al solito, e attraverso le strade deserte della città, che sono invece di solito così piene di vita. Di colpo, cado in una fantasticheria (*Traumerei*), ed ecco che gli atomi stavano danzando davanti i miei occhi! Ogni volta che, fino a quel momento, questi esseri minuscoli mi erano apparsi, erano sempre stati in movimento; ma fino a quel momento non ero mai stato in grado di discernere la natura del loro movimento.

Questa volta, tuttavia, vedo proprio frequentemente due atomi più piccoli che si uniscono per formare una coppia; vedo che uno più grande abbracciava i due più piccoli; che quelli ancora più grandi tenevano in mano tre o anche quattro dei più piccoli; mentre il tutto continuava a girare in una vorticoso danza. Poi vedo come quelli più grandi formano una catena, trascinando i più piccoli dietro di loro ma solo all'estremità della catena. Vedo quello che il nostro vecchio maestro, Kopp, il mio mentore e amico, ha raffigurato con un tale fascino in un suo libro, ma io l'ho visto molto prima di lui. Un pianto mi ha risvegliato dal sogno, e così ho passato una parte della notte a mettere su carta gli schizzi di queste forme oniriche. Questo è l'origine della mia "Teoria strutturale".

Qualcosa di simile è successo con il benzene. Durante il mio soggiorno a Gand ho vissuto in un elegante quartiere di scapoli nella principale arteria stradale. Il mio studio, tuttavia, si affacciava su un vicolo laterale stretto e senza luce naturale. Per un chimico che spende il suo giorno in laboratorio questo importava poco. Stavo seduto, lavorando al mio libro, ma il lavoro non progrediva; i miei pensieri erano altrove. Avvicino la mia sedia al fuoco e mi appisolo. Di nuovo gli atomi danzano davanti ai miei occhi. Questa volta il più piccolo dei gruppi era tenuto in secondo piano. Il mio occhio mentale, reso più acuto da visioni ripetute di questo tipo di cose, era in grado di distinguere le strutture più grandi tra molteplici conformazioni: lunghe file, a volte incastrate mediante torsioni, e le torsioni a forma di serpente che si muovono. Ma guarda! Che cos'era questo? Uno dei serpenti aveva afferrato la sua stessa coda e la forma roteava beffardamente davanti ai miei occhi. Come illuminato da un lampo mi svegliai; e anche questa volta passai il resto della notte a elaborare le conseguenze dell'ipotesi. Impariamo a sognare, signori, e forse troveremo la verità! 

Per quanto accattivante, l'approccio psicologista alla scoperta scientifica presenta una serie di difetti. Essi sono legati all'**attendibilità** delle ricostruzioni (le auto-descrizioni fatte dagli autori stessi, che spesso sono approssimative) e al fatto che esistono molte scoperte che sono fatte contemporaneamente da persone diverse e indipendentemente l'una dall'altra (sono le cosiddette *scoperte multiple*) e che sono difficili da spiegare sulla base della trattazione psicologista. Un caso su tutti è la scoperta del calcolo infinitesimale da parte sia di Newton sia di Leibniz, avvenuta più o meno contemporaneamente. Inoltre, la psicologia della scoperta, concentrandosi sull'aspetto individuale del processo, non è in grado di render conto di un aspetto centrale della scoperta scientifica, quale la **costruzione collettiva e graduale** che porta a scoprire qualcosa. Molto spesso ciò che chiamiamo scoperta di qualcuno, o colpo di genio, è solo l'ultimo, piccolo passo di un lungo processo che è stato possibile grazie a tanti passi precedenti fatti da altri esseri umani. In questo senso, ci troviamo in una situazione analoga a quella di Neil Armstrong quando posò piede sulla Luna e recitò la famosa frase: «Un piccolo passo per un uomo, un grande passo per l'umanità». Così come quel piccolo, ultimo passo di Armstrong è stato reso possibile dal lavoro di tanti altri uomini, così spesso

ciò che chiamiamo scoperta non è altro che l'ultimo, e spesso facile, passo di un lungo percorso collettivo.

Questi difetti della tradizione psicologica hanno spinto molti scienziati e filosofi a cercare di sviluppare una trattazione migliore del processo di scoperta scientifica.

6

Niente di speciale: il cognitivismo

La **scuola cognitivista** cerca di superare i limiti della tradizione psicologica della scoperta scientifica e fornisce una trattazione di questo processo che mira non solo a sviluppare un **metodo** per scoprire, ma, nella sua versione più ambiziosa, anche a far sì che questi metodi siano implementabili su un **computer** (una macchina scopritrice).

È di questo avviso uno dei fondatori di questa scuola, il premio Nobel per l'economia Herbert Simon (1916-2001).

STORIA
DELLA SCIENZA

T8

Herbert Simon: una scienza della scoperta

H. Simon, in *Scientific Discovery*, Mit Press, Cambridge (MA) 1987, trad. di E. Ippoliti

Se esista un metodo di scoperta è una domanda la cui risposta è aperta allo studio scientifico. Certo, potremmo non riuscire a trovare metodi che spieghino la scoperta [...], ma siamo liberi di cercarli. E se arriviamo ad alcune ipotesi su tali metodi, allora dobbiamo testarle proprio come testiamo qualsiasi altra ipotesi nella scienza.

Gli scopi di questo libro sono di rendere conto di alcuni metodi di scoperta scientifica e di dimostrare l'efficacia di questi metodi utilizzandoli per fare una serie di scoperte (o per meglio dire: ri-scoperte).

I metodi che proponiamo sono codificati in una serie di programmi per computer, e vengono testati fornendo a questi programmi dati da esplorare in cui essi possono ricercare regolarità. Questo lavoro ha diverse motivazioni, a cui è già stato accennato nelle nostre osservazioni introduttive.

In primo luogo, cerca di indagare la psicologia del processo di scoperta, e fornire una teoria empiricamente testata del processo di elaborazione delle informazioni e i meccanismi che sono implicati in quel processo. (Tuttavia, ci siamo limitati a trovare una serie di meccanismi che siano sufficienti per spiegare la scoperta. Questi meccanismi dicono poco in termini di confronto dettagliato con un modo di procedere umano.)

In secondo luogo, si impegna a fornire alcune basi per una teoria normativa della scoperta – per il libro su “come fare scoperte”. In particolare, propone e valuta un numero sostanziale di *euristiche* che sono progettate per facilitare il processo

di scoperta e aumentare la sua efficienza e possibilità di successo rispetto a una semplice ricerca basata su tentativi ed errori.

In terzo luogo, riesamina le relazioni tra i processi di scoperta e i processi di verifica, trovando che queste due classi di processi sono molto più intimamente connessi di quanto generalmente suggerito in letteratura di filosofia della scienza. In quarto luogo, poiché la maggior parte degli esempi che usiamo per testare le nostre ipotesi sono tratte dalla storia della scienza, suggerisce una metodologia per l'esame della storia delle scoperte che potrebbe rivelarsi un'utile aggiunta al repertorio degli storici della scienza.

Quindi, questo libro entra in un certo numero di domini della scienza, tra cui la psicologia cognitiva, l'intelligenza artificiale, la filosofia della scienza e la storia della scienza. Speriamo che possa suscitare l'interesse (e suscitare le correzioni) dei professionisti in tutti questi campi e degli scienziati che lavorano in altri campi che sono curiosi dei propri processi cognitivi. Se ci riesce, questo libro avrà raggiunto il suo scopo: contribuire alla comprensione di scoperta nella scienza.

La scuola cognitivista cerca di raggiungere questo obiettivo partendo dall'ipotesi, che viene supportata da diverse evidenze, che il processo di scoperta non è frutto di processi speciali e inimitabili, come per esempio quelli del genio, ma che questi processi siano del tutto normali e ordinari. È l'idea del *niente-di-speciale*.

Herbert Simon: la forza dei problemi

H. Simon, in *Scientific Discovery*, Mit Press, Cambridge (MA) 1987, trad. di E. Ippoliti

Un'ipotesi che sarà centrale nella nostra indagine è che i meccanismi della scoperta scientifica non siano peculiari di questa attività, ma possono essere descritti semplicemente come un caso speciale dei meccanismi generali di risoluzione dei problemi. La questione se questa ipotesi sia vera, e in quale misura, è opportunamente rimandata fino a quando non abbiamo raggiunto la fine della nostra esplorazione, e avanzando raccoglieremo vari materiali ed evidenze necessari per testarla.

