

[Nota: buona parte di quanto esposto in questa unità è tratto da, o ispirato a, due fonti, citate in bibliografia ai numeri 2 e 3; non è stato sempre possibile inserire nel testo riferimenti puntuali ad esse.]

Dato che Galilei è da molti considerato colui che per primo ha ben illustrato, con parole e fatti, il cosiddetto *metodo scientifico*, cominciamo con citare un'osservazione su di lui.

[Galilei individua l'invenzione della scrittura alfabetica come rappresentativa] di una situazione in cui la curiosità e la propensione a saperne di più incontrano un medium che permette di soddisfarli oltre ogni misura ..., che permette di violare le barriere di spazio e tempo tra gli uomini, di conservare un'enorme massa di informazione ma anche di ricombinarla in modi sempre nuovi ...

E qui Galilei parla proprio come uomo di quella "Repubblica delle Lettere" [che alcuni umanisti italiani ed europei immaginarono fin dal XV secolo] perché sa che quello è il brodo di coltura della scienza moderna, se con la parola "scienza" intendiamo non un insieme di tecniche, ma piuttosto una ricerca che è esposta in ogni momento al giudizio altrui e la cui procedura è fatta apposta per sollecitare ogni sorta di controllo pertinente. [1]

## Ignoranza e curiosità

### Perché?

Che cosa hanno in comune Ulisse, Socrate, Cristoforo Colombo, Galileo? Che cosa hanno in comune il filosofo, il navigatore, lo scienziato, e anche un bambino di pochi mesi? La curiosità.

Uno dei principali motori dell'indagine scientifica è la curiosità. Ciò che accomuna lo scienziato e il bambino è la voglia di scoprire e apprendere cose sul mondo, il desiderio di saperne di più. Il primo potrebbe avere anche l'obiettivo di risolvere dei problemi; entrambi sono impegnati ad ampliare la propria esperienza e a dare un significato a ciò che li circonda.

Sembra che le parole "curioso" e "curiosità" derivino dal latino "cura", nel senso di sollecitudine o interesse; ma è una curiosa coincidenza il fatto che sembrano derivare dal latino "cur?", che significa "perché?".

Non sempre ci si chiede, o ci si è chiedeva nelle epoche passate, il perché delle cose; citiamo da [2]:

Se leggete un testo matematico [...] dell'Egitto faraonico, non trovate in esso nulla che assomigli a una dimostrazione. Vi troverete dei problemi, l'esposizione del metodo di soluzione, e, alla fine, una frase del tipo "se farete così, farete bene, altrimenti sarà fatto male". Non c'è bisogno di spiegare perché bisogna fare così. Chi apprende deve semplicemente sapere ciò che deve fare, non deve sapere perché deve farlo. Il metodo di trasmissione del sapere era completamente autoritario, come autoritario era il sistema politico e la trasmissione delle conoscenze tecnologiche e religiose.

### Ignoramus

Ancora una citazione [3]:

I nostri antenati hanno dedicato molto tempo al tentativo di scoprire le regole che governano il mondo naturale. Ma la scienza moderna differisce da tutte le precedenti tradizioni della conoscenza in tre modi fondamentali:

- a. *La disponibilità ad ammettere l'ignoranza.* La scienza moderna si basa sull'espressione latina *ignoramus*, "non sappiamo". Essa presuppone che noi non conosciamo tutto. Ancor più criticamente, essa accetta che le cose che pensiamo di conoscere possano essere dimostrate false apprendendo altre cose che ancora non conosciamo ...

- b. *La centralità dell'osservazione e della matematica.* Avendo ammesso l'ignoranza, la scienza moderna punta a ottenere nuova conoscenza. Lo fa raccogliendo osservazioni e poi usando strumenti matematici per collegare tali osservazioni entro teorie generali ...
- c. *L'acquisizione di nuovi poteri.* [ma questo è un altro discorso che riprenderemo più avanti]

## Il metodo scientifico o sperimentale

Con Galileo Galilei è stato introdotto il metodo scientifico sperimentale: sintetizzando al massimo, possiamo dire che esso si basa su una prima osservazione, seguita da un esperimento, sviluppato in maniera controllata, in modo tale che si possa riprodurre il fenomeno che si vuole studiare. L'esperimento ha lo scopo di convalidare o confutare l'ipotesi che lo scienziato ha formulato, ipotesi che ha lo scopo di spiegare i meccanismi alla base di quel particolare evento.

