



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea in Fisica

Tesi di Laurea

L’Analogia nella Storia della Fisica e il suo possibile uso nella Didattica

Relatore

Prof. Giulio Peruzzi

Laureando

Marco Ballan

Anno Accademico 2022/2023

Indice

Prologo	3
1 Introduzione	5
2 Sul significato di spiegazione	7
3 Analogie e giochi di parole	11
4 Analogie fisiche e metafore scientifiche	15
5 Alcuni esempi	19
5.1 Moto rettilineo vs moto rotatorio	19
5.2 Dennis la peste: un ragazzino “pieno di energie”	20
5.3 Le differenze	22
6 Facile come contare	23
7 Norman il secchione e la Regina Vittoria	27
8 Conclusioni	33
9 Riferimenti Bibliografici	35

Prologo

"Fry: Beh, di solito arriva qualcuno che ti propone un piano complicato e poi te lo spiega con una semplice analogia.

Leela: Mmm, se riuscissimo a deviare l'energia del propulsore attraverso le armi e a riconfigurarle in base alla frequenza di Mellvar, potremmo sovraccaricare la sua struttura elettroquantica!

Bender: Sarebbe come mettere aria in un palloncino!

*Fry: Hai ragione: è così semplice!"*¹

¹Matt Groening, *Futurama*, Stagione 4, Episodio 11, *Where No Fan Has Gone Before*, Prima tv USA 21 Aprile 2002. (Versione it. *Così fan tutti*, Prima tv Italia 11 Settembre 2003).

Capitolo 1

Introduzione

Analogia e metafora sono divenute ormai di uso comune in fisica (come anche negli altri campi del sapere scientifico) e rappresentano, oggi come ieri, potenti strumenti dell'indagine conoscitiva oltre che ottimi mezzi per veicolare il contenuto, alle volte anche piuttosto criptico, di alcuni concetti chiave. Diversi sono gli usi che si possono fare di strumenti così versatili, ma possiamo identificare tre ambiti principali in cui questi risultino particolarmente efficaci.

Il primo coincide con il processo dell'indagine conoscitiva: di fronte a nuovi fenomeni della natura il fisico trova un aiuto, alle volte sostanziale, nella formalizzazione dei meccanismi che ne descrivono il funzionamento. Spinto da una eventuale analogia (quando non da una vera e propria identità formale) presente nelle equazioni che regolano due fenomeni anche completamente diversi, questo instaura una sorta di “mappa” tra “domini concettuali diversi”. Così facendo non è raro che possa ottenere un nuovo punto di vista su di un fenomeno poco noto, illuminato dalle conoscenze già possedute sul fenomeno ad esso analogo. A questo punto può dunque sviluppare più efficacemente ulteriori indagini, eseguendo esperimenti e testando la validità del modello ottenuto per via analogica.

Il secondo si presenta nel processo di apprendimento e quindi didattico: sia che si tratti di un insegnante che voglia trasmettere in maniera più efficace un concetto fino a quel momento estraneo ai propri studenti, sia che si tratti invece di qualcuno (studente, insegnante, entusiasta della materia o profano) che voglia meglio capire qualcosa di nuovo, la costruzione di analogie e metafore può rendere più facile un primo accesso a ciò che alle volte potrebbe risultare anche piuttosto difficile e problematico. In questo caso, la costruzione di parallelismi mirati tra “ciò che è ben noto e ciò che è meno noto” ha la funzione di sostegno del processo di apprendimento. Ciò avviene spesso rendendo più semplice la memorizzazione e la comprensione profonda di ciò che potrebbe risultare altrimenti incomprensibile se non dopo sforzi non indifferenti (e alle volte anche demotivanti), costituendo una vera e propria “impalcatura” sulla quale costruire la conoscenza della novità. La vera efficacia pedagogica in tale processo sta però nel riuscire a costruire delle solide conoscenze, che riescano a reggersi salde nella mente del destinatario anche una volta che tale impalcatura venga rimossa.

Il terzo ed ultimo degli ambiti presi in esame è quello espositivo e divulgativo: la scienza ha la necessità e la responsabilità di riuscire a comunicare in maniera efficace i propri risultati anche al grande pubblico, oltre che agli “addetti ai lavori”. Questo può essere utile principalmente per due ragioni: la prima sta nel dimostrare i risultati ottenuti e l'importanza della ricerca scientifica ad enti, pubblici o privati che siano, che la debbano finanziare; la seconda sta nell'educare e condividere i propri risultati con il resto dell'umanità, al duplice scopo di renderla partecipe di quelle rivoluzioni che influenzano direttamente le loro vite tramite i progressi tecnologici che ne sono derivati e di ispirare le generazioni future a proseguire il lavoro di coloro che le hanno precedute. Spesso però accade che alcuni concetti possano essere talmente distanti da quanto osserviamo o sperimentiamo intorno a noi da risultare completamente astratti ed incomprensibili, soprattutto a chi non possiede un'educazione scientifica adeguata. Ed è proprio in questi casi che il linguaggio analogico risplende,

illuminando l'altrimenti incomprensibile linguaggio scientifico (spesso matematico) con la chiarezza che deriva dall'utilizzo di immagini a noi tutti familiari e ben note.

La presente tesi vuole discutere ciascuno di questi tre ambiti tramite un breve approfondimento di tre figure di spicco in ciascuno di essi, nell'ordine: James Clerk Maxwell, Richard P. Feynman e Carl Sagan. Come si vedrà (e come è facile intuire), tali aspetti relativi all'indagine conoscitiva, alla didattica e all'accessibilità risultano spesso intrecciati nelle opere di questi grandi personaggi.

Forse vale la pena discutere le varie questioni con gradualità, partendo da alcune definizioni di carattere generale che possano permettere di affrontare la questione con metodo.

Ciò che fino ad ora accomuna i tre contesti operativi nominati è il fatto di avere la necessità di dare una spiegazione di un particolare fenomeno naturale a qualcuno.

Capitolo 2

Sul significato di spiegazione

Partiamo dunque dal principio, tentando di capire che cosa significhi “spiegare” qualcosa.

Sebbene in un contesto differente, nello specifico quello relativo all’indagine su che cosa significhi per una teoria scientifica “spiegare” i dati sperimentali di cui voglia rendere conto, Mary B. Hesse nel suo libro “Modelli e analogie nella scienza”, pone un quesito interessante a riguardo:

“ “Spiegazione” implica la comprensione di ciò che è nuovo e non familiare nei termini di ciò che è familiare e intellegibile o implica soltanto una correlazione di dati che segue altri criteri, quali l’economicità matematica o l’eleganza?”¹

Come si vede vengono proposti dalla Hesse due significati diversi, messi per altro in contrapposizione.