Il nostro metodo di indagine sarà quello di costruire un programma per computer (in realtà una successione di programmi) che sia in grado di rendere conto e riprodurre scoperte scientifiche non banali, e il cui metodo operativo è basato sulla conoscenza che abbiamo sui metodi umani per risolvere problemi, in particolare il metodo euristico di ricerca selettiva. L'attrattiva del nostro approccio sta proprio nel fatto che consente di attingere a un grande corpo di conoscenze accumulato dalla ricerca di una risoluzione per problemi umani. [...] Possiamo ricavare il nostro metodo dalle teorie di risoluzione dei problemi che sono già stati ampiamente testati in laboratorio.

Certo, se la nostra ipotesi è sbagliata, se la scoperta scientifica è qualcosa di molto diverso dall'ordinario problem-solving – il nostro lavoro andrà perso. Ma

abbiamo già sbirciato alla fine del libro, e sappiamo che le cose sono andate bene e che non funzionano affatto male.

C'è una seconda attrattiva nell'ipotesi che la scoperta scientifica sia semplicemente una forma di ordinario *problem-solving*: incontra il nostro desiderio di parsimonia. Essa minimizza il grado in cui il lavoro di scoperta deve essere trattato, in quanto esercizio di una facoltà umana speciale. Conserva una struttura in cui tutte le forme di pensiero umano serio – nella scienza, nelle arti, nelle professioni, a scuola, nella vita personale – possono rivelare le loro caratteristiche comuni.

Il punto da chiarire per la tradizione cognitivista è dunque quello di delineare cosa si intende per *processo di pensiero ordinario*. Lo scienziato cognitivo statunitense Robert Weisberg ci fornisce una descrizione di questo tipo di pensiero in un suo importante libro sulla creatività e il *problem-solving*.

Robert Weisberg: una via ordinaria per risultati straordinari

R. Weisberg, *Understanding Creativity*, John Wiley & Sons, Hoboken (NJ) 2006, trad. di E. Ippoliti

La visione della creatività che sta alla base di questo libro presuppone che i nuovi prodotti, le scoperte, avvengano attraverso l'uso di processi di pensiero ordinario. Da questa prospettiva *ordinaria*, quando qualcuno dice stiamo “pensando in modo creativo”, semplicemente sta commentando l'esito del processo, non il processo stesso. Per “pensiero creativo” si intende semplicemente, come afferma Simon, un pensiero ordinario che ha prodotto un risultato straordinario. Sebbene l'impatto di idee e prodotti creativi possa a volte essere profondo, i meccanismi attraverso i quali un'innovazione viene raggiunto possono essere molto ordinari. Abbiamo visto alcune prove a sostegno di questa conclusione dai casi di studio nel capitolo 1. Nel discutere la scoperta della doppia elica (da parte di Watson e Crick, DNA) e la creazione di Guernica (Picasso), non era necessario invocare un pensiero “straordinario” per spiegare come questi prodotti creativi siano stati prodotti. [...]

Componenti cognitivi di base del pensiero ordinario

Anche se il termine pensare è uno che tutti usiamo continuamente, quando ci viene richiesto di definirlo precisamente, ci si rende conto che il pensiero ordinario è un'attività complessa.

La frase “sto pensando” può riferirsi a qualsiasi gruppo o famiglia di attività di grandi dimensioni (non necessariamente indipendenti), alcune delle quali sono le seguenti:

- ricordare qualcosa
- immaginare qualche evento a cui hai assistito (che può dipendere dalla memoria)
- pianificare come svolgere alcune attività prima di farle (che può dipendere sia dall'immaginazione sia dalla memoria)

- anticipare l'esito di alcune azioni (che possono dipendere dall'immaginazione)
- giudicare se l'esito di un'azione prevista sarà accettabile (che può dipendere dall'immaginazione e dal giudizio)
- decidere tra due piani di azione alternativi (che possono dipendere dall'immaginazione e dal giudizio)
- determinare le conseguenze di alcuni eventi verificatisi, attraverso il ragionamento deduttivo (che può dipendere o meno dall'immaginazione)
- percepire un modello generale in un insieme di esperienze specifiche, attraverso il ragionamento induttivo
- comprendere un messaggio verbale
- riconoscere che due affermazioni sono contraddittorie
- interpretare un'immagine o un diagramma [...]

Oltre ad essere costituito dalla famiglia di attività appena elencate, il pensiero ordinario possiede anche un certo numero di caratteristiche generali, tra cui sono le seguenti.

- I nostri pensieri seguono l'uno dall'altro, o sono correlati l'un l'altro: cioè, il nostro pensiero ha una struttura.
- Il pensiero ordinario dipende dal passato: cioè, il nostro pensiero mostra continuità con il passato.
- Conoscenza e concetti dirigono il pensiero ordinario: gli psicologi chiamano la direzione del nostro pensiero per conoscenza e concetti un processo di tipo top-down (di cui discuteremo più in dettaglio).
- Il pensiero ordinario può essere influenzato da eventi ambientali: il nostro pensiero è sensibile agli eventi ambientali.

Una volta definito il processo di **pensiero ordinario** rimane da mostrare come si possa costruire una teoria che spieghi come avviene la soluzione dei problemi.

Simon ci fornisce una trattazione piuttosto dettagliata di come si risolvono i problemi, producendo una vera e propria **teoria dei problemi**.

Per illustrarla, facciamo un esempio con un gioco noto: la torre di Hanoi con tre dischi.

Il problema da risolvere è il seguente: partendo dalla posizione iniziale (Fig. 6)

