

GIULIO PERUZZI

**«Chi mira più in alto si differenzia più altamente».  
Spigolature di storia della fisica da Galileo ai nostri giorni**

*Estratto*

Atti e Memorie dell'Accademia Galileiana di Scienze, Lettere ed Arti  
già dei Ricovrati e Patavina

Volume CXXIV (2011-2012)

Parte III: Memorie della Classe di Scienze Morali, Lettere ed Arti



ACCADEMIA GALILEIANA DI SCIENZE LETTERE ED ARTI  
IN PADOVA  
35139 Padova - Via Accademia, 7 - Tel. 049.655249 - Fax 049.8752696  
e-mail: galileiana@libero.it - www.accademiagalileiana.it

PADOVA  
PRESSO LA SEDE DELL'ACCADEMIA

GIULIO PERUZZI

**«Chi mira più in alto, si differenzia più altamente».**  
**Spigolature di storia della fisica da Galileo ai nostri giorni**

Nella Dedicata al Granduca Ferdinando II dei Medici del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, Galileo afferma la superiorità del filosofo rispetto al non filosofo e, subito a seguire, la superiorità della filosofia naturale rispetto a ogni altro sapere. Si legge infatti:

«Chi mira più in alto, si differenzia più altamente; e 'l volgersi al gran libro della natura, che è 'l proprio oggetto della filosofia, è il modo per alzar gli occhi». Galileo compendia così tre affermazioni rilevanti. La prima è che l'oggetto proprio della filosofia è la natura. La seconda affermazione è che la natura è opera di Dio della quale «la costituzione dell'universo, tra i naturali apprensibili, per mio credere, può mettersi nel primo luogo». E la terza affermazione, conseguenza delle altre due, è che proprio la comprensione della costituzione dell'universo è per l'uomo la più alta forma di conoscenza.

Al di là dello stile alto e solenne di tutta la Dedicata, il filo del ragionamento galileiano contiene due elementi di grande modernità che nel linguaggio odierno potremmo esprimere nella forma: la scienza della natura è la più alta espressione della cultura e si contraddistingue da altre forme di sapere per il suo ancorarsi ai fatti. È proprio questa particolarità che permette ad ausili dallo statuto epistemologico problematico, come i modelli, le analogie e le metafore, di giocare un ruolo cruciale nello sviluppo della conoscenza scientifica.

La crescita della conoscenza scientifica, come la storia della scienza ben documenta, è tutt'altro che un processo lineare. In essa si alternano fasi particolarmente dinamiche, caratterizzate da una copiosa produzione di nuove idee e di nuovi filoni di ricerca, a fasi di maggiore stagnazione, dove predomina il lavoro di sistematizzazione di teorie e procedure sperimentali già delineate. I filosofi della scienza parlano a questo proposito di “contesti di scoperta” alternati a “contesti di giustificazione”.

I modelli, le analogie e le metafore scientifiche sono ausili che acquistano una particolare rilevanza in un “contesto di scoperta”, quando bisogna andare oltre idee e quadri interpretativi consolidati, mentre in un “contesto di giustificazione” sono più marginali e spesso utilizzati a fini didattici o divulgativi. Non è un caso, sia detto per inciso, che la discussione filosofica sul ruolo di questi ausili nello sviluppo della conoscenza scientifica si riaccenda tra gli anni '50 e '60 del secolo scorso, quando si comincia a rivalutare il “contesto della scoperta” in polemica sia con l'empirismo logico sia con il falsificazionismo di Popper.

Esempi di un uso di modelli, analogie e metafore molto simile a quello odierno si trovano già agli albori della scienza moderna. Basti pensare a come Galileo impiega modelli e analogie nella sua opera. Per quanto riguarda i modelli, quando si tratta di avviare la fondazione della teoria cinematica del moto dei corpi materiali Galileo prende le mosse dallo studio del moto di sfere su piani inclinati. È sulla base di questo caso particolare che Galileo svilupperà la teoria del moto uniformemente accelerato e del moto parabolico (quello, per esempio, dei proiettili), seguendo quindi un percorso che da un modello porta alla teoria (oggi interpretata anche come insieme di modelli).