### Un esperimento

Nel 1881, il chimico francese Louis Pasteur eseguì un esperimento spettacolare, di fronte ad una folla entusiasta, per dimostrare l'efficacia della vaccinazione di pecore e altri animali nella prevenzione del carbonchio. Si trattava solo della fase finale di un processo induttivo: la verifica di un'ipotesi a cui era arrivato mediante l'osservazione ed alcuni esperimenti preliminari. L'ipotesi, che il *carbonchio* fosse una malattia batterica, si contrapponeva a quella fino allora più diffusa e quotata, secondo la quale gli animali si ammalavano a causa delle esalazioni di un ambiente genericamente malsano. [4]

Le osservazioni da cui Pasteur era partito:

- le pecore si ammalavano se venivano a contatto con il materiale derivante da animali malati o dopo aver trascorso del tempo sui campi infettati da essi
- nel sangue degli animali malati si potevano osservare con il microscopio dei bacilli (organismi unicellulari a forma di bastoncino).

Le ipotesi fatte da Pasteur erano le seguenti:

- il carbonchio era dovuto all'azione dei bacilli *antrace*;
- la vaccinazione avrebbe aumentato le difese immunitarie e prevenuto l'infezione; essa consisteva nell'inoculazione del bacillo antrace, attenuato con reattivo chimico in coltura a oltre 40°C.

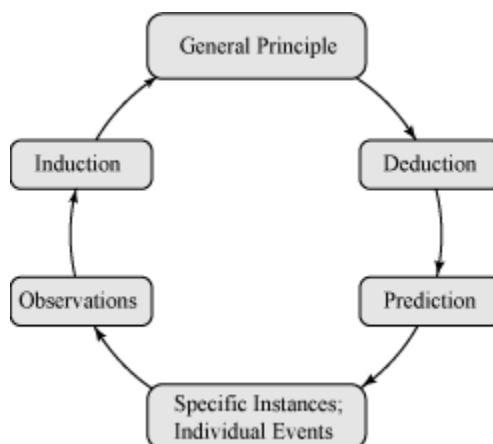
Per l'esperimento, che si svolse in due tempi, Pasteur usò circa 60 animali, soprattutto pecore, ma anche capre e mucche, divisi in due gruppi:

- ad un primo gruppo di circa 30 animali, fu inoculato due volte, a distanza di alcuni giorni, il bacillo attenuato
- un secondo gruppo, *di controllo*, di composizione simile al primo, non fu vaccinato
- ad entrambi i gruppi, dopo un congruo numero di giorni, fu iniettata una coltura ricca di bacilli virulenti, non attenuati: del primo gruppo sopravvissero tutti gli animali tranne uno; del gruppo di controllo morirono in breve tempo tutti gli animali, tranne un paio che comunque si ammalarono gravemente.

## I cicli conoscitivi

Non vi è un accordo condiviso sul fatto che esista un metodo corretto, o scientifico, per raggiungere o consolidare la conoscenza su un determinato argomento, e in che cosa eventualmente consista tale metodo. E' abbastanza chiaro, invece, che la ricerca scientifica deve combinare in qualche modo, in schemi flessibili, sia processi di tipo induttivo (o anche abduttivo) che processi di tipo deduttivo; all'interno di ciascun processo, attività di diverso tipo si possono ripetere ciclicamente.

