

# Storia e Filosofia della Scienza

Corso di 12 lezioni (24 ore) tenuto dal prof. Andrea Bellelli, Università di Roma Sapienza:

- 1 C'è sempre un predecessore
- 2 La rivoluzione scientifica
- 3 Questioni di metodo
- 4 Biologia e Medicina
- 5 Chimica e fisica:
- 6 Un problema della biologia: la generazione spontanea
- 7 La nuova medicina
- 8 Evoluzionismo ed eredità
- 9 La scoperta della statistica
- 10 Scienza e tecnologia dalla rivoluzione industriale al novecento
- 11 La filosofia della scienza nel novecento
- 12 La pseudoscienza: omeopatia e psicoanalisi

## **Il sito web.**

Molto del materiale presentato in questo corso di lezioni è liberamente disponibile sulla rete; in particolare il sito web <http://biochimica.bio.uniroma1.it/> ospita la biblioteca digitale della SIB, che raccoglie alcuni testi rilevanti per la storia della medicina e della biologia; contiene inoltre una pagina di links ad altre risorse bibliografiche disponibili sul web.

La pagina [http://biochimica.bio.uniroma1.it/A\\_Bellelli.htm](http://biochimica.bio.uniroma1.it/A_Bellelli.htm) contiene molti documenti didattici, incluso il presente. Un mirror quasi completo di questa pagina si trova su [http://digilander.libero.it/A\\_Bellelli/](http://digilander.libero.it/A_Bellelli/)

## **I testi.**

I trattati di filosofia della scienza, sia di ampio scopo che focalizzati su specifici problemi, sono facili da reperire, specialmente su ordinazione (consultate anche i rivenditori che si servono del web, hanno in genere cataloghi molto ampi: amazon, fnac, ibs, etc.). Un buon testo generale è D. Oldroyd, Storia della Filosofia della Scienza (reperibile ad es. presso IBS:

<http://www.internetbookshop.it/hme/hmelib.asp>). Un trattato specifico di commento della psicoanalisi, con ampie appendici sulla filosofia della scienza applicata alla medicina è il mio "Logica e Fatti nelle Teorie Freudiane" (anche questo reperibile su IBS). Ovviamente esistono trattati specifici su ognuno degli autori discussi nel corso.

I libri dei filosofi della scienza, sia moderni che antichi, sono anch'essi costantemente ristampati: Popper, Kuhn, Bridgman sono gli autori più facili da reperire (ma non necessariamente i più facili da leggere); Poincaré e Duhem si trovano in inglese e in francese, ma non facilmente in italiano. Galileo è naturalmente ristampato in italiano da molti editori ed è interamente disponibile sul web: il Nuovo Organo di Bacone è stato ristampato recentemente da Bompiani. Paradossalmente gli autori più antichi

sono spesso piu' facili da reperire dei moderni: Platone, Aristotele, Lucrezio sono ristampati da vari editori, con o senza il testo originale a fronte.

Gli originali dei testi scientifici discussi in questo corso sono spesso difficili da reperire. Molto materiale e' disponibile gratuitamente sul web (vedi sopra). Molti libri classici sono ristampati in traduzione inglese; alcuni anche nelle traduzioni italiana e francese (trascuro le altre lingue europee perche penso che la loro conoscenza sia meno diffusa).

Ad ogni modo c'e' una bibliografia piu' dettagliata alla fine di ogni argomento, nella quale lo studente puo' scegliere i testi che gli sembrano piu' interessanti.

## **Lezione 1: C'E' SEMPRE UN PREDECESSORE**

Quando si cerca di ricostruire e commentare lo sviluppo di una qualunque ipotesi, in genere si osserva che le sue origini sono molto piu' antiche di quanto ci si sarebbe atteso; spesso e' necessario risalire fino alla filosofia greca (e se avessimo migliori fonti, forse dovremmo risalire ancora piu' indietro).

Per quanto concerne gli argomenti di questo corso non avremo bisogno di una esposizione esaustiva delle teorie dei filosofi greci; ci accontenteremo di considerarne due, tra loro antitetiche, che possiamo definire la **teoria del progetto** e la **teoria materialistica**. La prima ebbe maggior successo ed i suoi rappresentanti piu' autorevoli sono Platone e Aristotele; sono invece rappresentanti della seconda, piu' moderna, Democrito ed Epicuro, che ebbero in Lucrezio il loro portavoce.

La teoria del **progetto** stabilisce una connessione tra le evidenti regolarita' della natura da una parte (i cicli astronomici, le stagioni e i loro riflessi sulla maturazione delle messi, etc.) e della logica dall'altra (in particolare della geometria Pitagorica). Il filosofo che segue questa corrente di pensiero ipotizza che **l'universo realizzi un progetto razionale** e dedica la sua vita e la sua opera al chiarimento di questo progetto; non investiga la natura ma bensì il progetto della natura.

La teoria **materialistica** nega o ignora la possibile connessione tra logica e natura e considera la mente ed i suoi prodotti come costituiti da materia inanimata (gli **atomi**). Non esiste o non e' rilevante in questa teoria un progetto della natura.

### **Le Idee di Platone e la loro cristianizzazione.**

Platone (c.428-c.328 a.C.) riteneva che gli oggetti materiali dei quali abbiamo esperienza fossero copie o realizzazioni imperfette di **idee** trascendenti, realmente esistenti in un mondo non accessibile fisicamente. I "difetti" del mondo, la sua degradazione (ad es. la malattia e la morte) sarebbero dovuti all'imperfetta realizzazione dell'Idea, e alla naturale tendenza al decadimento del mondo fisico. E' interessante che per Platone esistessero sia Idee di oggetti materiali quali gli animali o le piante, sia Idee di entita' immateriali quali la bellezza o la giustizia.

L'investigazione della natura e' l'attivita' del filosofo che ragionando puo' ricostruire nella sua mente il progetto della natura; la natura e' tutt'al piu' fonte di ispirazione, ma la reale conoscenza e' data dalle idee del filosofo che devono corrispondere alle Idee trascendenti. Nel famoso dialogo Menone, Platone rappresenta Socrate che porta con blandi suggerimenti l'ignorante schiavo Menone a dimostrare il teorema di Pitagora; lo scopo politico del testo e' quello di sostenere che la conoscenza delle Idee e' innata nella mente umana. Non a caso Platone utilizza un problema di geometria: la figura geometrica "pratica" (ad es. un campo o giardino, un elemento architettonico, un disegno) e' l'imperfetta realizzazione di un'idea. Lo stesso dialogo sarebbe stato assai meno convincente se avesse avuto per oggetto l'anatomia di un animale o la morfologia di una pianta anziche' un teorema.

Sebbene Platone non implicasse direttamente una connessione tra Idee e divinita', il passo era implicito ed ovvio e fu perseguito dalla scuola dei filosofi neoplatonici; fu Plotino (204-270 c.C.) il primo ad esplicitare che le Idee sono pensate da Dio. La cristianizzazione della filosofia Platonica ne assicuro' il successo e la persistenza nella tradizione patristica della mistica medioevale.

### **Aristotele: coerenza logica e riscontro empirico.**

Aristotele (384-322 a.C.) fu un allievo di Platone e prese le mosse dalle teorie di quest'ultimo.

Aristotele vide due difetti nella teoria del suo maestro: la sottovalutazione del mondo reale, osservabile, e la difficoltà di valutare la correttezza della conoscenza sulle Idee.

Poiché il mondo reale è la base conoscitiva dalla quale il filosofo deve partire per ricostruire nella sua mente l'Idea corrispondente, è evidente che la conoscenza dettagliata del mondo reale è molto importante. Per questo Aristotele si fece uno scrupolo non soltanto di investigare i fenomeni naturali, dall'astronomia alla biologia, ed intuì l'importanza della classificazione che raggruppa oggetti simili e li separa dai diversi.

Gli strumenti di classificazione di Aristotele furono due: le categorie e i predicati. Bisogna considerare con attenzione questi concetti perché, oltre ad essere importanti, sono definiti utilizzando una terminologia antica, che non corrisponde all'attuale.

Le categorie aristoteliche raccolgono e classificano le proprietà di un oggetto. Sono sostanza, quantità, qualità, relazione, luogo, posizione, stato, attività e passività. I predicati chiariscono la relazione tra l'oggetto e la sua proprietà; sono: genere, differenza o specie, definizione o essenza, proprietà e accidente. Il predicato "accidente" è una intuizione particolarmente felice e porta ad una importante divergenza tra Platone e Aristotele. Consideriamo il seguente esempio: il filosofo vede una pietra e si chiede quale sia la sua categoria rispetto al luogo; la risposta è che la pietra può trovarsi per terra oppure in aria (se qualcuno l'ha lanciata; se sta cadendo da una montagna). Nel primo caso il predicato corrispondente è la proprietà, nel secondo l'accidente: la pietra si trova in aria a seguito di un evento casuale e quel luogo non compete alla sua essenza. Platone avrebbe sostenuto che l'accidente sia una deviazione rispetto all'Idea e pertanto un "difetto dell'esistente"; Aristotele invece lo riconosce come dato in sé, degno dell'attenzione del filosofo.

Un argomento molto importante nella teoria della natura di Aristotele è la classificazione delle cause, che sono quattro: materiale, formale, efficiente e finale. La causa materiale di un oggetto è la sostanza che lo compone; la causa efficiente è l'evento che lo ha realizzato; la causa formale è il suo progetto o modello e corrisponde in qualche misura all'Idea platonica; la causa finale è il ruolo dell'oggetto nell'armonia del creato. C'è una certa confusione tra oggetti ed eventi, ma è abbastanza evidente che ciò che noi oggi chiamiamo causa corrisponde più o meno alla causa efficiente di Aristotele.

In confronto con l'Idea platonica, la dottrina aristotelica delle cause appare assai elaborata: mantiene il principio fondamentale che ogni oggetto corrisponda ad un progetto (la sua causa formale), specula sulla relazione tra il progetto e la realizzazione (le cause materiale ed efficiente) ed ipotizza un progetto dell'universo che ogni oggetto deve concorrere a realizzare (la causa finale). Inoltre nella teoria di Platone l'esistente è statico: nasce come copia imperfetta di una Idea e non può che degradarsi viepiù; invece la teoria di Aristotele ammette che il progetto preveda una evoluzione anche positiva dell'oggetto (la causa finale, per cui secondo un esempio dello stesso Aristotele, il seme produce l'albero). Infine l'ipotesi che un predicato possa essere accidentale e non necessario allenta ulteriormente il vincolo che lega l'esistente al suo progetto.

Anche Aristotele fu cristianizzato, seppure in epoca piu' tarda di Platone; il principale artefice dell'impresa fu San Tommaso d'Aquino, un autore del quale dovremo occuparci piu' avanti.

### **Il materialismo e la teoria atomica di Democrito**

Democrito secondo la tradizione fu autore di una teoria esclusivamente materialista dell'esistente, ipotizzato come costituito dall'aggregarsi di atomi materiali, eterni, immutabili e piccolissimi. Di Democrito, e del suo grande interprete Epicuro, e' rimasto molto poco; pero' nel II secolo d.C. il loro seguace romano Tito Lucrezio Caro ne raccolse le idee nel poema *De rerum natura*. Non e' facile attribuire le argomentazioni del *De rerum* a Democrito, Epicuro e Lucrezio e percio' quest'opera e questa teoria saranno considerate in questa sede come appartenenti a tutti e tre i filosofi.

Poiche' gli atomi sono eterni, i cambiamenti della materia sono dovuti al loro aggregarsi e al disgregarsi: viene in parte a cadere la necessita' di un progetto trascendente dell'esistente. L'ordine del cosmo riflette le affinita' dei diversi atomi tra loro ed e' quindi immanente ed intrinseco alla natura delle cose. Questa posizione, di straordinaria modernita', e' sostenuta con argomentazioni ingegnose che rivelano un acuto spirito di osservazione; ad esempio l'esistenza degli atomi e' inferita dall'evaporazione dell'acqua:

*Denique fluctifrago suspensae in litore vestes  
uvescunt eademque dispansae in sole serescunt  
at neque quo pacto persederit umor aquai  
visum est nec rursum quo pacto fugerit aestu.  
In parvas igitur partes disperditur umora  
quas oculi nulla possunt ratione videre.*

Il metodo dell'investigazione della natura nella filosofia classica.

La filosofia classica della natura si appoggia su ragionamenti (dialettica) e sull'osservazione naturalistica; le mancano in larga misura i concetti della misurazione quantitativa, della statistica e dell'esperimento. Il filosofo classico ritiene che il ragionamento sia una guida piu' sicura della misurazione, e che la coerenza dell'universo debba essere spiegata da una costruzione logicamente coerente; questo e' vero anche in Democrito, che rifiuta l'ipotesi del progetto trascendente.

Oggi possiamo dire che la coerenza dell'esistente fu molto sopravvalutata dai filosofi classici: l'universo include anche eventi statistici e casuali, per i quali non si troverebbe posto nelle teorie antiche.

Nonostante questo difetto, le ipotesi platoniche e aristoteliche sopravvissero ben oltre il medio evo: ne sono eredi tardivi la scienza romantica dell'ottocento, e la teoria del Disegno Intelligente, riedizione attuale delle Idee platoniche.

### **L'astronomia in epoca ellenistico-romana**

I filosofi della Grecia classica avevano gettato delle basi teoriche ma non avevano prodotto vere teorie

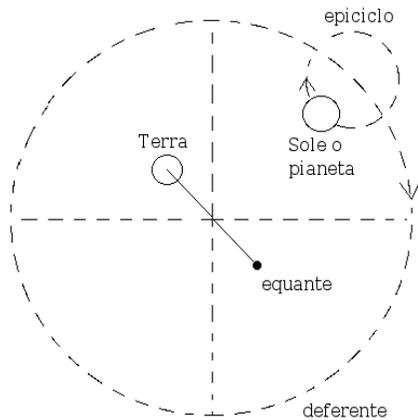
scientifiche, se si eccettuano le conquiste matematiche la cui dimostrazione non è empirica.

Tra il I secolo a.C. e il V secolo d.C. fiorirono scuole di scienza nel mondo ellenistico e, a partire da questo, a Roma, soprattutto nei campi della medicina e dell'astronomia. La medicina era considerata, non a torto, una *techné*, finalizzata all'uso (la cura del malato) piuttosto che alla conoscenza; ma non mancavano conoscenze oggi chiameremmo di base: l'anatomia con Eratostene, la fisiologia con Quinto, Celso e Galeno e la farmacologia con Dioscoride. È particolarmente degno di nota lo sviluppo della scienza dell'anatomia, che gli scienziati di Alessandria conseguirono mediante la dissezione dei cadaveri (vietata in Grecia) raggiungendo cognizioni che rimasero insuperate fino alla fine del medio evo.

La regina delle scienze pure era però l'astronomia ed il suo maggiore interprete fu Claudio Tolomeo (c. 100-c. 175 d.C.). Tolomeo aveva preso le mosse dalle ipotesi che Aristotele aveva raccolto nel *τὰ οὐρανόφωνα* (De Coelo; Sul Cielo): i corpi celesti sono sferici, perché la sfera è la forma del corpo perfetto; ciascuno di essi è attaccato ad una sfera trasparente che lo sostiene ed è la sfera a muoversi; il corpo rimane solidale con essa; le sfere celesti si muovono secondo la loro natura in circoli perché questo è il moto perfetto che torna sempre su se stesso. Il movimento circolare dei corpi celesti avviene secondo un ciclo circadiano e ogni astro ruota attorno alla Terra (che è ferma) circa ogni 24 ore). Aristarco di Samo aveva proposto che l'approssimativa sincronia dei cicli circadiani degli astri dovesse essere spiegata ipotizzando che sia la Terra a ruotare sul suo asse con tale periodo; ma questa ipotesi sembrava opporsi al “dato crudo” della mancata percezione del movimento terrestre: all'uomo sembra di essere fermo al centro dell'Universo.

La teoria di Aristotele era poco più che un enunciato di principio. Tolomeo cercò di spiegare in modo quantitativo il movimento apparente degli astri precisando il periodo e la posizione dell'orbita di ciascuno. Egli riconobbe che era impossibile descrivere il cielo in modo soddisfacente mantenendo l'ipotesi che gli astri si muovessero in orbite circolari di diverso diametro aventi la Terra nel centro, e apportò due variazioni: in primo luogo pose la Terra all'interno dell'orbita di ciascun astro (deferente) ma non al suo centro; il centro di ciascuna orbita era posto a metà di una linea immaginaria tesa tra la Terra ed un punto arbitrario e diverso per ogni orbita chiamato l'equante. In secondo luogo il pianeta ruota su una seconda orbita, detta epiciclo, il cui centro percorre il deferente (fig. 1.1). In alcuni casi il raggio dell'epiciclo è uguale a zero (cioè il pianeta ruota direttamente sul deferente).

Una caratteristica importante del modello Tolemaico è che, in accordo con le ipotesi di Aristotele e di molti astronomi greci precedenti a Tolomeo tra i quali Eudosso e Ipparco, ogni corpo celeste è fissato a sfere cristalline. Sul numero delle sfere assegnate a ciascun pianeta gli astronomi greci non erano unanimi; ad ogni modo nel modello di Tolomeo ogni pianeta è fissato ad una prima sfera, la cui rotazione costituisce l'epiciclo, e questa è a sua volta fissata ad una seconda sfera, la cui rotazione costituisce il deferente. Gli assi di rotazione delle due sfere non sono paralleli e questo consente ai pianeti di “oscillare” sopra e sotto al piano individuato dalla circonferenza massima del deferente.



Il modello astronomico di Tolomeo

Figura 1.1

I cerchi secondo Tolomeo non potevano mai incrociarsi (cioè ogni deferente doveva interamente contenere quelli interni ed essere contenuto in quelli esterni); nell'ordine i cerchi erano quelli di Luna, Mercurio, Venere, Sole, Marte, Giove, Saturno e Stelle Fisse (le cui posizioni relative non cambiavano mai). La ragione per la quale i cerchi non potevano incrociarsi era naturalmente data dal fatto che le sfere cristalline assegnate ad ogni pianeta erano considerate dei solidi reali, ancorché invisibili; la dimostrazione che le sfere, dopo tutto, non esistono e che i pianeti sono liberamente sospesi nel vuoto è dovuta alle osservazioni di Tycho Brahe.

Poiché, come noi oggi sappiamo, la terra ruota sul suo asse con un periodo di 24 ore circa, tutti gli astri nel modello di Tolomeo devono avere cicli con questo periodo; resta il problema di spiegare i cicli più lunghi (il mese lunare e l'anno). Per illustrare la spiegazione di questi bisogna ricordare che il pianeta (o la stella) è visibile soltanto di notte, quando il Sole illumina l'emisfero opposto a quello su cui si trova l'astronomo. Il modello Tolemaico era congegnato in modo tale che i periodi di rotazione circadiani non fossero tutti uguali a 24 ore; in tal modo ogni pianeta (o anche il cerchio delle stelle fisse) presenta ogni giorno uno sfalsamento di qualche grado o frazione di grado rispetto al Sole e il ciclo "lungo" dura tanti giorni solari quanti sono necessari perché lo sfalsamento complessivo eguagli l'angolo giro. Ad esempio, trascurando molte altre complicazioni, si consideri che il giorno solare (rotazione della Terra sul suo asse fino a ritrovare l'allineamento con il Sole) dura 24 ore mentre il giorno sidereo (rotazione della Terra sul suo asse fino a ritrovare l'allineamento con il Sole) dura 23 ore e 56 minuti: l'anno solare consta di circa 365 giorni solari e di circa 366 giorni siderei; è cioè il tempo necessario per riallineare il Sole con le stelle fisse, stante il fatto che in ogni giorno solare c'è un disallineamento di circa lo 0,3% di un angolo giro.

### **Dati crudi e dati interpretati: una dicotomia importante**

Il confronto tra le due scienze più avanzate in epoca ellenistica, l'anatomia e l'astronomia ci suggerisce

una importante considerazione epistemologica che sarà sviluppata, non sempre in modo coerente, durante molti secoli a venire. In entrambe le scienze (e dovremmo dire in tutte le scienze empiriche) il frutto dell'osservazione o della misura è ciò che potremmo definire il **dato crudo**, non ancora contaminato da ragionamenti e rielaborazioni. A seconda del caso il dato crudo viene interpretato in funzione di considerazioni teoriche che possono essere dettate da ragionamenti ad hoc o da teorie e ipotesi precedenti; si ottiene in questo modo un **dato interpretato**. Ad esempio nell'astronomia il dato crudo è la traiettoria apparente degli astri nel cielo; ma nessun astronomo pensa che questa traiettoria sia il reale cammino dell'astro: questo implicherebbe ad esempio che ogni giorno il Sole si formi all'alba e scompaia al tramonto. Fin da quando abbiamo testimonianze scritte, gli astronomi riconobbero che la traiettoria degli astri nel cielo è la proiezione su un piano o sulla superficie interna di una sfera di un evento che avviene nello spazio. Per l'astronomo il dato crudo riflette un movimento diverso da quello percepito con l'occhio, o misurato mediante rudimentali goniometri. La teoria Aristotelica e quella Tolomaica interpretando il dato, producono un quadro assai diverso da quello osservato; e la teoria Copernicana ne produrrà un altro ancora, a sua volta diverso, ma sempre basato sullo stesso dato crudo.

Per contro il dato interpretato dell'anatomia è sostanzialmente coincidente con il dato crudo; o forse dovremmo dire che l'anatomico registra ma non interpreta, perché non ha bisogno di interpretare. Infatti il dato crudo dell'anatomico è direttamente a portata dei suoi sensi: nel corso della dissezione l'anatomico ha in mano l'oggetto del suo studio, può osservarlo da ogni lato, sezionarlo e sottoporlo a qualunque esame gli venga in mente. Nessun "dato" è del tutto esente da un minimo di interpretazione: anche l'anatomico ricorre a tecniche di dissezione che evidenziano alcuni organi a discapito di altri; ma il dato interpretato dell'anatomico è molto più prossimo al dato crudo di quello dell'astronomo. Aristotele interpretò estesamente i dati crudi della sua rudimentale biologia, in genere sbagliando assai; e l'anatomia ellenistica progredì perché gli anatomisti interpretarono il meno possibile. Per molti versi si può dire che un grave problema degli anatomisti ellenistici fu quello di liberarsi delle idee preconcepite ma influenti di Aristotele e riuscire a vedere il dato crudo come si presentava nelle dissezioni.

Il "dato" empirico può essere frutto di osservazioni naturalistiche o di esperimenti controllati; può essere unico oppure può essere stato ripetuto più volte ed avere significatività statistica; può essere una descrizione qualitativa oppure può essere il frutto di misurazioni quantitative effettuate con strumenti raffinati, e può persino appartenere ad una serie di misurazioni quantitative coordinate e coerenti. Non sempre è facile stabilire se un dato comunque ottenuto sia crudo o contenga in sé una quota di interpretazione, non fosse altro quella connessa con la teoria sulla base della quale è stato progettato lo strumento di misura necessario per ottenerlo. Per ora dovremo accantonare l'esame della relazione tra il dato crudo e il dato interpretato e riprometterci di riprenderlo nelle pagine che seguono, in particolare con Galileo e con Pierre Duhem.