Per quanto poi concerne l'uso galileiano dell'analogia o della metafora scientifica paradigmatica è l'analogia tra una nave e la Terra, per capire la quale è però necessario fornire qualche ulteriore elemento. Mentre costruisce le basi della moderna meccanica delineando la teoria cinematica dei moti, Galileo si confronta con un problema ben più vasto. Le sue ricerche astronomiche l'avevano sempre più convinto non solo della correttezza del sistema copernicano ma anche del fatto che, a differenza di quanto affermato dalla tradizione aristotelica, mondo terrestre e mondo celeste fossero governati da un'unica fisica. Il sistema copernicano tuttavia, a differenza di quello aristotelico-tolemaico, non era ancora a quell'epoca sorretto da una teoria meccanica convincente. Non a caso una serie di paradossi sembravano inficiare la proposta copernicana. Tra questi, uno riveste un particolare interesse per comprendere l'introduzione da parte di Galileo dell'analogia o metafora della nave: perché, se la Terra gira, si osserva che un corpo in caduta libera da una torre arriva alla base della torre e non invece a grande distanza da questa a causa del moto di rotazione della superficie terrestre durante il suo moto di caduta? È qui che entra in gioco l'analogia tra la nave e la Terra che contiene in nuce quello che diventerà noto come principio di relatività galileiana.

Galileo illustra questa analogia in una splendida pagina del *Dialogo sopra i massimi sistemi del mondo* (1632), ripresa da una lettera da lui scritta nel 1624 a Francesco Ingoli. Una persona sotto coperta su una nave ferma in porto compie una serie di esperimenti per ricavare le leggi del moto dei corpi: guarda il fumo di una candela salire verso l'alto, lancia oggetti sia verso poppa sia verso prua osservandone il moto parabolico, vede gocce d'acqua che cadono da un contenitore ed entrano nel sottile collo di un fiasco sottostante ecc. Se successivamente la nave si muove con velocità grande quanto si vuole ma uniforme, si scopre che tutti i fenomeni osservati continuano a compiersi nello stesso modo, in altri termini le leggi del moto rimangono invariate in forma (principio di relatività) e la persona sotto coperta non è in grado di verificare, sulla base delle esperienze che conduce, se la nave stia ferma o sia in moto. In realtà quello che oggi va sotto il nome di principio di relatività galileiana è strettamente legato al concetto ideale di moto rettilineo uniforme all'infinito, un'idea problematica per Galileo. Solo la piena accettazione del principio d'inerzia, che afferma che un corpo non soggetto a forze persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo e uniforme (primo principio della dinamica di Newton), può condurre al principio di relatività. E il principio d'inerzia in questa sua accezione non si ritrova nell'opera di Galileo. Per lui, sulla falsa riga di Aristotele, l'unico moto che poteva continuarsi uniformemente era il moto circolare. Questa inerzialità dei moti circolari è ovviamente assimilabile localmente, come osserva anche Galileo, a un'inerzialità dei moti rettilinei ogni qual volta il raggio della traiettoria circolare è molto grande rispetto all'arco di circonferenza preso in esame: è appunto il caso della nave, che sembra percorrere una traiettoria rettilinea quando in realtà si muove su una circonferenza di raggio uguale al raggio della Terra. Era proprio il risultato che Galileo cercava. Infatti la relatività introdotta da Galileo con la metafora della nave, con tutte le sue concessioni alla tradizione aristotelica, era funzionale al suo tentativo di cercare di ovviare ai supposti paradossi anticopernicani. La nave nel suo percorso intorno alla Terra è come la Terra nel suo moto di rotazione diurno o di rivoluzione intorno al Sole: tutto quello che trascina con sé segue le stesse leggi che seguirebbe se la Terra fosse ferma. Quindi stando sulla Terra non è possibile decidere se la Terra sia ferma o si muova. L'analogia permette quindi di individuare una somiglianza tra situazioni diverse, trasferendo conclusioni verificabili in un certo contesto a contesti diversi ancora poco conosciuti.