Un tipico schema di combinazione può essere il seguente



[traduzione: *esempi specifici, singoli eventi – osservazioni – induzione – principio generale – deduzione – predizione*]

### Il ciclo conoscitivo induttivo

In molti domini di ricerca, se si pone l'enfasi sull'atteggiamento sperimentale-induttivo, si può individuare un ciclo conoscitivo, articolato nelle seguenti sotto-fasi, che si può ripetere con qualche variante: [5]

- *Osservazione*; è un po' l'alfa e l'omega della ricerca sperimentale; costituisce lo stimolo per la ricerca delle leggi che governano il fenomeno osservato e consente anche la verifica che queste siano effettivamente sempre rispettate; si tratta di identificare le caratteristiche del fenomeno, per lo più effettuando delle misurazioni, mediante l'uso di strumenti adeguati
- *Elaborazione dei dati di misura*; i dati grezzi sono costituiti in genere da misure organizzate in tabelle; questi possono essere elaborati in vari modi, correlando diversi tipi di dato, applicando trasformazioni matematiche, estraendo valori significativi per mezzo di metodi statistici, visualizzandoli mediante grafici
- *Costruzione di modelli*; si possono costruire uno o più modelli "fisici", costituiti da elementi di cui si conosce il funzionamento, e che si suppone possano rappresentare il comportamento complessivo del fenomeno studiato, per esempio uno nel quale un gas viene equiparato ad insieme di palline; o modelli più astratti, descritti solo da figure geometriche e/o formule matematiche
- *Formalizzazione della teoria*; consiste nell'ipotizzare un insieme organico di leggi in grado di spiegare il fenomeno osservato
- *Sperimentazione*; dove possibile, gli esperimenti sono programmati dall'osservatore che perturba il sistema e misura le risposte alla perturbazione, cercando di evitare che questa alteri eccessivamente il sistema sotto osservazione modificandone la natura.

### Il ciclo conoscitivo deduttivo

Uno dei maggiori critici del metodo induttivo fu l'austriaco Karl Raimund Popper, secondo il quale

L'osservazione non è mai neutra ma è sempre carica di teoria, quella che si vuole mettere alla prova. Secondo Popper, la teoria precede sempre l'osservazione: ... la mente umana tende inconsapevolmente a sovrapporre le proprie convinzioni alla realtà osservata. [8]

Allora Popper propone, anziché un ciclo di osservazione, formulazione di una teoria e verifica della teoria, uno finalizzato alla *falsificazione* delle teorie, che pone l'enfasi sull'atteggiamento speculativo-deduttivo.

Gli esperimenti empirici non possono mai, per Popper, "verificare" una teoria, possono invece smentirla. Il fatto che una previsione formulata da un'ipotesi si sia realmente verificata, non vuol dire

che essa si verificherà sempre. Perché l'induzione sia valida occorrerebbero cioè infiniti casi empirici che la confermino; poiché questo è oggettivamente impossibile, ogni teoria scientifica non può che restare nello status di *congettura*. [5]

Il ciclo, se così lo vogliamo ancora considerare, individuato da Popper è molto più corto, composto dalle seguenti fasi: [8]

- *Formulazione di una teoria*; secondo Popper, molto spesso una teoria è già nella testa del ricercatore ancora prima che egli provi a formularla esplicitamente; comunque la sua formulazione dovrebbe già prevedere alcune deduzioni o fatti, ricavabili dalle ipotesi iniziali, che consentano di falsificarla!
- *Sperimentazione*; questa è guidata dal metodo deduttivo: l'osservazione ... deve avvenire in un momento successivo a quello della formulazione di una teoria, e serve non a confermare ma a demolire la stessa
- *Falsificazione della teoria*; con la sperimentazione si cerca di falsificare la teoria, cioè di dimostrare che è falsa; se non ci si riesce, non si può dire che la teoria è stata verificata; se una tesi resiste ai tentativi di confutarla per via deduttiva tramite esperimenti, possiamo solo ritenerla (provvisoriamente) più valida delle altre.

Anche se Popper è considerato uno dei maggiori filosofi della scienza, non tutti accettano acriticamente le sue idee; per esempio, alcuni hanno notato che la stessa nozione di falsificazione contiene in sé una contraddizione: se è vero che ogni teoria può essere accettata solo provvisoriamente, fino alla sua smentita, questo dovrebbe essere vero anche per la falsificazione di una teoria, che non potrà mai essere considerata definitiva.