Con il primo viene proposta l’operazione di “mettere in relazione” la novità indagata con le conoscenze già acquisite in precedenza. Questo può assumere un significato differente, anche se ancora valido, nel momento in cui volessimo estendere tale proposizione dal campo dell’indagine scientifica a quello dell’apprendimento. Nel contesto dell’indagine, spiegare un nuovo fenomeno vorrebbe dire, con questo primo approccio, trovare dei parallelismi con altri fenomeni già ben formalizzati. Ciò apre la possibilità di verificare, attraverso gli esperimenti, se ad esempio le equazioni ricavate nel caso già noto abbiano potere predittivo per il nuovo fenomeno preso in esame, dimostrandosi dunque valide anche nella descrizione di quest’ultimo o dando almeno un valido punto di partenza dal quale sviluppare un modello più mirato alla sua descrizione. Nel contesto dell’apprendimento invece, tale relazione tra noto e non, avrebbe lo scopo di evidenziare come non sia necessario acquisire un nuovo impianto nozionistico nello studiare la novità introdotta, nel momento in cui questa abbia un’affinità (quando non una vera e propria identità) formale con altre conoscenze già ben acquisite. In quest’ultimo caso potrebbe risultare utile notare la relazione tra i diversi enti e le diverse quantità che compongono la descrizione dei due diversi fenomeni, identificando in una sorta di corrispondenza biunivoca quali quantità proprie del primo debbano essere sostituite a quelle caratteristiche del secondo per mantenere l’identità formale delle equazioni o del modello descrittivo.

Il secondo significato proposto potrebbe essere invece inteso come quello relativo al trovare un modello teorico che riesca a predire e rappresentare i dati raccolti dagli esperimenti, basandosi solo su questi ultimi e sulla pura logica matematica, evitando dunque di ricorrere ad altri strumenti razionali quali appunto potrebbero essere le analogie. Volendo proseguire l’estensione al campo dell’apprendimento, questo secondo modo di intendere una “spiegazione” potrebbe essere identificato con il presentare i dati ottenuti dalle osservazioni sperimentali (quando presenti), le proprietà appartenenti al sistema in esame eventualmente inferite da questi e/o dai postulati utilizzati nel processo di modellizzazione, i grafici che mettono in corrispondenza tali dati con il modello matematico predittivo ed infine l’apparato logico-matematico utilizzato per ottenere le equazioni costitutive di tale modello. Il tutto cercando di

¹Mary b. Hesse, *Models and Analogies in Science*, University Notre Dame Press, Notre Dame, Indiana 1970. Introduzione e primi tre capitoli originariamente pubblicati in un volume omonimo nel 1963 da Sheed and Ward Ltd., Londra 1963. (Tr. it. *Modelli e analogie nella scienza*, a cura di Cristina Bicchieri, G. Feltrinelli Editore, Milano 1980).

utilizzare un linguaggio matematico il più possibile essenziale e riassuntivo, in favore dell' "economicità matematica" sopra citata.

Ma questi due modi di spiegare la realtà fisica sono davvero da intendersi come separati o addirittura in contrapposizione?

Una risposta a quest'ultima domanda potremmo trovarla in un importante articolo che James Clerk Maxwell scrive tra il 1855 ed il 1856, dal titolo *On Faraday's lines of force*. Nel testo, che tratta "lo stato attuale della scienza dell'elettricità" ² si legge:

"In order therefore to appreciate the requirements of the science, the student must make himself familiar with a considerable body of most intricate mathematics, the mere retention of which in the memory materially interferes with further progress. The first process therefore in the effectual study of the science must be one of simplification and reduction of the results of previous investigations to a form in which the mind can grasp them. The results of this simplification may take the form of a purely mathematical formula or of a physical hypothesis. In the first case we entirely lose sight of the phenomena to be explained; and though we may trace out the consequences of given laws, we can never obtain more extended views of the connexions of the subject. If on the other hand, we adopt a physical hypothesis, we can see the phenomena only through a medium, and are liable to that blindness to facts and rashness in assumption which a partial explanation encourages. We must therefore discover some method of investigation which allows the mind at every step to lay hold of a clear physical conception, without being committed to any theory founded on the physical science from which that conception is borrowed, so that it is neither drawn aside from the subject in pursuit of analytical subtleties, nor carried beyond the truth by a favourite hypothesis. In order to obtain physical ideas without adopting a physical theory we must make ourselves familiar with the existence of physical analogies. By a physical analogy I mean that partial similarity between the laws of one science and those of another which makes each of them illustrate the other. Thus all the mathematical sciences are founded on relations between physical laws and laws of numbers, so that the aim of exact science is to reduce the problems of nature to the determination of quantities by operations with numbers. Passing from the most universal of all analogies to a very partial one, we find the same resemblance in mathematical form between two different phenomena giving rise to a physical theory (of light)". ³

Potremmo dire che in questo estratto Maxwell sintetizza i due significati di "spiegazione" fin qui introdotti. Nella sua visione la "correlazione di dati" in virtù dell' "economicità matematica" proposti dalla Hesse, sono intesi come un primo passo necessario al fine di non correre il rischio di smarrirsi nel "considerevole ed intricato corpus matematico" necessario alla trattazione del fenomeno fisico. Il risultato di questa "riduzione" preliminare dei "risultati ottenuti in indagini precedenti" ad una forma che "la mente possa afferrare" potrebbe essere secondo Maxwell una formula matematica o un'ipotesi fisica. Tuttavia giunti a questo punto la conoscenza ottenuta si troverebbe ancora in uno stadio embrionale. Se da un lato infatti la sola formulazione matematica fa "perdere completamente di vista il fenomeno che volevamo spiegare", dall'altro l'ipotesi fisica "permette di vedere il fenomeno fisico attraverso un unico mezzo", esponendo alla "cecità di fronte ai fatti" e all' "avventatezza nel saltare a conclusioni" affrettate "che una spiegazione parziale incoraggia".

La soluzione per progredire nell'indagine conoscitiva sta secondo Maxwell proprio in ciò che la Hesse identifica con "la comprensione di ciò che è nuovo e non familiare nei termini di ciò che è familiare e intellegibile". Infatti prosegue Maxwell, il passo successivo all'opera di "riduzione matematica" sta nello "scoprire un metodo investigativo che permetta alla mente ad ogni passo" conoscitivo "di prendere possesso di una chiara concezione fisica, senza essere vincolati ad alcuna teoria presente nella scienza fisica da cui questa viene presa in prestito, così che non possa né essere distolta dalla materia da sottigliezze analitiche, né portata oltre la verità da un'ipotesi favorita."

²James Clerk Maxwell, *On Faraday's lines of force*, tratto da: *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, Vol. X, Part I., 1855.

³Cfr. Ibid.

Ed è qui che Maxwell introduce “l’analogia fisica” come mezzo conoscitivo, intesa come “parziale similitudine tra le leggi di una scienza e quelle di un’altra, che permette a ciascuna di illustrare l’altra” e in grado di produrre quelle che lui chiama “idee fisiche”. Queste consistono a loro volta di quei concetti liberamente “presi in prestito” da altri campi del sapere al fine di poter ottenere una visione più ampia della realtà, senza al contempo essere vincolati alle ipotesi di lavoro che valgono là dove tali idee vengono formulate.