## **La qualità del dato crudo**

Un problema metodologico importante e' anche legato alla qualita' del dato, un parametro fondamentale ma difficile da misurare. E' evidente a tutti che alcuni dati sono “buoni” mentre altro sono “cattivi”. Ad esempio, se noi consideriamo i dati crudi sui quali Tolomeo basava il suo modello, osserviamo una grande discrepanza: i movimenti apparenti degli astri, misurati come spostamenti angolari, sono dati alquanto “buoni” cioe' misurabili con una certa precisione e riproducibilita'; per contro il dato “la Terra e' ferma” ovvero “io non percepisco alcun movimento della Terra” e' un dato assai cattivo: il movimento terrestre e' troppo lento perche' i nostri sensi possano avvertirlo. Uno strumento di misura opportuno (nel nostro esempio il pendolo di Foucault) puo' spesso misurare con accuratezza qualcosa che altrimenti sfuggirebbe alla nostra percezione e trasformare un dato cattivo in un dato buono. Il problema della qualita' del dato e' rilevante perche' non e' lecito escludere dati non congruenti con l'ipotesi, ma non e' bene includere nell'analisi dati di cattiva qualita'. A volte l'uso di dati di cattiva qualita' risulta in teorie difettose (come e' il caso della Terra ferma e della teoria astronomica di Tolomeo), e l'esclusione del dato, che pure e' apparentemente confermato dalla nostra percezione, e' necessaria: *“né posso a bastanza ammirare l'eminenza dell'ingegno di quelli che l'hanno ricevuta e stimata vera, ed hanno con la vivacità dell'intelletto loro fatto forza tale a i proprii sensi”* (Galileo Galilei, Dialogo sopra i Massimi Sistemi del Mondo).

## **Lezione 2: LA RIVOLUZIONE SCIENTIFICA**

Alla fine del medio evo si verifico' un grande impulso verso la ricerca filosofica e scientifica, promosso anche da notevoli scoperte di rilievo per la tecnologia, quali la stampa e la polvere da sparo. Molti autori moderni hanno messo in dubbio la liceita' di parlare di una vera "rivoluzione scientifica", riconoscendo con ragione una continuita' ed una gradualita' di evoluzione tra la filosofia della natura medioevale e classica e quella rinascimentale. Sebbene questa posizione sia senza dubbio giustificata, rimane innegabile che il XVI secolo vide progressi assai rapidi sia nelle scienze che nella filosofia della scienza.

### **Copernico: De Revolutionibus Orbium Coelestium (1543)**

Nicolo' Copernico (1473-1543) studio' in Italia, a Padova e a Ferrara, e fu canonico di Frombork, in Polonia. Apparentemente l'interesse per l'astronomia fu una sorta di passatempo, al quale doveva alternare i suoi doveri ecclesiastici e di amministratore; nel 1514 raccolse le sue riflessioni sul moto degli astri, che gia' includevano l'ipotesi geocentrica, in un breve manoscritto, il *Commentariolus*, che circolo' in un ambito assai ristretto. Gioacchino Retico, matematico all'universita' di Wittenberg, venne a conoscenza del *Commentariolus*, si convinse delle ipotesi di Copernico e lo visito' a Frombork, dove rimase come suo allievo per due anni. Elaborando sulle idee di Copernico, Retico pubblico' la *Dissertatio Prima* (1541), nella quale l'astronomia si mescolava con l'astrologia; inoltre incoraggio' fermamente il suo maestro a pubblicare le sue teorie in forma definitiva. Copernico, forse convinto da Retico pubblico' infine il suo capolavoro, il *De Revolutionibus Orbium Coelestium* nello stesso anno della sua morte (1543).

Nicolo' Copernico fu indubbiamente un genio e vide cio' che in precedenza era stato sottovalutato o negato, realizzando una vera e propria rivoluzione concettuale (sebbene l'ipotesi della rotazione della Terra sul suo asse fosse stata gia' ipotizzata dal filosofo greco Aristarco). Non fu uno sperimentatore o uno scienziato nel senso moderno e gli esperimenti che dovevano provare la verita' della sua intuizione furono compiuti dopo la sua morte da Galileo, Newton e Foucault; calcoli e misure piu' precisi dei suoi furono effettuati da Keplero e da Newton. Rimase per molti versi attaccato a concezioni medioevali e forse neppure si accorse di quanto fosse profondamente rivoluzionaria la sua teoria. Con Copernico la Terra perdeva il suo luogo privilegiato di centro dell'Universo e una gran parte dell'armonia del creato veniva spiegata dal movimento di rotazione: era cioe' apparente anziche' reale: *Quare totus mundus labi putatur ab ortu in occasum, Terra excepta*. Dopo Copernico non c'e' piu' un movimento coerente e ordinato dell'intero universo.

I principi della teoria copernicana sono troppo noti per richiedere di essere discussi: Aristotele (nel *De Coelo*) e Tolomeo (nell'*Almagesto*) avevano spiegato il moto apparente del Sole, della Luna e delle stelle come una rivoluzione sincrona di questi corpi celesti attorno alla Terra; ciascun astro si muoveva su una sua orbita e con un sistema complesso di movimenti (gli equanti e i deferenti), ciascuno con un periodo suo proprio. Copernico ipotizzo' due movimenti della Terra, di rotazione sul suo asse con

periodo di 24 ore e di rivoluzione intorno al Sole con periodo di 365 giorni e dimostro' che questi potevano spiegare in modo accurato molti movimenti apparenti degli astri. La teoria era brillante per l'economia delle variabili e la logica, ma reinterpretava dati noti (e in fondo, all'inizio, era meno accurata della teoria Tolemaica). Questo dimostra l'impostazione ancora medioevale del pensiero di Copernico che si accontenta di una teoria logicamente migliore anziche' cercare esperimenti risolutivi.

### **Andrea Osiander e Tommaso d'Aquino: il problema della verità.**

Il *De Revolutionibus* presentava una teoria astronomica totalmente alternativa a quella Aristotelica e poneva un problema metodologico ineludibile: due teorie entrambe logiche e coerenti potevano spiegare le stesse osservazioni empiriche (il moto apparente degli astri) ricorrendo a ipotesi e premesse molto diverse; non potevano essere vere entrambe. Come scegliere la teoria vera? Il criterio della coerenza logica di Platone e Aristotele non poteva essere invocato perche' entrambe le teorie erano coerenti; l'aderenza ai dati empirici, che Aristotele invocava, era buona per entrambe le teorie. Guglielmo di Occam (Ockham; 1288-1347), francescano ed esponente di rilievo della Scolastica cristiana, aveva gia' proposto un criterio di discernimento: la migliore teoria, a parita' di riscontro empirico, e' quella piu' economica, che non moltiplica inutilmente le entita' ipotizzate (*entia non sunt multiplicanda sine necessitate*). Il "rasoio di Occam" dava naturalmente la vittoria a Copernico, e questo forse ci dimostra una certa continuita' tra il pensiero tardo medioevale e quello del cinquecento.

Ad ogni modo, si ponevano urgentemente due problemi filosofici di grande complessita': la definizione della verita' di una proposizione e i criteri per giudicare della verita' delle ipotesi naturalistiche. Anche qui si possono ricercare augusti precedenti nella filosofia Scolastica: infatti il problema della verita' era stato affrontato in modo esaustivo da San Tommaso d'Aquino (1225-1274) nelle *Quaestiones Disputatae de Veritate*: "*Veritas est adaequatio rei et intellectus*". Tommaso sostiene quindi che per porre il problema della verita': (1) deve esistere un oggetto (*res*); (2) di questo oggetto occorre formarsi una opinione ed esprimerla in una descrizione (*intellectus*); (3) la descrizione e' vera se e' congruente con l'oggetto (*adaequatio*). Qui Tommaso ha gia' superato Platone e Aristotele, perche' cerca una congruenza tra l'oggetto e la sua descrizione piuttosto che tra l'idea del filosofo sull'oggetto e l'idea trascendente della quale l'oggetto e' la realizzazione. Ma Tommaso va oltre e nella *Summa Theologica* chiarisce che "*veritas est in intellectu*", cioe' che la verita' e' una proprieta' della descrizione, non del suo oggetto, del quale si puo' al massimo dire che esiste.

La definizione di verita' di San Tommaso e' problematica: in che modo infatti una descrizione puo' corrispondere ad un oggetto? i due sono incommensurabili perche' la prima appartiene al mondo del pensiero, il secondo a quello delle cose materiali. Evidentemente devono esistere delle definizioni di correlazione o delle regole di corrispondenza che rendano possibile l'*adaequatio* tra la *res* e l'*intellectus*. Stabilire questi criteri di corrispondenza si rivelo' un compito non facile al quale lavorarono vari filosofi della scienza, tra i quali uno degli ultimi (e forse dei piu' lucidi) fu Bridgman, la cui *Logica della Fisica Moderna* (1927) costituisce il manifesto della corrente di pensiero dell'operazionismo (che

vedremo piu' avanti).

Andrea Osiander, un amico di Copernico, anch'egli ecclesiastico, vide con chiarezza che le tesi Copernicane potevano risultare sospette di eresia e che era necessario proteggerne l'autore in qualche modo. Ottenne dall'amico il privilegio di scrivere una introduzione al *De Revolutionibus*, che apparve infatti anonima nell'edizione a stampa, e in essa sviluppo' una teoria di filosofia della scienza che e' un capolavoro di logica, tanto piu' che e' scritta in piena malafede. Sosteneva Osiander, che le teorie scientifiche non hanno lo scopo di descrivere l'esistente ma sono soltanto strumenti di predizione degli eventi: *Neque enim necesse est eas hypotheses esse veras, imo ne verisimiles quidem, sed sufficit hoc unum, si calculum observationibus congruentem exhibeant.*

In tal modo, secondo Osiander, sarebbe stato possibile sostenere di fronte al tribunale dell'Inquisizione che la teoria Copernicana non ambiva a cambiare la rappresentazione dell'Universo ma soltanto a calcolare in modo piu' efficiente le posizioni degli astri. L'ipotesi (intellectus) non era suggerita allo scopo di corrispondere (adaequatio) alla realta' dei fatti (res), ma era puramente strumentale.

Molti filosofi della scienza ripercorsero, in buona fede e senza neppure accorgersene, il ragionamento di Osiander ed approdarono al convenzionalismo (Duhem, Poincare'), o alla teoria del "come se" (Vahinger). La tesi di Osiander era storicamente insostenibile, come l'autore sapeva benissimo: Copernico pensava che la Terra ruotasse davvero sul suo asse (cosa che fu poi dimostrata direttamente da Foucault con l'esperimento del pendolo), e Galileo di fronte all'Inquisizione avrebbe ritrattato le sue tesi mormorando "eppur si muove"; ma rimane una interessante e arguta speculazione sul ruolo delle teorie scientifiche e sul significato della loro "verita".

In conclusione, gia' nel primo XV secolo abbiamo due distinte formulazioni sul problema della verita' delle teorie sulla natura: la *veritas est adaequatio rei et intellectus* di San Tommaso e il suo sostanziale rifiuto che degrada la teoria a mero strumento di Osiander.

### **Dopo Copernico: Tycho Brahe e Giovanni Keplero**

Tycho Brahe (1546-1601) era nato in Danimarca ed era di famigli altolocata; ebbe percio' il favore del re di Danimarca e l'opportunita' di costruire un osservatorio astronomico su una piccola isola nel braccio di mare compreso tra Copenhagen e Elsinore. In questo osservatorio Tycho condusse la gran parte delle sue osservazioni, ad occhio nudo ma con l'aiuto di goniometri molto precisi (il suo quadrante aveva un diametro di sei metri!). Venuto in disaccordo con il nuovo re di Danimarca, Tycho si trasferi' a Praga sotto la protezione dell'imperatore d'Austria e riprese le sue osservazioni che durarono praticamente fino ai suoi ultimi giorni di vita. La ragione del favore del re e degli imperatori era anche legata al fatto che l'astronomo reale era anche astrologo e doveva fornire predizioni utili alle decisioni politiche.

Tycho raccolse i dati piu' precisi che si fossero mai avuti in precedenza ed osservo anche una nova e alcune comete, la cui orbita intersecava le sfere cristalline di Tolomeo, dimostrandone quindi l'inesistenza. Per interpretare i dati raccolti da lui personalmente o dai suoi assistenti, Tycho aveva ipotizzato un modello misto, a meta' strada tra quello Tolemaico e quello Copernicano. Secondo il

modello elio-geocentrico di Tycho, la Luna e il Sole orbitano intorno alla Terra, mentre i pianeti orbitano intorno al Sole. Ovviamente, il passaggio dai dati bruti al modello richiedeva calcoli complessi, alla portata di pochi e per Tycho fu di grande vantaggio accogliere nel suo entourage il giovane Giovanni Keplero, uno tra i piu' abili matematici dell'epoca (1571-1630), il quale povero per nascita e spesso perseguitato per motivi religiosi, era costretto a muoversi tra varie universita' e corti tedesche vendendo oroscopi. Keplero aveva a sua volta in mente un modello astronomico diverso da quello di Tycho (che poi abbandono'), ma non aveva accesso a dati sufficientemente accurati. La collaborazione tra Tycho e Keplero non fu tra le piu' facili: Tycho voleva che Keplero usasse i suoi dati per dimostrare il modello elio-geocentrico e glieli forniva in modo incompleto, pretendendo di verificare i calcoli man mano che procedevano. Alla fine pero' Tycho ormai anziano e malato fu costretto a concedere al piu' giovane Keplero il pieno accesso ai suoi dati, in cambio della promessa che Keplero avrebbe cercato di ordinarli all'interno del modello elio-geocentrico. Keplero provo' onestamente il modello di Tycho (aveva gia' abbandonato il suo che non vale la pena di discutere in questa sede), ma alla fine si convinse che la migliore interpretazione dei dati richiedeva una versione aggiornata del modello di Copernico, e formulo' le famose tre leggi che dipingevano un sistema eliocentrico con orbite ellittiche.

La collaborazione tra Tycho e Keplero, sebbene di breve durata, ebbe grande significato per entrambi e per tutti i loro successori: essa infatti dimostrava come, almeno in alcuni casi, la matematica e la misura empirica fossero gli ingredienti inscindibili della ricerca scientifica. Questa non era forse una novita' nel campo dell'astronomia (anche Tolomeo aveva usato grandi compilazioni di dati empirici e molta matematica), ma certamente per la prima volta Keplero aveva usato la matematica per confrontare l'accordo tra i dati empirici e le predizioni derivanti da vari modelli astronomici. Il completo riconoscimento epistemologico di questo nuovo modo di fare scienza doveva venire di li a poco dalle opere di Galileo Galilei.

### **Lezione 3: QUESTIONI DI METODO**

Si delinea con la rivoluzione scientifica la distinzione di due approcci metodologici alla ricerca: l'**esperimento** controllato e riproducibile, attraverso il quale l'uomo interroga la natura, ma limitato dalle energie e dalle masse che l'uomo può controllare ed incline a produrre artefatti, e l'**osservazione naturalistica**, già praticata dagli antichi, meno controllabile dell'esperimento ma più "naturale" e sempre possibile. I sostenitori del primo sono William Gilbert e Galileo Galilei, quello della seconda Francesco Bacone. Sia l'esperimento che l'osservazione naturalistica possono giovare di strumenti di osservazione e di misura: il telescopio, il microscopio, la bilancia, etc.

#### **William Gilbert**

William Gilbert (1544-1603) studiò le proprietà dei magneti naturali e della Terra stessa con esperimenti assai accurati; la sua opera principale, *De Magnete, Magneticisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure* (1600) era nota a Galileo che ne trasse ampia ispirazione. Oltre a descrivere estesamente i suoi dati e il suo metodo sperimentale Gilbert fece una effettiva critica del problema metodologico nella scienza e mise in guardia i suoi lettori contro i dati sperimentali di cattiva qualità (si veda la lez. 1).

#### **Galileo Galilei: il Dialogo Sopra i Massimi Sistemi**

Galileo (1564-1642) fu uno scienziato, e in questa veste condusse osservazioni ed esperimenti, ed un filosofo della scienza, al quale si deve la formulazione del metodo sperimentale. Galileo utilizzò il telescopio per osservare i moti dei satelliti di Giove e (che ruotano intorno a Giove anziché intorno alla Terra) e le fasi di Venere; queste osservazioni risultarono incompatibili col modello astronomico di Tolomeo e rappresentarono la prima conferma empirica del modello di Copernico. Condusse inoltre esperimenti sulla caduta dei gravi e sul moto, utilizzando strumenti capaci di fornire misurazioni quantitative abbastanza accurate. Nel *Dialogo Sopra i Massimi Sistemi* (1632), Galileo analizzò lucidamente la logica della scienza, soprattutto in relazione all'astronomia e alla fisica, e sviluppò e descrisse la sua teoria del metodo scientifico, probabilmente il suo maggiore contributo alla storia della scienza e della filosofia.

Essenzialmente, il metodo Galileiano introduceva nella ricerca l'esperimento: lo scienziato non era più soltanto un naturalista, che ragionava sui risultati della semplice osservazione dei fenomeni naturali, ma diventava un protagonista attivo capace di far accadere i fenomeni di interesse in condizioni controllate. L'esperimento di Galileo consentiva la misura quantitativa delle variabili implicate e la manipolazione delle condizioni sperimentali e si rivelò uno strumento di potenza in precedenza inaudita. Si deve considerare che lo scienziato-filosofo dell'epoca classica era soprattutto un naturalista, esperto nell'osservazione ma non nella manipolazione o nella misura delle variabili rilevanti.

Esperimenti erano condotti dai "meccanici" (ad es. nella metallurgia) ma avevano fini eminentemente pratici e non portavano che ad un aumento delle conoscenze tecnologiche.

### Il problema delle fasi di Venere.

Probabilmente la prima vera confutazione del sistema Tolemaico fu l'osservazione, da parte di Galileo, delle fasi di Venere (difficili da vedere ad occhio nudo e perciò ignorate prima della scoperta del telescopio). In se la spiegazione del problema e' semplice; si deve pero' tener conto che (1) il dilemma non e' sulle fasi ma sulla posizione di Venere: le fasi non fanno altro che rivelare quest'ultima; e (2) occorre costantemente confrontare almeno tre ipotesi: quella di Copernico (che in prima approssimazione corrisponde alla realta' dei fatti), quella di Tolomeo come potrebbe essere in linea di principio e quella di Tolomeo come e' formulata nel suo modello definitivo.

Come la Luna, Venere presenta delle fasi ed e' piena, calante, nuova e crescente; quando e' piena e' piccola (lontana dalla Terra), ed il suo diametro apparente cresce man mano che si approssima la fase nuova (non visibile, oscura). Questo stato di cose e' riportato nella fig. 3.1.

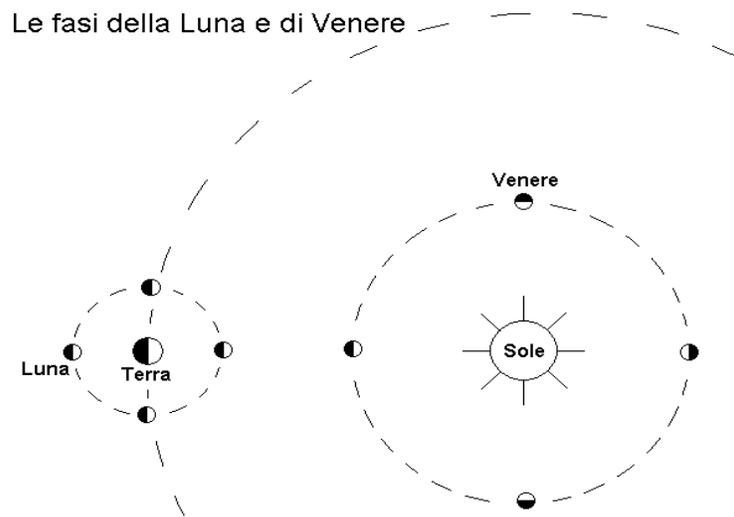
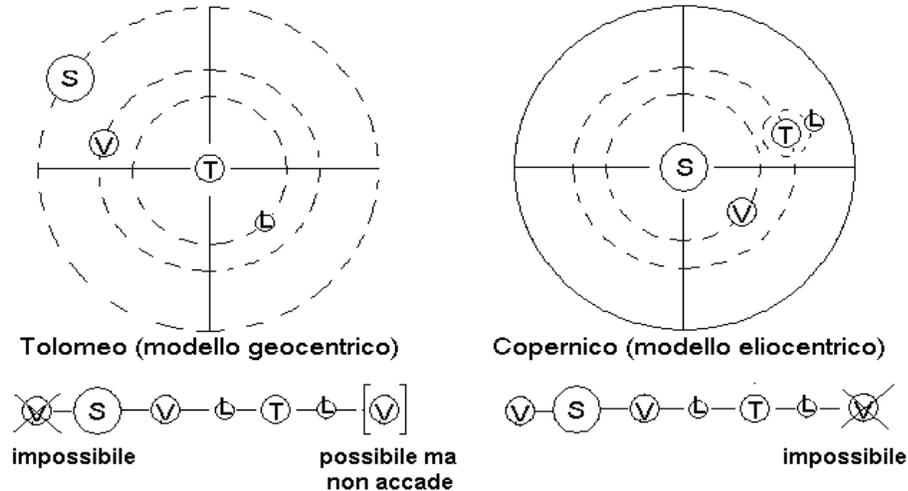


Figura 3.1: Le fasi della Luna e di Venere come sono in realta' e come sono predette dal modello di Copernico. Si noti che Venere piena e' visibile soltanto all'alba o al tramonto, e che in nessuna fase Venere e' visibile nel pieno della notte.

Mentre la Luna e' piena quando e' in opposizione al Sole, Venere e' piena quando si trova in posizione opposta alla Terra rispetto al Sole. Venere non si trova mai in opposizione al Sole, cioe' la disposizione allineata Venere – Terra – Sole e' impossibile (mentre quella Luna – Terra – Sole e' possibile). Il difetto del modello geocentrico di Tolomeo e' quello di permettere posizioni impossibili e non permettere posizioni possibili (si veda la fig. 3.2).

SCHEMA DEI PIANETI INTERNI SECONDO TOLOMEO E COPERNICO



Ci sono due discrepanze tra i due modelli geocentrico ed eliocentrico:  
 l'allineamento T - S - V è possibile nel secondo ma non nel primo, mentre  
 l'allineamento V - T - S è possibile nel primo ma non nel secondo.

Figura 3.2: Confronto tra gli allineamenti permessi e vietati nei modelli astronomici di Tolomeo e Copernico.