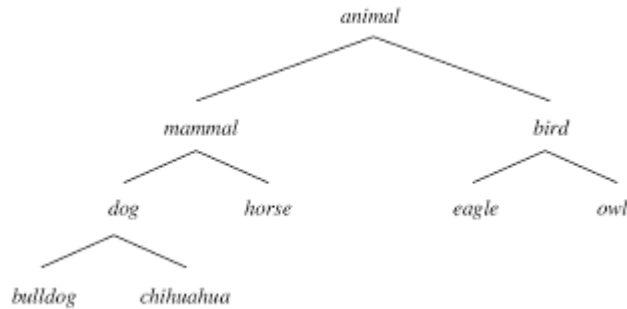
## La formulazione di teorie

Non si può mai sottolineare abbastanza l'importanza dell'osservazione nella conoscenza del mondo. Ma, come abbiamo visto, cercare spiegazioni a quel che si osserva è altrettanto importante. Sull'osservazione di eventi che si ripetono, in modo più o meno simile, si basa l'induzione, un tipo di ragionamento che generalizza l'esperienza.

### Generalizzazione e astrazione

L'induzione è una forma di ragionamento che generalizza l'esperienza al fine di astrarre da essa conoscenze, appunto generali, a cui ricorrere anche nei casi in cui non si può o non si vuole osservare direttamente la realtà. Ma il termine *generalizzare* è usato anche nel senso di accomunare in una "categoria" una varietà di oggetti o eventi "simili", sulla base di proprietà o attributi che si riconoscono comuni ad essi, trascurando differenze che vengono considerate di dettaglio; in questo senso generalizzare equivale a *categorizzare*, come abbiamo visto parlando di logica delle categorie.

L'immagine che segue esemplifica una gerarchia di generalizzazione (dal basso in alto) o *specializzazione* (dall'alto al basso), che non riguarda direttamente gli oggetti ma intere categorie di essi. Fino a prova contraria, o a meno di eccezioni dichiarate, tutto quello che possiamo dire del cavallo come categoria si applica a ciascun cavallo, ma anche tutto quello che possiamo dire di un animale come categoria si applica a ciascun cavallo.



[Nota: l'immagine rappresenta una gerarchia di entità in uno schema di database; qui si possono fare rettangoli più semplici]

Categorizzare e generalizzare sono processi mentali che generano descrizioni della realtà semplificate, utili ad un qualche scopo; tali processi rientrano in un più generale (ci risiamo!) processo di astrazione, cioè di allontanamento dalla realtà, con estrazione più o meno arbitraria da questa di una sua parte, processo il cui risultato è quindi la creazione di modelli semplificati della realtà stessa.

La scienza non consiste semplicemente in affermazioni sulla natura, ma nell'elaborazione di teorie ... che permettono di parlare dei fenomeni naturali usando due diversi livelli di discorso ... Quando voi parlate di un segmento, di un triangolo, di un angolo, non state parlando di oggetti naturali (non si inciampa negli angoli per la strada), ma di concetti teorici che servono per descrivere, per offrire un modello di oggetti o fatti naturali o tecnologici. La stessa cosa avviene nelle teorie fisiche. [2]

## Il metodo dimostrativo

Abbiamo visto che nella ricerca, nella scienza, esistono due piani: il piano del mondo concreto e quello della teoria. Le teorie scientifiche riguardano enti teorici (come segmenti, triangoli, onde e particelle) da non confondere con gli oggetti concreti della vita di tutti i giorni (come case, cavalli e cocomeri). Esistono tuttavia relazioni di corrispondenza: un triangolo corrisponde ad oggetti triangolari, ma un oggetto triangolare non è un triangolo; questa corrispondenza viene intuita da una mente creativa nella formulazione di una teoria e poi sfruttata nell'immaginare le applicazioni della teoria stessa, cioè nel passare dalla scienza alla tecnologia. [2]