Se l'uso moderno di modelli, analogie e metafore accompagna l'intero percorso della scienza nata dalla rivoluzione scientifica, una

piena consapevolezza della loro fondamentale funzione si acquisisce in fasi successive e in particolare nel corso dell'Ottocento, il secolo nel quale la specializzazione acquista un ruolo sempre più significativo nell'ambito della crescita della conoscenza scientifica. A illuminare le ragioni di questo fatto aiutano alcune considerazioni che Jules-Henri Poincaré svolge nel secondo capitolo della sua nota opera *Science et méthode* del 1908. «Via via che la scienza si sviluppa, – scrive Poincaré – diventa sempre più difficile averne una visione complessiva; si cerca allora di dividerla in tanti pezzi e di accontentarsi di un pezzo solo; in una parola ci si specializza. Continuare in questa direzione sarebbe di grave ostacolo ai progressi della scienza... [perché] sono solo le connessioni inattese tra diversi domini scientifici che rendono possibili tali progressi» (cit. da ed. it. Einaudi, 1997, p. 30). È proprio in una fase di crescente specializzazione che i modelli, le analogie e le metafore diventano uno strumento importante per svelare connessioni inattese e aprire nuove prospettive di ricerca.

Molti sono gli scienziati ottocenteschi che ricorrono a questi ausili, ma probabilmente quello che con maggiore consapevolezza epistemologica e maggior maestria ne sonda e sfrutta le grandi potenzialità è James Clerk-Maxwell. Nato nel 1831 e morto nel 1879, Maxwell avvia poco più che ventenne le sue ricerche in molteplici settori seguendoli con costanza e in parallelo per tutta la vita. La stragrande maggioranza dei risultati da lui conseguiti in meno di trent'anni nella fisica, nella matematica, nella chimica, nella geofisica, nella fisiologia, nella metrologia, nell'ingegneria costituiscono ancora oggi le premesse di importanti campi di ricerca. Una delle ragioni della vastità e profondità della sua produzione scientifica risiede proprio nell'uso di modelli, analogie e metafore che gli permettono di individuare connessioni tra settori molto diversi tra loro, interpretando i risultati ottenuti in un certo ambito come elementi utili per orientarsi in ambiti anche molto diversi e meno conosciuti. Questa capacità di trovare quelle che Poincaré chiama "connessioni inattese fra diversi domini scientifici" contraddistingue, anche se in modo meno eclatante, l'opera di molti grandi scienziati tra Ottocento e Novecento, come per esempio W. Thomson (Lord Kelvin), von Helmholtz, Einstein, Bohr. Partendo quindi dall'analisi di alcuni aspetti dell'opera di Maxwell si possono trarre vari spunti di riflessione su una modalità importante del processo di crescita della conoscenza scientifica.

L'ambito più noto delle ricerche di Maxwell è l'elettromagnetismo. Quelle che sono chiamate "equazioni di Maxwell" compendiano

in un'unica teoria tre settori a lungo considerati diversi: l'elettricità, il magnetismo e l'ottica. Maxwell arriva alla formulazione della sua teoria in tre articoli pubblicati tra il 1855 e il 1865. Ripercorrendo alcuni tratti salienti di questa trilogia, ci si può rendere conto del ruolo fondamentale che hanno le analogie e i modelli nell'opera maxwelliana.

Il primo articolo, dal titolo *Sulle linee di forza di Faraday* (1855-56), è centrato sull'analogia tra i fenomeni elettromagnetici e il flusso di un fluido incomprimibile attraverso tubi sottili di sezione variabile. Nell'articolo viene esplicitamente detto che i fenomeni elettromagnetici sono fisicamente distinti da quelli idrodinamici. L'analogia permette solo di individuare somiglianze che consentono di utilizzare in un settore ancora non compiutamente formalizzato (quello dei fenomeni elettrici e magnetici) le equazioni matematiche già sviluppate nell'altro (idrodinamica), un modo per cominciare a orientarsi in un nuovo settore.