Indipendentemente dal modello astronomico che si segue, esistono due allineamenti nei quali un corpo celeste, che non brilli di luce propria, può apparire pieno: corpo – Terra – Sole (come accade per la Luna in fig. 3.1) oppure Terra – Sole – corpo (come accade per Venere in fig. 3.1). I pianeti esterni (da Marte in poi) possono trovarsi in entrambe le posizioni, ma quelli interni non possono. Il modello Tolomaico in linea di principio permette l'allineamento impossibile Venere – Terra – Sole (o il suo inverso Sole – Terra – Venere); ovviamente Tolomeo sapeva che questo allineamento non si verifica mai (per ragioni che sono evidenti dall'esame della fig. 3.1) e utilizzava un complesso insieme di parametri per evitarlo. Senza entrare nel dettaglio matematico dello schema, che include l'eccentricità delle orbite (mediante il concetto dell'equante) ed una seconda orbita per ogni pianeta, centrata sulla principale (il deferente), basti dire che Tolomeo faceva in modo che i movimenti di Venere e del Sole fossero sincronizzati in modo tale da impedire l'opposizione. Purtroppo, in un modello geocentrico come quello di Tolomeo, un corpo celeste interno all'orbita del Sole, non può mai trovarsi nell'allineamento Terra – Sole – pianeta (per farlo l'orbita del pianeta dovrebbe essere esterna anziché interna a quella del Sole); pertanto un pianeta interno può essere pieno soltanto se si trova in opposizione al Sole (come accade per la Luna): Venere quindi, secondo Tolomeo, non poteva mai apparire piena, ma soltanto calante, crescente o nuova. Nel modello Copernicano, invece, la Luna e Venere presentano il fenomeno delle fasi in modo completamente diverso: la Luna è piena quando si trova in opposizione al Sole rispetto alla Terra, mentre Venere è piena quando si trova in opposizione alla Terra rispetto al Sole (cioè nell'allineamento Terra – Sole – Venere, possibile in questo modello, ma impossibile nel modello di Tolomeo; fig. 3.2).

Col senno di poi possiamo osservare che la vera stranezza del modello di Tolomeo era il fatto che

Venere non potesse trovarsi, come la Luna, in opposizione al Sole, risolto grazie ad una complicata relazione tra gli equanti e i deferenti; solo in questa posizione Venere sarebbe stata “piena”. Ovviamente, il modello di Copernico impone che nessun pianeta interno possa trovarsi in opposizione al Sole, mentre questo è possibile (e necessario) per i pianeti esterni all'orbita terrestre che possono avere entrambe le opposizioni (ma proprio per questo non possono mai essere nella fase "nuova" e quindi hanno fasi incomplete). In pratica, nella realtà e nel modello di Copernico: i pianeti interni possono trovarsi in opposizione al Sole rispetto alla Terra ma non in opposizione alla Terra rispetto al Sole ed essere nuovi, crescenti, pieni (in opposizione alla Terra) e calanti; i pianeti esterni possono trovarsi in entrambe le opposizioni ed essere pieni, crescenti o calanti ma mai nuovi e le fasi sono tanto meno pronunciate quanto più sono lontani dal Sole (e dalla Terra). Solo la Luna può essere al tempo stesso esterna ed interna alla Terra (fig. 3.1), ed è piena in opposizione al Sole (come un pianeta esterno) e nuova quando si trova tra la Terra ed il Sole (come un pianeta interno). In conclusione: la configurazione Terra - Sole - Venere è possibile in realtà e nel modello di Copernico e porta alla fase "piena" del pianeta, ma non è possibile nel modello di Tolomeo; pertanto l'osservazione di Venere piena confutava la teoria Tolemaica.

### **Francesco Bacone: il Novum Organum**

Francesco Bacone fu politico e filosofo, piuttosto che scienziato, e cercò di rifondare il metodo scientifico nel *Novum Organum* (1620), che ricalca e pretende di superare nel titolo l'*Organum* di Aristotele. Nonostante i suoi intenti di innovatore, Bacone rimase sostanzialmente legato ad una interpretazione della ricerca scientifica alquanto classica: infatti lo scienziato Baconiano è soprattutto un naturalista che osserva, raccoglie e colleziona fenomeni naturali, piuttosto che un ricercatore capace di ideare esperimenti innovativi. Il principale merito di Bacone sta nel suo tentativo di sistematizzazione dell'esperienza: egli raccomandava infatti che lo scienziato interessato a studiare un certo fenomeno raccogliesse e classificasse in una tabella tutti gli eventi naturali nei quali il fenomeno compariva (*tabula presentiae*); in una seconda tabella lo scienziato doveva raccogliere quegli eventi simili ai precedenti ma non associati al fenomeno in questione (*tabula absentiae*). In una terza tabella gli eventi nei quali il fenomeno si presentava dovevano essere ordinati rispetto alla sua intensità (*tabula graduum*). La causa del fenomeno era allora comune a tutti gli eventi della *tabula presentiae*, assente in quelli della *tabula absentiae* e tanto maggiore in intensità quanto maggiore l'intensità del fenomeno negli eventi raccolti nella *tabula graduum*.

Bacone illustrò il suo metodo con alcuni esempi; sebbene questi fossero al massimo modesti successi all'epoca e manifesti insuccessi se guardati alla luce delle nostre conoscenze odierne, il metodo raccomandato da Bacone ha un certo valore. Bacone comprese che il tentativo di descrivere ogni evento come se fosse unico (ad es. il cavallo rispetto all'idea del cavallo, etc.) è destinato all'insuccesso. In termini moderni possiamo dire che lo studio delle correlazioni (siano esse causali o di altra natura) può avere possibilità di successo soltanto se la casistica è ampia e include sia i positivi che i negativi (cioè gli eventi che includono il fenomeno e la sua causa e quelli che non includono l'uno o l'altra o nessuno dei due).

## **L'arco della conoscenza**

La nuova filosofia della scienza del Rinascimento portava ad un grande cambiamento rispetto all'epoca classica: mentre Platone ed Aristotele avevano sostanzialmente privilegiato un metodo deduttivo, discendente, dai principi generali alla descrizione dei singoli eventi, Bacone e Galileo avevano dimostrato che i principi devono essere costruiti a partire dagli eventi. La figura che riassume la filosofia della scienza moderna e' stata paragonata ad un arco: lo scienziato studia singoli eventi, da questi inferisce leggi generali e poi puo' usare le leggi generali per dedurre predizioni o descrizioni degli stessi o di altri eventi. L'arco ha un pilastro montante, dalla conoscenza empirica alla legge naturale; una sommita' (la legge naturale) e un pilastro discendente, dalla legge naturale alla predizione. In nessun caso questa figura e' cosi' calzante come nella fisica o nell'astronomia: lo scienziato studia il movimento apparente degli astri nel cielo, formula una ipotesi sul loro movimento reale (sia questa Tolemaica o Copernicana), stabilisce le equazioni ed i parametri matematici conseguenti, ed infine da questi ultimi puo' calcolare e predire eventi celesti quali eclissi, passaggio di pianeti o comete, etc. E' importante osservare che nell'astronomia anche Aristotele e Tolomeo seguivano in parte questo metodo; ma non del tutto perche' mescolavano premesse empiriche con premesse logiche (la natura del corpo ne condizionerebbe i moti "propri").

Non tutte le scienze ammettono di essere ridotte al modello dell'arco: ad esempio la geografia e l'anatomia hanno molto di empirico e poco o nulla di generale: sono collezioni di nozioni ed eventi che non e' possibile (per ora) formalizzare in leggi naturali.

Mentre il pilastro discendente dell'arco e' abbastanza anequivoco, il pilastro ascendente e' problematico: nessuna collezione di osservazioni ed esperimenti garantisce una generalizzazione deterministica.

L'induzione, cioe' il processo che consente di risalire dalla conoscenza empirica dei singoli eventi alla legge naturale generale, non e' sostenuta da nessuna solida garanzia logica. Galileo, Bacone, Newton e altri scienziati e filosofi si sono affannati a difendere l'induzione, mentre Popper e tutti i filosofi della scienza successivi lo hanno respinto; alcuni come Duhem e Poincare' sono approdati al convenzionalismo e Vahinger alla filosofia del "come se" (gia' considerata a proposito di Osiander e Copernico).

Daro' qui un breve accenno al problema, che riprenderemo con maggior cognizione a proposito di Popper. Una raccolta estensiva di osservazioni, coerenti per il loro oggetto e congruenti per il metodo si presta ad una generalizzazione statistica. La statistica fu introdotta nella scienza alla fine del settecento per necessita' socio-politiche e belliche e fu inizialmente applicata alla medicina (da Pierre Louis) e alla sociologia (da Quetelet). Una buona casistica consente una generalizzazione statistica e persino una legge statistica (si veda il caso degli esperimenti di Gregorio Mendel, piu' avanti); ma non una legge deterministica. Se noi osserviamo mille cigni bianchi e' corretto formulare la legge statistica che i cigni bianchi sono molto piu' frequenti di quelli di qualunque altro colore, ma non e' corretto inferire che non esistono cigni neri o che i cigni possono essere solo bianchi (l'esempio e', credo, di Mill ed e' ripreso estesamente da Popper). Alcune fenomeni naturali sono statistici e sono governati da leggi naturali probabilistiche (ad es. nella genetica): in questi casi l'induzione statistica e' perfettamente valida.

Esistono però eventi apparentemente deterministici, nei quali la variabilità statistica è piccolissima (ad es. nell'astronomia) e in questi casi l'induzione è insufficiente e l'arco della conoscenza è metodologicamente monco.

Popper suggerì che il passaggio da una formulazione statistica ad una deterministica è arbitrario: il ricercatore ha una intuizione fortunata. Una volta concepita la legge deterministica però l'arbitrio finisce e lo scienziato ne trae grazie a processi deduttivi logicamente rigorose le predizioni del caso, che consentono il confronto con l'esperimento o l'osservazione. La legge deterministica sarebbe quindi dimostrata falsa o sostenuta provvisoriamente dalla confutazione o dalla conferma delle sue predizioni. Mentre una predizione non confermata dall'esperienza dimostra falsa (falsifica) la legge naturale da cui deriva, una predizione confermata non la dimostra vera (verifica) per due ragioni: in primo luogo la predizione potrebbe essere vera per ragioni diverse da quelle ipotizzate; in secondo luogo la legge potrebbe essere vera su una predizione ma falsa su un'altra e se è falsa una volta è falsa per sempre. Riprenderemo questo discorso quando parleremo di Popper.

### **Descartes e la geometria analitica**

Rene' Descartes (Cartesio; 1596-1650) è famoso soprattutto come filosofo, per il suo *Cogito Ergo Sum*; dette però anche contributi alla scienza e alla matematica applicata alla descrizione dei fenomeni fisici. Fu più un teorico che uno sperimentista, ma è autore di una teoria materialistica coerente che, applicata alla fisiologia dell'uomo, contribuì a dimostrare che era possibile discutere dei fenomeni della vita in termini non religiosi, che prescindevano dall'infusione dell'anima divina in un corpo altrimenti inanimato e non vivente. Questa teoria "meccanica" o "iatromeccanica" che vede l'organismo vivente come un raffinato automa è oggi totalmente superata, ma non si deve dimenticare che le cognizioni biochimiche necessarie ad una reale comprensione della fisiologia vennero un secolo e mezzo dopo la morte di Descartes.

Il più importante contributo di Descartes alla scienza è probabilmente lo sviluppo della geometria analitica che consente o facilita l'applicazione della matematica a problemi legati alle figure geometriche e che consente la rappresentazione visiva delle funzioni algebriche.

### **Bibliografia**

Bacone F.: alcune opere di Bacone sono disponibili sul web

([http://www.gutenberg.org/wiki/Main\\_Page](http://www.gutenberg.org/wiki/Main_Page)); il *Novum Organum* è ristampato da Bompiani.

Galileo Galilei: le opere di Galileo sono in gran parte ristampate anche oggi; inoltre sono tutte (o quasi) disponibili gratuitamente sulla rete (<http://www.liberaliber.it/biblioteca/g/galilei/index.htm>).

Giorello G. et al.

#### **Lezione 4: BIOLOGIA E MEDICINA**

La rivoluzione scientifica e' tradizionalmente associata al De Revolutionibus, ma questo non dovrebbe mettere in ombra le altre grandi scoperte scientifiche, conoscitive e tecnologiche dell'epoca: prime tra tutte le grandi esplorazioni geografiche di Cristoforo Colombo, Vasco Da Gama e Fernando Magellano. L'invenzione della stampa a caratteri mobili (di Gutenberg) appartiene a questo periodo, come pure l'importazione della polvere da sparo (dalla Cina), mentre la bussola era nota dal XIV secolo (sempre importata dalla Cina). La scienza che registro' i piu' importanti progressi, oltre all'astronomia, fu pero' la medicina: nello stesso anno in cui veniva pubblicato il De Revolutionibus di Copernico usciva anche il De Humani Corporis Fabrica di Andrea Vesalio, manifesto della nuova anatomia.

#### **Andrea Vesalio e il De Humani Corporis Fabrica (1543)**

L'insegnamento dell'anatomia fino al '500 si basava sulla collaborazione di un lettore, che leggeva agli studenti raccolti nella sala incisoria i testi di anatomia di Galeno, e di un settore che preparava il cadavere e ne estraeva di volta in volta gli organi pertinenti. Si pero' andavano accumulando con questa pratica osservazioni discrepanti dalla descrizione testuale: in parte perche' Galeno non aveva praticato dissezioni di cadaveri umani ma di animali; in parte perche' egli aveva interpretato le sue osservazioni anatomiche alla luce di cognizioni fisiologiche teoriche, non di rado erronee. Galeno aveva cioe' interpretato il dato crudo dell'anatomia fino a stravolgerlo e gli anatomici si trovavano spesso di fronte a reperti incompatibili con la loro descrizione.

Il merito di aver rifiutato gli errori anatomici di Galeno spetta al belga Andrea Vesalio, il cui trattato di anatomia, il De Humani Corporis Fabrica, uscì a stampa nel 1543 arricchito dalle meravigliose incisioni del suo compatriota Ian Stephan van Calcar, allievo di Tiziano. Le tavole anatomiche di Vesalio inauguravano una nuova era quanto e piu' del De Revolutionibus di Copernico perche' dimostravano che la descrizione anatomica deve essere aderente al dato crudo e non richiede la complessa struttura teorica che Galeno gli aveva costruito intorno per rispettare le cause finali di Aristotele. Vesalio tornava davvero a "interrogare la natura" molto piu' di tanti suoi successori che piu' di lui pretesero di averlo fatto.

#### **Un problema classico della medicina: la circolazione del sangue.**

**Aristotele** e dopo di lui **Galeno** pensavano che il sangue fosse prodotto dal fegato, utilizzando il materiale alimentare assorbito dall'intestino e veicolato dalle vene mesenteriche e dalla vena porta. Il processo di produzione e maturazione del sangue si chiamava concozione ed era assimilato alla cottura del cibo. Dal fegato il sangue raggiunge il cuore attraverso la vena cava inferiore e il cuore col suo calore continua e perfeziona la concozione; inoltre mescola il sangue con lo pneuma (questo c'entra con la respirazione e gli antichi chiamavano arteria aspera la trachea, associandola quindi al sistema circolatorio). Il ruolo del cuore come pompa non era completamente apprezzato, anche se era certamente sospettato. Dal cuore il sangue procedeva in direzione esclusivamente centrifuga verso i tessuti percorrendo sia le arterie che le vene. I tessuti consumavano il sangue come i campi consumano

l'acqua usata per irrigarli e quindi in questa teoria non c'è né il ritorno venoso né la circolazione. Questa teoria ha un difetto: la vena cava porta il sangue all'atrio destro, e questo comunica con il ventricolo destro, ma non con l'atrio sinistro e col ventricolo sinistro: quindi non si spiega come il sangue possa raggiungere l'aorta. Aristotele pensava che esistessero comunicazioni tra le cavità destre e quelle sinistre, e Galeno, che aveva molta più esperienza dell'anatomia, pensava che la comunicazione fosse dovuta a pori troppo piccoli per essere visibili.

Verso il 1200 l'arabo **Ibn Al Nafis** in un commento ad Avicenna suggerì che il sangue passa dal cuore di destra a quello di sinistra attraverso il circolo polmonare. Però l'epoca aurea della scienza araba volgeva al termine e questa intuizione fu poco riconosciuta in occidente, fino a quando fu riproposta in maniera indipendente da **Michele Serveto** verso il 1500. Il povero Michele Serveto finì poi bruciato sul rogo per eresia (ma non per le sue scoperte di fisiologia). Nello stesso periodo Cesalpino (mi pare) scoprì la circolazione intracardiaca (cioè il passaggio obbligato del sangue dall'atrio al ventricolo) che escludeva che il sangue potesse rifluire dalla vena cava inferiore alla superiore o nelle vene polmonari. Poco dopo Girolamo Fabrizio, il maestro di Harvey scoprì le valvole venose, che impedivano il flusso centrifugo in questi vasi e suggerivano il flusso centripeto e infine **William Harvey** scoprì la circolazione, cioè dimostrò che il sangue non viene consumato ma si muove in un sistema di tubi chiusi. La scoperta di Harvey, frutto in parte di esperimenti di vivisezione, in parte di misure e ragionamenti sul volume del sangue circolante fu pubblicata nel 1628 in un breve opuscolo dal titolo **Exercitatio Anatomica De Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus** (o, in breve, *De Motu Cordis*). Secondo Harvey il percorso del sangue è circolare: il liquido attraversa in sequenza l'atrio destro, il ventricolo destro, l'arteria polmonare e le sue ramificazioni, le vene polmonari, l'atrio sinistro, il ventricolo sinistro, l'aorta e le sue ramificazioni e infine le vene sistemiche che lo riportano all'atrio destro. Il cuore svolge la funzione di una pompa.

La scoperta di Harvey aveva due problemi: non era ovvia la comunicazione in periferia tra le arterie e le vene ed era misteriosa la ragione per la quale il sangue circolava (nella teoria Aristotelico-Galenica il sangue veniva consumato dai tessuti per il loro nutrimento). Il primo problema fu risolto da **Marcello Malpighi** che nel 1666 vide i capillari al microscopio e li descrisse nell'epistola altera del **De Pulmonibus**, ma il secondo rimase un mistero e pesò negativamente sull'accettazione della teoria di Harvey. Cartesio, ad esempio, riteneva che il sangue (fluido contenibile) fosse messo in movimento o arrestato dal calorico e dagli altri fluidi non contenibili e che dove si fermava coagulava lentamente per trasformarsi in tessuto solido.

Nel 1774 Priestley scoprì l'ossigeno e successivamente dimostrò che era contenuto nell'aria, che questa poteva essere scomposta nei due gas costituenti principali (azoto=aria mefitica e ossigeno=aria deflogisticata) e si accorse che uno dei due promuoveva le combustioni. Anche Scheele aveva trovato l'ossigeno, indipendentemente da Priestley, ma pubblicò con ritardo i suoi esperimenti. Poiché Priestley aderiva alla teoria del flogisto chiamato l'ossigeno aria deflogisticata e sostanzialmente non ne

capi' l'importanza, sebbene suggerisse che era importante per la respirazione. Nel 1777 Lavoisier, ripetendo gli esperimenti di Priestley, capi' che la combustione era combinazione con l'aria deflogisticata di Priestley e la ribattezzo' ossigeno; questo distrusse la teoria del flogisto e apri' la strada alla comprensione delle ossido-riduzioni. Lavoisier si accorse che la respirazione degli animali era affine alla combustione e richiedeva ossigeno. Ormai la scoperta della funzione principale del sangue era solo questione di tempo e nel 1837 Gustav Magnus fece la prima emogas analisi e scopri' che il sangue contiene molto piu' ossigeno dell'acqua e che il sangue arterioso ne contiene di piu' del sangue venoso. Questo chiariva che una funzione del sangue era il trasporto dell'ossigeno e risolveva il secondo problema della teoria circolatoria di Harvey.

**Bibliografia:**

Harvey W.: vedi biblioteca digitale della SIB, Altre Risorse  
Lavoisier A.: vedi biblioteca digitale della SIB, Altre Risorse  
Malpighi M.: vedi biblioteca digitale della SIB  
Vesalio A.: vedi biblioteca digitale della SIB, Altre Risorse

## Lezione 5: CHIMICA E FISICA

Il progresso delle scienze post-rinascimentali è indissolubilmente legato ai progressi della tecnologia e della matematica; e non di rado lo scienziato era anche un abile costruttore di strumentazione scientifica (come accadde, ad es. per Galileo e Tycho Brahe) e un valente matematico (Keplero, Galileo, Newton). Il connubio tra scienza, matematica e tecnologia è particolarmente evidente nella chimica e nella fisica del '600-'700.

### Huygens e Romer: prima stima della velocità della luce

#### Robert Boyle e Robert Hooke

In un'epoca in cui la distinzione tra chimica, fisica ed alchimia era ancora incerta, Robert Boyle (1627-1691) effettuò i primi esperimenti e misurazioni sulle proprietà dell'aria (un termine che all'epoca indicava tanto l'aria atmosferica quanto qualunque gas il ricercatore potesse ottenere da una reazione chimica) e formulò la legge che porta il suo nome e che stabilisce la proporzionalità inversa tra volume e pressione (a temperatura costante). Per effettuare i suoi esperimenti Boyle realizzò vari strumenti, tra i quali una pompa da vuoto, e mise a punto tecniche quali l'uso di liquidi (acqua o mercurio) per raccogliere i gas (fig. 5.1); i manometri e i termometri a liquido sono derivati dagli strumenti di Boyle (sebbene anche altri avessero in precedenza usato termometri ad aria e a liquido); il barometro a mercurio, invece, era già stato inventato da Evangelista Torricelli (nel 1643). Robert Hooke (1635-1703) fu assistente e collaboratore di Boyle e ne raccolse l'eredità scientifica; fu autore di un trattato di microscopia nonché di esperimenti ed ipotesi sulla natura della luce (che egli ritenne avesse natura di onda pressoria; si ricordi che all'epoca non fossero note le onde elettromagnetiche) e della gravità (che egli attribuì all'attrazione fra corpi). Hooke fu per molti versi un precursore di Newton e i due non furono tra loro in buoni rapporti; il successo del secondo finì per mettere in ombra i contributi del primo, che furono rivalutati molto successivamente.

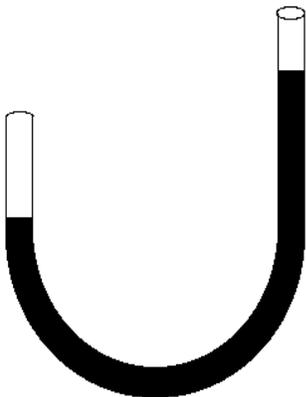


Fig. 5.1: Il tubo di vetro chiuso ad una estremità nel quale Boyle raccoglieva su acqua o mercurio il gas che intendeva studiare; il gas poteva essere compresso aggiungendo ulteriore acqua o mercurio nel

braccio aperto.

## Newton

Isaac Newton (1643-1727) fu un grande matematico e scienziato, dotato di un pessimo carattere. Le sue opere principali sono i trattati *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) e *Opticks* (1704).

Nei *Principia* Newton elaborò la teoria della gravitazione universale, fondata sulla legge secondo la quale due corpi si attraggono con una forza proporzionale al prodotto delle loro masse diviso per il quadrato della distanza che li separa e sul principio di inerzia, secondo il quale un corpo persiste nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme fino a quando una forza non interviene a modificarlo.

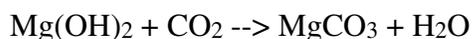
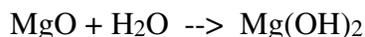
La teoria di Newton poteva essere usata per spiegare le leggi di Keplero e poteva calcolare con precisione le orbite dei pianeti e persino la loro eventuale perturbazione dovuta ad altri pianeti o masse vicine; di conseguenza divenne un paradigma del potere esplicativo della scienza e consacrò Newton nel ruolo di massimo scienziato dell'epoca e delle epoche a seguire.

Nell'*Opticks* Newton presentò i suoi esperimenti di scomposizione della luce bianca nei suoi colori fondamentali mediante prismi e sostenne una teoria corpuscolata (la luce sarebbe fatta cioè di particelle materiali) in antitesi con la teoria ondulatoria di Hooke.