Un'altra caratteristica delle teorie è che esse costituiscono edifici complessi, nei quali dalle fondamenta (in questo caso si preferisce parlare di "fondamenti"), cioè da un piccolo numero di assunti di base, si deducono decine o centinaia di teoremi. Le teorie si estendono con il *metodo dimostrativo*, che permette di dedurre conseguenze necessarie dalle premesse. L'esempio più antico e noto di impiego di tale metodo è fornito dalla geometria euclidea, che è costituita da teoremi. Gli enunciati considerati veri sono o i fondamenti della teoria (chiamati anche postulati, assiomi, o principi) oppure quelli dedotti logicamente da essi. [2]

## Scienza o scienze?

### Scienze "dure" e scienze "moli"

Se vi occupate di storia, non potete fare esperimenti sulla base di una teoria. In realtà, quando ci si è provato i risultati spesso non sono stati positivi. La biologia è in parte analoga alla storia; se volete capire come è fatta una cellula o come funziona il cervello umano, dovrete ricostruire un'evoluzione che ha molte analogie con l'evoluzione storica, e che è il risultato di molti fatti e di molti punti di svolta quasi casuali. E' una situazione molto diversa dalla descrizione delle teorie che potrebbero descrivere il funzionamento di un computer o della televisione; questi sono sì sistemi complessi, ma sono stati progettati sulla base di pochi principi ben compresi; oltretutto, in quest'ultimo caso, è spesso la tecnologia a stimolare lo sviluppo di certi rami specialistici della scienza, piuttosto che il contrario. [2]

Molte considerazioni sul metodo scientifico fatte finora, mentre si adattano bene ad alcune scienze dette "dure", come la fisica, non rispecchiano la natura delle scienze "mollie": vi sono ampie differenze disciplinari che rendono il discorso abbastanza più complesso.

Esistono eventi o processi naturali, come i fenomeni meteorologici o l'evoluzione delle specie viventi, che è impossibile riprodurre in laboratorio. In questi casi è sì possibile costruire dei modelli ispirandosi a domini applicativi che presentano delle analogie; ma i risultati che si ottengono "sperimentando" con essi, cioè effettuando delle *simulazioni*, non hanno certo la stessa forza probante di quelli condotti direttamente sul dominio originale.

Il discorso si fa ancora più articolato nel caso delle scienze sociali o scienze umane, come le discipline giuridiche, quelle storico-filosofiche, la sociologia, la psicologia, la pedagogia. Alcune, come la psicologia sperimentale, possono usare metodi statistico-quantitativi. Altre, come l'archeologia e la paleontologia, possono utilizzare dati ottenuti con tecnologie avanzate ma non si prestano esse stesse alla costruzione di teorie falsificabili. La psicanalisi, secondo Popper e altri studiosi, non si avvale di un metodo scientifico, perlomeno nel senso usuale di a questo termine.

Quanto all'economia ...

per quanto i singoli economisti possano sostenere che il loro è il modello migliore, l'ortodossia muta ad ogni crisi o a ogni scoppio di bolla finanziaria, ed è generalmente accettato che l'ultima parola sull'economia non è stata ancora pronunciata. [3]

### La verificabilità come criterio unificante

In ogni caso, per poter definire scienza la propria disciplina e la ricerca che si svolge al suo interno, bisogna attenersi ad alcune regole. La prima regola è quella di permettere ai colleghi, più in generale agli altri, di replicare l'esperimento, se di esperimento si può parlare, o comunque di ripercorrere un'esperienza; bisogna rendere pubblico, cioè *pubblicare*, quello che si fa o si è fatto e accettare il confronto con gli altri, per esempio la *peer-review* delle pubblicazioni scientifiche.

La trasparenza e l'apertura alla critica che si richiede alla ricerca scientifica, è in parte quella che si è cercato di applicare anche in una delle più interessanti iniziative basate sul web: Wikipedia. In questo caso, si è fatta la scommessa temeraria di invitare a collaborare alla compilazione delle voci non solo provati "esperti" ma addirittura "tutto il mondo" [9]. Tale collaborazione è sottoposta a regole metodologiche di controllo incrociato quasi ossessive, che costituiscono il pregio e il limite di Wikipedia.