Quanto Maxwell sia consapevole del metodo utilizzato e dei suoi limiti emerge chiaramente nell'introduzione all'articolo dove chiarisce il significato da dare al termine "analogia fisica". «L'analogia fisica», scrive Maxwell, «non è altro che una somiglianza parziale tra le leggi relative a un certo settore della scienza e quelle relative a un altro, una somiglianza che permette a ognuno dei due di essere un'illustrazione dell'altro». Ne consegue che «l'analogia più universale» utilizzata da tutte le scienze matematiche è quella «tra leggi fisiche e leggi dei numeri, per questo lo scopo della scienza esatta è quello di ridurre i problemi della natura alla determinazione di quantità tramite operazioni con numeri». Se questa è l'analogia più universale, all'altro estremo si collocano «analogie più particolari». I due esempi di analogie particolari che Maxwell cita nell'articolo sono tratti da «somiglianze nella forma matematica tra due differenti fenomeni» che portano alla teoria fisica della luce. La prima è l'analogia tra la rifrazione della luce nel passaggio tra due mezzi diversi, da un lato, e dall'altro la traiettoria di una particella che si muove in regioni in cui agiscono forze di diversa intensità. Questa analogia era stata già utilizzata da Newton che tuttavia, erroneamente, l'aveva riferita tanto alla variazione di direzione quanto alla variazione di velocità della luce nel passaggio da un mezzo all'altro, mentre «essa si riferisce solo», osserva Maxwell, «alla variazione di direzione». La seconda analogia è quella, «di più vasta portata», ma sempre «basata su una somiglianza *formale*», tra la luce e le vibrazioni trasverse di un mezzo elastico. Vale la pena notare che Maxwell introduce qui due esempi di analogie relative alla teoria

della luce, per quanto in questo primo lavoro arrivi solo a una parziale unificazione dell'elettricità col magnetismo. In ogni caso queste considerazioni costituiscono la premessa epistemologica all'introduzione dell'analogia che Maxwell intende utilizzare per avviare la costruzione della teoria elettromagnetica. Questa è l'analogia tra la conduzione del calore in un mezzo uniforme, un processo interpretato come azione tra parti contigue di un mezzo, e le forze di attrazione a distanza tra corpi. Questa analogia, come nota Maxwell, era già stata utilizzata da W. Thomson (lord Kelvin) in un articolo del 1842. Tuttavia Thomson, a differenza di Maxwell, non sfrutta a pieno le potenzialità del metodo analogico. È proprio questa analogia a costituire per Maxwell la chiave di volta per passare da una teoria dei moti delle cariche elettriche che agiscono a distanza alla teoria dei campi elettromagnetici, o in altri termini da una teoria elettrodinamica di tipo newtoniano a una teoria in cui l'attenzione si sposta dai moti delle cariche alla dinamica dei campi che occupano l'apparente spazio vuoto tra le cariche elettriche.

Maxwell chiarisce così l'importanza dell'uso dell'analogia e, allo stesso tempo, mette in guardia da un'applicazione troppo disinvolta di questo strumento. La somiglianza infatti riguarda le relazioni matematiche tra alcuni aspetti di fenomeni appartenenti ad ambiti diversi. Estenderla troppo rischia di condurre ad errori come quelli nei quali era incorso Newton identificando la rifrazione della luce con il moto di particelle tra mezzi diversi. «È vero», scrive quindi Maxwell concludendo queste sue riflessioni preliminari, «che se si introducono altre considerazioni e si osservano ulteriori fatti, i due ambiti assumeranno aspetti molto differenti, ma la somiglianza matematica di alcune delle loro leggi resterà, e può ancora essere utilizzata per stimolare idee matematiche appropriate».

Nel secondo articolo, dal titolo *Sulle linee fisiche di forza* (1861-62), Maxwell non solo arriva molto vicino all'unificazione tra elettricità e magnetismo ma propone che anche l'ottica venga inclusa in questa teoria unificata. Come nota Maxwell all'inizio, l'analogia introdotta nel precedente lavoro poggiava sulla definizione di un modello geometrico-idrodinamico che serviva per dedurre relazioni matematiche tra elettricità e magnetismo facendo uso di un'illustrazione meccanica «per aiutare l'immaginazione, ma non per dar conto dei fenomeni descritti». In questo articolo, invece, il procedimento analogico è imperniato su un modello meccanico dei fenomeni elettromagnetici più articolato e più vicino ai fatti: il modello dei vortici. Il ragionamento di Maxwell si basa sull'esistenza di un fluido imponderabile

che permea lo spazio apparentemente vuoto. In assenza di campi elettromagnetici la pressione nel fluido è uguale in tutte le direzioni. Ben diversa è la situazione quando sono presenti campi elettromagnetici: questi infatti generano nel fluido “innumerevoli vortici” i cui assi di rotazione coincidono con la direzione delle forze magnetiche in ogni punto del campo. La rotazione dei vortici causa forze centrifughe che fanno sì che ogni vortice si contragga longitudinalmente ed eserciti radialmente una certa pressione dipendente dalla velocità. Il modello dei vortici permette quindi a Maxwell di dare un’illustrazione meccanica delle azioni che si trasmettono nello spazio tra cariche e correnti eliminando l’azione a distanza e popolando lo spazio apparentemente vuoto di tensioni e azioni per contatto.