## La chimica dopo Boyle

I progressi della chimica dopo Boyle sono dovuti ad un gran numero di scienziati che sperimentavano a volte in completo isolamento reciproco e portarono all'identificazione di vari elementi e composti, inizialmente in forma di gas (più semplici da caratterizzare e più reattivi con le metodiche dell'epoca).

Il primo ricercatore a cimentarsi nell'impresa fu Joseph Black che riscaldando il carbonato di magnesio (un sale) ottenne anidride carbonica (“aria fissa”) e ossido di magnesio (una calce). Black dimostrò inoltre che era possibile “spegnere” la calce del magnesio con l'acqua (cioè trasformare l'ossido in idrossido) e riformare il sale di partenza aggiungendo alla soluzione l'aria fissa. Lo schema delle reazioni di Black, nella moderna formulazione chimica, è il seguente:



I diversi tipi di “aria” scoperti nella seconda metà del '700 sono riportati nella tabella 5.1; spesso lo stesso gas fu scoperto indipendentemente da due ricercatori, grazie al fatto che non tutti pubblicavano le proprie scoperte; per questa ragione nella tabella possono comparire due nomi e due date per la stessa sostanza.

Tabella 5.1: I principali gas scoperti nella seconda metà del XVIII secolo.

anidride carbonica (aria fissa) J. Black (1754); scomposizione del carbonato di magnesio

ossigeno (aria deflogisticata) C. Scheele (1772); J. Priestley (1774) scomposizione dell'ossido di mercurio

idrogeno (flogisto) H. Cavendish (1776) reazione tra acidi e metalli

azoto (aria mefitica) H. Cavendish (1776) residuo della reazione tra ossigeno e idrogeno

acido cloridrico	J. Priestley
ammoniaca	J. Priestley
anidride solforosa	J. Priestley

### **Lavoisier: la teoria della combustione**

I grandi chimici del XVIII secolo erano tutti assertori della teoria del flogisto, formulata nel secolo precedente da G. Stahl. La teoria del flogisto spiegava le combustioni ipotizzando che esse fossero causate dalla violenta emissione di un principio o sostanza chiamata flogisto. Il flogisto veniva identificato con il vapore ed il fumo che si alzavano dalle fiamme, mentre il residuo deflogisticato (la cenere) veniva chiamato la “calce” della sostanza combusta. Gli alchimisti si erano accorti fin dal medio evo che i metalli bruciavano trasformandosi in calce e che i sali potevano contenere metalli analoghi a quelli contenuti nelle calci; si erano accorti inoltre che le “terre” (composti insolubili in acqua) potevano contenere metalli in uno stato analogo a quello dei sali e delle calci. Quindi i chimici del XVIII secolo sapevano che i segreti del flogisto potevano essere rivelati studiando le diverse trasformazioni dei metalli; ad esempio Cavendish identificava il gas che si liberava dalla reazione tra un metallo e un acido col flogisto perché sapeva che il sale del metallo, prodotto di questa reazione, era analogo alla calce dello stesso metallo. Poiché sia il sale che la calce del metallo pesano più del metallo stesso, il flogisto doveva avere un peso negativo.

Priestley aveva chiamato l'ossigeno “aria deflogisticata” perché promuoveva la combustione (estrazione di flogisto) e Cavendish aveva chiamato l'idrogeno “flogisto” perché si combinava interamente con l'aria deflogisticata (lasciando sulle pareti del recipiente un sottile velo d'acqua).

Lavoisier (17 -1793) capì che tutti questi gas erano sostanze e che le combustioni erano combinazioni di qualche sostanza con l'aria deflogisticata; poiché la combustione diventava combinazione con qualcosa, anziché emissione di flogisto, tutti i termini dovevano essere cambiati ed in particolare i nomi dell'aria deflogisticata, che Lavoisier chiamò ossigeno, e del flogisto che Lavoisier chiamò idrogeno. Una parte essenziale delle ricerche di Lavoisier consisteva nel determinare accuratamente i pesi dei reagenti e dei prodotti: infatti la fine dell'ipotesi del flogisto venne dalla constatazione che in alcuni casi il flogisto doveva avere un peso negativo, e dal tentativo di pesarlo. Oltre a eliminare l'ipotesi del flogisto, le misurazioni di Lavoisier dimostrarono la conservazione della massa perché operando in recipienti chiusi accuratamente pesati, si poteva dimostrare che il peso dei prodotti era sempre uguale al peso dei reagenti.

### **La classificazione degli elementi e la determinazione dei loro pesi atomici**

Gli studi sui gas avevano richiesto molte reazioni chimiche e avevano rivelato che gli elementi erano molto più numerosi dei quattro classici, acqua, aria, terra e fuoco. Inoltre le stesse reazioni avevano dimostrato che alcune sostanze (l'acqua, le calci, i sali e le terre) potevano essere scomposte in sostanze più semplici, in genere mediante il riscaldamento. Il problema successivo era quindi diventato quello di definire quali fossero gli elementi e quali delle sostanze conosciute fossero elementi e quali invece composti. Inoltre, come aveva dimostrato Lavoisier, ogni sostanza o elemento doveva essere costituito

di particelle molto piccole dotate di un peso costante, che rendesse ragione della conservazione della massa. Infine era noto che i gas si combinavano tra loro secondo rapporti volumetrici costanti: ad esempio Cavendish aveva determinato che il rapporto volumetrico della combinazione tra idrogeno e ossigeno era pari a 2:1. **John Dalton** (1766-1844) organizzò questi dati in un sistema coerente e, determinando la densità dei gas noti propose una prima tabella che raccoglieva gli elementi chimici noti (circa 40) con i loro pesi atomici relativi; l'elemento di riferimento era il più leggero gas noto: l'idrogeno di Cavendish. Poiché non era ancora chiara la distinzione tra atomi e molecole, Dalton aveva assegnato il valore di 1 al peso atomico/molecolare dell'idrogeno (anziché quello di 2 alla molecola di H<sub>2</sub> e quello di 1 all'atomo H) e molti dei suoi pesi atomici erano approssimativamente dimezzati rispetto ai valori oggi usati. Dopo Dalton molti chimici si cimentarono con il problema dei pesi atomici e le tabelle successive a quella di Dalton erano più precise e più complete (perché nuovi elementi venivano scoperti nel frattempo); tra i nomi più famosi citiamo **Jons Berzelius** (1779-1848) e **Amedeo Avogadro** (1776-1856). La definizione dei concetti di atomo e molecola fu proposta in varie forme (in maniera ancora imprecisa da Avogadro); quella definitiva è dovuta a **Stanislao Cannizzaro** (1826-1910) e portò ad un ulteriore affinamento delle tabelle dei pesi atomici. Man mano che nuovi elementi venivano scoperti e il loro peso atomico veniva determinato, diventava chiaro che il comportamento chimico di alcuni atomi era simile, ed anzi che esisteva una periodicità delle proprietà chimiche rispetto al peso atomico. Vari ricercatori si posero il problema di quantificare e rappresentare questa peculiarità e quello che ottenne il maggior successo fu **Dmitri Mendeleev** (1834-1907) che raccolse gli elementi noti, ordinati per il peso atomico in una tabella divisa in righe (i periodi) e colonne (i gruppi). Mendeleev lasciò vuote tre caselle della sua tabella, ipotizzando che corrispondessero ad elementi non ancora scoperti: quando questi furono scoperti (e chiamati gallio, scandio e germanio) l'ipotesi di Mendeleev acquistò grandissimo prestigio.

## **Bibliografia**

Newton I. Principia (trad. ingl. A. Motte) Prometheus Books (su <http://www.amazon.co.uk>)

## **Lezione 6: UN PROBLEMA DELLA BIOLOGIA: LA GENERAZIONE SPONTANEA**

Il problema della generazione spontanea (*generatio aequivoca*) e' cosi' antico che non se ne puo' rintracciare in modo convincente l'origine: e' presente nelle leggende dei popoli piu' disparati. Lo si puo' formulare nella semplice domanda: e' possibile che un essere vivente sia generato dalla combinazione di materia non vivente, anziche' da un altro essere vivente simile a lui?

Di generazione spontanea si occuparono scienziati insigni, tra i quali, ad esempio William Harvey; ma la soluzione definitiva venne dagli studi di due italiani: Francesco Redi (1626-1697) e Lazzaro Spallanzani (1729-1799). I sostenitori della generazione spontanea, tra i quali figurano Aristotele, il grande naturalista francese Buffon (Georges-Louis Leclerc, Conte di Buffon 1707-1788), John Needham (1713-1781) e Lamarck (Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck 1744-1829).

L'ipotesi della generazione spontanea (ad es. degli insetti dalla carne in decomposizione o dei microorganismi dal fango) ha due ovvie attrattive: in primo luogo risolve in maniera facilissima il problema dell'origine della vita; in secondo luogo corrisponde all'esperienza comune secondo la quale l'acqua stagnante ed i residui organici tendono a riempirsi di animaletti e muffe. Lamarck, che fu forse il piu' autorevole sostenitore dell'ipotesi, aveva elaborato una teoria alquanto articolata, basta sui seguenti principi:

- 1) al mondo esistono materialmente soltanto individui viventi (animali e piante); le specie, i generi, le classi, etc. sono raggruppamenti di comodo fatti dall'uomo a scopo di classificazione e non corrispondono a nulla di oggettivamente esistente.
- 2) Grazie al principio 1 non c'e' nulla che impedisca ai figli di un animale di assomigliare a quelli di un altro animale; l'evoluzione e' graduale e continua e non ci sono barriere di specie da scavalcare.
- 3) In ogni dato momento della storia naturale la linea di discendenza di ogni animale evolve in modo continuo: i figli dei pesci diventano gradualmente anfibi, quelli degli anfibi rettili e cosi' via (riponderemo piu' avanti questa ipotesi, quando parleremo dell'evoluzione).
- 4) Le forme di vita piu' semplici e meno evolute sono costantemente depauperate dalla progressione evolutiva e costantemente rigenerate grazie alla generazione spontanea, in quanto si formerebbero spontaneamente dal fango.

Ovviamente questa teoria ebbe oppositori fin da subito: infatti tutti sapevano, grazie alle esperienze degli agricoltori e degli allevatori che le specie animali e vegetali sono relativamente stabili. Inoltre, come osservo' lucidamente il paleontologo Cuvier, questa teoria era contraddetta dall'esistenza dei fossili, rettili che gli anfibi moderni sembrano essere incapaci di riprodurre. Infine il vitalismo, altra teoria oggi obsoleta ma all'epoca in voga, creava un confine invalicabile tra i viventi animati dalla forza vitale, e il mondo della materia inanimata.

### **Francesco Redi e le Esperienze Intorno alla Generazione degli Insetti**

Il primo attacco all'ipotesi della generazione spontanea venne dalle esperienze di Francesco Redi (1626-1697), medico e naturalista nato ad Arezzo, ma attivo a Firenze. Nel 1668 Redi pubblico' il libro

che doveva consacrarne la fama di biologo, le Esperienze Intorno alla Generazione degli Insetti. Il testo include considerazioni sulla filosofia della scienza che ricalcano quelle di Galileo: "Ha corte l'ali la ragione andando dietro a' sensi poiche' piu' oltre di quello ch'eglino apprendono ella in cotale inchiesta non puo' comprendere."

Redi raccoglie varie leggende e storie che riportano la generazione spontanea degli animali, o almeno degli insetti, e sa che gli insetti nascono spesso su carni putrefatte; decide allora di compiere esperimenti e si accorge che insetti si generano sulle carogne di animali di piccola dimensione solo se queste sono conservate in scatole o bottiglie aperte, non se le bottiglie sono sigillate. Dopo numerosi esperimenti conclude che gli insetti si generano da uova deposte da altri insetti e che la carogna dell'animale fornisce loro soltanto il nutrimento. Le carogne conservate in bottiglie sigillate si putrefanno ma in esse non si sviluppano insetti, perche' nessun uovo vi e' stato deposto: "dalle carni degli animali morti non s'ingenerino vermi se in quelle da altri animali viventi non ne sieno portate le semenze".

Egli compie quindi un altro esperimento: mette carogne di piccoli animali o pezzi di carne in vasi chiusi con un velo permeabile all'aria, per escludere che la causa della mancata generazione di insetti nei vasi sigillati sia dovuta alla mancanza dell'aria. In questo secondo esperimento si accorge che mosche e altri insetti, attratti dal puzzo delle carni in decomposizione, vanno a deporre le loro uova proprio sul velo, ed anzi deve egli stesso rimuoverle per evitare che le larve che ne fuoriescono riescano ad attraversare il velo e a raggiungere la carne nel vaso.

### **Le esperienze di Lazzaro Spallanzani**

Francesco Redi aveva escluso che gli insetti potessero nascere altrimenti che dalle uova deposte da altri insetti della medesima specie; ma il microscopio aveva mostrato animaletti e pianticine che si generavano nei liquidi della putrefazione o negli infusi e brodi di tessuti organici: gli infusori. Il problema della generazione spontanea si spostava quindi dagli insetti agli infusori. Le esperienze di Redi non erano probanti in tal senso: infatti la carne contenuta nei vasi tappati andava incontro a putrefazione e ricercatori successivi, tra i quali Needham e Buffon avevano trovato infusori nei liquidi di putrefazione. Naturalmente si poteva pensare che i "semi" degli infusori fossero gia' presenti nelle infusioni o vi fossero portati dall'aria, troppo piccoli per essere visti ad occhio nudo, ed il problema era quello diappare in modo abbastanza ermetico i contenitori. Needham e Buffon avevano condotto delle esperienze in tal senso e, fidandosi troppo della bonta' dei loro tappi, avevano concluso che la generazione spontanea degli infusori era possibile.

L'abate Lazzaro Spallanzani (1729-1799) ripete' questi esperimenti con miglior metodo: racchiuse le infusioni in bottiglie di vetro alle quali saldo' il collo sulla fiamma; poi le pose per un certo tempo nell'acqua bollente in modo che le uova eventualmente presenti fossero uccise dal calore; ed infine le lascio' raffreddare e attese per vedere se vi si sviluppavano infusori. La sua conclusione fu che, se venivano sterilizzate convenientemente col calore sia l'infusione che l'aria sovrastante, "tai bestioluzze mai non s'ingenerano, qualora almeno non s'introduca nuov'aria dentro ai vaselli".

Gli esperimenti di Spallanzani, pubblicati nel Saggio di Osservazioni Microscopiche Concernenti il

Sistema della Generazione dei Signori di Needham e Buffon (1765) erano conclusivi e furono confermati un secolo dopo da Pasteur. E' interessante aggiungere una considerazione metodologica: in un problema di questo tipo il risultato dell'esperimento non ha lo stesso valore se e' positivo o negativo. Infatti se nel vaso chiuso si generano infusori (risultato positivo) la conclusione puo' essere duplice: il vaso non era ben sigillato oppure la generazione spontanea e' possibile; per contro se non vi si generano infusori (risultato negativo) questo dimostra in modo anequivoco che nelle condizioni sperimentali testate la generazione spontanea e' impossibile.

### **Virchow: *omnis cellula e cellula***

Rudolf Virchow (1821-1902) fu anatomopatologo, microscopista e antropologo e meriterebbe una menzione assai piu' estesa di quella che gli riserviamo in questo contesto: basti dire che utilizzo' I suoi studi di anatomia patologica per opporsi energicamente alle ideologie razziste che cominciavano a diffondersi in Germania alla fine del XIX secolo. Il motivo per il quale il suo lavoro viene citato in questa sede e' legato ad una sola delle sue scoperte scientifiche: la dimostrazione che neppure all'interno dell'organismo avvengono fenomeni di generazione spontanea e che ogni singola cellula dell'organismo origina dalla divisione di una cellula madre.

### **Bibliografia**

Buffon

Lamarck (1809) Philosophie zoologique.

Pasteur L.: vedi biblioteca digitale della SIB, Altre Risorse

Redi F.: vedi biblioteca digitale della SIB, Altre Risorse

Spallanzani L.: vedi biblioteca digitale della SIB

Virchow R.: Vecchio e Nuovo Vitalismo

## **Lezione 7: LA NUOVA MEDICINA**

### **L'anatomia patologica e la semeiotica fisica**

Nella medicina classica, e fino al '700, la principale fonte di informazioni diagnostiche veniva dal resoconto dei sintomi del malato: la malattia era soprattutto identificata attraverso la narrazione dei sintomi. C'erano e' vero osservazioni oggettive: le paralisi, I liquidi emessi con l'espettorazione o col vomito, l'urina, le feci, etc.; ma queste erano interpretate in modo empirico e non sistematico e sempre con riferimento alla sintomatologia riferita. Nel 1761 furono pubblicati due libri che segnavano una decisa innovazione: il *De Sedibus et Causis Morborum per Anatomen Indagatis* di Giovanni Battista Morgagni e l'*Inventum Novum* di Leopold Auenbrugger. Nel *De Sedibus*, monumentale trattato in forma epistolare, composto da settanta lettere ad un allievo immaginario, Morgagni riporta le osservazioni condotte direttamente da lui o da suoi colleghi su varie centinaia di autopsie e correla il reperto autoptico alla sintomatologia riscontrata in vita. L'innovazione e' profonda: la malattia non e' piu' una collezione di sintomi ma una o piu' lesioni anatomiche oggettivamente riscontrabili.

Nell'*Inventum Novum* Auenbrugger descrive la manovra della percussione del torace che consente di inferire la lesione anatomica sottostante dal suono emesso. Un versamento di liquido in sede pleurica, pericardica o polmonare crea un'area di ottusita' che alla percussione risuona come piena, anziche' come vuota (il suono del polmone sano alla percussione assomiglia a quello di un piccolo tamburo, per via dell'aria in esso contenuta). Auenbrugger insegna quindi al medico come investigare le lesioni anatomiche nel vivente, prima dell'autopsia; e sulla base di questa conferma il suo reperto, nei casi sfortunati. Di nuovo la malattia e' lesione anatomica anziche' sintomo riferito.

L'innovazione diagnostica successiva e' dovuta a Theodore Yacinte Laennec che descrive l'auscultazione mediante il fonendoscopio nel *Traite' de l'Auscultation Mediate* (1816). In questo caso la manovra diagnostica e' finalizzata ad ascoltare i suoni spontaneamente emessi dall'organo malato (polmone, cuore, intestino; gli altri organi non emettono rumori nel corso del loro funzionamento normale o patologico), ed a correlarli con lesioni anatomiche.

Seguono una serie di strumenti e manovre diagnostiche via via piu' complesse: il termometro clinico (inventato da Thomas Clifford Allbutt nel 1866), lo sfigmomanometro per la misurazione della pressione arteriosa, l'emogas analisi, i raggi X, e cosi' di seguito fino alle tecniche piu' moderne quali la RMN e la PET.

Anche l'anatomia patologica continua la sua evoluzione: Francesco Saverio Bichat cerca le lesioni nelle "membrane" (i tessuti) nel suo *Traite' des Membranes* (1799) e Virchow nelle cellule (vedi lez. 6); seguiranno le malattie molecolari di Garrod (descritte piu' avanti).

### **La microbiologia**

Con l'invenzione del microscopio era stato possibile osservare non soltanto le cellule degli organismi macroscopici, ma anche degli "animalcula" microscopici e dotati di vita autonoma. Il pioniere del campo era stato l'olandese Van Leeuwenhoek (1632-1723). Gli animalcula rimasero una specie di

curiosita' e attrassero l'attenzione di molti biologi tra i quali Lazzaro Spallanzani (lez. 6); ma nel 1835-1836 l'italiano Agostino Bassi, dottore in legge per laurea, possidente terriero e coltivatore di bachi da seta per professione e biologo per passione pubblico' il breve trattato *Del Mal del Segno, Calcinaccio o Moscardino*, nel quale dimostrava che un fungo microscopico era l'agente di una malattia contagiosa del baco da seta. Il calcinaccio era la prima malattia per la quale veniva dimostrata in modo unequivoco l'ipotesi del contagio, sulla quale vale la pena di soffermarsi brevemente.

I medici Greci avevano osservato e studiato gravi epidemie fin dal V secolo a.C. e per spiegarle avevano formulato l'ipotesi del "miasma", secondo la quale l'epidemia era causata da una influenza ambientale negativa che colpiva ogni membro di una determinata popolazione, indipendentemente da ogni altro. Alcuni nomi di malattie portano ancora oggi traccia di questa ipotesi: ad esempio la malaria era ritenuta una conseguenza della respirazione di aria contaminata delle paludi, mentre l'influenza era attribuita ad un influsso delle stelle. Queste ipotesi avevano una certa plausibilita': la malaria e' effettivamente piu' comune nelle aree paludose (perche' e' trasmessa da zanzare) e l'influenza e' piu' comune nei mesi invernali, cioe' sotto certe costellazioni. Alternativa all'ipotesi miasmatica c'era l'ipotesi del contagio interumano: la malattia sarebbe dovuta alla trasmissione di materiale patogeno, animato o inanimato, dal malato al sano. Il contagio inanimato e' presente in Lucrezio, l'interprete romano di Democrito, mentre il *contagium vivum* fu ipotizzato molto piu' tardi da Girolamo Fracastoro nel *De Contagione* (1546). I medici antichi in genere preferivano l'ipotesi miasmatica perche' questa spiegava le epidemie nello stesso modo in qui erano spiegate le malattie sporadiche e offriva un quadro unitario e coerente della natura delle malattie; questa ipotesi fu mantenuta fino in epoca moderna ad es. da Paracelso e da Hahnemann (vedi lez. 12).

Agostino Bassi nel 1835 aveva dunque fornito la dimostrazione decisiva dell'ipotesi del *contagium vivum* di Fracastoro, almeno nel caso di una malattia del baco da seta; grandi innovazioni vennero nella seconda meta' dell'800 quando Louis Pasteur a Parigi e Robert Koch a Berlino (1843-1910) scoprirono come coltivare i batteri in brodi di coltura artificiali. Furono allora identificati gli agenti della tubercolosi, del colera, della peste, della febbre tifoide, etc. e divenne chiaro che le malattie infettive costituivano una classe ben definita di malattie, distinte da quelle di natura non infettiva. Inoltre queste scoperte suggerivano una possibilita' terapeutica nuova, quella di trovare una sostanza che fosse innocua per l'uomo e velenosa per il germe. Il primo a trarre questa conclusione e a cercare il "proiettile magico" fu Paul Ehrlich che provo' sistematicamente 605 composti chimici per la loro attivita' contro il germe che causa la sifilide (*Treponema pallidum*), prima di approdare al composto 606, poi battezzato Salvarsan, che presentava attivita' specifica antiluetica. Non pago Ehrlich testo' oltre 300 altri composti simili al Salvarsan per trovare il neoSalvarsan (composto 914), meno tossico per l'uomo ma altrettanto attivo nella cura della sifilide.