Capitolo 3

Analogie e giochi di parole

A dire il vero, il primo dei due significati dello “spiegare” chiamati in causa dalla Hesse, quello relativo al comprendere “ciò che è nuovo e non familiare nei termini di ciò che è familiare e intellegibile”¹, fa parte del dibattito epistemologico da lungo tempo. Come viene infatti espresso anche da Katharine Park, Lorraine J. Daston e Peter L. Galison nella prefazione al loro *Bacon, Galileo, and Descartes on Imagination and Analogy*:

*“From a seventeenth-century standpoint,[...] Models and analogies were also linked by a common function: to relate the better known to the less known or the sensible to the insensible.”*²

Questo è dunque il ruolo chiave che viene attribuito all’analogia nella tradizione scientifica fin dal diciassettesimo secolo ed è proprio da questo ruolo, di tramite tra familiare e non, che deriva la sua potenza come strumento conoscitivo, comunicativo e didattico.

Nonostante fosse dunque inserito in una tradizione a lui precedente e che già si interrogava sulla validità epistemologica e sull’utilità pratica di questi strumenti razionali, ci concentreremo in questa sezione sulla figura di Maxwell e su come lui interpretasse tali costrutti. Questa scelta viene fatta principalmente in virtù del fatto che Maxwell è forse una delle prime figure a fare un uso estensivo di analogie e metafore scientifiche nel suo lavoro di ricercatore e di insegnante. Inoltre con la sua opera egli riuscì a spostare l’attenzione, senza tuttavia ignorarlo, dall’interrogativo relativo al fatto che queste potessero o meno essere strumenti razionali epistemologicamente validi, concentrandosi con spirito pragmatico sui risultati che il loro utilizzo permette di ottenere.

Seguiremo questo suo stesso approccio nelle pagine che seguono.

A dire il vero, quanto Maxwell sosteneva potrebbe oggi sembrare poco originale, tuttavia vanno a lui riconosciuti almeno due meriti. Come infatti afferma Joseph Turner nel suo *Maxwell on the Method of Physical Analogy*:

*“Much of what he said has been said by others, but he did say it early and rather well”.*³

L’epoca in cui vive Maxwell è infatti fortemente caratterizzata dal dibattito epistemologico relativo alla validità dell’immaginazione, dell’analogia e della metafora come strumenti conoscitivi.

Come scrive Giulio Peruzzi nel suo *Vortici e colori*:

¹Mary b. Hesse, *Models and Analogies in Science*, University Notre Dame Press, Notre Dame, Indiana 1970. Introduzione e primi tre capitoli originariamente pubblicati in un volume omonimo nel 1963 da Sheed and Ward Ltd., Londra 1963. (Tr. it. *Modelli e analogie nella scienza*, a cura di Cristina Bicchieri, G. Feltrinelli Editore, Milano 1980).

²Katharine Park, Lorraine J. Daston e Peter L. Galison, *Bacon, Galileo, and Descartes on Imagination and Analogy*, The University of Chicago Press on behalf of The History of Science Society, Isis, Jun., 1984, Vol. 75, No. 2 (Jun., 1984), pp. 287-289.

³Joseph Turner, “Maxwell on the Method of Physical Analogy”, *The British Journal for the Philosophy of Science* on behalf of The British Society for the Philosophy of Science, Vol. 6, No. 23, pp. 226-238, Oxford University Press Nov. 1955.

“La riflessione sul significato e sul ruolo dell’immaginazione nella scienza è ricorrente nel corso del XIX secolo. Per esempio, nella prolusione tenuta il 30 novembre del 1859 alla Royal Society dall’allora presidente Sir Benjamin Collins Brodie si legge: ⁴

Le indagini fisiche c’insegnano ben più di qualunque altra indagine il reale valore e il corretto uso dell’Immaginazione - di quella meravigliosa facoltà, che, lasciata vagare senza controllo, ci porta a perderci in lande di perplessità ed errori, in terre di brume e tenebre; ma che, opportunamente controllata dall’esperienza e dalla riflessione, diventa il più nobile attributo dell’uomo: la fonte del genio poetico, lo strumento delle scoperte nella Scienza, senza l’aiuto del quale Newton non avrebbe mai inventato le flussioni, Davy non avrebbe scomposto le terre e gli alcali, Colombo non avrebbe scoperto un altro continente. Nello sviluppo delle scienze fisiche, l’immaginazione fornisce l’ipotesi che permette di superare l’abisso che separa il noto dall’ignoto. Può essere solo un’illusione; può provare di essere una realtà. Ma siccome queste scienze riguardano fatti che possono essere resi percepibili, se non direttamente almeno indirettamente, dai sensi esterni, esse ci offrono peculiari strumenti, ben al di là di ciò che esiste in altri dipartimenti della conoscenza, di verificare l’accuratezza delle prospettive che l’immaginazione ha suggerito, in modo tale che possiamo allo stesso tempo determinare quando è stata troppo digressiva e, se lo è stata, richiamarla indietro al suo giusto posto.” ⁵

Inoltre, citando ancora Peruzzi:

“Non esiste nessuna sua ricerca, per quanto dedicata all’indagine della più specifica questione in un particolarissimo settore, che Maxwell non metta in relazione con le ricerche da lui portate avanti in altri settori, anche quelli apparentemente più distanti. A ben vedere è proprio questa sua capacità di individuare connessioni tra settori molto diversi tra loro, e di utilizzare risultati particolari ottenuti in un certo ambito generalizzandoli a contesti diversi, che costituisce uno dei connotati della sua opera e una delle cifre del suo successo scientifico.” ⁶

Come si può notare dunque, Maxwell assume il ruolo di pioniere nell’uso che fa degli strumenti sopra citati ed una figura di riferimento fondamentale se si vuol parlare dell’uso di questi in ambito scientifico.

Ma cos’è dunque un’analogia?

In che modo questa può tornare utile in ambito educativo e conoscitivo?

Una risposta alla prima domanda viene data da Maxwell in un intervento, dal titolo *Esistono analogie reali in natura?*, tenuto nel febbraio del 1856 al “Club degli Apostoli”. Nell’incipit semiserio del testo⁷ *“l’analogia viene definita come il reciproco del “gioco di parole”: nel gioco di parole due verità si dissimulano in un’unica espressione, mentre nell’analogia una medesima verità emerge da due diverse espressioni.” ⁸*

Tuttavia il titolo scelto da Maxwell pone un ulteriore interrogativo, la cui importanza non deve essere sottovalutata. Se infatti si vuole adottare l’analogia come strumento didattico, oltre che conoscitivo, bisogna fare attenzione a che questa non diventi un’arma a doppio taglio. Di poca utilità, se non addirittura dannoso, sarebbe infatti un metodo di insegnamento o di indagine che producesse come risultato il fraintendimento della realtà, allontanando studenti e ricercatori dalla comprensione della verità scientifica e sostituendo questa con una sorta di chimera fatta di immagini pittoriche facili da assimilare ma dal contenuto errato, quando non del tutto assente. Interrogandosi sulla sua utilità come mezzo conoscitivo, oltre che comunicativo, Maxwell fa dunque un’osservazione importante.