La caratteristica principale per l'inclusione di un'informazione in Wikipedia è la sua verificabilità. "Verificabile" significa che chiunque può controllare quanto legge, ovvero verificare se quanto afferma il testo è già stato realmente pubblicato da una fonte "attendibile". Verificabilità non significa verità né correttezza: un'informazione verificabile può anche essere falsa, un'informazione non verificabile può anche essere vera. Tuttavia in genere la verificabilità è un buon criterio di verosimiglianza. [10]

### Scienza e società

Una premessa: se si prova ad analizzare un poco il dibattito attuale sull'evoluzione della scienza, è difficile individuare un confine chiaro tra scienza e tecnologia e soprattutto lo è separare tale dibattito da quello sulle TIC (tecnologie dell'informatica e delle comunicazioni) e in particolare su Internet e le sue molteplici applicazioni.

## Scienza e tecnologia

A differenza di quanto si potrebbe pensare, non è sempre esistita l'attuale simbiosi tra scienza e tecnologia. Sembra che in molte epoche e in molti luoghi esse si siano sviluppate in modo quasi indipendente, per cause e con obiettivi distinti.

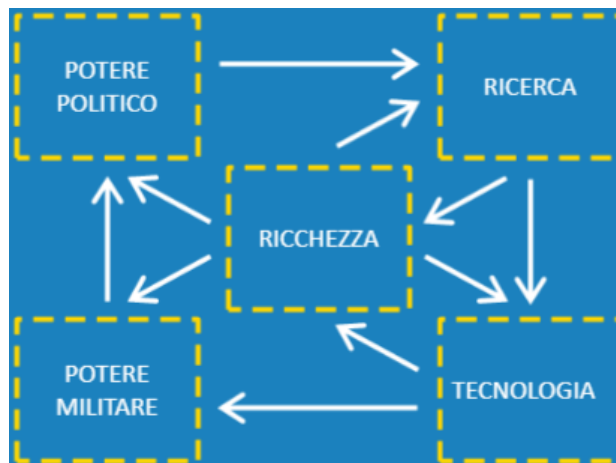
Io credo che la scienza non sia formata da una serie di affermazioni che riguardano direttamente il mondo della natura. L'uomo si è sempre interessato ai fenomeni naturali ma non sempre ha fatto scienza. Pensate ad antiche civiltà, come, ad esempio, quelle egizia e mesopotamica, o anche a civiltà recenti ma lontane dalla tradizione che a noi deriva dai greci: in esse troviamo molte conoscenze sui fenomeni naturali e conoscenze tecnologiche, ma non quella che noi consideriamo scienza. [2]

La tecnologia dei motori elettrici, delle dinamo e, un poco più tardi della radio, sono stati sviluppati all'incirca dalle stesse persone che contemporaneamente sviluppavano la teoria elettromagnetica "pura", sulla base di tale teoria [2]. Invece, per secoli e secoli, nell'antico Egitto o nell'Europa medievale e rinascimentale, le tecnologie sono state tramandate e lentamente modificate in botteghe artigiane o all'interno di corporazioni, mentre la conoscenza teorica, filosofica o scientifica, che si considerava acquisita una volta per tutte, magari sulla base di qualche rivelazione, veniva conservata da università e da istituzioni religiose perché non si corrompesse, e da esse insegnata.