### **La fisiologia sperimentale**

Sebbene l'anatomia fosse stata riformata nel XVI secolo e i primi studi moderni di fisiologia (mediante vivisezione) possono essere fatti risalire a W. Harvey nel XVII, la vera rivoluzione della fisiologia

dovette attendere gli sviluppi della chimica: infatti molti studi fondamentali furono resi possibili dall'applicazione di determinazioni chimiche ai campioni biologici. Ad esempio Lavoisier aveva fatto studi elementari sulla respirazione e sulla produzione del calore negli organismi viventi e Gustav Magnus aveva determinato il contenuto di ossigeno del sangue arterioso e venoso. Nella seconda metà del XIX secolo la fisiologia sperimentale fece grandi progressi grazie agli studi di Claude Bernard a Parigi (molti sono raccolti nell'Introduction a l'Etude de la Médecine Sperimentale del 1865), e degli allievi di Muller in Germania: Helmholtz, Virchow, Du Bois – Reymond, Ludwig e altri ancora. In questo periodo furono scoperti in particolare gli ormoni e le loro funzioni; i neuroni e la conduzione dell'impulso nervoso; i fenomeni della digestione e dell'assorbimento dei nutrienti; il differenziamento e la duplicazione delle cellule.

### **Sviluppi successivi**

A partire dal 1870 circa i microbiologi identificarono un gran numero di microorganismi patogeni e furono in grado per la prima volta nella storia della medicina di attribuire in modo certo una causa a molte malattie: il colera, la tubercolosi, la rabbia, la peste, la sifilide, la malaria, etc. Alcuni pensarono che tutte le malattie si sarebbero rivelate di natura infettiva e che prima o poi a ciascuna sarebbe stato assegnato il suo germe; ma questa ipotesi si rivelò errata. Dopo le malattie infettive, e più o meno contemporaneamente a quelle **ereditarie** studiate da Archibald Garrod (sulle quali si veda la lezione 8), furono infatti identificate le **malattie carenziali**, ed in particolare le **avitaminosi** (grazie a studi condotti da vari autori tra il 1880 e il 1900; nel 1929 furono premiati con premio Nobel due autori che si erano distinti nello studio di queste malattie C. Eijkman e F. Hopkins).

Nello stesso periodo si venivano precisando i ruoli delle ghiandole a secrezione interna (un termine coniato da C. Bernard) e le **endocrinopatie**, malattie causate dal difetto o dall'eccesso del loro funzionamento; elenchiamo le scoperte principali:

- 1) nel 1855 **T. Addison** descrisse una malattia associata alla distruzione delle ghiandole surrenali, che prese il suo nome;
- 2) nel 1889 **J. Von Mering** and **O. Minkowski** dimostrarono che il cane privato chirurgicamente del pancreas sviluppa il diabete (e nel 1921 Banting e Best purificarono l'ormone insulina dal pancreas di bue e dimostrarono che poteva curare la malattia);
- 3) nel 1912 **H. Cushing** descrisse la malattia che oggi porta il suo nome, legata all'iperfunzione dell'ipofisi (in genere dovuta ad un adenoma secernente l'ormone ACTH).

### **Bibliografia**

Auenbrugger L.: vedi biblioteca digitale della SIB

Bassi A.: vedi biblioteca digitale della SIB

Bernard C.: Introduction a l'etude de la médecine sperimentale (1865)

Bichat F.X.: vedi biblioteca digitale della SIB

Morgagni G.B.: questo è un problema: o lo si cerca come usato (spesso antico) ad un'asta, oppure ci si

accontenta della parte disponibile sulla biblioteca digitale della SIB.

## **Lezione 8: EVOLUZIONISMO ED EREDITA'**

### **Lamarck e Darwin sull'origine delle specie**

Sebbene fosse ovvio da tempo immemorabile agli allevatori del bestiame che è possibile indurre variazioni nelle specie animali, fino alla fine del '700 tra gli scienziati prevaleva la tesi Linneiana del fissismo, secondo la quale le specie animali e vegetali, una volta create sono stabili ed invarianti. Gli oppositori del fissismo, tra i quali i francesi LaMettrie e Buffon sostenevano una versione elementare e piuttosto confusa dell'evoluzione in base alla quale le specie viventi “progrediscono” da forme meno complesse a forme più complesse, fino a produrre la specie umana, ritenuta la più evoluta; in questo contesto evoluzione significa quindi “miglioramento”. Il naturalista francese Lamarck dette a queste teorie primitive una veste organica nel suo trattato Philosophie Zoologique (1809), nel quale sosteneva l'ereditarietà dei caratteri acquisiti. L'evoluzione secondo Lamarck era inoltre un processo continuo e la barriera tra le diverse specie era facile da superare (la specie stessa era più una convenzione che un fatto reale): continuamente nel mondo c'erano pesci che diventavano anfibi, anfibi che diventavano rettili e così via. Le ipotesi di Lamarck erano alquanto semplicistiche, e furono criticate dal paleontologo Cuvier, il quale notò che non vi trovavano posto i fossili: animali estinti che non venivano più riprodotti dai loro predecessori.

Charles Darwin (1809-1882) insieme con Alfred Russell Wallace fu autore di una teoria assai più elaborata e di molto maggior successo. Egli non negava la trasmissione ereditaria dei caratteri acquisiti (che oggi sappiamo impossibile) ma assegnava il ruolo fondamentale nell'evoluzione alla selezione operata dall'ambiente. Assegnare alla selezione naturale il ruolo di guida dell'evoluzione cancellava ogni riferimento finalistico dal processo ed ogni pretesa antropocentrica; liberava la teoria da ogni implicazione etico-religiosa sul presunto “miglioramento” delle specie. Darwin sostenne le sue ipotesi con una enorme mole di osservazioni e reperti raccolti nel corso di un viaggio di esplorazione geografica intorno al mondo durato tre anni, e con esperimenti condotti allevando piccioni. Il travolgente successo delle ipotesi di Darwin ha spesso portato ad un loro travisamento (ad es. nelle applicazioni sociologiche) o alla loro banalizzazione; per questo rileggere oggi L'Origine delle Specie (1859) è una grande impresa culturale che rivela la genialità del suo autore e lo riporta al suo ruolo straordinario nel contesto storico-culturale del XIX secolo.

### **Mendel**

Gregorio Mendel (1822-1884) presentò il suo lavoro fondamentale “Esperimenti sull'Ibridizzazione delle Piante” in due riunioni della Società di Storia Naturale di Brunn nel 1865 e lo pubblicò nello stesso anno sulla rivista della Società. Mendel studiava gli incroci tra diverse varietà del pisello (*Pisum sativum*), che poteva distinguere per alcune caratteristiche macroscopiche del seme: giallo o verde, liscio o rugoso, etc. Egli aveva varietà pure, cioè derivate dall'incrocio di piante omeogenee per il carattere considerato e poteva incrociarle a piacere. Riuscì così a definire tre principi o leggi: (1) gli ibridi di prima generazione non presentavano mai caratteri intermedi a quelli dei genitori, ma erano sempre uguali ad uno solo dei due (carattere dominante); (2) negli ibridi di seconda generazione

(ottenuti incrociando I precedenti) i due tipi parentali si presentavano in rapporto di 3:1. Le casistiche di Mendel erano assai estese; (3) se venivano studiati due caratteri questi segregavano indipendentemente l'uno dall'altro negli ibridi:

*“Primo esperimento. Forma del seme. Da 253 ibridi ottenni 7324 semi nel secondo anno dell'esperimento. Di questi 5474 erano rotondi o rotondeggianti e 1850 appuntiti e rugosi. Dunque se ne deduce il rapporto 2,96:1. Secondo esperimento. Colore della polpa. 258 piante dettero 8023 semi, 6022 gialli e 2001; il loro rapporto dunque era 3,01:1.”* (Mendel 1865)

Come si vede, Mendel condusse esperimenti su un gran numero di individui e osservò la segregazione di vari caratteri su casistiche estese, statisticamente significative; ebbe in genere la fortuna di scegliere caratteri che avevano una chiara distinzione in dominante o recessivo. Ovviamente, Mendel non sapeva nulla dei geni e delle molecole dell'ereditarietà; ciononostante egli intuì perfettamente e scrisse in modo esplicito, che le cellule somatiche possiedono due unità ereditarie per ogni carattere, una derivata dal padre, l'altra dalla madre; e quindi che le cellule somatiche dell'individuo sono diploidi mentre quelle germinali sono aploidi.

In alcuni casi i caratteri di Mendel non presentavano una chiara dominanza e l'ibrido di prima generazione era intermedio tra i suoi genitori “puri”; in questo caso gli ibridi di seconda generazione riproducevano o il carattere di uno dei genitori o dell'altro o quello degli ibridi di prima generazione nei rapporti 1:1:2. Le leggi di Mendel sono state riviste e in parte estese (ad es. per includere i caratteri legati al sesso); ma la sua genetica fenomenologica ed i suoi rapporti numerici sono in genere stati confermati, e i casi non conformi si sono rivelati diversi da quelli originali ed hanno condotto a nuove scoperte (ad es. l'eredità mitocondriale e l'eredità poligenica).

È interessante osservare che il lavoro originale di Mendel, sebbene pubblicato in modo appariscente e inizialmente quasi ignorato, appariva soltanto sei anni dopo l'Origine delle Specie di Darwin: i fondamenti essenziali della genetica e della teoria evolutivista venivano gettati quasi contemporaneamente.

### **Archibald Garrod: gli errori congeniti del metabolismo**

Archibald Garrod (1857-1936) era un medico e un biochimico, e si interessò allo studio delle malattie congenite del metabolismo; in particolare egli studiò l'alcaptonuria, un difetto ereditario del metabolismo della tirosina che porta all'eliminazione urinaria di un pigmento (alcaptone) che esposto all'ossigeno dell'aria assume un colore brunastro. Garrod intuì che la causa di molte malattie ereditarie è la mancanza di un enzima e il conseguente blocco di un percorso metabolico, con accumulo dei metaboliti a monte e difetto di quelli a valle; inoltre associò l'enzima carente ad un gene collegando i difetti ereditari del metabolismo agli esperimenti di genetica di Mendel. La sua opera fondamentale, *Inborn Errors of Metabolism* (1909), è disponibile gratuitamente sul web.

Ricalcando l'aforisma di Koch “un germe - una malattia” (infettiva), Garrod propose la formula “un

gene – una malattia (ereditaria)” che, sebbene escluda le malattie poligeniche ed altre condizioni scoperte successivamente, fu all'epoca una conquista culturale notevole. Infatti si veniva precisando una nosologia (= classificazione delle malattie) causale, capace di distinguere e classificare le malattie in gruppi ben distinti, risolvendo dubbi che perduravano fin dai tempi della medicina greca.

### **Thomas Hunt Morgan: la sede del materiale genetico e' il cromosoma.**

Thomas Hunt Morgan (1866-1945) studio' la genetica del moscerino della frutta *Drosophila melanogaster* nel quale era possibile indurre mutazioni mediante irraggiamento X ed osservò una mutazione legata al sesso (il carattere “occhi bianchi”, presente nei soli maschi). Incrociando il maschio “occhi bianchi” con femmine normali (“occhi rossi”) il carattere mutato scompariva nella prima generazione di ibridi per ricomparire nella seconda, come predetto dalle leggi di Mendel, ma con questa particolarità: tutti gli individui “occhi bianchi” erano di sesso maschile. Poiché i determinanti del sesso erano i cromosomi, e poiché il carattere “colore degli occhi” risultava legato al sesso, si proponeva l'ipotesi che l'ereditarietà fosse in qualche modo dovuta ai cromosomi. Morgan, da scienziato prudente, fu inizialmente scettico su questa ipotesi, che però finì per accettare senza riserve.

### **Oswald T. Avery: il materiale genetico e' il DNA**

La scoperta che il supporto dell'informazione genetica e' il cromosoma non e' sufficiente a provare che la molecola responsabile e' il DNA perché il cromosoma contiene anche proteine. F. Griffith nel 1928 aveva scoperto che, in presenza di una sufficiente pressione selettiva il materiale genetico può essere trasmesso da batteri morti a batteri vivi, con il seguente esperimento: tre gruppi di topi sani venivano sottoposti ad iniezione sottocutanea di pneumococchi vivi di tipo II (o R, non virulento); oppure di pneumococchi di tipo III (o S, virulento) uccisi mediante calore; oppure di una miscela dei due precedenti. Gli animali dei primi due gruppi non si ammalano, mentre si ammalano e muoiono quelli del terzo gruppo, dal cui sangue si possono isolare pneumococchi vivi di tipo III. La spiegazione dell'esperimento proposta da Griffith era semplice: una sostanza trasformante può essere trasmessa dagli pneumococchi di tipo III morti a quelli di tipo II vivi e trasformare gli pneumococchi di tipo II in pneumococchi di tipo III. Restava da scoprire quale fosse questa sostanza trasformante.

Avery, MacLeod e McCarty nel 1944 ripeterono l'esperimento di Griffith con due varianti: (1) anziché usare topi vivi usarono culture artificiali contenenti antisiero di coniglio contro lo pneumococco di tipo II; (2) anziché usare interi streptococchi di tipo III uccisi mediante calore, ne ruppero le cellule e utilizzarono vari preparati semi-purificati estratti da queste. Questi autori poterono così dimostrare che il componente cellulare che contiene la “sostanza trasformante” e' il DNA, e che esso e' distrutto dall'enzima DNAsi ma non dagli enzimi che degradano lo RNA o le proteine.

### **Un problema filosofico: perché la nostra percezione e il nostro ragionamento sono affidabili?**

In coda al nostro discorso sulle teorie evoluzionistiche possiamo affrontare e concludere un problema che e' stato aperto nella seconda lezione: la garanzia epistemica della corrispondenza tra la descrizione

e l'evento. Abbiamo visto infatti che Tommaso D'Aquino aveva definito la verita' come *adaequatio rei et intellectus*; ma in che modo una descrizione (*intellectus*) puo' corrispondere ad una cosa (*rei*)? Premesso che *adaequatio* non significa identita' ma corrispondenza, esistono almeno due possibili risposte a questa domanda: o la corrispondenza e' basata su norme e convenzioni metodologiche condivise che consentono di tradurre la cosa in descrizione; oppure ci si affida alla nostra abilita' innata di effettuare questa traduzione, confidando che sia la stessa per tutti gli individui. Il primo metodo ha lo svantaggio di richiedere l'accordo tra i membri della comunita' su quali siano le convenzioni opportune; il secondo ha lo svantaggio di non possedere nessuna garanzia logica o epistemica. Nonostante il suo difetto il secondo metodo funziona assai meglio del primo, purché non si pretenda di esplicitarlo; questo apparente paradosso e' giustificato dalle teorie evoluzionistiche.

Noi siamo stati selezionati in modo tale che le nostre percezioni e interpretazioni immediate siano essenzialmente corrette: distinguiamo i frutti commestibili da quelli velenosi, le prede dai predatori etc. semplicemente perche' gli individui che non eccellevano in queste attivita' sono morti e non hanno lasciato discendenti. Di conseguenza i nostri sensi e le nostre facolta' razionali sono assai adatti a produrre una rappresentazione realistica di quella frazione dell'universo con la quale abbiamo interazioni quotidiane. Poiche' questa capacita' interpretativa e' in gran parte pre-logica e inscritta nei nostri circuiti neurali piu' profondi, non siamo in grado di formularne le regole in modo coerente e razionale; pero' sappiamo che e' relativamente affidabile.

Non appena cerchiamo di utilizzare queste nostre capacita' al di fuori dell'ambito di funzioni sulle quali sono state selezionate incorriamo in errori grossolani: ad esempio una delle evidenze empiriche alla base della cosmologia Aristotelica e Tolemaica era la sensazione di essere fermi mentre il cielo ruotava sopra la nostra testa. La velocita' di rotazione della Terra sul suo asse e' troppo bassa per produrre la sensazione del moto mentre e' molto conveniente dal punto di vista della selezione naturale che noi siamo in grado di percepire accelerazioni maggiori (l'inizio di una caduta, la corsa etc.). Di conseguenza interpretare che la Terra sia ferma perche' noi non la sentiamo muoversi e' arbitrario. Purtroppo non e' sempre ovvio se un determinato fenomeno rientri o meno nelle nostre abilita' percettive, e talvolta si e' preteso, ancora molto dopo Tolomeo, di utilizzare l'osservazione "naturalistica" in campi nei quali sarebbero stati necessari protocolli sperimentali accurati. Ad esempio, noi non siamo selezionati per trarre inferenze statistiche corrette dalle nostre osservazioni e tendiamo a sopravvalutare l'importanza di eventi relativamente infrequenti; in questi casi e' necessario utilizzare casistiche estese e protocolli di rilevazione disegnati ad hoc sulla base di teorie matematiche adeguate.

## **Bibliografia**

Avery O.T. et al. (1994) J. Exp. Med. 79, p. 137. Vedi anche biblioteca digitale della SIB

Darwin C.: vedi biblioteca digitale della SIB, Altre Risorse

Garrod A.: vedi biblioteca digitale della SIB, Altre Risorse

Griffith F. (1928) J. Hyg. Cambirdge UK, 27, p. 113.

Mendel G.: vedi biblioteca digitale della SIB, Altre Risorse

Morgan T.H.: la storia e le ricerche di Morgan sono descritte piuttosto bene in questa pagina web:  
<http://www.minerva.unito.it/SIS/Morgan/THOMAS%20HUNT%20MORGAN.html>

## **Lezione 9: LA SCOPERTA DELLA STATISTICA**

La statistica e' al tempo stesso una scienza empirica che studia popolazioni o gruppi di eventi e un insieme di strumenti matematici idonei a valutare dati raccolti su popolazioni e gruppi; non bisogna quindi stupirsi di ritrovarvi i matematici insieme ai sociologi e agli antropologi. La matematica necessaria alla valutazione dei dati statistici fu sviluppata in due contesti diversi: la teoria della probabilita', applicata spesso ai giochi d'azzardo, e la teoria dell'errore di misura. L'applicazione degli strumenti matematici sviluppati in questi contesti alla sociologia e all'antropologia (scienze a loro volta assai antiche) e' relativamente recente.

Per comprendere l'importanza della statistica nella scienza dobbiamo considerare vari argomenti: il determinismo e le sue ragioni; gli studi di sociologia e di medicina sociale del primo '800; lo studio dell'errore delle misure; e l'erronea interpretazione di coloro che cercarono di sostituire il concetto di verita' con quello di probabilita'.

### **Il determinismo**

Fin dall'epoca dell'antica Grecia, la matematica e la geometria erano associate ad alcune scienze; ad esempio, come ricordiamo dalla prima lezione, Tolomeo aveva chiamato il suo libro “ sintesi di geometria”, sebbene avesse per argomento i moti dei corpi celesti. In seguito Keplero, Galileo e Newton erano stati i campioni della matematica applicata alla fisica e all'astronomia. Ciononostante, molte scienze non potevano applicare gli strumenti della matematica ai loro dati empirici, per due ragioni: o il dato era qualitativo e non si prestava, come accadeva per la biologia, la geologia, etc; oppure il dato, sebbene quantitativo, non sembrava rispondere a quelle leggi deterministiche che giustificavano l'applicazione di equazioni esatte. Nel frattempo, pero', a partire dal '600 erano state studiate le leggi della probabilita' soprattutto applicate ai giochi; anche Galileo aveva scritto un trattato su questo argomento. Il concetto che alcuni eventi naturali possano essere distribuiti in modo probabilistico fu suggerito dai matematici francesi all'inizio dell'800 (ad es. da Laplace, 1749-1827, per la medicina), ma faticò ad affermarsi e fu guardato con sospetto fino ad oltre la meta' dell'800, perche' la visione prevalente della scienza e dei fenomeni naturali da questa indagati era rigorosamente deterministica, e vedeva la statistica come motivata dall'imprecisione delle misure: ad esempio ancora nel 1865 Claude Bernard scriveva:

*"... infatti la legge scientifica, secondo me, non può essere fondata che sulla certezza e su un determinismo assoluto, e non su una probabilità."* [Bernard, 1865, p.194]

Tra la seconda meta' dell'800 e l'inizio del '900 gli studi sulla genetica resero piena giustizia alla statistica, e il determinismo fu grandemente ridimensionato persino nella fisica, la scienza alla quale era rimasto piu' legato.

Paradossalmente, il determinismo ingenuo della fisica ottocentesca dette un grande impulso allo sviluppo degli strumenti matematici della statistica. La ragione di questo innaturale connubio e' semplice: gli sperimentatori si erano presto accorti che la ripetizione di una misura o di un esperimento portava in genere a risultati simili ma non identici a quelli ottenuti in precedenza. Per spiegare questa

discrepanza (non prevista da un sistema perfettamente deterministico) i fisici correttamente ipotizzarono che le misure fossero associate ad un errore casuale e studiarono la sua distribuzione sia con la ripetizione degli esperimenti sia con gli strumenti teorici del calcolo delle probabilità. La distribuzione dell'errore casuale è ben descritta dalla curva a campana di C.F. Gauss (1777-1855).

### **Primi studi medici su casistiche**

Nel 1723 il medico inglese J. Jurin riportò in una lettera pubblicata sulle *Philosophical Transactions* la mortalità connessa alla pratica della variolazione (inoculazione artificiale di materiale essiccato prelevato da pustole vaiolose) con quella dell'infezione naturale. I dati di Jurin erano i seguenti: su 182 pazienti sottoposti a variolazione erano stati riscontrati 2 decessi, mentre su 4626 casi di vaiolo ne erano stati riscontrati 856; gli indici di letalità erano pertanto  $1/91$  per la variolazione e circa  $1/5$  per il vaiolo. Sebbene il lavoro di Jurin non riportasse analisi statistiche più raffinate di queste (ad es. mancava una stima dell'incidenza del vaiolo) era implicito il ruolo di una elementare statistica: infatti l'esito della variolazione e quello della malattia naturale non poteva essere predetto nei singoli casi, ma soltanto sulla casistica estesa. È importante notare che il lavoro di Jurin precede di mezzo secolo la vaccinazione antivaiolosa di Jenner (1776), e di un secolo la formalizzazione della legge dei grandi numeri di Poisson (1837: la frequenza di un evento misurata su un campione sufficientemente esteso approssima la probabilità dell'evento stesso): Jurin aveva intuito un argomento di importanza fondamentale ma non gli aveva dato una forma matematica definitiva.

Nel 1743 James Lind, chirurgo della marina militare inglese, effettuò il primo trial clinico controllato per cercare la migliore terapia dello scorbuto (che risultò essere il succo d'agrumi). Sebbene la casistica di Lind fosse esigua (12 malati divisi in 6 coppie, per testare 6 terapie diverse) e il trattamento matematico pressoché nullo, il risultato fu talmente eclatante da spazzare ogni dubbio.

La *methode numerique*, sviluppata per ragioni di analisi di dati sulla popolazione all'inizio dell'ottocento (vedi oltre), fu applicata molto presto alla medicina sociale, soprattutto grazie ai dati di mortalità, natalità, etc.; il pioniere del campo fu il medico Pierre Louis (1787-1872) che studiò casistiche e, applicando i rudimentali metodi matematici dell'epoca, dimostrò che il salasso non aveva effetti terapeutici sulla tubercolosi e sulla febbre tifoide.

### **La “scienza dello stato” e i suoi riflessi sulle scienze naturali**

Alla fine del '700 la Francia rivoluzionaria era guardata con preoccupazione da tutti i regnanti europei, e si trovò coinvolta in guerre scatenate dai nobili scappati durante il Terrore, che volevano la restaurazione. Le esigenze imposte dal reclutamento di massa dei cittadini negli eserciti repubblicani e poi Napoleone dettero un grande impulso alla raccolta di dati concernenti lo stato economico e sanitario dei cittadini. Questi dati richiedevano naturalmente una analisi specifica e con questa lo sviluppo di una vera e propria scienza quantitativa dello stato: era nata la statistica.