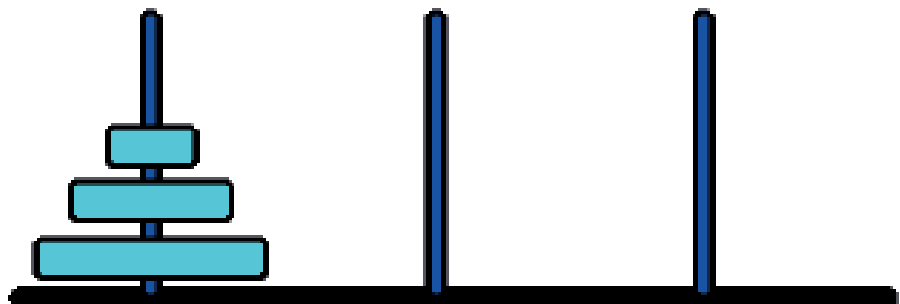


Fig. 6. Posizione iniziale del gioco della torre di Hanoi con tre dischi

Fig. 7. Posizione finale

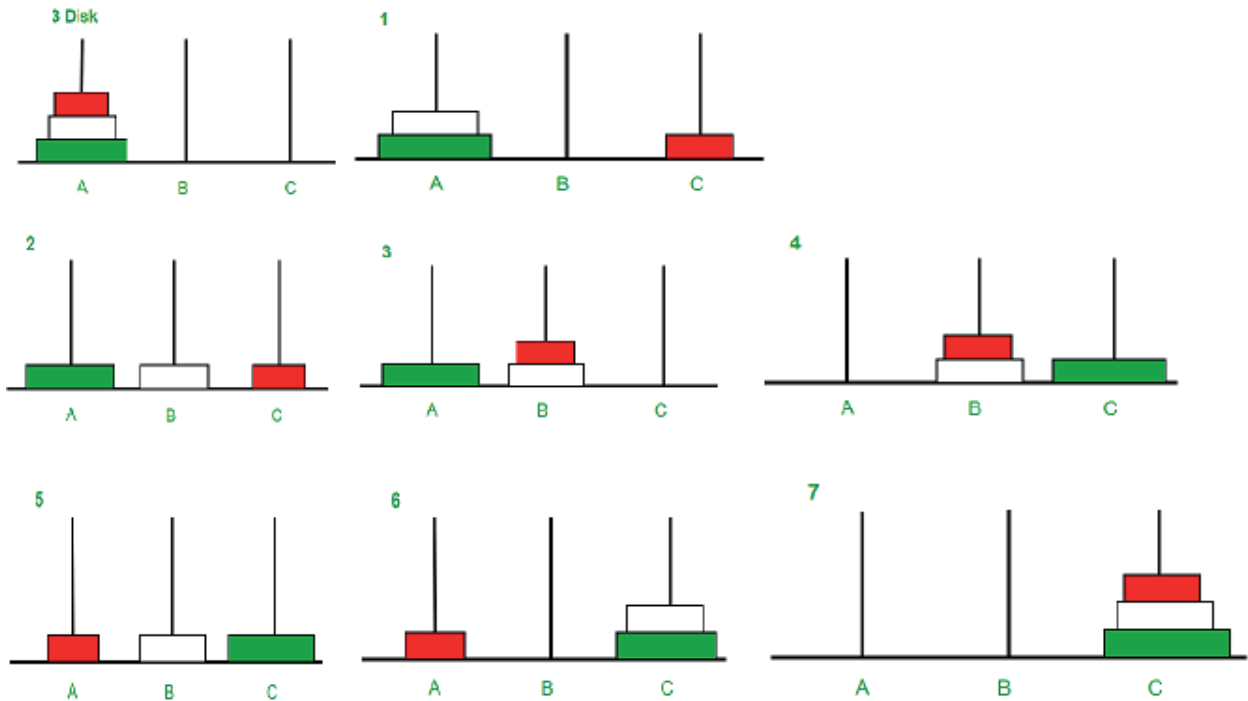


Fig. 8. Soluzione della torre di Hanoi a tre dischi

dobbiamo arrivare alla posizione finale (Fig. 7). Possiamo spostare un disco alla volta su un palo e non possiamo mettere un disco più grande su uno più piccolo.

Questo problema può essere risolto in sette mosse (Fig. 8).

Innanzitutto, un problema è un **ostacolo**, qualcosa da superare per arrivare allo stato desiderato partendo dallo stato o situazione esistente e utilizzando certi strumenti. In sostanza è una questione a cui dare risposta a partire da certi dati.

La teoria cognitivista sostiene in particolare che un problema è composto da *operatori, vincoli, stato iniziale e stato finale*.

Un **operatore** è una «mossa» sugli oggetti del problema (nel nostro caso: spostare un disco). Un **vincolo** è una limitazione alle mosse effettuabili mediante gli operatori, e distingue dunque le mosse in ammissibili e inammissibili, legali e illegali (nel nostro caso un vincolo è il fatto che non si può mettere un disco

A

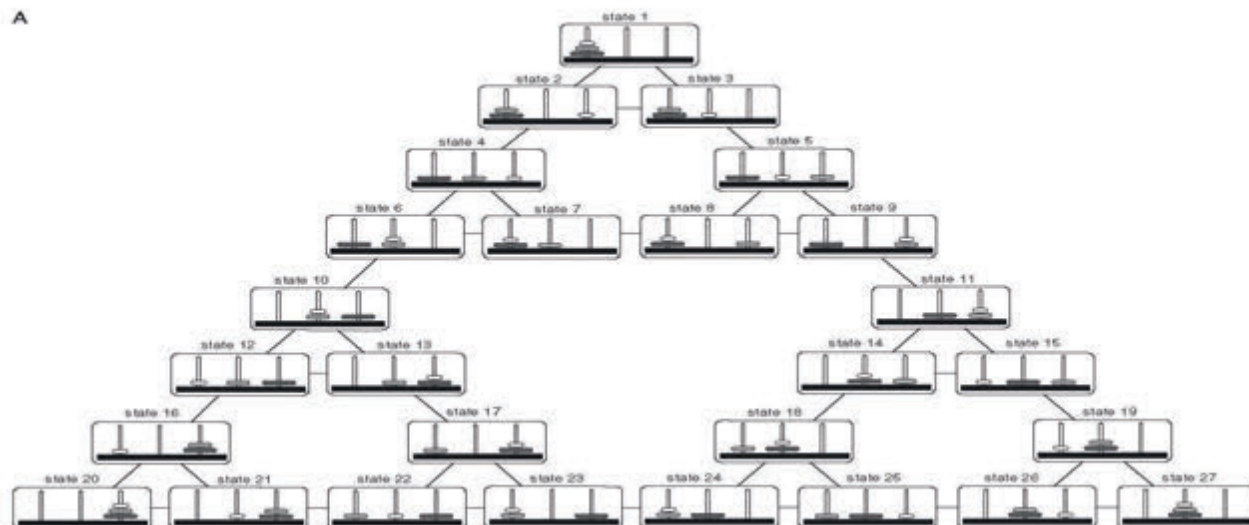


Fig. 9. Lo spazio del problema per la torre di Hanoi a tre dischi

più grande su uno più piccolo). Lo **stato iniziale** è la particolare distribuzione/configurazione degli oggetti all’inizio della ricerca. Lo **stato finale** è lo stato che si desidera raggiungere.

Questi componenti di un problema definiscono lo **spazio del problema**, ossia l’insieme di tutte le possibili mosse *legali* (Fig. 9) nella ricerca di una soluzione, dei cammini che è possibile percorrere per arrivare alla soluzione.

Al fine di mostrare come risolvere un problema, Simon inoltre introduce le cosiddette *euristiche*, le strategie che permettono di avvicinarsi il più possibile allo stato finale del problema riducendo il numero dei cammini da percorrere.

Ovviamente non tutti i problemi scientifici, soprattutto quelli alla frontiera della conoscenza, sono semplici come la torre di Hanoi, e per questi non è così semplice definire *operatori*, *vincoli*, *stato iniziale* e *stato finale*. Con questa teoria dei problemi è in ogni caso possibile produrre delle “**macchine**” che scoprono qualcosa di nuovo, ossia pensare a una **meccanicizzazione** del processo di scoperta. Simon ha costruito infatti una serie di **algoritmi**, che ha nominato **BA-CON** (come il filosofo Francis Bacon), che mostrano come una macchina possa scoprire importanti leggi scientifiche.

LESSICO BREVE

Algoritmo Si tratta di un concetto utilizzato nei campi della matematica e dell’informatica e sta ad indicare un procedimento di risoluzione di un problema attraverso un numero finito di sequenze chiare ed elementari, in un tempo ragionevole. Il termine deve la sua origine al nome del matematico persiano al-Khwarizmi (780 ca.-850 ca.).

STORIA DELLA SCIENZA

T11

Herbert Simon: un algoritmo per la scoperta

H. Simon, in *Scientific Discovery*, Mit Press, Cambridge (MA) 1987, trad. di E. Ippoliti

Dal momento che ci sono dei vantaggi nell’implementare teorie sull’elaborazione delle informazioni in programmi per computer, abbiamo seguito questa idea per la nostra ricerca sulla scoperta scientifica. I nostri primi sforzi lungo queste linee hanno portato a una serie di programmi per computer chia-

mati collettivamente BACON. [...] Le versioni di BACON sono un approccio unitario alla scoperta, proprio come una rappresentazione comune di dati e leggi. Le differenze tra i vari sistemi riguardano la ricerca di leggi empiriche. Le versioni successive di BACON contengono l'euristica delle versioni precedenti, ma ne incorporano anche altre. Ci siamo sforzati di rendere quanto più generale possibile BACON perché vogliamo esplorare il ruolo, nella scoperta scientifica, dell'euristica, che può essere rilevante in una vasta gamma di discipline scientifiche e quindi può contribuire alla nostra comprensione di base della scoperta, ovunque possa accadere. Nell'adottare questa strategia, non è nostra intenzione negare l'importanza del ruolo della conoscenza specifica della disciplina, [...] piuttosto, vogliamo vedere fino a che punto possiamo arrivare inizialmente con i dati e con processi impoveriti da un punto di vista semantico. Avendo chiarito le nostre ragioni la ricerca di meccanismi generali, è arrivato il momento di considerare un esempio di come si potrebbero impiegare tali meccanismi per scoprire leggi empiriche.

Una delle leggi più importanti che BACON riesce a scoprire è la terza legge del moto planetario di Keplero. Vediamo come ci riesce.

Herbert Simon: un computer alla scoperta della terza legge di Keplero

H. Simon, in *Scientific Discovery*, Mit Press, Cambridge (MA) 1987, trad. di E. Ippoliti

Nel 1618, Johannes Keplero scoprì la sua terza legge del moto planetario: il cubo della distanza di un pianeta dal Sole è proporzionale al quadrato del suo periodo. Questa affermazione può essere riformulata così:

$$D^3/P^2=c,$$

dove D è la distanza, P è il periodo e c è una costante.