## Scienza e potere, il potere della scienza

La scienza moderna non si accontenta di creare teorie. Essa usa tali teorie per acquisire nuove capacità, e in particolare per sviluppare nuove tecnologie. Nell'età moderna, in corrispondenza con la rivoluzione scientifica avviata dalle grandi scoperte geografiche del '4-'500 e con la nascita degli imperi moderni, e più di recente in corrispondenza con le fasi successive della rivoluzione industriale, e con forme di colonialismo e imperialismo che dal '700 sono arrivate fino a noi, si sono creati circoli virtuosi (o viziosi ?) in cui scienza, tecnologia, potere e ricchezza si esaltano reciprocamente; per esempio: [3]

- il potere politico finanzia la ricerca
- la ricerca genera tecnologia
- la tecnologia conferisce potere militare
- il potere militare rafforza il potere politico
- la tecnologia genera ricchezza
- la ricchezza conferisce ulteriore potere
- la ricchezza consente investimenti in ricerca e tecnologia



Nell'età moderna il rapporto tra scienza e politica è stato spesso conflittuale e aspro; in passato i governanti temevano l'innovazione poiché incrinava i loro poteri; oggi il contrasto appare prevalentemente a ruoli invertiti: la politica non decide perché sarebbe condizionata dallo strapotere della tecnoscienza. [12]

## Scienza e democrazia

In genere si è riscontrata una correlazione positiva tra la democrazia e lo sviluppo del metodo scientifico; non è considerato un caso che i primi germi di esso siano comparsi nella Grecia classica, ...

Tra i precedenti essenziali del metodo dimostrativo vi è, da una parte, la riflessione filosofica, che in Grecia e nel mondo greco aveva già un'antichità di qualche secolo, e, dall'altra parte, la retorica ... Perché si sviluppano scuole di retorica? Che legame c'è tra queste e la democrazia? ... Nelle democrazie greche ... si costituiscono assemblee che prendono decisioni a maggioranza; diventa allora importante saper argomentare in modo atto a convincere gli altri della propria tesi ... Leggendo la Retorica di Aristotele il legame tra l'arte dell'argomentazione retorica, cioè l'arte del discorso, e la logica appare chiarissimo. [2].

Tuttavia, secondo alcuni, nel mondo moderno esiste un conflitto insanabile tra scienza e democrazia, in quanto che la prima non è un sapere puro a disposizione dell'umanità, ma è un intreccio indomabile di interessi economici i cui promotori - gli scienziati - non accettano alcuna forma di controllo esterno [10] o, viceversa, non sono consapevoli dei forti condizionamenti che essi subiscono dai poteri che rappresentano quegli interessi.

## Scienza, informazione e divulgazione

La storia insegna che è pericoloso fare crociate contro le teorie scientifiche eccentriche rispetto a quelle *mainstream*, cioè quelle dominanti nei diversi ambienti scientifici. Tuttavia, sembra salutare tenere alta la guardia sulla diffusione di teorie pseudoscientifiche e/o affermazioni allarmistiche che a volte rischiano di produrre un notevole impatto negativo, specie in ambito medico.

Al di là delle ricorrenti campagne mediatiche, a volte strumentalizzate, come quella contro le vaccinazioni, ricordiamo la difficoltà di riportare all'interno di un corretto confronto, basato su dati e argomentazioni verificabili, temi quali gli organismi genericamente modificati (OGM) o l'uso crescente degli integratori alimentari. In Italia ci sono e ci sono stati ricercatori, come Silvio Garattini, che hanno svolto una lotta appassionata contro il proliferare di farmaci "inutili" o l'impiego di terapie "alternative" come l'omeopatia.

Nel 1989, per iniziativa di Piero Angela e di un gruppo di scienziati, intellettuali e appassionati, nasceva il CICAP (Comitato Italiano per il Controllo delle Affermazioni sulle Pseudoscienze), sulla base della sottoscrizione seguente dichiarazione:

Giornali, settimanali, radio e televisioni dedicano ampio spazio a presunti fenomeni paranormali, a guaritori, ad astrologi, trattando tutto ciò in modo acritico, senza alcun criterio di controllo ... Per questo portiamo avanti un'opera di informazione e di educazione rispetto a questi temi, per favorire la diffusione di una cultura e di una mentalità aperta e critica, e del metodo scientifico basato sull'evidenza nell'analisi e nella soluzione dei problemi.