La scienza dello stato e della popolazione impose un importante cambiamento di prospettiva nella logica della ricerca scientifica, che ebbe ripercussioni sulle altre scienze. La scienza classica era stata

implicitamente deterministica e lo scienziato aveva potuto assumere che nulla fosse dovuto al caso, se non l'errore della misura (e anche questo era casuale solo perché determinato da troppi fattori poco conosciuti e poco controllabili). La statistica presentava invece dati che non potevano facilmente essere ridotti a conseguenze deterministiche di cause identificabili, e lo scienziato doveva partire da un assunto inusuale: assumere che la distribuzione osservata nei dati fosse casuale e dimostrare in essa regolarità che potessero suggerire fattori determinanti non casuali. In breve, il sociologo non poteva più dare per scontato il determinismo, ma doveva dimostrarlo. Il passo successivo era breve e fu compiuto in modo quasi implicito: il determinismo non era più garantito, ed era ammessa come possibile l'esistenza di eventi casuali, non deterministici. Gli strumenti matematici necessari all'analisi della distribuzione degli eventi non deterministici erano già in gran parte disponibili: una teoria della probabilità era stata elaborata per descrivere i giochi, ed era già stata applicata nella scienza per lo studio dell'errore delle misure.

Anche se non si può stabilire una correlazione diretta, è evidente che la statistica, nata come dice il suo nome dalle scienze sociali, ebbe un profondo impatto anche sulle scienze naturali. Infatti la statistica assegna un valore non soltanto alla media delle misure ma anche alla varianza, che non è più "errore di misura" ma viene a costituire una parte integrante del dato. Molti fenomeni della biologia sembrarono fin da subito idonei ad un approccio statistico: ad esempio la genetica di Mendel, che Mendel stesso aveva interpretato in riferimento alle leggi della probabilità; ma poi anche le leggi dei gas (con Boltzmann), la cinetica chimica (con Arrhenius), e il decadimento radioattivo. In conclusione, all'inizio del novecento la statistica e le leggi della probabilità avevano espugnato le roccaforti della chimica e della fisica.

### **Questioni di termini**

È importante chiarire alcuni aspetti della terminologia in uso che possono indurre confusioni. Un evento singolo può essere deterministico, se si realizza nell'unico modo in cui può realizzarsi nelle condizioni sperimentali date, o probabilistico se, date le condizioni sperimentali, esso può o meno avvenire e può verificarsi in più modi distinti. In alcuni casi di eventi artificiali, che si realizzano all'interno di un contesto interamente controllato dallo sperimentatore, noi possiamo avere una forte ipotesi a priori sulla natura deterministica o probabilistica dell'evento: ad esempio chi gioca a biliardo è fermamente convinto che le regole che controllano il movimento delle bocce sia deterministico; per contro chi gioca ai dadi sa che la vittoria o la sconfitta sono legate esclusivamente alla fortuna.

Nel caso degli eventi naturali lo scienziato non può in genere avere nessuna ipotesi a priori sulla loro natura deterministica o probabilistica; inoltre non può trarre alcuna ipotesi ragionevole dall'osservazione di un evento singolo. Soltanto la ripetizione dell'evento in condizioni controllate può dare una indicazione in questo senso: infatti se nelle stesse condizioni sperimentali l'evento si ripete sistematicamente, in modo simile o uguale, è ragionevole assumere che sia deterministico, mentre la sua imprevedibilità lo qualifica come probabilistico.

Quando un evento probabilistico avviene (o può essere fatto avvenire) molte volte, è corretto definirlo statistico. È importante osservare che in molti casi gli eventi naturali riproducibili non sono in modo

ovvio ne' statistici ne' deterministici: si ripetono cioe' simili ma non uguali a se' stessi, con una variabilita' piu' o meno pronunciata. Fino all'inizio dell'ottocento gli scienziati in genere interpretavano questo comportamento come una dimostrazione che l'evento era deterministico (perche' non consideravano affatto l'ipotesi degli eventi statistici) ma il controllo delle circostanze e delle condizioni sperimentali era inadeguato: la variabilita' era il risultato di un errore involontario dello sperimentatore. Dalla fine dell'ottocento era diventato chiaro che esistevano eventi probabilistici, la cui probabilita' puo' pero' essere aumentata o diminuita da alcune condizioni sperimentali, ed era diventato semmai problematico dimostrare che un evento era interamente deterministico. Un esempio di eventi di questo tipo (definito "stocastico") e' il tumore del polmone che puo' colpire con una bassa probabilita' qualunque membro della popolazione ma diventa molto piu' probabile nei forti fumatori.

### **Medicina sociale, psicologia e sociologia nell'ottocento**

Le scienze sociali includono molte discipline, alcune delle quali praticate fin dall'antichita' quali l'antropologia culturale e la pedagogia; lo studio di queste discipline fu pero' intrapreso con metodi storico-documentaristici (ad es. da Erodoto); l'approccio scientifico moderno tuttavia e' tardivo, risalendo soltanto all'inizio del XIX secolo, e si accompagna allo sviluppo degli strumenti matematici della statistica.

La nascita della sociologia, scienza della societa' e della popolazione viene in genere fatta risalire alle teorizzazioni di A. Comte (1797-1857). Lo studio scientifico di casistiche e lo sviluppo di metodi statistici adeguati e' pero' successivo e fu iniziato da A. Quetelet, (1796-1874) matematico e astronomo per formazione, ma sociologo per vocazione. Quetelet effettuo' studi estesi misurando molte variabili antropometriche ed analizzando i pochi dati di statistica sociale gia' disponibili, ad es. per la criminologia. Nel 1835 pubblico' il suo libro piu' importante: *Sur l'Homme et le Développement de ses Facultés, ou Essai de Physique Sociale*, nel quale propone e sviluppa il concetto (oggi superato) dell'uomo medio, l'individuo che nella scala della variabile considerata si trova sul valore medio per la popolazione di provenienza. La statistica (e lo studio della probabilita') erano stati in precedenza utilizzati per lo studio degli errori di misura; Quetelet ebbe il grande merito di capire e spiegare che nei fenomeni sociologici la varianza non e' errore ma fa parte del dato e contiene informazioni sulla popolazione studiata.

Francis Galton (1822-1911) introdusse i concetti della correlazione e della regressione verso la media e studio' la distribuzione dell'intelligenza e di altre variabili antropometriche nella popolazione, con metodi primitivi, qualificandosi come un pioniere della psicologia quantitativa; fu pero' un sostenitore dell'eugenetica (vedi la lez. 12). Dopo Galton lo studio della distribuzione dell'intelligenza fu perseguito con maggiore rigore da A. Binet (1857-1911) e poi da D. Wechsler (1896-1981). Tra la fine del XIX secolo e l'inizio del XX la matematica applicata alla statistica registro' grandi progressi, dovuti a K. Pearson (1857-1936), C.E. Spearman (1863-1945),

### **Varianza come errore e varianza come proprieta' intrinseca dell'evento**

## **Probabile non e' sinonimo di vero**

### **Bibliografia**

Bellelli A. (2007) Logica e fatti nelle teorie Freudiane Antigone Edizioni, Torino.

Jurin J. Philosophical Transactions of the Royal Society of London (1722 - 1723), 32:213-227; il testo e' disponibile sul sito della James Lind Library.

Lind J. (1755) Treatise on the Scurvy, Biblioteca Digitale della SIB.

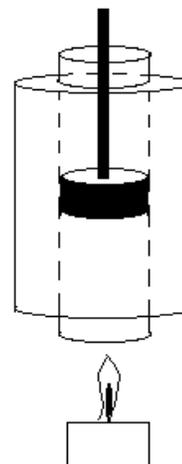
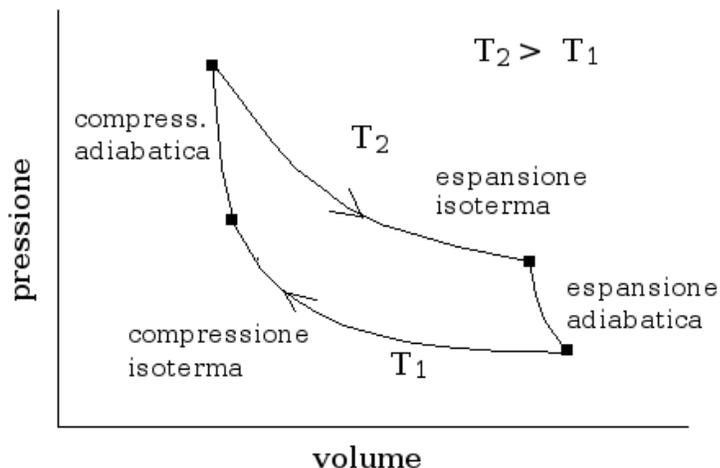
## Lezione 10: SCIENZA E TECNOLOGIA DALLA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE AL NOVECENTO

Con il XIX secolo la scienza diventa impresa sociale, non più demandata a singoli volenterosi, spesso nobili e ricchi. Le università fanno a gara per ospitare scienziati famosi e per organizzare laboratori scientifici, e altre istituzioni quali ospedali, o industrie finanziano ricerche applicate. La rivoluzione industriale sfruttava l'energia del vapore per mettere in movimento macchinari che in precedenza erano mossi dal lavoro muscolare: il telaio nelle filande, poi la locomotiva, le pompe idrauliche, etc. ed aveva bisogno di scienziati ed ingegneri che definissero le proprietà del vapore e progettassero i motori necessari. Non sarà più possibile nel nostro corso seguire individualmente singoli individui e singoli progetti; ci affideremo invece a tabelle riassuntive che ci ricordino almeno il nome dello scienziato e le principali innovazioni da lui introdotte.

### Le leggi dei gas e la termodinamica

Le proprietà fisiche dei gas furono studiate soprattutto per gli scopi applicativi della costruzione delle mongolfiere e dei motori a vapore. Gay-Lussac nel 1802 definì la legge che governa l'espansione termica di un gas a pressione costante (fondamentale per le mongolfiere); Charles definì la relazione tra pressione e temperatura a volume costante (fondamentale per i pistoni e le pompe idrauliche).

Mayer ipotizzò il primo principio della termodinamica, che sancisce l'equivalenza tra calore e lavoro; misure più precise sullo stesso fenomeno furono compiute da Joule e da Helmholtz. Sadi Carnot studiò la teoria del motore a vapore e ideò il famoso ciclo (teorico) per un motore termico reversibile; dal ciclo di Carnot derivano alcuni concetti fondamentali quali l'entropia, formalizzata come secondo principio della termodinamica da Lord Kelvin e (indipendentemente) da Clausius.



## **Atomo e radiazioni**

Il fisico tedesco W.C. Roentgen (1845-1923) nel 1895 scoprì i raggi X emessi da un tubo catodico; questa scoperta fu premiata con il premio Nobel per la fisica nel 1901. I raggi X di Roentgen furono immediatamente identificati come radiazioni elettromagnetiche analoghe a quelle della luce visibile ma di frequenza maggiore (e quindi di lunghezza d'onda più breve). Si osservò che i raggi X erano in grado di impressionare lastre fotografiche opportunamente preparate, e che rivelavano immagini ed ombre analoghe ma non uguali a quelle delle radiazioni visibili. In particolare gli elementi pesanti assorbivano i raggi X mentre quelli leggeri erano abbastanza trasparenti: la fotografia di un arto illuminato con una sorgente X ne rivelava lo scheletro. La scoperta di Roentgen fu applicata alla medicina l'anno successivo alla sua scoperta, soprattutto per scopi diagnostici (radiologia medica). Inizialmente gli effetti deleteri dei raggi X furono ignorati, e i radiologi furono vittime di molte malattie professionali (leucemie, tumori cutanei, anemie aplastiche).

La scoperta dell'esistenza di atomi capaci di emettere radiazioni (inizialmente rivelate in quanto capaci di impressionare lastre fotografiche) è dovuta a Henry Becquerel e ai suoi allievi Pierre Curie e Maria Skłodowska Curie (moglie di Pierre). Questi autori riconobbero inizialmente la (debole) radioattività dell'uranio, nel 1896, e successivamente quella di molti altri elementi tra i quali il radio; nel 1903 vinsero il premio Nobel per la fisica. Pierre Curie morì giovane nel 1906 per un incidente, ma Maria rimase attiva e identificò alcuni elementi in precedenza ignoti, caratterizzati dalla intensa radioattività e perciò rivelabili anche in quantità molto ridotte. Maria Curie chiamò Polonio, in omaggio alla sua patria il primo elemento radioattivo da lei scoperto. Nel 1911 ella ottenne un secondo premio Nobel (per la chimica). Gli elementi radioattivi erano erroneamente ritenuti benefici per la salute, spesso furono usati in terapie ricostituenti e ceratamente causarono molte malattie, tra le quali l'anemia aplastica che portò a morte Maria Curie nel 1934.

Le radiazioni emesse dagli elementi radioattivi furono inizialmente identificate con i raggi X di Roentgen, grazie anche alla simultaneità delle due scoperte; poi però ci si accorse che queste radiazioni erano classificabili in tipi diversi, e furono quindi chiamate radiazioni alfa, beta e gamma. Ernest Rutherford (1871-1937) dimostrò che le radiazioni alfa erano costituite da particelle dotate di carica positiva, le beta da particelle di carica negativa e le gamma erano di natura elettromagnetica e simili ai raggi X.

Le radiazioni X, alfa, beta e gamma si rivelarono essenziali per l'esplorazione della struttura degli atomi: infatti potevano interagire con selettivamente con i diversi componenti subatomici. Rutherford, studiando l'interazione delle radiazioni alfa con sottilissime lamine d'oro pervenne a dimostrare che l'atomo è costituito da un nucleo centrale che ne raccoglie quasi l'intera massa circondato dagli elettroni. Rutherford ottenne il premio Nobel nel 1908. Il chiarimento definitivo della struttura del nucleo atomico e dei movimenti degli elettroni che lo circondano fu opera di molti ricercatori, tra i quali spicca il fisico Danese Niels Bohr (1885-1962), allievo di Rutherford e premio Nobel nel 1922. Bohr ipotizzò che il campo energetico del nucleo atomico fosse quantistico anziché continuo (cioè fatto come una scala, piuttosto che come una rampa); questo fu uno dei primi passi della nascente fisica quantistica, una branca della fisica dedicata soprattutto allo studio delle particelle subatomiche,

sviluppata da molti scienziati quali M. Plank (1858-1947), P.A.M. Dirac, E. Schroedinger, E. Fermi.

### **Einstein e la teoria della relativita'**

Comunicazioni; onde radio, etc.

energia armi

farmaci e vaccini

## **Lezione 11: LA FILOSOFIA DELLA SCIENZA NEL NOVECENTO**

Il grande sviluppo della fisica tra la fine dell'800 e l'inizio del '900 porto' ad una estesa rielaborazione della filosofia ed epistemologia della scienza. Una filosofia della scienza centrata sulla fisica risulta pero' assai particolare perche' la fisica e' tra le scienze naturali quella che ha il maggior contenuto teorico: si perdeva in gran parte l'attenzione dedicata in precedenza (ad es. da Mill) a scienze con minor contenuto teorico come la biologia. In grandissima parte la filosofia della scienza del '900 e' una filosofia della teoria scientifica: Popper scrisse esplicitamente che le scienze empiriche sono sistemi di teorie. Nella seconda meta' del '900 fu la biologia a registrare i piu' clamorosi successi e questo porto' ad una rielaborazione ulteriore della filosofia della scienza della quale si fece interprete in particolare il premio Nobel J. Monod.

### **Il convenzionalismo**

I principali interpreti del convenzionalismo furono il matematico Henry Poincare' ed il fisico P. Duhem. Poincare' espresse le posizioni piu' radicali nel libro *Scienza e Ipotesi* (1902), nel quale sosteneva che le teorie scientifiche sono convenzioni intese a catalogare i dati noti e al limite a predirne di ignoti, ma non hanno realta' empirica propria. Si noti che Poincare' non intendeva sostenere che sia convenzionale (cioe' arbitraria o relativa) la scienza in toto: egli distingueva esplicitamente il dato dalla sua interpretazione e in pratica riprendeva la tesi che Andrea Osiander aveva sostenuto (in malafede) nel 1543: *neque enim necesse est eas hypotheses esse veras*. E' difficile negare una certa simpatia al convenzionalismo di Poincare', che tenta di separare teoria e dato crudo e di mettere chiarezza in una materia altrimenti assai intricata; purtroppo pero' quando si cerca di applicare questa ipotesi si incontrano difficolta' interpretative notevoli. Il primo difetto del convenzionalismo radicale sta nel fatto che la separazione del dato dalla sua interpretazione e' spesso difficile e deve essere valutata con attenzione caso per caso anziche' affidata ad una norma rigida. Ad esempio, come ricordiamo dalla lez. 4, Harvey nel 1628 aveva ipotizzato la connessione periferica non visibile tra le arterie e le vene; dopo meno di cinquant'anni Malpighi osservò al microscopio i capillari e trasformò l'ipotesi in un dato crudo. Poiche' l'ipotesi nei termini di Poincare' appartiene alla struttura teorica e convenzionale della scienza, mentre il dato non e' convenzionale, questo esempio dimostra che almeno in alcuni casi la distinzione tra i due e' sfumata e puo' forse essere tracciata in un certo momento storico ma deve essere periodicamente rivalutata perche' puo' cambiare.

Un secondo difetto del convenzionalismo si presenta nel caso delle teorie che sono state dimostrate false dall'esperimento: e' evidente che tra la teoria Tolemaica e quella Copernicana c'e' una differenza di status difficilmente sanabile, ed e' riduttivo considerare la prima una "cattiva" convenzione e la seconda una "buona" convenzione. Come nel caso precedente, anche in questo una parte del costruito teorico Copernicano e' diventata un fatto: ad esempio l'esperimento del pendolo di Foucault dimostra la rotazione della Terra sul suo asse; ma qui vogliamo considerare il caso della teoria Tolemaica la cui premessa fondamentale, l'immobilita' della Terra al centro del cosmo e' stata confutata. Infatti e' ovvio che se e' possibile confutare un'ipotesi teorica, questa non e' una "convenzione" nel senso usuale del

termine e ha molto a che vedere con un reale stato delle cose.

In parte per risolvere queste difficoltà, ed in parte per l'appartenere ad una tradizione culturale alquanto diversa, il fisico P. Duhem elaborò una variante meno radicale del convenzionalismo, che espone in vari libri, tra i quali il più noto è *Scopo e Struttura delle Teorie della Fisica* (1906). A parte l'esplicita delimitazione del campo, che viene ristretto alla sola fisica, il convenzionalismo di Duhem introduce questa variante: la teoria è una convenzione o un insieme di convenzioni e "potrebbe" essere vera o comunque avere una reale natura empirica. In fondo, dice Duhem, se noi ci proviamo a descrivere un evento, non possiamo fare a meno di usare convenzioni: la descrizione è fatta di linguaggio, matematica, etc., mentre l'evento è fatto di dati empirici crudi. La descrizione non è una copia dell'evento ma è a questo legata da un sistema di definizioni di correlazione ed è convenzionale solo in questo senso; se si accetta questo limite, può essere vera. Si consideri questo esempio (che è mio e non di Duhem): il dato crudo sia di natura geografica e la sua descrizione sia una mappa. La mappa adotta convenzioni ideonee a rappresentare il dato ed è quindi convenzionale; ma questo non impedisce che sia vera o falsa in un senso superiore: chi ha una mappa falsa o erronea si perde, chi ne ha una valida ritrova la strada di casa.

Duhem è noto anche per una elaborazione sul tema della dimostrazione di falsità delle ipotesi scientifiche che merita considerazione. Egli sostenne infatti che quando lo scienziato compie un esperimento per testare una teoria, utilizza sempre un gran numero di ipotesi teoriche e metodologiche. Se ottiene un risultato contrario alle aspettative, almeno una delle ipotesi è falsa ma non si può facilmente stabilire quale; di conseguenza è lecito testarle separatamente una ad una in senso teorico, modificando la teoria o le ipotesi metodologiche una per volta e testando la costruzione risultante (non essendo mai possibile testare singole ipotesi).

### **L'operazionismo di Bridgman.**

Nel libro *La Logica della Fisica Moderna* (1927) il premio Nobel per la fisica Percy W. Bridgman (1882-1961) suggerì che la forma concettuale di un dato empirico coincide con le operazioni necessarie per ottenerlo. Questa interpretazione del lavoro di ricerca è estremamente innovativa e non sempre è stata compiutamente apprezzata. Nella filosofia classica della conoscenza, per la quale possiamo prendere come riferimento I. Kant, il fenomeno è la parte osservabile del noumeno, la cosa in sé: ciò che conosciamo riflette in qualche misura un oggetto esterno percepito attraverso i nostri organi di senso e le nostre categorie e forme *a priori* (tempo, spazio, etc.). Per contro nella formulazione di Bridgman ciò che conosciamo è l'esperimento e il suo risultato, unione inscindibile tra il metodo e l'oggetto dell'investigazione; per fare un esempio banale: Kant descriverebbe una torta a partire dalla sua forma, odore, sapore, etc.; Bridgman a partire dalla sua ricetta. Ovviamente la teoria di Bridgman è appropriata per una scienza sperimentale, molto meno per una basata su osservazioni naturalistiche come ad es. l'etologia o la tassonomia.

Lo sforzo di Bridgman aveva il fine di eliminare la metafisica dai concetti della fisica: il noumeno Kantiano scompare da questa formulazione, e non ha più spazio alcuno nella teoria della conoscenza.

Se e' ovvio che Bridgman intende proteggersi dal rischio di cadere nell'ontologia metafisica, e' anche ovvio che egli incorre nel rischio del relativismo culturale: l'alchimista Paracelso e il chimico Lavoisier fanno esperimenti simili ma con mezzi diversi e pervengono a risultati diversi, sempre descrivibili in termini operazionistici; non c'e' una vera differenza qualitativa tra chimica e alchimia. Come conseguenza di questo difetto, l'operazionismo ha avuto successo in alcuni campi, quali ad es. la sociologia o la psicologia, ma ha avuto difficolta' ad affermarsi come visione epistemologica condivisa. Bridgman non pensava di estendere il suo metodo a tutte le scienze: il suo scopo era quello di riformulare in modo piu' rigoroso la logica della fisica, una disciplina gia' ampiamente affermata e metodologicamente unitaria, sulle cui proposizioni il relativismo culturale non faceva alcuna presa.

### **Il falsificazionismo di Popper**

Karl Raimund Popper (1902-1994) e' un autore molto influente, il cui pensiero non puo' essere riassunto in poche righe. La sua tesi principale, sviluppata in *La Logica della Scoperta Scientifica* (1934) e' la seguente: *non e' possibile verificare, cioe' dimostrare vera, una teoria ma e' possibile falsificarla, cioe' dimostrarla falsa*. Una teoria scientifica predice o descrive un numero molto grande, al limite infinito di possibili eventi viene sottoposta a controllo confrontando la sua predizione con il risultato di un esperimento o con una osservazione empirica. Se l'esperimento e' discorde dalla predizione, la predizione e la teoria che l'ha generata vengono dimostrate false. Se invece l'esperimento e' concorde con la predizione non si puo' per questo affermare che la teoria e' vera, per due ragioni: in primo luogo la teoria potrebbe risultare falsa su un'altra predizione; in secondo luogo la predizione potrebbe essere vera per motivi diversi da quelli considerati dalla teoria che l'ha prodotta. Il ragionamento di Popper e' rigoroso ed e' possibile trovare molti esempi confacenti. Si ritorni alla discussione delle teorie astronomiche Copernicana e Tolemaica: entrambe predicano il movimento apparente degli astri e quindi hanno numerose conferme (lezioni 1-3); ciononostante la teoria Tolemaica fallisce sulla predizione delle fasi di Venere, e falsa una volta e' falsa per sempre. Popper non esclude che una teoria falsificata possa rimanere utile per scopi pratici e in genere all'interno di un ambito ristretto di fenomeni; ma il suo vero valore interpretativo e' nullo.