⁴Giulio Peruzzi, *Vortici e colori - Alle origini dell’opera di James Clerk Maxwell*, Edizioni Dedalo, Bari 2010, p. 13-14.

⁵Cfr. Ibid. Cfr. B.C. BRODIE, *Address delivered before the Royal Society*, «Proceedings of the Royal Society of London», 10: 161-178, 1859-1860 (in particolare pp. 165-166).

⁶Cfr. Ivi p. 8.

⁷Cfr. Giulio Peruzzi, *Vortici e colori - Alle origini dell’opera di James Clerk Maxwell*, Edizioni Dedalo, Bari 2010, p. 15.

⁸Cfr. Ibid. Il testo è stato pubblicato per la prima volta in L. Campell, W. Garnett, *The life of James Clerk Maxwell*, Macmillan, Londra 1882, pp. 235-244 e ripubblicato in P.Harman (a cura di), *The scientific letters and papers of James Clerk Maxwell (1846-1862)*, vol. I, Cambridge University Press, Cambridge 1990, pp. 376-383. In queste note si fa riferimento ai numeri di pagina della prima pubblicazione.

A tal proposito Campbell e Garnett, nel loro *The life of James Clerk Maxwell*, analizzando l'approccio maxwelliano alla questione affermano:

*“È certo che le analogie si presentino alla mente umana e che non siano possibili senza che una mente umana le riconosca. La questione è se le relazioni che le analogie ci permettono di cogliere tra ambiti diversi della natura, in cui esistono leggi analoghe, svelino una reale interdipendenza, o se invece queste relazioni siano solo apparenti e dovute alle condizioni necessarie del pensiero umano.”*⁹

Come sottolinea ancora Giulio Peruzzi nel suo *Vortici e colori*:

*“La conclusione cui giunge Maxwell è che l'analogia è un fondamentale strumento di crescita della conoscenza, e questo specialmente perché svela relazioni simili in ambiti diversi senza impegnarci a considerarli identici. Questo non è un limite ma una delle ragioni della sua efficacia euristica.”*¹⁰

Ecco che si palesa quindi la risposta al secondo degli interrogativi inizialmente posti. L'efficacia e l'utilità conoscitivo-educativa, tanto per gli studenti quanto per gli insegnanti, di quella costruzione del pensiero umano che va sotto il nome di analogia sta nell'evidenziare le relazioni esistenti tra diversi insiemi di oggetti. Come infatti scrive Maxwell:

*“Ogni volta che [gli uomini] vedono relazioni tra due cose che ben conoscono, e pensano di vedere che ci deve essere una relazione simile tra cose meno note, ragionano dall'uno all'altro [gruppo di cose]. Questo suppone che per quanto coppie di cose possano differire ampiamente tra loro, la relazione in una coppia può essere la stessa nell'altra. Ora, siccome dal punto di vista scientifico la relazione è la cosa più importante da conoscere, la conoscenza di una cosa ci conduce molto avanti nella conoscenza di un'altra.”*¹¹

⁹Cfr. Ibid.

¹⁰Cfr. Giulio Peruzzi, *op. cit.*, p. 16.

¹¹Cfr. Ibid., a sua volta ripreso da L. Campbell, W. Garnett, *The life of James Clerk Maxwell*, *op. cit.*, pp. 243-244.

Capitolo 4

Analogie fisiche e metafore scientifiche

Maxwell è anche il primo a parlare di “Analogia Fisica” e di “Metafora Scientifica”, la seconda utilizzata come sinonimo della prima, rispettivamente nel già citato articolo dal titolo *On Faraday's lines of force* e in un intervento tenuto in qualità di presidente delle sezioni di Matematica e Fisica ad un convegno della British Association nel settembre del 1870 a Liverpool.¹

In riferimento all'Analogia Fisica Maxwell afferma che *“non è altro che una somiglianza parziale tra le leggi relative a un certo settore della scienza e quelle relative ad un altro, una somiglianza che permette a ognuno dei due di essere un'illustrazione dell'altro.”*²

Per quanto riguarda la Metafora Scientifica invece, Maxwell scrive:

*“La figura del linguaggio o del pensiero tramite la quale trasferiamo il linguaggio e le idee di una scienza familiare a una (scienza) con la quale abbiamo minore familiarità può essere chiamata Metafora Scientifica. [...] La caratteristica di un sistema di metafore veramente scientifico è che ogni termine nel suo uso metaforico mantiene con gli altri termini del sistema tutte le relazioni formali che aveva nel suo uso originario. Il metodo è allora genuinamente scientifico - cioè non solo un prodotto della scienza, ma anche capace a sua volta di generare scienza.”*³

La somiglianza, anche se parziale o puramente formale, è utile però in quanto permette di estendere la conoscenza in un campo ancora poco esplorato suggerendo “inchieste teoriche e sperimentali” con cui indagare più a fondo il fenomeno. L'utilità di tale ausilio sta proprio nel fatto che queste “inchieste” non si sarebbero potute formulare senza notare tale “somiglianza parziale”. È infatti quest'ultima a suggerire, per un fenomeno ancora ignoto, la possibile esistenza di proprietà non ancora osservate.

A questo punto però bisogna fare ulteriore attenzione a non confondere due processi razionali ben diversi tra loro, come bene illustra Joseph Turner nel suo *Maxwell on the Method of Physical Analogy*. Discutendo proprio dell'uso che Maxwell fa dell'Analogia Fisica, Turner scrive:

“By way of conclusion, it is well to distinguish between the method of physical analogy and the familiar argument by analogy. The argument by analogy as applied to science looks something like this. Some set of phenomena A is known to be like a set of phenomena B with respect to properties x, y, and z. And set of phenomena A, in addition, is known to possess property w. Therefore, so the argument runs, B must also possess w. The argument by analogy is not deductive; the conclusion does not necessarily follow from the premises. There is a certain probability, however, that B also possesses w. The measurement of this probability is investigated in inductive logic. The method of physical analogy differs in an important way from the argument by analogy. Again the set of phenomena A is like the set of phenomena B with respect to properties x, y, and z. And again A, in addition, is known to possess w. Now, does B also possess w? The question comes from the analogy, but the answer must

¹Cfr. Ivi, pp.17-18.

²Cfr. Ibid., con riferimento a W. Niven (a cura di), *The scientific papers of James Clerk Maxwell (1846-1855)*, vol. I, Cambridge University Press, Cambridge 1890, pp. 155-229 (ristampa Dover, New York 1952-1965-2003).

³Cfr. ibid., con riferimento a W. Niven (a cura di), *The scientific papers of James Clerk Maxwell (1866-1879)*, vol. II, cit., p. 227.

*come from further theoretical and experimental investigation. It is not a matter of arguing from old premises, but of establishing new ones. Success consists either in finding evidence that B does possess w or that B does not possess w. In the first case, the analogy is made more complete; in the second case, the exact limits of the analogy are discovered. Both procedures are 'science-forming', both are parts of the method of physical analogy."*⁴

I due processi vengono da Turner definiti "argomento per analogia" e "metodo dell'Analogia Fisica". Il distinguo tra questi, più che a livello lessicale, è molto importante dal punto di vista concettuale.