Come si potrebbe scoprire una tale legge? Ecco un esempio di protocollo che si basa su tre euristiche molto semplici:

1. Se i valori di un termine sono costanti, allora deduci che il termine ha sempre quel valore.
2. Se i valori di due termini numerici aumentano insieme, considera il valore del loro rapporto.
3. Se i valori di un termine aumentano mentre quelli di un'altra diminuiscono, allora considera il loro prodotto.

Il valore di queste euristiche può essere visto nel loro funzionamento. I tre pianeti considerati di seguito, A, B e C, obbediscono a una versione della legge di Keplero dove la costante è 1. Lo scopritore deve iniziare raccogliendo alcuni dati, selezionando diversi valori per la variabile nominale (pianeta) e ottenendo i valori numerici dei termini (D e P):

Quando il pianeta è A

Quanto è P ? Risposta: 1.0

Quanto è D? Risposta: 1.0

Quando il pianeta è B

Quanto è P? Risposta: 8.0

Quanto è D? Risposta: 4.0

Quando il pianeta è C

Quanto è P? Risposta: 27.0

Quanto è D? Risposta: 9.0

D aumenta all'aumentare di P, quindi considero il loro rapporto.

Definisco Termine-1 come il rapporto di D e P $[D/P]$.

Qui viene applicata la seconda euristica. Abbiamo osservato la distanza e il periodo aumentare insieme, quindi la nuova variabile Termine-1 è stata definita come il loro rapporto.

Successivamente, vengono calcolati i valori di questo nuovo termine.

Quando D è:	1.0	4.0	9.0
e P è:	1.0	8.0	27.0
Term-1 è:	1.0	0.5	0.333

D aumenta quando Term-1 diminuisce quindi considero il loro prodotto.

Definiscono Term-2 come il prodotto di D e Termine-1 $[D (D/P) = D^2/P]$.

Quando D è:	1.0	4.0	9.0
e P è:	1.0	8.0	27.0
Term-2 è:	1.0	2.0	3.0

Il termine 1 aumenta mentre Term-2 diminuisce quindi considero il loro prodotto.


Definisco Termine-3 come il prodotto di Termine-1 e Termine-2 $[(D/P) (D^2/P) = D^3/P^2]$.

A questo punto, la terza euristica è stata applicata due volte. Altri due concetti sono stati definiti: Term-2 come D^2/P e Term-3 come D^3/P^2 .

Poiché il secondo di questi è quello che è stato formato più di recente, esamineremo i suoi valori in seguito:

Quando D è:	1.0	4.0	9.0
e P è:	1.0	8.0	27.0
Term-3 è:	1.0	1.0	1.0

Term-3 ha il valore costante 1.0

Infine, si applica la prima euristica, dal momento che il nuovo concetto Termine-3 (definito come D^3/P^2) ha il valore costante 1.0 per tutti e tre i pianeti. L'affermazione che questo termine è costante per tutti i pianeti, è equivalente alla terza legge di Keplero per il moto planetario e il protocollo descritto sopra è una traccia plausibile di come si possa scoprire questa legge. In questo esempio abbiamo usato dati idealizzati per motivi di chiarezza, ma più avanti nel capitolo riconsidereremo la legge di Keplero nel contesto dei dati originali. 

La scuola cognitivista offre una solida base per render conto del processo di scoperta scientifica inteso come soluzione di problemi. Tuttavia, essa presenta anche alcune serie criticità, in particolare l'idea che il processo di scoperta sia implementabile su un computer. Questa idea infatti è difficile da sostenere. Il software BACON, infatti, così come altri software, non scopre davvero, nel senso che non produce nuove leggi scientifiche, ma semplicemente mostra come sia possibile ottenere in altro modo leggi già note. In questo senso il programma trae beneficio dal punto di vista storico favorevole, ossia quello di sapere già il risultato, e le sue euristiche mostrano come sia possibile ricostruire la formazione di questo risultato, ossia certe leggi.

Il pacchetto di algoritmi di Simon modella la parte più semplice e finale del processo di scoperta, che è quello che avviene quando ormai tutto il lavoro di concettualizzazione, selezione dei dati e scelta delle variabili è stato già effettuato dall'uomo. In questo senso, non è affatto sorprendente ciò che BACON riesce a fare, in quanto fa perfettamente ciò che un computer fa meglio di un essere umano: calcolare e ricercare regolarità su (vasti) insiemi di dati.

7

Il metodo euristico

Se l'idea di un metodo algoritmico per scoprire ipotesi e risolvere problemi scientifici perseguito da una parte della scuola cognitivista sembra insostenibile, questo non significa che un metodo di scoperta non sia possibile. Anzi, questo è proprio quanto intende dimostrare la cosiddetta **tradizione euristica**.

Questa tradizione ritiene che la scoperta scientifica sia una forma di soluzione di problemi e che esista un metodo *non-algoritmico*, o meglio **euristico**, per espletare questo compito. Qual è la differenza tra i due?

Un metodo algoritmico è un metodo che garantisce di dare sempre una soluzione corretta a un problema, facendolo in modo meccanico. Tale è, ad esempio, il metodo per effettuare la somma tra numeri. In generale non esiste un metodo algoritmico per la soluzione di problemi. Un metodo *euristico*, invece, è un metodo che, pur *non* garantendo di dare sempre una corretta soluzione a un problema, è una **guida** essenziale per trovarla.

Le procedure euristiche, più esattamente, sono degli strumenti razionali per formulare una ipotesi per risolvere un problema. Tali procedure sono ottenute fondamentalmente combinando le inferenze non-deduttive, come le analogie e le induzioni. Esempi di procedure euristiche sono la metafora, la metonimia, l'uso di diagrammi, l'analisi di casi estremi, la violazione di un vincolo, ecc. Avremo modo di esaminarne alcune di seguito.

LESSICO BREVE

Euristico Il termine deriva dal verbo greco *eurisko*, che significa 'scoprire', 'trovare'. Esso sta ad indicare quel criterio che viene considerato come riferimento o idea guida nell'analisi dei fatti, e dello stesso metodo di ricerca. In particolare, nel campo della matematica, il termine indica un *procedimento* approssimativo e non rigoroso che consente la previsione di un risultato.

Possiamo classificare le euristiche in modi diversi. Una delle prime e più basilari classificazioni è stata introdotta dal filosofo ungherese Imre Lakatos (1922-1974), che distingue le **euristiche** in **positive** e **negative**. Le prime sono quelle che ci suggeriscono quali percorsi *non* intraprendere quando cerchiamo una ipotesi, le seconde invece sono quelle che ci suggeriscono quali percorsi è più fruttuoso cercare di costruire.

FILOSOFIA

T13

Imre Lakatos: le euristiche

I. Lakatos, *The methodology of scientific research programmes*, Cambridge University Press, Cambridge 1978, trad. di E. Ippoliti

La scienza nel suo insieme può essere considerata come un enorme programma di ricerca governato dalla suprema regola euristica di Popper: “concepire ipotesi che hanno più contenuto empirico di quelle che le hanno precedute”. Tali regole metodologiche possono essere formulate, come ha sottolineato Popper, come principi metafisici. Ad esempio, la regola universale anti-convenzionale contro l’eccezione può essere dichiarata come il principio metafisico: “La natura non ammette eccezioni”. Ecco perché Watkins definì tali regole “metafisica dell’influenza”. Ma quello che ho in mente principalmente non è la scienza nel suo insieme, ma programmi di ricerca piuttosto particolari, come quello noto come “metafisica cartesiana”. La metafisica cartesiana, vale a dire la teoria meccanicistica dell’universo – secondo la quale l’universo è un enorme meccanismo a orologeria (e un sistema di vortici) con la spinta come unica causa del movimento – funzionava come un potente principio euristico. Scoraggiava il lavoro sulle teorie scientifiche – come la versione “essenzialista” della teoria dell’azione di Newton a distanza – che erano incoerenti con esso (*euristica negativa*). D’altra parte, ha incoraggiato il lavoro sulle ipotesi ausiliarie che potrebbero averlo salvato dall’apparente contrasto – come le ellissi Kepleriane (*euristica positiva*). ■

Le euristiche sono il nucleo e il motore di un metodo per la scoperta scientifica in quanto forniscono una via razionale – ma non certa, e non algoritmica – per trovare una ipotesi che risolva un problema, ma il metodo vero e proprio è una cornice più ampia. Come ci ricorda il filosofo Carlo Cellucci (nato nel 1940) tale cornice ci è fornita dal metodo analitico.