Perché il modello dei vortici sia qualcosa di più di un ausilio all’immaginazione è però necessario, osserva Maxwell, «descrivere il meccanismo tramite il quale queste rotazioni possano essere fatte coesistere, ed essere distribuite secondo le leggi note delle linee di forza magnetiche». In altre parole bisogna rispondere alla domanda: come fanno due vortici adiacenti a ruotare liberamente nello stesso senso, visto che le loro superfici si muovono in direzione opposta? L’ipotesi introdotta da Maxwell è di «concepire la materia rotante come sostanza di certe celle, separate tra loro da pareti (*cell-walls*) formate da particelle molto più piccole delle dimensioni delle celle». Queste particelle costituenti le pareti di separazione tra i vortici, da Maxwell identificate con la “materia dell’elettricità”, svolgono una funzione simile a quella delle palline d’acciaio negli attuali cuscinetti a sfere: rotolando sulle superfici dei vortici comunicano la rotazione da una “cella” all’altra. Vale la pena notare che una simile specificazione del modello è suggerita a Maxwell da alcuni meccanismi presenti nei sistemi di regolazione per retroazione usati in un certo numero di strumenti e macchine dell’epoca. In questo quadro l’elettricità acquista connotati completamente diversi da quelli usuali: invece di essere un fluido confinato nei conduttori essa è disseminata ovunque, libera di muoversi nei conduttori (anche se soggetta a una resistenza) e bloccata nei dielettrici (ivi compreso lo spazio, il dielettrico primordiale).

Elaborando ulteriormente il suo modello a vortici, Maxwell introduce l’idea che la sostanza ruotante nelle celle posseda proprietà elastiche “simili a quelle dei corpi solidi anche se di grado diverso”. Le analogie legate alla teoria fisica della luce, da lui usate come mero esempio del metodo analogico nell’articolo del 1855-56, dovevano aver sollecitato Maxwell a riflettere negli anni successivi su un possibi-



le nesso tra i risultati ottenuti in ambito elettromagnetico e i fenomeni della luce. Un asseverativo della ricchezza del metodo analogico. «La teoria ondulatoria della luce», scrive infatti Maxwell nella terza parte dell'articolo del 1861-62, «ci richiede di ammettere questo genere di elasticità nel mezzo luminifero per poter render conto delle vibrazioni trasverse. Non dobbiamo quindi essere sorpresi se il mezzo magneto-elettrico possiede le stesse proprietà». Visto che il mezzo è elastico, è possibile determinare la velocità con la quale il disturbo elettromagnetico si propaga attraverso di esso. Sulla base dei calcoli fatti con il suo modello a vortici nel quale introduce opportuni valori per il coefficienti di elasticità, Maxwell è portato a concludere «che ci sarebbe difficile non inferire che *la luce consista nei moti ondulatori trasversi dello stesso mezzo che è la causa dei fenomeni elettrici e magnetici*». Ecco quindi che l'analogia tra elettromagnetismo, idrodinamica ed elasticità realizzata grazie al modello dei vortici permette a Maxwell di fare un ulteriore importante passo verso una teoria unificata di elettricità, magnetismo e ottica.

La consapevolezza di Maxwell dei limiti del procedimento analogico emerge chiaramente nel suo terzo articolo dal titolo *A dynamical theory of electromagnetic field* (1864-65). Non esiste un modello meccanico dell'etere elettromagnetico che possa dar conto di tutte le proprietà della luce. Basti pensare che all'epoca c'erano almeno dodici diversi modelli eterei, ognuno dei quali dava conto di specifiche proprietà della luce. È quindi necessario abbandonare il procedimento analogico e ricavare, da principi primi (come la conservazione dell'energia), la teoria completa. Questa sarà formulata tramite le equazioni che diventeranno le "equazioni di Maxwell". Ma l'utilizzo preliminare del procedimento analogico gli ha permesso di individuare gli elementi fondamentali tramite i quali cogliere la sostanziale unità di ambiti fenomenici fino a quel momento non perfettamente compresi e messi in relazione tra loro.