Le premesse sono le medesime per entrambi: si prendono in esame due fenomeni diversi A e B che condividono le proprietà x, y e z. Inoltre si osserva che il fenomeno A possiede una proprietà w. Il modo di procedere è da qui profondamente diverso: a partire dall'analogia tra le proprietà di base, l'argomento per analogia *inferisce* che anche il fenomeno B possieda la proprietà w, mentre il metodo dell'Analogia Fisica lo *ipotizza*.

La differenza è dunque sostanziale: il primo può risultare fondamentalmente uno strumento retorico (anche se Turner ammette in effetti la possibilità che l'argomento per analogia abbia una certa probabilità di fare anche previsioni corrette), che potrebbe dunque risultare pericoloso in campo scientifico in quanto incarna quella che Maxwell probabilmente definirebbe "avventatezza nel saltare a conclusioni", il secondo rappresenta invece proprio il punto di forza di ciò che cercavamo di definire.

L'Analogia Fisica è infatti utile dal momento che permette la formulazione di teorie ed ipotesi, spesso verificabili sperimentalmente, alle quali non si sarebbe probabilmente giunti in assenza di essa.

In questo senso diventa dunque generatrice di nuova scienza. Come scrive ancora Turner infatti:

*"In the course of his writings, Maxwell distinguished, in effect, two ways in which analogy generated science. One, the detection of an analogy made it possible to transfer the solution to a mathematical problem in one branch of physics to another branch of physics. Two, the attempt to make an analogy more complete served to direct entirely new theoretical and experimental inquiries."*⁵

Analogia Fisica e Metafora Scientifica vengono dunque elevati al rango di strumenti conoscitivi da Maxwell, che ne farà del resto largo uso nelle sue opere di ricerca, stabilendo alcuni metodi di lavoro che gli permetteranno, in alcune occasioni, di sopperire alle mancanze della conoscenza dell'epoca, portando ad un'evoluzione del sapere scientifico. Tuttavia questo ragionare per analogie ha anche dei limiti. Come ci fa notare ancora Turner:

*"'On Faraday's Lines of Force' was written under the handicap of a language too vague for its precise ideas. The fluid picture in electrostatics was suggestive, but, since the analogy is incomplete, it was also misleading. Here for students of semantics is a good illustration of the 'tyranny of words', a phrase Maxwell himself employed upon occasion. A new language was needed to express the similarity between them. Vector analysis, and in particular, the analysis of vector fields, filled this need."*⁶

Dunque in un processo squisitamente scientifico fatto di tentativi ed errori, in cui il superfluo viene via via identificato ed eliminato mantenendo invece ciò che di buono il metodo impiegato permette di introdurre, Maxwell riesce via via a riconoscere relazioni utili tra il campo della fluidodinamica e quello che diverrà noto, dopo il suo fondamentale contributo, come elettromagnetismo. Nel raffinare il metodo, Maxwell non manca di introdurre terminologie nuove e di estrema efficacia nell'indicare alle menti di coloro che verranno dopo di lui le relazioni analogiche da lui notate tra queste due classi di fenomeni fisici diversi. Come infatti non manca di sottolineare ancora una volta Turner:

"Maxwell himself made no systematic use of vectorial methods. However, in 'Electricity and Magnetism', published in 1873, he stated some of his results in a vectorial notation. And in a paper 'On the Mathematical Classification of Physical Quantities', published in 1871, he suggested some names, including 'curl', for the various operations with Hamilton's differential operator. Maxwell's names were designed to associate certain physical ideas with the mathematical operations. The paper

⁴Joseph Turner - "Maxwell on the Method of Physical Analogy", *The British Journal for the Philosophy of Science*, Nov., 1955, Vol. 6, No. 23 pag. 238.

⁵Cfr. Ivi, pag. 234.

⁶Cfr. Ivi, pag. 232.

*and also 'Electricity and Magnetism' foresaw the extensive use of vectorial methods in the analysis of three-dimensional problems in physics. Maxwell regarded vector analysis as the natural language of electromagnetism and of such comparable disciplines as hydrodynamics and elasticity."*⁷

Alcune di queste terminologie sono ancora oggi in uso a grande beneficio di chiunque si dedichi allo studio dei campi sopracitati. Queste hanno infatti la capacità di eseguire una grande opera di sintesi non solo, come dice Turner, "associando certe idee fisiche alle operazioni matematiche" ma anche sfruttando la sfera del linguaggio per dare un'immagine vivida di cosa tali operazioni o idee fisiche rappresentino.

Nell'estratto sopra riportato, Turner cita ad esempio la parola "curl", associata all'operazione matematica che consiste nell'eseguire il prodotto vettore (o esterno) tra l'operatore Nabla (avente in ogni sua entrata l'operazione di derivata parziale rispetto alla rispettiva coordinata) ed un campo vettoriale, punto per punto dello spazio. Ebbene, il vettore ottenuto come risultato indica quanto il campo vettoriale "stia curvando" in quel punto. In particolare il suo modulo determina l'intensità con cui tale campo si stia "avvolgendo" attorno a quel punto (rappresentabile con il momento angolare di un oggetto che verrebbe messo in rotazione dal campo vettoriale presente in quel punto), la sua direzione ed il verso indicano appunto in quale direzione e verso tutto ciò stia avvenendo.

In italiano "curl" si può tradurre con il verbo "arricciare" ("to curl") o con il sostantivo "ricciolo". Il nome che l'operatore assume in italiano è però "rotore". Tuttavia queste parole appartengono tutte allo stesso campo semantico e rimandano all'immagine pittorica di qualcosa che si avvolga, che si attorcigli, attorno a qualcos'altro, che è esattamente ciò che l'operazione matematica rappresenta a livello fisico.

Ecco dunque che con il solo attribuire un particolare nome ad un'operazione matematica astratta, si possono evocare immagini rappresentative del fenomeno fisico descritto dalle equazioni in cui essa compaia. Siccome poi, come abbiamo visto, le equazioni possono essere uguali in forma anche in fenomeni fisici completamente differenti, la stessa immagine mentale può divenire rappresentativa di situazioni fisiche diverse, permettendo così di stabilire, anche a livello intuitivo, un'eventuale analogia tra questi. Con tutti i vantaggi che questa può apportare ad ogni livello: sia esso conoscitivo, comunicativo o didattico.

⁷Cfr. Ivi, pag. 233.

Capitolo 5

Alcuni esempi

In questa sezione ci concentreremo in particolar modo sull'uso dell'analogia come strumento didattico e, alla luce di quanto sopra riportato, mostreremo due esempi in cui essa mostra il suo potenziale in tale ambito. La natura di questi esempi è tuttavia leggermente diversa e sarà più chiara in seguito. Come vedremo infatti, il primo incarna un metodo tradizionale e particolarmente diffuso con cui si può dare una spiegazione di un fenomeno semplice quale la dinamica rotatoria in analogia con quella traslatoria, solitamente percepita come più familiare. Il secondo invece si propone in maniera forse meno ortodossa, attraverso una storiella dai toni leggeri ma ben pensata per un efficace raggiungimento dei suoi scopi, di presentare in maniera chiara e precisa un concetto di importanza fondamentale in fisica, ovvero la conservazione dell'energia.