STORIA DELLA SCIENZA

T14

Carlo Cellucci: metodo analitico e logica della scoperta

C. Cellucci, *La logica della scoperta scientifica*, in «Scienza & Società», 31/32 (2017), p. 25

Scopo del metodo analitico è scoprire ipotesi che siano condizioni sufficienti per una soluzione di un problema e siano plausibili. Infatti, il metodo analitico è sia un metodo di scoperta sia un metodo di giustificazione. È un metodo

di scoperta, perché permette di scoprire ipotesi che sono condizioni sufficienti per una soluzione del problema. È un metodo di giustificazione, perché permette di scoprire ipotesi che sono plausibili. L'intuizione non svolge alcun ruolo nel metodo analitico. Non svolge alcun ruolo nella scoperta delle ipotesi, perché queste si ottengono dal problema, ed eventualmente da altri dati, mediante regole di inferenza non-deduttive, dunque mediante l'inferenza e non mediante l'intuizione. Non svolge alcun ruolo nella giustificazione delle ipotesi, perché che queste siano plausibili viene stabilito deducendo conseguenze da esse in base al procedimento di controllo della plausibilità, dunque mediante l'inferenza e non mediante l'intuizione. Poiché il metodo analitico è un metodo di scoperta e l'intuizione non svolge alcun ruolo in esso ma vi svolgono un ruolo solo regole di inferenza, il metodo analitico è una logica della scoperta. In particolare, come abbiamo visto da Ippocrate di Chio e Ippocrate di Cos, il metodo analitico è la logica della scoperta della matematica antica e della medicina antica. Inoltre il metodo analitico è anche la logica della scoperta della scienza moderna. Così, Newton dichiara che i suoi principi della fisica «furono scoperti per mezzo dell'analisi». Il metodo della scienza consiste nel procedere «dagli effetti alle loro cause, e da cause particolari a cause più generali», e «questo è il metodo dell'analisi: e la sintesi consiste nell'assumere le cause scoperte, e stabilite come principi, e spiegare i fenomeni partendo da esse». Cioè deducendo i fenomeni da esse. Dunque, Newton afferma che l'analisi, cioè il metodo analitico, serve per la scoperta dei principi della fisica, e la sintesi per la spiegazione dei fenomeni partendo da essi.

Dunque, **metodo analitico** e **regole euristiche** sono complementari. L'uno ha bisogno delle altre per poter funzionare propriamente e produrre un metodo di scoperta scientifica.

Carlo Cellucci: le regole della scoperta

C. Cellucci, *Rethinking Logic*, Springer, Dordrecht 2013, trad. di E. Ippoliti

In questa parte [...] sono considerate diverse regole di scoperta, cioè, regole non deduttive per la ricerca di ipotesi per risolvere i problemi. Certo, trovare le ipotesi non è una condizione sufficiente per la scoperta. Quest'ultima richiede che le ipotesi siano plausibili e la procedura di verifica della plausibilità [...] riguarda le operazioni oltre la semplice formazione di ipotesi. Tuttavia, la ricerca di ipotesi è condizione necessaria per la scoperta e, in tal senso, si può parlare di regole di scoperta.

Queste ultime non sono un insieme chiuso, dato una volta per tutte, ma piuttosto un insieme aperto che può essere sempre esteso man mano che la ricerca si sviluppa. Ciascuna di tali estensioni è uno sviluppo del metodo analitico, che cresce con l'aggiunta di nuove regole non deduttive. Come Bacon dice «l'arte della scoperta cresce con le scoperte».

Sebbene le regole di scoperta non siano un insieme chiuso, le regole considerate

[...] sono piuttosto elementari. Per illustrarle, alcuni esempi storici sono considerati. Sono intesi nello spirito di Pólya [matematico ungherese]: «Non posso dire la vera storia di come la scoperta è avvenuta, perché nessuno lo sa davvero. Eppure cercherò di fare una storia probabile su come potrebbe essere avvenuta la scoperta. Cercherò di sottolineare» le «inferenze che la hanno prodotta». Che nessuno sappia davvero la vera storia di come è avvenuta una scoperta è dovuto al fatto che gli scopritori generalmente non rivelano la loro strada per la scoperta. Lo fanno quindi non perché, come suggerisce Cartesio, lo nascondano con una specie di pernicioso astuzia, ma piuttosto perché o non sono pienamente consapevoli di come sono arrivati alle loro scoperte, o si sentono a disagio nel rivelare che la loro strada verso la scoperta non era rigorosamente deduttiva. Nello spirito di Pólya, gli esempi considerati [...] sono congetture sulla regola della scoperta che avrebbe potuto portare all'ipotesi su cui si basa la scoperta. In alcuni casi sarà chiaro che altre regole di scoperta potrebbero aver portato all'ipotesi.

Una volta che una ipotesi è stata formulata ovviamente deve essere sottoposta a un vaglio per stabilire se essa sia attendibile o meno. Questo vaglio non è meramente quantitativo, ma richiede un giudizio ponderato in merito alle ragioni pro e contro questa ipotesi. Questo vaglio è dunque un *test*, detto **test di plausibilità**, a cui ogni ipotesi deve essere sottoposta e che avviene nel modo seguente.

Carlo Cellucci: la plausibilità delle ipotesi

C. Cellucci, *Rethinking Logic*, Springer, Dordrecht 2013, trad. di E. Ippoliti

Che, nel metodo analitico, un'ipotesi debba essere plausibile, significa che gli argomenti per l'ipotesi devono essere più forti di quelli contro di essa sulla base dell'esperienza, e quindi, per il momento, l'ipotesi può essere approvata. In effetti, "plausibile" deriva dal latino *plausibilis*, che deriva dal *plaudere* che significa "applaudire", "approvare".

Per dimostrare che un'ipotesi è plausibile, può essere utile utilizzare la seguente procedura o test di plausibilità:

- (1) Dedurre conclusioni dall'ipotesi.
- (2) Confrontare le conclusioni tra loro, al fine di vedere che l'ipotesi non porti a contraddizioni.
- (3) Confrontare le conclusioni con altre ipotesi già note per essere plausibili, e con risultati di osservazioni o esperimenti, per vedere che gli argomenti per l'ipotesi sono più forti di quelli contro di essa sulla base dell'esperienza.

Se l'ipotesi supera la procedura del test di plausibilità, allora per il momento è approvata. Solo per il momento, perché possono sempre emergere nuovi dati con i quali l'ipotesi potrebbe rivelarsi incompatibile. Se l'ipotesi non passa la procedura di verifica di plausibilità, quindi, pur non essendo rifiutata a titolo definitivo, viene inserita in una lista di attesa, oggetto di ulteriori indagini.

Ora che abbiamo descritto l'impianto generale di un metodo di scoperta, possiamo passare ad illustrare alcuni esempi specifici di **regole di scoperta**, che come abbiamo visto sono il necessario complemento del metodo analitico, che per funzionare ha bisogno di strumenti per generare ipotesi a partire dal problema. Innanzitutto abbiamo un primo livello di euristiche che si possono definire **primitive**, che sono i «mattoni» di ogni processo di costruzione e ampliamento della conoscenza. Esse sono le analogie, le induzioni e loro combinazioni (anche interne, per esempio *analogie tra analogie*).

Poi possiamo individuare euristiche più **articolate** e **complesse** come: l'analisi di un caso estremo, l'uso di scenari, la violazione, o rottura, di uno o più vincoli, l'analisi di casi paradossali, il cambio di scala, il cambio di livello, la messa a fuoco sui processi, la considerazione di astrazioni o istanze specifiche, l'utilizzo di associazioni remote, il gioco di ruolo, la metonimia, la metafora, l'uso di simulazioni, l'uso della figura.

Tratteremo due esempi che possono essere illustrati piuttosto facilmente: l'analisi di casi estremi, e la violazione o rottura dei vincoli (impliciti o espliciti).