In Italia, citare Piero Angela significa parlare di divulgazione scientifica, attività che molti ritengono trascurata, soprattutto in confronto ai paesi anglosassoni. Ma se guardiamo alla qualità della divulgazione, ci sono alcuni aspetti abbastanza problematici; tra questi

- chi dovrebbe fare la divulgazione? gli scienziati-ricercatori o i divulgatori di professione o i giornalisti?
- fino a che punto è lecito semplificare, ricorrere all'analogia, usare immagini ad effetto?

La divulgazione scientifica corre sempre dei rischi, cui non sfuggono i migliori divulgatori, anche grandi scienziati che cerchino di volgarizzare le loro scoperte (come Stephen Hawking), o di esporre i punti essenziali di teorie complesse quali la relatività e lo spazio-tempo (come Carlo Rovelli), o di far comprendere concetti difficili quali l'entropia. Tra i principali rischi crediamo vi siano quelli di utilizzare analogie o metafore un po' troppo disinvolte; per esempio, nel caso della presunta "dualità" o "doppia natura" dell'elettrone, che a volte si comporterebbe come un'onda e a volte come una particella, è abituale attribuire ad un oggetto fisico, come sua natura intrinseca, due diverse teorizzazioni dello stesso fenomeno, che rispecchiano invece le difficoltà incontrate dagli scienziati nel costruire una teoria unificante o nel divulgarla. [2]

### Come evolve la scienza

Luciano Gallino parla di "smisurata ignoranza" a proposito dei nostri tentativi di cogliere le conseguenze dello sviluppo scientifico e tecnologico, che saranno il risultato imprevedibile e non intenzionale delle scelte che stiamo ora facendo. Assisteremo ad un'evoluzione rapida e imprevedibile dei saperi e della tecnologia, non guidata da un disegno chiaro e non valutabile come un progresso del tutto positivo e razionale. La storia della scienza e della tecnica mostra come una grande parte delle innovazioni e delle scoperte sia emersa in forme indipendenti dai progetti, dalle aspettative o dalle previsioni degli innovatori, degli scopritori e degli attori politici. [12]

## BIBLIOGRAFIA E WEBOGRAFIA

[1] Francesco Piro, I filosofo Francesco Piro risponde a... Bouvard e Pécuchet, In zonagrigia.it, periodico indipendente (1998)

<http://www.zonagrigia.it/culturaspettacolo/cul26012018>

[2] Lucio Russo, Pensiero critico e cultura scientifica

<http://www.mat.uniroma2.it/mep/Articoli/Lucio/Lucio.html>

[3] Yuval Noah Harari, *Sapiens, Da animali a dèi – Breve storia dell'umanità*, Bompiani, 2018

[4] Il metodo scientifico o sperimentale

<https://www.scienzeascuola.it/lezioni/biologia-generale/il-metodo-scientifico-o-sperimentale>

[5] Wikipedia, Metodo scientifico

[https://it.wikipedia.org/wiki/Metodo\\_scientifico](https://it.wikipedia.org/wiki/Metodo_scientifico)

[6] Wired, Breve guida al metodo scientifico

<https://www.wired.it/scienza/lab/2014/02/28/guida-metodo-scientifico/>

[7] Oscar Bettelli, Astrazione e generalizzazione.

<http://www.istanze.unibo.it/oscar/cap02.htm>

[8] Emiliano Cunzo, Il Ciclo conoscitivo.

<http://www.emilioacunzo.it/>

[9] Michela Murgia, Bye-bye Superman, vogliamo i wiki-eroi. In Repubblica del 10/02/2019, supplemento "Robinson".

[10] Wikipedia, Verificabilità.

<https://it.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilit%C3%A0>

[11] Che cos'è il CICAP. Dal sito web dell'associazione.

<https://www.cicap.org/n/articolo.php?id=275315>

[12] Enrico Bellone, il potere della scienza. Recensione di libri di Luciano Gallino su Repubblica del 30/7/2007.

<https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2007/07/30/il-potere-della-scienza.html>

[13] L'albero della logica

<https://sites.google.com/site/filosofiariformata/logica>

[14] Wikipedia:Verifiability

<https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verifiability>