5.1 Moto rettilineo vs moto rotatorio

Un primo approccio alla dinamica traslatoria del punto materiale (ovvero dotato di massa) si ha solitamente nel corso del primo anno di studi in fisica, sia che questo avvenga alle scuole medie superiori o all'università. Gli studenti imparano concetti importanti, necessari e sufficienti ad una semplice descrizione del moto di un corpo nello spazio, quali: posizione, tempo, velocità e accelerazione. Assimilati questi concetti, gli studenti vengono successivamente introdotti allo studio dei tre principi della dinamica, in questo esempio prendiamo in esame il secondo.

Entro i propri limiti di applicabilità, che sono:

- i. scegliere un sistema di riferimento in cui vale il principio di inerzia, o primo principio della dinamica, per la descrizione del moto;
- ii. descrivere moti che avvengono con velocità piccole rispetto a quella della luce;
- iii. descrivere il moto di corpi grandi rispetto alle scale atomiche;

il secondo principio della dinamica afferma che se ad un corpo dotato di massa (indicata con m) viene applicata una forza (indicata con F), esso risente di un'accelerazione (detta a) tale da soddisfare la seguente relazione matematica:

$$F = ma \tag{5.1}$$

Tale principio stabilisce dunque un'importante *relazione* tra le quantità in gioco, ovvero quella di *causa-effetto*. La causa è la forza che, applicata ad un corpo materiale, produce su di esso l'effetto accelerazione, innescando dunque il moto o modificandone uno già in essere. Il ruolo della massa è infine quello di *opporsi al moto*, facendovi resistenza. A parità di forza applicata infatti, tanto più grande è la massa del corpo a cui questa venga applicata, tanto più piccola sarà l'accelerazione prodotta su questo.

Ecco dunque che le forze vengono presentate come *cause del moto di traslazione*.

A questo punto solitamente si passa allo studio dei moti rotatori ed è qui che il processo analogico entra dunque in gioco. Possono essere ora introdotti alcuni nuovi concetti, quali quello di Momento Torcente o anche detto Momento di una Forza (indicato con M), quello di Momento d’Inerzia (indicato con I) e quello di Accelerazione Angolare (indicata con α). Si può dunque presentare l’equazione che lega tali quantità, ovvero:

$$M = I\alpha \quad (5.2)$$

A questo punto, anche senza definire le singole quantità appena presentate si può indicare, in totale analogia con il secondo principio della dinamica, quale sia la *relazione* tra queste e quali siano i loro corrispettivi nell’equazione (5.1).

Il momento torcente M viene indicato come colui che gioca il ruolo che nella (5.1) era proprio della forza F , ovvero quello di *causa del moto*. L’accelerazione angolare α sostituisce quella lineare a come *effetto* della presenza stavolta della nuova causa “momento torcente”. Il momento d’inerzia I svolge ora il ruolo che prima apparteneva alla massa m , ovvero quello di *opporsi al moto*, facendovi resistenza. Nelle due equazioni fin qui presentate dunque non è solo la struttura matematica

$$A = BC \quad (5.3)$$

a presentarsi identica, ma anche le relazioni tra le quantità in gioco sono le stesse:

$$\begin{aligned} \text{causa} : F &\longleftrightarrow M \\ \text{effetto} : a &\longleftrightarrow \alpha \\ \text{resistenza} : m &\longleftrightarrow I \end{aligned}$$

Tale esempio non vanta certo una spiccata originalità, dal momento che viene utilizzato da generazioni per illustrare tali concetti agli studenti, tuttavia riassume in maniera piuttosto efficace tutte le caratteristiche fin qui elencate che fanno dell’analogia un potente strumento conoscitivo ed educativo. Vi è infatti una “*somiglianza parziale tra leggi*”, o se vogliamo in questo caso una vera e propria identità strutturale, che permette a ciascuno dei due fenomeni di essere “*un’illustrazione dell’altro*”. Inoltre, come mostrato nei parallelismi eseguiti, si può vedere come “*ogni termine nel suo uso metaforico mantiene con gli altri termini del sistema tutte le relazioni formali che aveva nel suo uso originario*”, permettendo così agli studenti freschi di dinamica traslatoria che si affacciano per la prima volta a quella rotatoria una “*comprensione di ciò che è nuovo e non familiare nei termini di ciò che è familiare e intellegibile*”.

5.2 Dennis la peste: un ragazzino “pieno di energie”

Nel testo dal titolo “*The Feynman Lectures on Physics*”, scritto da Richard P. Feynman sulla base di un corso di lezioni di introduzione alla fisica da lui tenute tra il 1962 ed il 1963 all’Istituto di Tecnologia della California (Caltech) e rivolto agli studenti del primo biennio di studi universitari, nel capitolo che introduce la conservazione dell’energia e in particolare al paragrafo intitolato “*Che cos’è l’energia?*”, si può trovare quanto segue.

“*Esiste una proprietà, o se preferite una legge, che governa tutti i fenomeni naturali conosciuti fino ad oggi. Non si conosce eccezione a questa legge - essa è esatta nel limite delle nostre conoscenze. La legge è chiamata conservazione dell’energia. Essa stabilisce che vi è una certa quantità, che chiamiamo energia, che non cambia nei molteplici mutamenti subiti dalla natura. Il concetto è astratto, poiché si tratta di un principio matematico; esso afferma che esiste una quantità numerica che non cambia qualsiasi cosa accada. Non è la descrizione di un meccanismo o di un fenomeno concreto, è soltanto il fatto singolare di poter calcolare un numero, e dopo aver osservato i mutamenti capricciosi della natura, ricalcolarlo ottenendo sempre lo stesso risultato. (Qualcosa di simile al movimento di un*

alfiere sui quadrati rossi della scacchiera, qualunque sia il numero delle mosse - ignoriamo i dettagli - esso si trova sempre sul rosso. È una legge di questo tipo.) Trattandosi di un concetto astratto ne illustreremo il significato per analogia.