L'**analisi di casi estremi** consiste nel tenere costanti alcune variabili del problema e farne variare altre a valori estremi: questa mossa può darci informazioni molto utili su un dato problema. In effetti alcuni problemi possono spesso essere risolti molto più facilmente considerando casi estremi di una situazione. Consideriamo a tal fine questo divertente esempio, discusso dal matematico George Pólya:

Due uomini sono seduti a un tavolo dalla solita forma rettangolare. Uno mette un centesimo di dollaro sul tavolo, poi l'altro fa lo stesso, e così via, a turno. Ogni centesimo deve giacere piatto sul tavolo (non stare dritto), e non può essere posto su un altro centesimo precedentemente messo sul tavolo. Il giocatore che mette l'ultima moneta sul tavolo prende tutti i soldi (Fig. 10).

Fig. 10. Il gioco del centesimo secondo Pólya



Il problema da risolvere è il seguente:
Quale giocatore dovrebbe vincere, a condizione che ognuno giochi la migliore strategia possibile?

Per cercare una ipotesi che risolva questo problema proviamo ad utilizzare l'analisi di un caso estremo. Ossia, pensiamo ad una variabile che possiamo modificare verso valori limite.

Nella fattispecie, supponiamo che il tavolo sia così piccolo da poter essere coperto da un solo centesimo



Fig. 11. Soluzione del caso estremo di un tavolo grande quanto una moneta

(Fig. 11). Questo è un caso estremo, nel senso che la dimensione del tavolo è quella più piccola possibile.

In questo scenario, ovviamente, il primo giocatore vince e va da sé che vincerebbe solo il suo centesimo (e il gioco non sarebbe molto interessante). Ma considerare questo caso estremo fornisce un indizio su come costruire la soluzione del problema. Immaginiamo infatti adesso di far variare la dimensione del tavolo, ossia aumentarla gradualmente. Se il primo giocatore mette il primo centesimo proprio al centro del tavolo, se il tavolo è grande abbastanza da contenere un altro centesimo accanto al primo centesimo su un lato, sarà abbastanza grande da contenere anche un altro centesimo sul lato opposto. Generalizzando questo argomento, possiamo vedere che, indipendentemente dalle dimensioni del tavolo, se il primo giocatore mette il suo primo centesimo al centro e dopo fa esattamente ciò che fa il secondo giocatore (sul lato opposto del tavolo), vincerà.

Quando si esaminano casi estremi dobbiamo fare attenzione almeno a due aspetti, per la precisione: (1) prendere in considerazione solo gli estremi di variabili che non cambiano la natura del problema (per esempio, un tavolo di dimensione pari a zero), e (2) tener conto che far variare una variabile non influenzi altre variabili. Se si seguono queste accortezze, utilizzata correttamente questa euristica può essere una delle strategie più utili per risolvere problemi matematici, e nella vita quotidiana.

La violazione, o la **rottura di un vincolo** di un problema, è un'altra procedura euristica particolarmente usata e fruttuosa nella pratica scientifica. Molti tra i più importanti problemi scientifici sono stati risolti proprio facendo ricorso a questa euristica, come ha notato il filosofo della scienza americano Thomas Nickles.

STORIA DELLA SCIENZA

T17

Thomas Nickles: vincoli e problemi

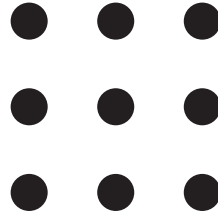
Th. Nickles, *Scientific Discovery, Logic and Rationality*, Reidel, Boston 1981, trad. di E. Ippoliti

Problemi scientifici profondi raramente sono semplicemente una questione di spiegazione dei dati empirici. Un problema profondo è altamente concettuale. La sua stessa affermazione, la sua stessa esistenza, presuppone un elaborato sfondo teorico, e i vincoli o condizioni di adeguatezza della sua soluzione sono prevalentemente concettuali piuttosto che empirici. Le soluzioni a molti problemi concettuali sono teorie. Nell'elaborare la soluzione a tale problema, uno scienziato sta ragionando per produrre una nuova teoria. Tipicamente, questo ragionamento è sia limitato, sia euristicamente guidato, dai vincoli posti sulla possibile soluzione a un problema, vincoli che pongono il problema nella sua forma più specifica. [...]

Storicamente, molte importanti soluzioni o teorie di problemi hanno violato i vincoli fondamentali sulla loro soluzione adeguata. Queste violazioni erano razionali in almeno alcuni casi? _____

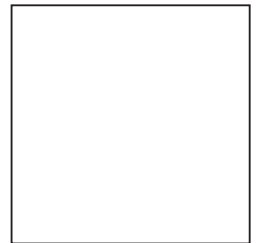
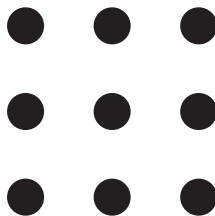
Per illustrare come funziona questa euristica utilizziamo nuovamente il problema dei 9 punti.

Come abbiamo visto il problema richiede di unire nove punti disposti a forma di matrice utilizzando al massimo quattro linee dritte senza staccare la penna e senza tracciare la stessa linea più di una volta.

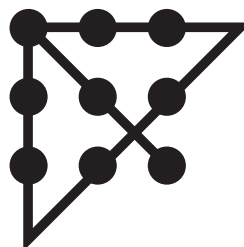


Perché inizialmente non riusciamo a risolverlo?

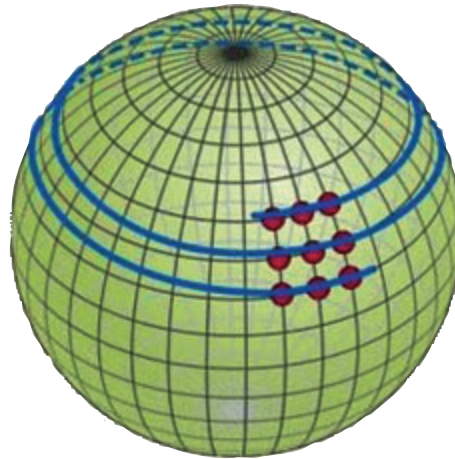
La risposta sta nei vincoli che implicitamente poniamo sulla ricerca della possibile soluzione del problema: infatti cerchiamo di unire i punti mediante linee che rimangono dentro i confini ipotetici del quadrato suggerito dai nove punti.



In realtà, questi confini, questo vincolo, non sussistono: il problema non lo pone esplicitamente, ed è invece posto da noi, per lo più in virtù della nostra abitudine a vedere modelli (e confini, nel caso di immagini) un po' ovunque. Quando ci rendiamo conto che possiamo violarlo, ci avviamo verso la soluzione del problema. Appena ci accorgiamo che possiamo *rompere o violare questo vincolo*, la soluzione viene molto più facilmente.



Possiamo procedere lungo questa linea di ragionamento euristico ulteriormente e, rimuovendo un altro vincolo implicito, ottenere una nuova soluzione al problema – ossia quella con una sola linea. Il problema infatti non dice esplicitamente su quale superficie siano collocati i 9 punti. Noi assumiamo, istituendo dunque *implicitamente* un vincolo sulla possibile soluzione del problema, che essi siano su una normale superficie bidimensionale. Se rimuoviamo questo vincolo, e immaginiamo una superficie sferica, possiamo ottenere la soluzione tracciando una sola linea.



Questo esempio illustra come nella storia della scienza siano state ottenute molte scoperte.


Thomas Nickles: scoprire violando i vincoli

Th. Nickles, *Scientific Discovery, Logic and Rationality*, Reidel, Boston 1981, trad. di E. Ippoliti

I vincoli, in quanto tali, possono essere violati razionalmente. Per vincoli non razionali, ho in mente caratteristiche desiderabili ma scientifiche, come la semplicità matematica o l'eleganza e la visualizzabilità intuitiva (nella fisica del ventesimo secolo ma non del diciannovesimo). Anche qui possono essere inclusi vincoli morali, sociali e politici, dal momento che sono interessato a questo documento solo con ragionamenti e giustificazioni strettamente "scientifiche" (qualunque essi siano). Quali vincoli sono considerati non razionali è storicamente e contestualmente relativo, e particolari candidati possono essere scientificamente controversi. Lo stato razionale / non razionale dei vincoli metodologici e metafisici, per esempio, può essere oggetto di accesi dibattiti. Una teoria adeguata delle particelle discrete deve essere deterministica? Deve fornire meccanismi causali per tutti i fenomeni nel suo dominio? E così via. Altri fattori

complicanti, già noti, sono che non tutti i vincoli hanno la stessa funzione, non sono di uguale peso.