Questa epistemologia negativa non implica affatto che tutte le teorie non falsificate siano ugualmente affidabili: una teoria che e' stata estesamente testata ed ha sempre fornito predizioni compatibili con l'esperimento e' "corroborata" dalle conferme ed ha grande valore interpretativo, anche se noi non possiamo mai essere certi della sua verita'. Purtroppo, non sempre la scienza si e' comportata in modo cosi' lineare ed ordinato come Popper avrebbe voluto: in alcuni casi e' accaduto che l'esperimento o la sua interpretazione fossero erronei e che una teoria valida venisse erroneamente ritenuta falsa. Ad esempio Nicholas Chervin (1783-1843) fece accurati studi epidemiologici sulla febbre gialla e concluse che la malattia non era contagiosa in quanto si sviluppava anche in persone che non avevano avuto contatto coi malati; egli non poteva sapere che la malattia e' trasmessa da una zanzara e che pertanto il contagio non richiedeva contatto interumano.

Popper riteneva che la scoperta delle teorie scientifiche fosse il frutto di intuizioni e congetture dello scienziato, e come tale appartenesse piu' all'ambito della psicologia che a quello della metodologia

scientifico; però una volta fatta la congettura, la teoria poteva essere testata sulla base delle sue predizioni. Coerentemente con queste premesse, egli riteneva che l'induzione non avesse alcun valore, se non quello di suggerire allo scienziato la congettura corretta; riteneva inoltre che il criterio della falsificazione valesse a distinguere le teorie scientifiche da quelle non scientifiche. Una teoria che fa predizioni tali da poter essere dimostrata falsa è scientifica; se l'esperienza la corrobora, tanto meglio, se la falsifica pazienza. se ne farà un'altra. Per contro una teoria empirica che non può essere dimostrata falsa è un vano sproloquio non scientifico e privo di valore predittivo, che non accresce in alcun modo la nostra conoscenza del mondo. In effetti, secondo Popper, una ragionevole ignoranza si accompagna con l'impossibilità di fare predizioni sul corso degli eventi; lo scopo della teoria non è dirci cosa accadrà ma cosa non può accadere, e restringere quindi il ventaglio delle nostre possibili aspettative: come una legge umana, così anche la legge naturale deve vietare qualcosa.

La teoria di Popper è stata elaborata da molti suoi seguaci ed allievi ed ha un grande valore teorico; non sempre però gli scienziati ragionano nel modo previsto da Popper e certamente passano la vita a cercare di scoprire qualcosa di vero, non a cercare di dimostrare che la loro teoria è falsa; inoltre non tutte le scienze hanno la stessa quantità di contenuti teorici. Una evoluzione importante del pensiero di Popper è la distinzione tra l'istanziamento e la mancata falsificazione. Una teoria scientifica si dice istanziata se è possibile trovare dei casi conformi alle sue predizioni; si parla invece di mancata falsificazione quando un esperimento opportunamente condotto, che avrebbe potuto falsificarla, l'ha invece confermata. La distinzione può sembrare accademica, ma ha grande valore per le scienze biologiche e mediche, che trattano con fenomeni statistici: infatti una istanziazione può essere anche un caso isolato, privo di valore statistico, mentre una mancata falsificazione è un esperimento che ha fornito dati statisticamente significativi.

### **Un problema classico della filosofia della scienza: generalizzazione e induzione.**

Poiché l'esperienza è sempre relativa a singoli eventi ed oggetti, mentre la scienza si propone di scoprire leggi il più possibili generali, si pone il seguente problema: qual è la procedura logicamente corretta che consente di inferire leggi generali a partire dalla conoscenza di singoli eventi? Questa domanda non ha nessuna risposta definitiva, ma possiamo considerare alcune risposte provvisorie, precisando che intendiamo per generalizzazione la capacità di riconoscere classi omogenee di eventi e per induzione la formulazione di leggi generali.

a) Aristotele riteneva che la generalizzazione fosse assolutamente legittima e costituisse la base logica dell'induzione, anch'essa perfettamente legittima.

b) Alcuni (ad es. Buffon, *Epoche della Natura*, 1778; Lamarck, *Philosophie Zoologique*, 1809) hanno suggerito che nessuna vera generalizzazione è possibile: al mondo esisterebbero soltanto eventi ed individui singoli e ogni generalizzazione è convenzionale. Questo, naturalmente non impedisce l'induzione. In linea di massima questa posizione è da respingersi, ed oggi caratterizza le pseudoscienze. Infatti mentre è ovvio che alcune generalizzazioni e classificazioni sono arbitrarie (ad es. le costellazioni) altre sembrano corrispondere a realtà oggettive (ad es. le colonie dei coralli o gli sciame delle api).

c) Popper ha sostenuto che la generalizzazione e' possibile ma l'induzione e' irragionevole: la strada che porta alla legge generale prevede di formulare una congettura e poi di testarla sperimentalmente.

d) Ovviamente una somma di osservazioni relative ad eventi simili ammette la formulazione di una generalizzazione statistica; questa pero' non conduce in modo automatico alla formulazione di una legge naturale (non necessariamente deterministica)

Il problema filosofico della generalizzazione e dell'induzione e' mal posto: e' infatti facile trovare una **soluzione statistica** mentre e' impossibile giustificare le generalizzazioni deterministiche. Per riprendere l'esempio dei cigni bianchi di J.S. Mill (1806-1873), citato da tutti i filosofi della scienza: nessun numero di osservazioni di cigni bianchi puo' giustificare la conclusione che tutti i cigni siano bianchi; pero' un grande numero di osservazioni di cigni bianchi giustifica l'affermazione che nella popolazione dei cigni gli esemplari bianchi siano frequenti e quelli non bianchi siano rari (con numeri precisi di osservazioni, e ipotizzando che il campione osservato sia estratto casualmente dalla popolazione si potrebbe dare una stima probabilistica della frazione di cigni bianchi e non bianchi).

### **Sociologia della scienza: T. Kuhn e I. Lakatos**

T. Kuhn e' uno storico e filosofo della scienza, e ritiene che la scienza proceda secondo due modalita' fondamentali, quella rivoluzionaria e quella "secondo il paradigma". Sebbene dal punto di vista logico-filosofico questa teoria sia alquanto incompleta, essa cattura qualcosa che certamente appartiene alla storia del pensiero scientifico e merita la piu' alta considerazione. Kuhn pensava che, dopo una fase di accumulo non sistematico di nozioni e conoscenze, che egli riteneva di riconoscere ad esempio nelle opere di antichi naturalisti (ad es. Plinio), viene formulata una costruzione teorica idonea a contenere e spiegare queste conoscenze: il paradigma. Il paradigma include non solo nozioni, dati e teorie, ma anche metodi e procedure e consente di svolgere un ampio lavoro di ricerca che inizialmente tendera' a confermarne le premesse ed estenderne l'ambito. Dopo un certo tempo dedicato alla "ricerca secondo il paradigma" si saranno accumulate molte informazioni e alcune di queste saranno inevitabilmente in contrasto con le teorie del paradigma; infatti nessuna teoria e' definitiva e tutte sono destinate ad essere superate. Si avra' allora una crisi o rivoluzione ed un cambio completo di paradigma, dopo di che potra' cominciare una nuova fase di ricerca secondo il paradigma e cosi' via.

La teoria di Kuhn fu avversata da Popper e dai suoi allievi che ritenevano la ricerca secondo il paradigma una impresa banale, confermatrice o dogmatica e in fondo non scientifica. Pero' e' abbastanza evidente che la descrizione di Kuhn cattura qualcosa della storia della scienza e si potrebbe dire che Popper e' un teorico delle rivoluzioni scientifiche, che avvengono di rado, mentre Kuhn e' uno storico della scienza "normale", di tutti i giorni.

Imre Lakatos fu allievo di Popper ma apprezzo' le ipotesi di Kuhn e cerco' di conciliare queste due visioni dell'impresa scientifica in una sintesi che, sebbene incompletamente soddisfacente, mantiene molti dei rispettivi pregi. Secondo Lakatos, il paradigma e' fatto di una o poche idee centrali, irrinunciabili, la cui modifica e' possibile soltanto in un processo di rivoluzione scientifica; queste sono accompagnate da una "cintura protettiva" di idee e ipotesi meno cruciali, che possono essere sostituite

o abbandonate senza richiedere un cambiamento di paradigma. Nella prospettiva di Lakatos la ricerca secondo il paradigma diventa ricerca sulle idee della cintura protettiva, che possono essere dimostrate false e sostituite; questo dovrebbe rendere accettabile ai seguaci di Popper anche la ricerca secondo il paradigma.

In alcuni casi la descrizione di Lakatos sembra molto calzante: ad esempio le teorie cosmologiche di geocentrica ed eliocentrica appartengono a due paradigmi diversi e la loro idea centrale è "la Terra è ferma" oppure "la Terra ruota sul suo asse". Entrambe queste teorie hanno una cintura protettiva di altre ipotesi sostituibili: ad esempio Aristotele pensava che i pianeti si muovessero su sfere concentriche alla Terra mentre Tolomeo aveva introdotto gli equanti ed i deferenti; Copernico pensava che il moto di rivoluzione dei pianeti intorno al Sole seguisse una traiettoria circolare mentre Keplero la descrisse ellittica. È certamente suggestivo il pensare che in una teoria scientifica esistano idee centrali non modificabili ed idee periferiche, modificabili, o almeno che le ipotesi su cui una teoria si basa non sono tutte ugualmente importanti. Infatti il falsificazionismo Popperiano tende a mettere insieme le falsificazioni dovute alla dimostrazione che una teoria è falsa e quelle dovute alla dimostrazione che una teoria non è sufficientemente accurata, e Popper stesso dovette prendere delle contromisure per evitare di cadere nell'assurdo su questo punto. Si consideri questo esempio: Copernico era consapevole di scrivere una teoria completamente alternativa a quella di Tolomeo e intendeva dimostrare che quest'ultima era falsa; Keplero sebbene dimostrasse che l'ipotesi di Copernico delle orbite circolari era falsa, non pensava affatto di dimostrare la falsità del modello eliocentrico, anzi riteneva di confermarlo perfezionandolo. Eppure in un'ottica falsificazionista pura, Keplero è tanto alternativo a Copernico quanto Copernico lo è a Tolomeo. Nel falsificazionismo modificato di Lakatos, Copernico dimostrava falso il paradigma di Tolomeo mentre Keplero dimostrava falsa una ipotesi accessoria del paradigma di Copernico: questa descrizione è certamente molto aderente alle intenzioni dei protagonisti della vicenda.

### **Monod: Il Caso e la Necessità**

Jacques Monod (1910-1976), premio Nobel per la Biologia e Medicina nel 1965, è autore, oltre che di ricerche di grande importanza sul controllo dell'espressione genica nei procarioti, di un breve saggio di epistemologia della biologia che presenta idee innovative e molto diverse da quelle dell'epistemologia classica. La principale ragione della differenza tra le tesi di Monod e quelle degli epistemologi considerati sopra è probabilmente da ricercarsi nel fatto che il modello della scienza di Monod è la biologia anziché la fisica, ed una analisi del suo libro *Il Caso e la Necessità* (1970) allarga enormemente le nostre prospettive sull'epistemologia e ci rivela quanto sia parziale basare la filosofia della scienza sulla fisica.

Monod dimostra che la soluzione al problema della causa finale di Aristotele è la teoria evolutivista di Darwin: l'organismo vivente è teleonomico (cioè capace di assolvere ad uno scopo, nella fattispecie quello della sopravvivenza) non per un qualche progetto trascendente, ma perché è stato selezionato per questo. Gli organismi teleonomicamente meno adatti si sono estinti. Questo implica che il progetto,

o cio' che appare tale, non e' presente a priori ma e' selezionato a posteriori: l'evoluzione avviene per caso, grazie alle mutazioni del DNA, ed e' resa coerente e funzionale dalla spietata selezione contro gli individui meno adatti a sopravvivere.

Una conseguenza di questa semplice ed efficace presentazione del mondo degli organismi viventi e' che la biologia e' una scienza "storica": la selezione puo' agire soltanto su mutazioni che sono apparse e non c'e' nessuna garanzia ne' che siano apparse tutte, ne' che siano apparse le migliori. Come nella storia, anche nella biologia un evento unico ed estremamente improbabile puo' avere conseguenze grandiose. La grande sfida della biologia e' quindi quella di presentarci eventi probabilistici, dettati dal caso, ma anche poco numerosi o al limite unici. Come sappiamo dalla lez. 9 la via di scampo dello scienziato dall'evento probabilistico e' quella di ripetere l'esperimento un numero molto grande di volte: per la legge dei grandi numeri la frequenza coincide con la probabilita' e diventa quindi possibile (se e' il caso) trattare le frequenze secondo leggi deterministiche che ai singoli eventi probabilistici non potrebbero essere applicate. Questa via di scampo ci e' preclusa nella biologia perche' gli organismi viventi non sono selezionati tra tutti gli organismi possibili e neppure fra molti: sono selezionati tra quelli apparsi per caso, magari una sola volta.

Che cosa significa tutto questo? Che mentre nella fisica classica era possibile una termodinamica classica e nella fisica quantistica e' possibile una termodinamica statistica, nella biologia (o almeno in alcuni campi di essa) non e' possibile nessuna vera teoria: non possiamo prevedere o spiegare la tassonomia e la speciazione, soltanto constatarla. Sebbene le scienze storiche ammettano la ricerca della stessa verita' della fisica e della chimica, queste scienze sono piuttosto collezioni di fatti che di leggi naturali o di teorie; ed una epistemologia che voglia includere la biologia non puo' concentrarsi soltanto sul ruolo delle teorie quantitative.

### **Dati empirici, logica intuitiva e logica formale**

La grande diversificazione metodologica e concettuale della scienza del novecento rende difficile la formulazione di una epistemologia unitaria coerente: alcune discipline hanno un elevatissimo contenuto teorico (ad es. la fisica teorica); altre si basano soprattutto su raccolte di dati sperimentali (ad es. l'anatomia e la fisiologia) o addirittura su raccolte di osservazioni "sul campo", in condizioni non controllabili (ad es. l'etologia). Molti filosofi della scienza hanno utilizzato la fisica come paradigma della scienza, ed hanno proposto considerazioni epistemologiche difficili o impossibili da generalizzare. Ad esempio Popper sosteneva che la scienza fosse costituita da sistemi di teorie e che la caratteristica distintiva delle teorie scientifiche fosse la loro falsificabilita'; questo approccio sembra difficilmente applicabile all'anatomia o all'embriologia, discipline povere di veri contenuti teorici. Se il criterio di demarcazione basato sulla falsificabilita' (o il criterio dell'operazionismo di Bridgman o qualunque altro criterio troppo legato ad una specifica disciplina) rischia di escludere dalla definizione di scienza alcune discipline che sembrano invece genuinamente scientifiche, la rinuncia a qualunque criterio comporta l'impossibilita' di definire globalmente l'impresa scientifica.

E' possibile proporre alcune considerazioni che senza essere conclusive possono pero' avere valore orientativo. In primo luogo le discipline scientifiche sono legate a dati empirici crudi (sui quali si veda

la lez. 1), e le teorie sono finalizzate a interpretarli e possibilmente a prevederli; in tal senso ogni scienza ha lo scopo di descrivere la realta' empirica oggettiva (cioe' osservabile da tutti gli sperimentatori) e le teorie scientifiche sono strumenti di descrizione. Una disciplina che si occupa di dati empirici ma non formula teorie semplicemente non utilizza questo tipo di strumento; dunque il ricorso a teorie non qualifica la disciplina ne come scientifica ne come non scientifica. Cio' che qualifica una disciplina come scientifica e' invece il fatto che essa assume il dato empirico come arbitro ultimo della validita' delle sue descrizioni. Anche le discipline che non usano teorie formulano descrizioni di eventi e queste sono sempre suscettibili di essere dimostrate erronee da studi ed osservazioni piu' accurate.

Ad un livello di astrazione piu' elevato, la descrizione del dato empirico puo' ricevere una formalizzazione teorica e questa puo' essere piu' o meno intuitiva e congruente con la nostra logica intuitiva. Dobbiamo ricordare (lez. ?) che noi siamo programmati e selezionati per riconoscere in modo immediato alcune relazioni e pertanto possediamo capacita' logiche innate idonee ad interpretare gli eventi che accadono nel mondo accessibile ai nostri sensi. Possiamo quindi definire una teoria e la sua logica "intuitive" se, anche attraverso una espressione matematica astratta, esse ci rappresentano qualcosa di raffigurabile con la nostra mente o corrispondono a qualcosa che noi potremmo in qualche modo esperire coi nostri sensi. Ad esempio le teorie cosmologiche di Tolomeo e di Copernico descrivono qualcosa di raffigurabile e noi potremmo immaginarci di vedere da una astronave I pianeti in movimento come descritti dall'una o dall'altra teoria; di fatto le fotografie delle sonde spaziali mostrano fatti compatibili con la teoria Tolemaica e Galileo osservo' col telescopio le lune di Giove orbitare attorno a quel pianeta.

Ad un livello di astrazione ancora piu' elevato (ma non necessariamente piu' giusto o piu' completo) noi abbiamo teorie e logiche completamente formali che descrivono una realta' non intuibile e non raffigurabile tramite i nostri strumenti mentali usuali. Ad esempio quando diciamo che l'elettrone gode del dualismo onda-particella o che un oggetto che viaggia a velocita' prossime a quelle della luce appare piu' corto ad un osservatore che non si muove con lui, stiamo traducendo (male) nel linguaggio di tutti i giorni equazioni e funzioni che ci descrivono una realta' totalmente estranea alla nostra esperienza percettiva. Il problema non e' dovuto al fatto che l'elettrone e' troppo piccolo per essere visibile (di fatto il concetto di visibile non puo' essere applicato a strutture subatomiche), ma al fatto che non appartiene alla nostra logica di tutti i giorni che lo stesso oggetto possa essere al tempo stesso due cose diverse. Quando una teoria e' formulata nei termini matematici della logica formale, essa non descrive nulla di rappresentabile o di accessibile all'immaginazione, e cio' che noi possiamo sperimentare o controllare sono le sue predizioni empiriche: ad esempio Eddington aveva osservato che durante una eclissi di sole, l'angolo tra due stelle era diverso da come atteso, a causa della deviazione dei raggi di luce emessi da queste nel passare vicino al Sole. La teoria formale fa solide predizioni empiriche che lo sperimentatore puo' confrontare coi dati bruti e in questo senso e' perfettamente controllabile; inoltre noi siamo in grado di controllare la correttezza della logica formale che la sostiene (cioe' delle sue equazioni matematiche): cio' che sfugge alla nostra capacita' e' il darne una rappresentazione mentale realistica. Non intendo con questa disamina individuare un difetto delle teorie

formali; intendo semmai individuare un limite della nostra mente. Non intendo neppure implicare che il confine tra la logica intuitiva e quella formale sia netto: probabilmente e' invece alquanto sfumato.

Intendo pero' sostenere che quando noi diciamo che una teoria scientifica "descrive" la realta' possiamo intendere cose diverse e possiamo inavvertitamente introdurre malintesi: ad esempio quando Einstein diceva che la cosa piu' straordinaria e' che l'universo sia conoscibile, egli evidentemente intendeva dire che la nostra mente e' in grado di elaborare formalismi matematici idonei a predire eventi, non gia' che sia possibile rappresentare l'universo in un disegno in scala.

La nostra analisi ci illustra, io credo in modo abbastanza plausibile, il motivo per il quale le argomentazioni di Monod sembrano del tutto "altre" rispetto a quelle (ad esempio) di Bridgman: i due autori fanno riferimento a modelli esplicativi e logiche profondamente diversi, perche' hanno in mente discipline diverse. La sfida di una vera filosofia della scienza e' quella di elaborare una descrizione coerente di pratiche metodologiche e culturali diverse.

### **Bibliografia**

Bridgman (1927) Boringhieri, Torino

Duhem

Kuhn

Lakatos

Monod J. (1970) Il Caso e la Necessita', Mondadori, Milano

Poincare'

Popper

## **Lezione 12: LA PSEUDOSCIENZA: OMEOPATIA E PSICOANALISI**

La pseudoscienza è una impresa intellettuale che si pretende scientifica ma per qualche ragione manca di conseguire gli standard e i risultati della vera scienza e si trasforma in una sorta di religione dogmatica e inattaccabile dall'esperimento. Poiché le definizioni di scienza (come abbiamo visto nella lezione precedente) sono varie, è difficile definire unequivocamente la pseudoscienza. Popper riteneva che la "demarcazione" tra le teorie che sono scientifiche e quelle che non lo sono fosse uno dei due grandi problemi aperti della filosofia della scienza (l'altro essendo quello dell'induzione) e riteneva di averlo risolto con il suo criterio di falsificabilità: la vera teoria scientifica fa predizioni rischiose, che la espongono alla possibile confutazione, mentre la teoria pseudoscientifica non è falsificabile perché non fa predizioni o non le fa abbastanza rischiose. Il risultato di questo stato di cose, secondo Popper, è che la pseudoscienza non ha valore euristico: poiché non prevede nulla non aumenta la nostra conoscenza del mondo. È interessante osservare che Freud ammise il punto per la psicoanalisi: questa, secondo lui, descriveva le forze attive nella psiche ma non poteva misurarne l'intensità e quindi poteva spiegare ma non prevedere.

La pseudoscienza è in genere rifiutata dalla cultura accademica ufficiale e può sopravvivere soltanto se è in grado di autofinanziarsi; per questa ragione, sebbene vi siano pseudoscientisti ovunque, le teorie più influenti si sono sviluppate nell'ambito della medicina, a spese di pazienti ai quali veniva promessa una cura ritenuta altrimenti impossibile.

### **Paracelso**

Paracelso (Teofrasto Hohenheim; 1493-1541) fu medico e alchimista. Egli credeva che gli oggetti materiali (*corpora*) fossero animati da forze immateriali (*arcana*). Gli *arcana* stabilirebbero relazioni tra i *corpora* tali da identificare e riunire il cielo e la terra, la chimica e l'astronomia, etc. La fisiologia e la patologia sarebbero quindi dovute all'influenza degli astri, e la medicina avrebbe il potere di curare le malattie soltanto evocando gli *arcana*. Questo è possibile perché anche il farmaco partecipa a questo sistema di relazioni cosmiche. Ad esempio il pianeta Saturno corrisponde al piombo e alla milza; quindi una malattia della milza causata dalla sfavorevole disposizione di Saturno può essere curata con un rimedio a base di piombo. In Paracelso la terapia avviene, come in Hahnemann, mediante i simili, ma questi non sono tali rispetto ai sintomi, come in Hahnemann: sono tali grazie ai collegamenti stabiliti dagli *arcana*.

### **Samuel Hahnemann e l'omeopatia.**

L'omeopatia è una pratica medica alternativa (o, secondo i suoi fautori più moderati, complementare) alla medicina convenzionale.