Immaginiamo un ragazzo, per esempio “Dennis la peste” che abbia dei dadi¹ assolutamente indistruttibili, e che non possano essere suddivisi in pezzi. Ognuno è uguale all’altro. Supponiamo che abbia 28 dadi. Sua madre lo mette con i suoi 28 dadi in una stanza, al mattino. Alla sera, essendo curiosa, conta accuratamente i dadi e scopre una legge fondamentale. Non importa che cosa egli abbia fatto coi dadi, questi sono sempre 28! Ciò continua per un certo numero di giorni, finché un giorno i dadi sono solo 27. Una piccola ricerca ne svela uno sotto il tappeto - la mamma deve cercare ovunque per accertarsi che il numero dei dadi non sia cambiato. Un giorno, tuttavia, il numero appare diverso - vi sono solo 26 dadi. Un’accurata indagine mostra che la finestra era aperta, e uno sguardo all’aperto permette di ritrovare gli altri due dadi. Un altro giorno, un conteggio accurato indica che vi sono ben 30 dadi! Ciò causa una considerevole costernazione finché si scopre che Bruce è venuto a far visita, portando con sé i suoi dadi, e ne ha lasciati alcuni a casa di Dennis. Dopo aver sistemato i dadi in più, la mamma chiude la finestra e non permette a Bruce di entrare. Tutto sta andando nel modo giusto finché una volta, contando, essa trova solo 25 dadi. Però nella stanza c’è una scatola, una scatola per i giocattoli e la mamma si accinge ad aprirla, ma il ragazzo dice “No, non devi aprire la mia scatola”, e strilla. Alla mamma viene impedito di aprire la scatola. Essendo estremamente curiosa, e talvolta ingegnosa, essa inventa un trucco! Sa che ogni dado pesa tre onces, così pesa la scatola quando ha sotto gli occhi tutti i 28 dadi e trova 16 onces. Più tardi desidera controllare, pesa di nuovo la scatola, sottrae sedici onces e divide per tre. Scopre così quanto segue:

$$(\text{numero di dadi visibili}) + \frac{(\text{peso della scatola}) - 16 \text{ onces}}{3 \text{ onces}} = \text{costante.} \quad (5.4)$$

In seguito trova qualche discordanza, ma uno studio accurato indica che l’acqua sporca della vasca da bagno non è più allo stesso livello. Il bambino sta gettando dadi nell’acqua, essa non può vederli perché l’acqua è sporca, ma può trovare quanti dadi sono nell’acqua aggiungendo alla formula un altro termine. Poiché il livello iniziale dell’acqua era di 6 pollici e ogni dado solleva l’acqua di un quarto di pollice, la nuova formula sarà:

$$(\text{numero di dadi visibili}) + \frac{(\text{peso della scatola}) - 16 \text{ onces}}{3 \text{ onces}} + \frac{(\text{livello dell'acqua}) - 6 \text{ pollici}}{\frac{1}{4} \text{ di pollice}} = \text{costante.} \quad (5.5)$$

Col graduale aumento della complessità del suo ambiente familiare, essa trova tutta una serie di termini che rappresentano i modi di calcolare il numero dei dadi, che sono in posti dove le è impossibile vederli. Come risultato ottiene una formula complicata, una quantità da calcolare, che rimane sempre la stessa in ogni situazione che si presenta.

Qual è l’analogia fra questo e la conservazione dell’energia? L’aspetto più notevole che dobbiamo astrarre da questa immagine è che non si tratta di dadi. Aboliamo il primo termine nella (5.4) e nella (5.5) e ci troveremo a calcolare cose più o meno astratte. L’analogia è evidente nei seguenti punti. Primo, quando ci mettiamo a calcolare l’energia, talvolta una parte di essa abbandona il sistema e talvolta, invece, vi si introduce. Per verificare la conservazione dell’energia dobbiamo fare attenzione a non averne né tolta né introdotta. Secondo, l’energia ha un gran numero di forme diverse e vi è una formula per ciascuna di esse. Abbiamo: l’energia gravitazionale, l’energia cinetica, l’energia termica, l’energia elastica, l’energia elettrica, l’energia chimica, l’energia radiante, l’energia nucleare, l’energia

¹Nel testo originale in lingua inglese Feynman usa il termine “blocks”, facendo riferimento ai “Toy Blocks”, ovvero i “blocchi giocattolo”, tipicamente di legno, in uso come giocattolo educativo sin dalla seconda metà del ‘500 (se ne trova un primo riferimento bibliografico in un testo del 1594, ad opera dello scrittore ed inventore inglese Hugh Plat, dal titolo “Jewel House of Art and Nature”) ed entrati ufficialmente a partire dal 2003 nella “National Toy Hall of Fame” con il titolo di “America’s toy of national significance”.

di massa. Se sommiamo le formule per ciascuno di questi contributi, vedremo che il totale non cambia eccetto che per l'energia che entra e che esce.

È importante tener presente che nella fisica odierna, noi non abbiamo cognizione di ciò che l'energia è. Non abbiamo un modello che esprima l'energia come somma di termini definiti. Non è così. Tuttavia vi sono formule per calcolare alcune quantità numeriche e se le sommiamo tutte otterremo "28" - sempre lo stesso numero. Si tratta di un'astrazione in quanto non ci insegna il meccanismo o i motivi delle varie formule." ²

Come si può notare questo secondo utilizzo dell'analogia è diverso dal primo. Se nel primo esempio infatti mettiamo in relazione tra loro quantità descrittive di due fenomeni fisici diversi, nel secondo viene fatto uso di una serie di immagini rappresentanti situazioni più o meno quotidiane (anche se non necessariamente reali) per permettere al lettore di dedurre alcune proprietà importanti di un principio fisico che può risultare di non immediata comprensione a chi si trovi ad affrontare tali temi per la prima volta. Ancora una volta il processo analogico procede nello stabilire *relazioni* tra queste immagini e i concetti appartenenti alla conoscenza fisica. Tale processo diviene dunque efficace nel presentare un'idea, quella del principio di conservazione dell'energia, anche nel momento in cui "*non abbiamo cognizione di ciò che l'energia è*", cioè anche senza definire a priori il concetto di energia.

5.3 Le differenze

Dunque la somiglianza tra i due modi in cui l'analogia viene utilizzata negli esempi precedenti, sebbene presente, si limita al fatto che entrambi costruiscono relazioni tra le entità in gioco. Vediamo dunque nel dettaglio le due differenze più importanti.

La prima è che nel caso del primo esempio, dal momento che vengono chiamati in causa due sistemi fisici reali, ha senso per uno studente chiedersi se alcune proprietà del primo (e ben noto) fenomeno del moto traslatorio si estendano anche al secondo, quello appunto rotatorio. Questo interrogativo trova risposta affermativa nelle leggi orarie, anch'esse uguali in forma tra le due tipologie di moto se presi i dovuti accorgimenti. Il modello analogico può dunque essere esteso e può essere d'aiuto anche nel capire le leggi orarie del moto rotatorio, oltre che a memorizzarle più velocemente. Lo stesso meccanismo può portare a scoprire nuove leggi di natura nel contesto dell'indagine conoscitiva. Ciò non è possibile nel secondo esempio: poco senso avrebbe chiedersi se Dennis e sua madre condividano una qualche legge matematica o una qualche altra proprietà con l'energia o la sua conservazione al di fuori di quelle evidenziate nel modello analogico costruito da Feynman.