Tra i vincoli non razionali possiamo includere anche qualsiasi condizione che (al momento) non sia né irragionevole né sufficientemente giustificata per essere un vincolo razionale – il secondo è qualcosa che gli scienziati hanno buone ragioni per imporre come requisito. Quindi, fino a quando Newton teoricamente stabilì la sua correttezza (come idealizzazione), non fu irrazionale per gli investigatori del diciassettesimo secolo violare la regola di Keplero secondo cui le orbite planetarie erano ellittiche. Mancando il concetto successivo di quantità di moto come una quantità vettoriale, non fu un atto irrazionale per Descartes violare la conservazione della quantità di moto.

Né (tre secoli dopo) era irragionevole che i teorici del “Big Bang” violassero il “principio cosmologico perfetto” di Bondt e Gold, sebbene nessuno che violi quel principio può rimanere all’interno del programma di ricerca Bondt-Gold. 

Questi due esempi di euristiche mostrano come sia possibile ottenere ipotesi per risolvere un problema. Una volta prodotte, queste ipotesi saranno trattate secondo il protocollo previsto dal metodo analitico sopra descritto: saranno vagliate, soppesate, e poi giustificate con l’ausilio di altre ipotesi, in questo lungo processo di risalita di ipotesi in ipotesi che è l’avanzamento della conoscenza scientifica.

8

La *natura* della scoperta scientifica

Alla luce di quanto esposto, appare piuttosto chiaramente come non ci sia dunque bisogno di ipotizzare entità oscure come il genio, l’ispirazione, o qualcosa di *trascendente* per spiegare i processi di scoperta e di creatività scientifica. Anzi, secondo la tradizione euristica l’attività dello scienziato è quanto di più **naturale** possibile. Con il termine “naturale” qui si intende che tali processi e metodi sono spiegabili in termini **biologici** ed **evoluzionistici**. Questa tradizione argomenta che in effetti è sufficiente analizzare i processi biologici e ricostruire come essi determinino dal basso attività inferenziali ad ogni livello per render conto del modo in cui lo scienziato crea, ossia risolve problemi. Il primo problema che ogni essere vivente è chiamato a risolvere è quello della **sopravvivenza**.

Carlo Cellucci: metodo analitico e natura umana

C. Cellucci, *La logica della scoperta scientifica*, in «Scienza & Società», 31/32 (2017), p. 29

Il metodo analitico non è soltanto il metodo della scienza, ma affonda profondamente le sue radici nella natura umana. Esso riflette il modo in cui gli esseri umani risolvono tutti i loro problemi, a partire da quello più basilare, la sopravvivenza. (Lo stesso vale per gli animali superiori.)

I nostri più lontani antenati riuscirono a risolvere il loro problema di sopravvivenza con il metodo analitico, formulando ipotesi sulla posizione di predatori e prede in base a indizi che trovavano nell'ambiente, quali impronte, erba o vegetazione calpestata o piegata, rami o ramoscelli piegati o spezzati, fango smosso in corsi d'acqua, escrementi, ecc. Similmente, gli scienziati risolvono problemi sul mondo con il metodo analitico, formulando ipotesi in base ad indizi che trovano in natura, attraverso osservazioni ed esperimenti. Perciò vi è continuità tra il metodo con cui i nostri più lontani antenati riuscirono a risolvere il loro problema di sopravvivenza e il metodo con cui gli scienziati risolvono problemi sul mondo. Come osserva Mach, anche se “apparentemente la scienza si è sviluppata come il ramo collaterale più superfluo dello sviluppo biologico e della civiltà,” oggi “non possiamo più mettere in dubbio che essa sia diventata il fattore biologicamente e culturalmente più propizio. La scienza si è assunta il compito di sostituire all'adattamento che procedeva a taton, inconsapevole, un adattamento più rapido, chiaramente consapevole, metodico”. La continuità tra il metodo con cui i nostri antenati più lontani riuscirono a risolvere il loro problema di sopravvivenza e il metodo con cui gli scienziati risolvono problemi sul mondo suggerisce una concezione naturalistica della conoscenza.

Per mostrare come l'attività euristica – ossia la soluzione di problemi mediante il metodo analitico e le regole euristiche – pervada tutti i processi cognitivi è possibile usare come esempio uno dei nostri processi percettivi più importanti e dispendiosi: la **visione**.

La tradizione euristica infatti argomenta, usando evidenze scientifiche, che l'occhio *non è una macchina fotografica*, ma una **macchina inferenziale**, che produce ipotesi per risolvere il problema di determinare cosa ci sia dall'altra parte di un raggio di luce che colpisce la nostra retina.

Carlo Cellucci: la visione come inferenza

C. Cellucci, *Perché ancora la filosofia*, Laterza, Roma-Bari 2008, pp. 244-245

Quando si parla di visione, si pensa all'occhio come a una macchina fotografica.

Si pensa cioè che, come la fotografia si basa sul fatto che su un sensore si forma

un'immagine dell'oggetto perfettamente a fuoco e uniformemente dettagliata dal centro alla periferia che viene trasmessa alla memoria, così la visione si basa sul fatto che sulla retina si forma un'immagine dell'oggetto perfettamente a fuoco e uniformemente dettagliata dal centro alla periferia che viene trasmessa al cervello. [...]

Ma non è così. La retina è percorsa da una fitta rete di vasi sanguigni e fibre nervose, che bloccano e rifraggono la luce incidente impedendole parzialmente di raggiungere i recettori, i quali sono posti sulla faccia posteriore della retina. Solo una zona estremamente ristretta di quest'ultima, del diametro di meno di mezzo millimetro, la fovea, non è percorsa da vasi sanguigni e fibre nervose, perciò solo in tale zona la luce può colpire direttamente i recettori. Mano a mano che ci si allontana da essa, l'acuità visiva decresce rapidamente fino ad annullarsi quasi del tutto alla periferia della retina, e lo stesso vale per la sensibilità ai colori. Inoltre, la lunghezza focale è diversa per il rosso e per il blu, perciò uno dei due estremi dello spettro dei colori è sempre sfuocato. Per di più, una zona della retina notevolmente più ampia della fovea e distante da essa una decina di gradi, cioè quella in cui le fibre nervose della retina formano il nervo ottico, è priva di recettori e perciò è insensibile alla luce.

Per supplire a questi limiti dell'occhio, noi lo muoviamo continuamente, da quattro a cinque volte al secondo, per permettere alla fovea di focalizzare le varie parti degli oggetti del mondo esterno. Questi movimenti dell'occhio, detti saccadici, sono essenziali per la visione. Se si mantiene fisso l'occhio, o si usano mezzi artificiali per mantenere fissa l'immagine sulla retina compensando i movimenti dell'occhio, la visione decade diventando sfocata e imperfetta. A causa dei movimenti dell'occhio, l'immagine sulla retina cambia da quattro a cinque volte al secondo, perciò, anche quando gli oggetti rimangono immutati, ciascuna immagine rimane sulla retina solo per una frazione di secondo.

Questo fa nascere vari problemi. Gli stimoli sulla retina sono poveri e instabili. Perché allora abbiamo un'esperienza visiva ricca e stabile? L'immagine sulla retina è capovolta. Perché allora gli oggetti ci appaiono eretti? Le immagini di uno stesso oggetto sulle retine dei nostri due occhi sono un po' diversi tra loro. Perché allora abbiamo un'esperienza visiva unica? Le immagini sulla retina sono bidimensionali e da esse non si possono ricavare stimoli tridimensionali, dal momento che vi è un numero infinito di stimoli tridimensionali corrispondenti a un'immagine bidimensionale. Perché allora abbiamo un'esperienza visiva tridimensionale?

Dai limiti dell'occhio appare chiaro che la visione non può basarsi sul fatto che l'occhio sia simile a una macchina fotografica.

[...] Ma se la visione non può basarsi sul fatto che l'occhio sia simile a una macchina fotografica né sul fatto che noi contempiamo immagini mentali somiglianti ad oggetti del mondo esterno, su che cosa si basa?