L'itinerario seguito da Maxwell per arrivare alla teoria elettromagnetica è assai simile a quello che più o meno negli stessi anni egli svilupperà in tutti gli altri ambiti della sua produzione scientifica. In molti di questi settori l'uso dell'analogia è correlato all'introduzione di modelli meccanici che fanno riferimento ai vortici o a sistemi di materia rotante. È spesso proprio la costante presenza di modelli simili che favorisce l'individuazione di analogie. E modello ha qui l'accezione più vasta: può infatti essere il modello matematico suggerito da un ideale sistema di vortici, come nel caso elettromagnetico, o l'utilizzo di

reali modelli meccanici di sistemi rotanti “come una comune trottola”, citata per esempio da Maxwell nell’articolo del 1855 dedicato agli *Esperimenti sul colore come percepito dall’occhio, con alcune osservazioni sulla cecità del colore* o nell’articolo del 1957 *Sulla trottola dinamica per mostrare i fenomeni dei moti di un corpo di forma invariante intorno a un punto fisso, con alcune proposte relative al moto della Terra*. Senza entrare in dettagli può comunque essere significativo ricordare che Maxwell arriva a occuparsi di teoria cinetica dei gas a partire dai risultati ottenuti affrontando un problema di meccanica celeste, come quello della natura e delle condizioni di stabilità degli anelli di Saturno; e che l’utilizzo della trottola negli studi sulla percezione del colore gli permette applicazioni inattese allo studio della rotazione della Terra intorno al suo asse, con risultati importanti che vanno dalla meccanica celeste alla geofisica, ma che arrivano anche ai sistemi di controllo automatico.

Può valere la pena soffermarsi brevemente su quest’ultimo tema. Nel 1868 Maxwell scrive un articolo dal titolo *On governors*, che potrebbe essere tradotto “Sui sistemi di controllo”. L’articolo contiene la prima trattazione matematica dei sistemi di regolazione per retroazione e di fatto inaugura la moderna teoria del controllo automatico. Il contributo, come scrive Maxwell, vuole essere un primo contributo all’elaborazione di una teoria matematica generale senza “entrare nei dettagli del meccanismo”, ma nell’introduzione si fa riferimento esplicito a una serie di regolatori centrifughi sviluppati a partire da quello di James Watt per le macchine a vapore. Ancora una volta dal modello alla teoria, come per Galileo.

Questo lavoro di Maxwell sui regolatori rimarrà presente, ancorché carsicamente, negli studi sulla teoria dei sistemi di controllo automatico e della stabilità dei sistemi dinamici, fino al suo pieno riconoscimento tributatogli da Norbert Wiener nel 1948 nel suo noto libro dal titolo *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Come scrive Wiener nelle prime pagine: «Abbiamo deciso di chiamare l’intero campo della teoria del controllo e della comunicazione, nella macchina o nell’animale, col nome di *Cibernetica*, che abbiamo formato dal greco κυβερνήτης o *nocchiero*. Nello scegliere questo termine, vogliamo riconoscere che il primo articolo significativo sui meccanismi di retroazione è un articolo sui *governors*, che fu pubblicato da Maxwell nel 1868, e che *governor* è derivato da una corruzione latina di κυβερνήτης». Il tributo di Wiener a Maxwell va al di là del semplice nome. Esso è infatti implicitamente espresso

anche in un altro brano dell'introduzione al suo libro dove stigmatizza, in modo simile a Poincaré, i guasti prodotti da un'eccessiva specializzazione. La conclusione di Wiener, in linea con quanto sosteneva Maxwell, è la seguente: «Ci sono campi delle scienze, come vedremo in questo libro, che sono stati esplorati dai diversi punti di vista della matematica pura, della statistica, dell'ingegneria elettrica e della neurofisiologia, nei quali uno stesso concetto riceve nomi diversi dai vari gruppi, e nei quali un importante lavoro è stato triplicato o quadruplicato, mentre ancora altro lavoro importante è ritardato dalla indisponibilità in un campo dei risultati che in un altro vicino possono essere già diventati classici. Sono queste regioni di confine della scienza che offrono le più ricche opportunità al ricercatore capace. Esse sono allo stesso tempo le più refrattarie alle tecniche in voga dell'attacco di massa e della suddivisione del lavoro.»