La teoria alla base della medicina omeopatica fu sviluppata nella prima metà del XIX secolo da Samuel Hahnemann (1755-1843) che ne espose i principi in vari libri, ma soprattutto nell'*Organon*. I concetti fondamentali della disciplina sono:

1) Il vitalismo, un'ipotesi all'epoca in voga, secondo la quale gli organismi viventi sarebbero animati da

una specifica energia o forza vitale, assente nei corpi inanimati, e, secondo Hahnemann, di natura puramente spirituale. La malattia sarebbe una alterazione della forza vitale, e la morte la sua completa scomparsa. Molti eventi e sostanze, tra le quali anche quelle chiamate farmaci omeopatici o rimedi, sarebbero in grado di danneggiare la forza vitale (effetto primario), ma anche di stimolare in essa risposte e reazioni (effetti secondari).

2) La legge omeopatica fondamentale, o dei simili, secondo la quale due malattie che danno sintomi simili non possono coesistere nell'organismo, ma la più grave scaccia la meno grave o le si sostituisce. La terapia omeopatica si basa sulla capacità di indurre con farmaci appropriati una malattia artificiale simile a quella naturale, che ne prenda il posto e che il medico possa far guarire interrompendo la somministrazione del farmaco.

3) La potentizzazione del farmaco, una procedura basata su diluizioni seriali (in genere in base 100 ed indicate con la sigla CH, da Centesimale Hahnemanniana) accompagnate da un energico mescolamento (succussione). Poiché Hahnemann usava spesso la trentesima diluizione centesimale (30CH), che eccede largamente il numero di Avogadro, i suoi rimedi non contenevano neppure una molecola del farmaco. Gli omeopati moderni usano sia le "basse" che le alte diluizioni (da 4CH a 30CH e oltre) e pertanto non sempre un preparato omeopatico è privo di principi attivi. Hahnemann pensava che il rimedio stimolasse l'energia vitale compromessa del malato e che agisse attraverso un meccanismo spirituale piuttosto che materiale (Organon, VI ed., §16, §148, nota al §282); gli omeopati moderni, riconoscendo che la sostanza attiva alle medie e alte diluizioni non è più presente nel rimedio omeopatico, assumono che il meccanismo di azione sia fisico anziché chimico e comunque di natura ignota alla scienza attuale.

La legge dei simili oltre ad essere indimostrata, conduce ad una sovrasemplificazione delle categorie diagnostiche, che si riducono a poche malattie identificate esclusivamente sulla base dei loro sintomi: Hahnemann ignorava l'anatomia patologica, già posta su solide basi empiriche da Morgagni nel 1761, e gli omeopati moderni in genere si disinteressano della diagnostica strumentale e di laboratorio. Non sono mai state fornite prove convincenti del funzionamento dei rimedi omeopatici in vitro; l'unica sperimentazione possibile è sull'uomo. L'efficacia terapeutica dei rimedi omeopatici, se esiste, è modesta e malamente distinguibile dall'effetto placebo (si veda Shang et al., Lancet, 2005, 366, 726-732); le indicazioni sono limitate a malattie minori e di incerta eziologia.

### **Freud e la psicoanalisi**

La psicoanalisi Freudiana e le sue successive varianti ed evoluzioni costituiscono un ampio sistema medico-psicologico in gran parte privo di sostegno scientifico; è però un sistema molto difficile da discutere ed analizzare perché logicamente autocontraddittorio e composto di ipotesi reciprocamente incompatibili aggiunte le une alle altre in uno spazio di tempo molto lungo. Si consideri che Freud fu attivo all'incirca tra il 1885 e l'anno della morte (1939) e in questo periodo sviluppò almeno tre sistemi teorici maggiori, tra loro disarmonici e talvolta contraddittori (i lettori specificamente interessati possono trovare una analisi più esaustiva di quella presentata in questo sito nel mio "Logica e fatti nelle teorie Freudiane", Antigone edizioni, 2007). In aggiunta a questi si devono considerare i sistemi

teorici prodotti da quegli ex allievi che rifiutarono la teoria del maestro (Adler, Jung e Rank, per non citare che i maggiori) e quelli prodotti dai successori di Freud, sia quelli che si pretesero suoi fedeli interpreti e proscrittori (la psicologia dell'Io, quella delle relazioni oggettuali e quella del Se, sempre limitandosi alle scuole di maggiore seguito), sia quelli che non vantarono esplicitamente questa adesione (quali ad es. Erikson o Lacan).

Poniamo qui un primo punto fermo della nostra critica: in genere gli psicoanalisti hanno preteso che la validazione empirica delle loro teorie dovesse venire dall'esperienza clinica, ove il dato viene raccolto; inoltre il tasso dei successi terapeutici deve confermare la validità clinica di queste teorie. Dati la lunga durata delle terapie e il gran numero di teorie psicoanalitiche, *e' evidente ben prima di qualunque analisi critica dettagliata, che l'evoluzione della teoria e' molto piu' rapida della validazione delle sue ipotesi*. La psicoanalisi e le sue varianti crescono essenzialmente nel vuoto dei dati sperimentali, grazie ad elucubrazioni teoriche di pensatori. Possiamo concedere una eccezione a questa regola per quegli psicoanalisti che hanno studiato lo sviluppo del bambino nel suo ambiente (Spitz, Mahler e pochi altri). Per avere una controprova di questa affermazione basta considerare che le teorie Freudiane annettono grande importanza allo sviluppo infantile, e ne ricostruiscono il dettaglio psicologico, anche se Freud non curò mai bambini e descrisse un unico paziente di età infantile (il piccolo Hans), che era però curato dal padre, psicoanalista della prima ora, sotto la sua supervisione. Il bambino di Freud è ricostruito attraverso i ricordi dell'adulto.

La **prima teorizzazione Freudiana**, che presumibilmente dovrebbe essere considerata pre-psicoanalitica, si estende nel periodo compreso tra il 1885 ed il 1897-99. In questo periodo Freud collabora con Breuer e visita Charcot a Parigi. In accordo con le ipotesi correnti ritiene che le malattie psichiche, e segnatamente l'isteria siano dovute a traumi psichici apparentemente dimenticati, ma in realtà ritenuti a livello inconscio (il termine usato dai francesi era subconscio). Riportando il ricordo del trauma alla coscienza, mediante l'ipnosi o altrimenti, si può ottenere la guarigione. A questa ipotesi Freud aggiunge che assieme al ricordo del trauma è rimasto imprigionato nell'inconscio l'affetto o emozione ad esso associato, e che la guarigione può avvenire soltanto se oltre a riportare alla coscienza il ricordo, si permette al paziente di rivivere l'affetto in modo da "abreagirlo". È l'ipotesi detta *catartica* o dell'*abreazione*. In aggiunta alle *psiconevrosi*, malattie psichiche dovute alla rimozione del trauma psichico e dell'affetto ad esso legato, Freud ipotizza anche la categoria delle nevrosi attuali (psicoastenia e nevrosi d'ansia) la causa delle quali non si trova nel passato ma nel comportamento sessuale del paziente (la masturbazione causerebbe psicoastenia, l'astinenza sessuale nevrosi d'ansia). In questo periodo Freud abbandona l'uso dell'ipnosi, che non funziona con tutti i pazienti, e cerca di ricostruire il rimosso a partire dallo stato di coscienza normale del paziente; *per ottenere il risultato si sente giustificato ad esercitare le più forti pressioni e suggestioni sul paziente*:

"Prima di sottoporsi all'analisi, il malato non sa nulla di queste scene ed è solito ribellarsi quando lo si avverte del loro prossimo riaffiorare; solo la forte coercizione del trattamento può indurlo a rievocarle; mentre richiama alla coscienza queste esperienze infantili, soffre a causa di violente sensazioni delle quali si vergogna e che aspira a nascondere, e anche dopo averle rivissute fino in fondo e in modo tanto

convincente, tenta di non prestarvi fede, sottolineando di non aver provato, come invece era accaduto rievocando altri fatti dimenticati, la sensazione di stare ricordando." [Freud, 1896, Etiologia dell'isteria, OSF II, p. 345; ma si veda anche l'Autobiografia, OSF X, p.97].

La possibilita' di errori e conferme spurie dovute alla suggestione era gia' stata rilevata all'epoca di questi scritti o subito dopo; ad esempio da Fliess, amico e corrispondente di Freud (ed autore di una teoria medica ancor piu' implausibile); e quando Freud abbandonerà l'ipotesi catartica, rovescerà completamente il resoconto di allora e pretenderà che fossero i pazienti a imporre a lui i loro ricordi anziché lui a loro le sue ipotesi:

"... nel periodo in cui il maggior interesse era rivolto a scoprire traumi sessuali infantili, quasi tutte le mie pazienti mi raccontavano di essere state sedotte dal padre, ma alla fine dovetti convenire che questi racconti non erano veritieri ..." [Freud, 1932, Introduzione alla psicoanalisi, nuova serie di lezioni, OSF XI, p.227]

La fine ingloriosa dell'ipotesi catartica fu precipitata dalla sua incontrollata espansione: nel 1896 Freud suggerì che il trauma psichico responsabile dell'isteria fosse una violenza sessuale subita in età infantile, in genere ad opera dei genitori e si ritrovò con una teoria statisticamente implausibile (la frequenza dell'isteria era relativamente elevata e la frequenza del trauma sessuale doveva esserlo ancor più, essendo questo, per ammissione di Freud, causa necessaria ma non sufficiente) e aspramente avversata dall'establishment medico e dalla società viennese (Freud aveva accusato di questo orribile crimine i genitori di almeno 18 pazienti, senza altra prova che la malattia dei figli).

Il collasso dell'ipotesi catartica precipitò Freud nello sconforto. Egli riferisce di essersi diagnosticato una *petite hysterie* (isteria senza sintomi somatici) e di aver intrapreso per questo la famosa autoanalisi. Dopo due anni esce *l'Interpretazione dei sogni* il manifesto della seconda teoria Freudiana, la prima sintesi teorica veramente psicoanalitica.

Con la **prima sintesi teorica psicoanalitica**, la cui elaborazione si estende tra il 1897 e il 1914 (almeno) Freud cerca di risolvere il problema che si è posto così drammaticamente nel periodo precedente: investigare l'inconscio, senza ricorrere all'ipnosi, e costruire una scienza oggettiva di questa provincia della psiche. Costretto a rinunciare all'oggettività del trauma psichico, sulla quale era caduto il modello catartico, Freud basa la sua nuova teoria su "altre premesse", non psicologiche: neuroanatomiche, neurofisiologiche, biologiche.

"Da ipotesi che devono essere basate su altre premesse, sappiamo che l'apparato [psichico] tendeva in un primo tempo a mantenersi il più possibile esente da stimoli; esso aveva perciò, nel suo primo aspetto lo schema di un apparato riflesso, che gli consentiva di allontanare rapidamente per via motoria un eccitamento sensitivo proveniente dall'esterno. Ma l'urgenza vitale turba questa semplice funzione; ed è ad essa che l'apparato deve anche l'impulso a un ulteriore sviluppo. Quest'urgenza gli si presenta in un primo tempo nella forma dei grandi bisogni fisici. L'eccitamento prodotto dal bisogno interno cercherà uno sfogo nella motilità, che si potrà definire mutamento interno o espressione del moto d'animo. Il bambino affamato griderà o si agiterà. Ma la situazione rimarrà invariata, perché l'eccitamento proveniente dal bisogno interno non corrisponde a una forza che colpisce

momentaneamente, bensì a una forza che agisce di continuo. Può esserci un cambiamento quando, in un modo qualsiasi, nel bambino per l'aiuto di altre persone, si effettua l'*esperienza di soddisfacimento*, che sospende lo stimolo interno. [Freud, 1900, L'interpretazione dei sogni, cap.7, OSF III, p.515, corsivo originale]

Le altre premesse sono quindi i bisogni interni, somatici, dell'organismo che Freud ritiene di derivare dalla biologia, senza rendersi conto di utilizzare concezioni obsolete o semplicistiche rispetto alla scienza dell'epoca; il cervello traduce, a livello inconscio, lo stimolo somatico in uno stimolo psichico endogeno, la **pulsione**. Freud inizialmente, sempre in omaggio alla sua biologia elementare, identificava due gruppi di pulsioni: quelle dirette alla conservazione dell'individuo e quelle sessuali (dirette alla conservazione della specie); poi però, tra il 1914 e il 1920, riunì questi e aggiunse come controaltare la pulsione di morte.

Lo strumento per investigare l'inconscio è ormai creato: l'ideazione consapevole, la volontà, il comportamento, l'emozione sono il riflesso conscio di una pulsione inconscia, che solo lo psicoanalista è in grado di smascherare e rivelare. La nuova teoria spiega anche le ragioni del fallimento della vecchia: le pazienti di Freud non erano state violentate dal padre, ma lo avevano desiderato o fantasticato sotto la spinta della pulsione sessuale infantile, e Freud era stato da loro tratto in inganno (si veda la citazione riportata sopra). Il desiderio sessuale infantile per il genitore di sesso opposto e l'invidia e l'odio nei confronti del genitore del proprio sesso, che possiede il bene agognato, costituiscono il complesso di Edipo. Poiché le vecchie osservazioni di Freud erano profondamente viziate dalla suggestione esercitata sul paziente, meglio sarebbe stato abbandonare del tutto l'idea della seduzione infantile reale o fantasticata che fosse; ma Freud cercava con la nuova teoria anche un riscatto dal vecchio smacco.

La malattia mentale è in questa teoria, un difetto di sviluppo psicologico (poiché la pulsione principale in questo caso è quella sessuale, anche lo sviluppo è "psicosessuale"), che risulta dalla discrepanza tra la forza delle pulsioni e la capacità di controllarle dell'individuo: infatti il bambino non può possedere la madre e deve in qualche modo controllare il suo desiderio. La rimozione è una forma imperfetta di difesa, potenzialmente capace di generare di future patologie psichiche, che spinge nell'inconscio non già la memoria di un trauma esterno ma l'idea e l'emozione (che potrebbero non essere mai affiorati alla coscienza) legati ad una pulsione socialmente inaccettabile. Scopo della terapia psicoanalitica è restituire il rimosso alla coscienza onde poterlo controllare con difese meno patogene della rimozione. Più della sintesi pre-psicoanalitica, la prima sintesi psicoanalitica è lontana dall'esperienza e difficile da verificare: è un sistema di congetture basate su male interpretate premesse biologiche. Nonostante questo, saltano all'occhio alcune grossolane incongruenze o implausibilità, soprattutto legate al fatto che Freud appoggia la sua teorizzazione sulle sue osservazioni cliniche, condotte nella *totale assenza di gruppi di controllo*. Ad esempio chi ha letto la descrizione del caso clinico di Dora vi ha trovato, tra l'altro, il racconto della reazione della ragazza al tentativo di seduzione da parte del sig. K, amico del padre e quindi molto più anziano di lei: Dora, baciata all'improvviso dal sig. K gli dà uno schiaffo e fugge; la sensazione che riferisce a Freud è di nausea. Il commento di Freud è il seguente:

*"In questa scena, seconda in ordine di menzione ma prima in ordine di tempo, il comportamento della ragazza quattordicenne e' gia' nettamente isterico. Non esito infatti a considerare isterici tutti coloro in cui un'occasione di eccitamento sessuale provoca soprattutto o soltanto sentimenti spiacevoli, e cio' indipendentemente dal fatto che il soggetto sia o no in grado di produrre sintomi somatici. ... Invece della sensazione genitale, che non sarebbe certo mancata in una ragazza sana in circostanze analoghe, abbiamo qui quella sensazione spiacevole relativa al tratto di mucosa con cui si inizia il canale digerente, la bocca."* [Freud, 1901-1905, Frammento di un'analisi d'isteria (caso clinico di Dora), OSF IV, p.322-323].

E' plausibile che la quattordicenne sana risponda normalmente con eccitazione sessuale ad un tentativo di seduzione non gradito? Qual e' la casistica di Freud? In realta' non c'e' casistica di ragazze sane, che dovrebbero costituire il gruppo di controllo: c'e' la libera deduzione dalla premessa che l'individuo e' essenzialmente motivato dalla pulsione sessuale di origine somatica. Purtroppo la libera deduzione da premesse arbitrarie conduce a risultati paradossali, e molta della teorizzazione Freudiana sfugge ad ogni possibilita' di verifica empirica, e si appoggia esclusivamente su deduzioni e congetture.

Freud continuo' ad elaborare la sua teoria per aumentarne la capacita' esplicativa, introducendo nuove ipotesi e nuovi meccanismi; in questo processo pero' si vennero a creare incongruenze e complicazioni che verso il 1920 lo costrinsero a riformulare l'intera costruzione della psicoanalisi in una **seconda sintesi teorica**. I testi fondamentali di questo periodo sono *L'Introduzione al narcisismo* (1920) e *L'Io e l'Es* (1922). Nel primo viene introdotta la pulsione di morte, ancora una volta basandosi sull'erronea interpretazione di esperimenti della biologia; nel secondo viene descritta una nuova struttura tripartita della mente (Es, Io e Superio) che affianca ma non sostituisce la precedente (inconscio, preconcio e conscio). Molti comportamenti normali e patologici in precedenza attribuiti alle pulsioni sessuali o di autoconservazione sono ora attribuiti all'aggressivita', rivolta verso se stessi o sugli altri. In particolare la malattia depressiva sarebbe il prodotto dell'autoaggressivita' che l'Es istigato dal Superio, rivolge sull'Io.

Il complesso di Edipo viene caricato della responsabilita' di dare origine al Superio (che nella prima sintesi psicoanalitica non esisteva); e poiche' differisce tra il bambino (che rimane attaccato alla madre, mentre odia e teme il padre) e la bambina (che cambia oggetto di attaccamento, vagheggia il rapporto sessuale col padre e disprezza la madre), puo' essere invocato per spiegare anche i piu' triti pregiudizi maschilisti dell'epoca:

"La bambina rimane in questo complesso per un tempo indeterminato, lo demolisce solo tardi e mai completamente. La formazione del suo Super-io non puo' non risentire di queste condizioni, il Super-io non puo' raggiungere quella forza e quell'indipendenza che tanta importanza hanno per la civiltà umana, e ... i femministi non ameranno certo sentir dire quali sono gli effetti di questa debolezza sul carattere femminile medio." [Freud, 1932, Introduzione alla psicoanalisi (nuova serie di lezioni), OSF XI, p.235; puntini di sospensione nell'originale]

Nessuno studio psicologico ha mai rivelato in modo consistente queste presunte differenze intellettuali e morali legate al sesso; anzi tutti gli studi effettuati su campioni ampi mediante questionari validati o

altri strumenti di misura oggettivi hanno sempre dimostrato che le differenze psicologiche e intellettuali legate al sesso sono piccole e riguardano aspetti molto settoriali dei processi mentali studiati, quale ad esempio l'accuratezza della rappresentazione mentale della geometria tridimensionale. Questa e' una forte prova contro la teoria: chi non ha nozioni di psicoanalisi, non ha aspettative su differenze psichiche legate al sesso e pertanto predice la realta' con migliore approssimazione di chi la conosce; ovvero l'esperto ne sa meno del profano.

### **Eugenetica e razzismo**

L'eugenetica e' una teoria pseudoscientifica che ebbe un certo peso all'inizio del XX secolo e che fu impropriamente utilizzato soprattutto dalla dittatura nazista. L'ipotesi centrale dell'eugenetica e' che la societa' puo' controllare gli accoppiamenti tra i suoi membri allo scopo di evitare le malattie genetiche e possibilmente di garantire la nascita di individui sempre piu' sani e sempre piu' dotati. Questa ipotesi e' intuitiva per chiunque abbia una minima cognizione dell'allevamento del bestiame e dell'agricoltura e fu sostenuta in epoca classica, tra gli altri, da Platone e in epoca rinascimentale da Tommaso Campanella. Ebbe un grande impulso dalle opere di Darwin perche' sembra una conseguenza abbastanza lineare dell'evoluzionismo basato sulla selezione naturale: se la natura puo' selezionare gli individui allo scopo di migliorare la specie, perche' la societa' non potrebbe controllare i matrimoni, sostituendo la selezione sociale alla selezione naturale, per migliorare il genere umano?

L'ovvia ingenuita' di questa teoria e' che, a meno che non ci si limiti alla prevenzione di malattie ereditarie con meccanismo di trasmissione noto, non e' affatto chiaro cosa significhi "migliorare" il genere umano. Infatti per la natura e' migliore l'individuo piu' idoneo a sopravvivere e riprodursi e per l'allevatore e' migliore l'animale che cresce piu' in fretta e produce la carne o il latte migliore; ma per la societa' non esiste un individuo "migliore". Inoltre molte caratteristiche socialmente desiderabili o indesiderabili sono solo in parte ereditabili ed in genere con meccanismi poligenici assai complessi, e questo rende l'impresa dell'eugenetica perduta in partenza.

Nonostante queste evidenti difficolta', l'eugenetica esercito' un certo richiamo anche su scienziati di valore, e certamente non razzisti: F. Galton, K. Pearson, ...

La degenerazione morale dell'eugenetica e' il razzismo. Il razzismo, al contrario dell'eugenetica, non si propone come scopo di migliorare geneticamente gli individui, ma identifica arbitrariamente gruppi di individui (razze), assegna a questi un valore maggiore o minore, e si propone di eliminare o escludere i gruppi ritenuti inferiori). Il razzismo, al di la della sua aberrazione morale, presenta tre difetti concettuali che lo rendono completamente irrazionale: (1) il concetto di razza (mutuato dall'allevamento del bestiame) richiede una omogeneita' genetica degli individui di molto superiore a quella riscontrata nelle popolazioni umane, per le quali si utilizza invece il concetto di etnie; (2) razza (o etnia) e' comunque un concetto applicabile alle popolazioni e non agli individui; (3) in nessun caso una differenza tra etnie o razze giustifica un giudizio morale (infatti il giudizio morale e giuridico ricade sugli individui, non sulle etnie).

Soltanto il secondo punto giustifica un breve approfondimento dal punto di vista della scienza e della

pseudoscienza. E' noto che le popolazioni umane differiscono per caratteristiche genetiche: ad esempio la distribuzione dei gruppi sanguigni (A, B e zero; fattore Rh) e' alquanto variabile e il gruppo zero presenta una frequenza del 60-70% nelle popolazioni europee, del 50-60% nelle popolazioni asiatiche, mentre supera l'80% nelle popolazioni dell'America centro-meridionale. Questo consente di distinguere un gruppo etnico da un altro ma non di inferire l'appartenenza di un individuo ad un gruppo piuttosto che ad un altro: infatti individui di gruppo zero, A, B e AB sono comunque presenti in tutte le etnie, sebbene non con le stesse frequenze relative. E' evidente che qualunque pretesa di associare un individuo ad una razza o etnia sulla base della sua costituzione genetica e' alquanto arbitraria, a meno che non sia intesa in senso probabilistico.

### **Bibliografia**

Bellelli A. (2007) Logica e Fatti nelle Teorie Freudiane. Antigone Edizioni, Torino

Freud S. (1915-1917) Introduzione alla Psicoanalisi (prima serie di lezioni), Boringhieri, Torino

Hahnemann S. (1843) Organon (Biblioteca Digitale della SIB, [link ad altre risorse](#)).

Paracelso (1530) Paragranum, ES