Si basa sul fatto che noi formuliamo ipotesi su oggetti del mondo esterno a partire dagli stimoli sulla retina, ed eventualmente da altri dati, mediante inferenze non deduttive. La visione risolve il problema di determinare, a partire dagli stimoli sulla retina ed eventualmente da altri dati, che cosa sono gli oggetti del mondo esterno che hanno dato origine a tali stimoli. Perciò essa è soluzione di problemi. E, come tutti gli altri problemi, anche quello della visione viene risolto mediante

il metodo analitico, formulando ipotesi mediante inferenze non deduttive. Dunque anche la visione è soluzione di problemi basata sul metodo analitico. Che le inferenze su cui si basa la visione siano inferenze non deduttive, dipende dal fatto che le ipotesi a cui esse conducono non sono immagini somiglianti ad oggetti del mondo esterno ma sono modi di collegare gli stimoli sulla retina a tali oggetti, modi che vanno necessariamente al di là degli stimoli perché questi non sono sufficienti per spiegare la visione. Naturalmente, le inferenze non deduttive su cui si basa la visione non sono inferenze proposizionali, cioè passaggi da una o più proposizioni a un'altra proposizione, ma inferenze generalizzate, ossia passaggi da uno o più dati a un altro dato, perché molte delle inferenze su cui si basa la visione non hanno un correlato linguistico.

A riprova del fatto che la visione è una attività inferenziale, ossia **formulazione di ipotesi**, e non semplicemente un'attività passiva di registrazione, è possibile addurre varie prove, tra cui la principale è quella nota come **costanza percettiva**. Questo fenomeno esprime la tendenza a percepire un oggetto con cui si ha familiarità con una forma, una dimensione e una luminosità costanti nonostante i cambiamenti di stimoli che si verificano sulla retina.

Carlo Cellucci: le inferenze percettive

C. Cellucci, *Perché ancora la filosofia*, Laterza, Roma-Bari 2008, pp. 253-255

*L*a costanza della dimensione

Sebbene oggetti della stessa dimensione ma a distanze differenti diano luogo a immagini sulla retina di dimensioni differenti, in situazioni familiari essi ci

appaiono della stessa dimensione. Per esempio, l'uomo sul fondo ci appare di dimensioni normali ma, se lo spostiamo in avanti fino ad affiancare quello in primo piano, non ci sembra più tale.

Questo dipende dal fatto che noi formuliamo l'ipotesi che l'uomo sul fondo sia di dimensioni normali, come l'uomo in primo piano, in base alla nostra esperienza ordinaria del mondo, la quale ci dice che normalmente le dimensioni di un oggetto rimangono costanti quando l'oggetto si avvicina o si allontana da noi. In base a ciò noi inferiamo che l'uomo sul fondo è di dimensioni normali anche se ci appare più piccolo. Per la stessa ragione noi formuliamo l'ipotesi che l'uomo che affianca quello in primo piano non sia di dimensioni normali, in quanto inferiamo che, essendo in primo piano, deve essere più piccolo e perciò ci appare più piccolo. Questo è il risultato



di un adattamento, perché noi non sapremmo assumere comportamenti appropriati rispetto all'ambiente se le dimensioni di un oggetto cambiassero quando l'oggetto si avvicina o si allontana da noi. Ciò appare chiaro dal fatto che la costanza della dimensione vale solo in situazioni familiari. Per esempio, le case, le automobili, le persone viste da un aereo, cioè in una situazione che non rientra nella nostra esperienza evolutiva, non ci appaiono di dimensioni normali.

La costanza del colore

Sebbene due oggetti dello stesso colore, ma illuminati con luci di colori differenti, diano luogo alla formazione sulla retina di immagini di colori differenti, in situazioni familiari essi ci appaiono dello stesso colore. Per esempio, due fogli di carta bianca, illuminati l'uno dalla luce azzurrina del mattino e l'altro dalla luce rossastra del tramonto, ci appaiono entrambi bianchi.

Questo dipende dal fatto che noi formuliamo l'ipotesi che i due fogli di carta abbiano lo stesso colore in base alla nostra esperienza ordinaria del mondo, la quale ci dice che normalmente il colore di un oggetto rimane costante indipendentemente dalla sua illuminazione.

In virtù di ciò noi inferiamo che i due fogli di carta hanno lo stesso colore, anche se ci appaiono di colori differenti. Questo è il risultato di un adattamento, perché noi non sapremmo assumere comportamenti appropriati rispetto all'ambiente se il colore di un oggetto cambiasse con l'illuminazione. Ciò appare chiaro dal fatto che il fenomeno si presenta solo in situazioni familiari. Per esempio, se illuminiamo due fogli di carta bianca con luci non naturali, per esempio, l'uno con una luce monocromatica azzurra e l'altro con una luce monocromatica rossa, essi ci appaiono, rispettivamente, di colore azzurro e rosso. Su questo si basa la cinematografia a colori, altrimenti, proiettando un film su uno schermo bianco, questo continuerebbe ad apparirci bianco.

Da questi esempi si evince come la visione sia dunque descrivibile più propriamente come una attività inferenziale a partire da informazioni incomplete, piuttosto che come una semplice lastra su cui il mondo delle immagini viene impresso, e che la conoscenza percettiva sia di fatto come qualsiasi altra forma di conoscenza, ossia il prodotto di una attività di soluzione di problemi mediante analisi e procedure euristiche.

La visione è dunque soluzione dei problemi perché la visione si basa sul fatto che formiamo ipotesi sugli oggetti che stanno dall'altra parte dei segnali luminosi, partendo dagli stimoli sulla retina e da *altri dati*, mediante inferenze non deduttive. È importante specificare la necessità di ricorrere ad **altri dati**. Infatti, in virtù del fatto che una quantità limitata di dati visivi proviene di norma dagli stimoli sulla retina, una influente quantità di dati visivi proviene dalle **attese** del sistema visivo. Queste attese sono state acquisite nel corso del tempo, attraverso l'esperienza evolutiva o l'esperienza diretta dell'ambiente circostante. Quindi, in questo senso, ciò che vediamo è influenzato dall'esperienza ancestrale o dalla nostra **esperienza del mondo**. Inoltre, le ipotesi che il sistema visivo produce

vanno oltre i (poveri) stimoli sulla retina, e vengono formate mediante inferenze non deduttive.

Procarioti, insetti, primati, esseri umani: tutti i processi biologici sono descrivibili come attività di soluzione di problemi, a partire da quello della sopravvivenza e del benessere. Sono, e siamo, delle grandi ipotesi viventi sul mondo, che sono state incarnate attraverso processi evolutivi e che crescono, si evolvono, secondo processi euristici che formano ipotesi, le migliorano, le superano.

È proprio come affermava Popper: «tutta la vita è soluzione di problemi». Tuttavia, diversamente da quanto credesse Popper, è possibile applicare un metodo per far ciò, e possiamo affinarlo con la pratica, trasmetterlo, e impararlo.

LABORATORIO

DALL'ANALISI DEL TESTO AL COLLOQUIO ORALE

Leggi con attenzione il **T19** di questo percorso e con la guida del docente svolgi (a casa e/o in aula) le seguenti attività.

- 1.** Cellucci presenta l'attività dello scienziato come una pratica "naturale"; i cui processi e metodi sono spiegabili in termini biologici ed evolutivisti. Dopo aver analizzato il testo e sottolineato le parole chiave, spiega oralmente la tematica centrale del rapporto tra metodo analitico e natura umana, messa in luce dall'autore, inquadrandola all'interno della problematica generale della scoperta scientifica (ti può essere utile in particolare il riferimento ai testi **T20** e **T21**).
- 2.** Partendo dalle conoscenze storiche e filosofiche acquisite sulla tematica principale: *La scoperta scientifica: rinascita e raffinamento dei metodi*, e facendo riferimento ai materiali presenti in questo percorso, individua i possibili collegamenti tra questa tematica e i contenuti di altre discipline oggetto di studio nel tuo anno di corso (in particolare *Matematica, Fisica, Biologia, Chimica, Scienze della Terra, Inglese*). Esponi, nella forma del colloquio orale con il docente (max 15 minuti), le connessioni che hai rintracciato tra le diverse aree disciplinari. Argomentale in maniera critica, chiara e coerente.
- 3.** Nel brano l'autore sostiene che: «La scienza si è assunta il compito di sostituire all'adattamento che procedeva a tastoni, inconsapevole, un adattamento più rapido, chiaramente consapevole, metodico». Come valuti questa affermazione? La ritieni valida o non sei d'accordo? Motiva la tua risposta e illustra oralmente le tue convinzioni.