Quello di Wiener è solo un esempio di quanto la lezione di Maxwell continui a essere, anche in pieno XX secolo, un punto di riferimento per gli sviluppi della scienza e della tecnica. E come nel caso di Wiener la lezione maxwelliana riguarda sia i suoi risultati scientifici sia il metodo da lui seguito. Basti per tutti ricordare il debito che Einstein riconosce in più occasioni di avere nei confronti del lavoro di Maxwell, sul versante scientifico per la teoria cinetica dei gas e la teoria dei campi elettromagnetici e, sul versante epistemologico, per l'uso accorto del procedimento analogico. Sarebbe infatti difficile capire la ricchissima produzione einsteiniana che contrassegna il 1905 senza cogliere l'utilizzo dell'analogia che gli rende possibile collegare tra loro almeno due dei tre fondamentali risultati da lui ottenuti in quell'anno: la proposta dei quanti di luce (quelli che solo nel 1923 verranno chiamati fotoni), la prima teoria dei sistemi stocastici (il moto browniano) e la relatività ristretta. La rivoluzionaria proposta dei quanti di luce, che apre la strada alla piena giustificazione della teoria di Planck del corpo nero, e la teoria del moto browniano vengono da Einstein sviluppate anche grazie all'uso dell'analogia che gli permette di mettere in relazione alcuni aspetti del moto browniano con la natura corpuscolare che caratterizza in particolari situazioni il campo elettromagnetico da Planck invece considerato continuo.

La domanda del perché il procedimento analogico sia così efficace nella crescita della conoscenza scientifica trova una parziale risposta ancora una volta nelle riflessioni maxwelliane. In questo senso, considerazioni particolarmente interessanti si trovano compendiate nella prolusione tenuta da Maxwell, in qualità di Presidente delle sezioni

di Matematica e Fisica, nel settembre del 1870 a Liverpool al convegno della Associazione Britannica per l'Avanzamento delle Scienze. «Il successo di qualunque indagine fisica», si legge nella sua prolusione, «dipende dalla selezione accorta di ciò che deve essere considerato di primaria importanza, combinata con una volontaria astrazione della mente da quei caratteri che, per quanto possano apparire attraenti, non siamo ancora in grado di indagare con profitto perché non disponiamo di una scienza sufficientemente avanzata. *Processi intellettuali di questo genere sono stati all'opera fin dalla prima formazione del linguaggio e lo sono ancora.*» L'idea di Maxwell è che esista una somiglianza essenziale tra la formazione del linguaggio e la formazione del sapere scientifico. La somiglianza risiede nel fatto che in entrambi i casi si giunge a elaborare una rappresentazione dei fenomeni naturali “infinitamente complessi” mediante l'uso di metafore e analogie. Tra linguaggio e scienza esiste però anche una sostanziale differenza: il linguaggio si forma costruendo metafore e analogie sulla base di dati, come buono o cattivo, nocivo o benefico, che la scienza espunge nella sua costruzione della descrizione dei fenomeni utilizzando in prima approssimazione solo le “quantità”, che formano l'ossatura dell'analogia scientifica più universale, quella tra leggi fisiche e leggi matematiche.

Eppure, tenuto conto di questa differenza, come l'analogia e la metafora sono presenti non solo nella formazione ma anche nello sviluppo del linguaggio, così nella scienza la questione non si esaurisce solo allo stadio della formazione del sapere scientifico. Infatti, subito dopo aver detto che il «metodo scientifico di dirigere la nostra attenzione a quei caratteri dei fenomeni che possono essere considerati come quantità» ha «portato la ricerca fisica sotto l'influenza della matematica», Maxwell aggiunge: «voglio ora volgere la vostra attenzione verso alcuni degli effetti reciproci del progresso della scienza su quelle concezioni elementari che talvolta sono pensate essere oltre il campo d'azione del cambiamento. Se l'abilità del matematico ha permesso allo scienziato sperimentale di vedere che le quantità che ha misurato sono connesse da relazioni necessarie, le scoperte della fisica hanno rivelato al matematico nuove forme delle quantità che egli non avrebbe mai *immaginato* da solo». Le quantità individuate e le loro relazioni matematiche, che potremmo definire come modello scientifico o insieme di modelli scientifici di riferimento in una certa fase dello sviluppo della scienza, possono quindi acquistare nuove forme dando luogo a “nuove classificazioni di quantità basate su nuovi principi” che ne “generalizzano il significato”. Gli esempi citati da Maxwell in questo caso sono la nascita del calcolo vettoriale e di quella che oggi

viene chiamata topologia. L'insieme di questi processi si dispiega mediante l'uso di analogie e metafore scientifiche e costituisce, secondo Maxwell, la modalità fondamentale di crescita del sapere scientifico. *Mutatis mutandis* è la stessa modalità con cui si sviluppa il linguaggio. Può essere interessante notare che considerazioni per certi versi simili sul ruolo delle metafore nella formazione e crescita del linguaggio e della scienza sono state svolte in anni relativamente recenti da Willard van Orman Quine.

La somiglianza tra linguaggio e scienza è anche un modo per cercare di capire perché il numero delle analogie utilizzate sia in fondo relativamente piccolo e perché spesso ricorrano sempre le stesse analogie e metafore anche in contesti teorici o in ambiti disciplinari molto diversi. Se infatti una possibile spiegazione del linguaggio, oggi sempre più diffusa, fa riferimento alla storia evolutiva della nostra specie, e se la scienza è solo una forma più efficace e controllabile di linguaggio, allora è il modo stesso in cui è fatta la nostra organizzazione mentale che vincola, entro certi limiti, la varietà delle analogie disponibili.

Dalle riflessioni fin qui svolte si possono trarre alcune utili indicazioni attinenti la formazione e la ricerca scientifica. Una formazione che presenti un sapere frammentato e si concentri sulla specializzazione, come troppo spesso avviene nel nostro Paese ma non solo, non è una buona formazione scientifica. Una carriera scientifica che privilegia il "pubblica o muori" e quindi privilegia le ricerche di moda, quelle con ricadute applicative immediate, quelle dove più alto è il numero di pubblicazioni ottenibili in poco tempo e super citate, difficilmente porterà a quelle "connessioni inattese" che, come sostiene Poincaré, sono la base del progresso scientifico. Si mortificano così quelle regioni di confine della scienza che, come scriveva Wiener, «offrono le più ricche opportunità» per lo sviluppo scientifico e che «sono allo stesso tempo le più refrattarie alle tecniche in voga dell'attacco di massa e della suddivisione del lavoro». Sono indicazioni che purtroppo oggi non vengono tenute in gran conto, nel nostro Paese ma non solo, col rischio di mettere una seria ipoteca sul futuro del sapere scientifico. E su quello dell'umanità.

## BIBLIOGRAFIA

- GALILEO GALILEI, *Edizione Nazionale delle Opere*, a cura di Antonio Favaro, 20 voll., G. Barbèra Editore, Firenze, 1968.
- GIULIO PERUZZI, *Vortici e colori. Alle origini dell'opera di James Clerk Maxwell*, Dedalo, Bari, 2010.
- JULES HENRI POINCARÉ, *Science et méthode*, Flammarion, Paris, 1908.
- WILLARD VAN ORMAN QUINE, "A Postscript on Metaphor", *Critical Inquiry*, Vol. 5, No. 1, Special Issue on Metaphor, (Autumn, 1978), pp. 161-162.
- NORBERT WIENER, *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, John Wiley & Sons, New York, 1948.

### RIASSUNTO

Presentiamo alcune note sul ruolo dei modelli, analogie e metafore nella crescita del pensiero scientifico da Galileo al XX secolo, con particolare riferimento ai contributi di James Clerk Maxwell.

### ABSTRACT

We present some notes on the role of models, analogies, and metaphors in the growth of scientific thought from Galileo to the twentieth century, with particular reference to James Clerk Maxwell's works.