La seconda importante differenza è che l'analogia rappresentata nel secondo esempio, utilizzando immagini precise e ben studiate da parte di chi le ha elaborate dopo aver profondamente compreso i concetti che voleva esprimere, permette a chi invece sia ancora alle prime armi di prendere dimestichezza con un concetto che (ancora oggi) manca di una definizione precisa, ovvero quello di energia. Si viene dolcemente accompagnati a non curarsi di che cosa sia l'energia, rappresentata dai quei dadi misteriosamente definiti come "indistruttibili", concentrandosi invece sulla ricerca appassionata portata avanti dalla madre del piccolo Dennis. In questo modo si viene abilmente condotti a porre l'attenzione sul fatto che, anche se non sappiamo di preciso che cosa sia, sappiamo che questa enigmatica energia si conserva. Per quanto possa questo risultare insoddisfacente per alcuni, togliersi dall'impaccio del dover dare una definizione ancora non formulata (e forse neanche formulabile) e valutare ciò che invece conosciamo sulle proprietà di alcune misteriose quantità riesce comunque a produrre validi risultati in campo scientifico e tecnologico ed è alle volte il massimo a cui possiamo ambire allo stato attuale della conoscenza. Non vi sono inoltre strutture matematiche a supporto del modello analogico, se non le semplici relazioni impiegate per esporre il concetto di calcolabilità delle differenti forme di energia, il che rende tali insieme di immagini pittoriche al contempo di facile accesso per tutti ma anche vincolato ai limiti della rappresentazione.

²Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, e Matthew Sands - *The Feynman Lectures on Physics, mainly Mechanics, Radiation, and Heat*, vol. 1, part. 1. Traduzione a cura di E. Clementel, S. Focardi e L. Molinari. Edizione bilingua Addison-Wesley, Malta: Addison-Wesley Publishing Company, 1968, pp. 4-1 - 4-3. Testo originale pubblicato in inglese da Addison-Wesley Publishing Company, 1963, California Institute of Technology.

Capitolo 6

Facile come contare

Ma, in fin dei conti, perché darsi tanta pena per presentare concetti ed informazioni in forme diverse? Perché creare parallelismi, collegamenti, metafore e analogie?

A quale scopo utilizzare alcuni fenomeni come rappresentazione di altri?

In una raccolta di aneddoti e riflessioni, dal titolo *“Che t’importa di cosa dice la gente?”*, scritta nel suo ultimo anno di vita insieme all’amico Ralph Leighton, Richard P. Feynman sembra dare la risposta perfetta a questo interrogativo. Feynman, con la sua disarmante capacità di narrare la condizione umana e l’approccio che noi esseri umani abbiamo nei confronti della realtà che ci circonda, racconta di come mentre completava il dottorato a Princeton si fosse interessato al modo in cui il nostro cervello percepisca il “senso del tempo”. Il brano, dal titolo *“È semplice come contare”*, inizia con un ricordo d’infanzia tanto semplice quanto significativo. Scrive Feynman:

“A Far Rockaway, quand’ero ragazzino, avevo un amico di nome Bernie Walker. Entrambi avevamo un «laboratorio» e facevamo degli «esperimenti». Una volta, attorno agli undici o dodici anni, durante una discussione affermai che «pensare non è nient’altro che parlare dentro a noi stessi». «Sì, eh?», replicò Bernie. «Hai presente la forma dell’albero a gomito in un’automobile?» «Sì. Allora?» «Bene, e dimmi: come te lo sei descritto, mentre parlavi a te stesso?»

*Ho imparato così da Bernie che i pensieri possono essere visivi, oltre che verbali.”*¹

Prosegue dunque introducendo come fosse incappato nell’interrogativo di cui sopra attraverso un articolo di psicologia pubblicato nel periodo in cui era all’università, al quale non diede molto peso ma che fece molto discutere all’epoca. Questo interrogativo lo portò, inutile dirlo, a compiere degli esperimenti molto semplici, volti a capire se fosse possibile contare mentalmente ad un ritmo costante. Continua infatti scrivendo:

“[...] La domanda però era davvero interessante: che cosa determina il «senso del tempo»? Se si prova a contare a un ritmo costante, da che cosa dipende questo ritmo? E cosa posso fare per cambiarlo? Decisi di indagare. Cominciai a contare i secondi - senza guardare l’orologio, ovviamente - fino a 60 con un ritmo lento e regolare: 1, 2, 3, 4, 5... Arrivato a 60, erano passati soltanto 48 secondi, ma questo non mi turbava: il problema non stava nel contare per un minuto esatto, ma nel contare entro un tempo costante. Quando contai di nuovo fino a 60, erano passati 49 secondi. La volta dopo, 48. Poi 48, 48, 49, 48, 48... Riuscivo davvero a contare con un ritmo ragionevolmente costante. Se invece stavo seduto senza contare e aspettavo che trascorresse un minuto, i risultati erano molto irregolari, variavano completamente di volta in volta. Se si prova a indovinare, è difficilissimo valutare il trascorrere di un minuto, ma se si conta si riesce a essere molto precisi. Sapevo dunque che potevo contare a un ritmo costante. La domanda successiva era: che cosa è in grado di modificare questo ritmo? Forse c’entrava il ritmo cardiaco. Mi misi a fare le scale di corsa, su e giù, perché il mio cuore battesse più forte. Poi mi precipitavo in camera mia, mi buttavo sul letto e contavo fino a 60. Ho

¹Richard P. Feynman, a cura di G. Feynman e R. Leighton, *“What Do You Care What Other People Think?”*, W. W. Norton & Company, New York 1988. Tr. it. *“Che t’importa di cosa dice la gente?”*, a cura di Sylvie Coyaud, Zanichelli editore S.p.A., Bologna 2008, p. 47-51.

provato anche a contare mentre facevo le scale di corsa, su e giù. Gli altri, che mi vedevano sfrecciare sulle scale, scoppiavano a ridere e mi chiedevano che cosa stessi combinando. Non potevo rispondere - il che mi fece capire che non ero in grado di parlare, mentre contavo mentalmente - e continuai a correre su e giù per le scale e a far la figura dell'imbecille. (Gli altri ospiti del collegio erano abituati alle mie pazzie. In un'altra occasione, un ragazzo era entrato nella stanza - mi ero dimenticato di chiudere la porta a chiave durante l'«esperimento» - e mi aveva trovato in piedi su una sedia, con addosso la giacca di montone, mentre mi sporgevo fuori dalla finestra in pieno inverno, con in mano un vaso che stavo rimestando. «Non disturbarmi! Non disturbarmi!», gli urlai. Stavo rigirando della gelatina. Ero curioso di sapere se avrebbe coagulato lo stesso rimestandola continuamente a freddo.) Comunque, dopo aver provato in ogni combinazione a correre su e giù e a sdraiarmi sul letto, sorpresa! Il battito cardiaco non aveva alcun effetto. E siccome sulle scale mi accaldavo, immaginai che non c'entrasse neppure la temperatura corporea (anche se avrei dovuto sapere che non aumenta con l'esercizio fisico). In realtà non riuscivo a trovare nulla che modificasse il mio ritmo di conteggio. A correre per le scale ci si annoia, quindi cominciai a contare facendo cose che avrei fatto comunque. Per esempio, per mandare la biancheria a lavare, dovevo scrivere su un modulo il numero di camicie, di pantaloni ecc. Ero in grado di scrivere un 3 davanti a «pantaloni» o un 4 davanti a «camicie», ma non riuscivo a contare i calzini. Ce n'erano troppi: stavo già usando la mia «macchina per contare» mentale - 36, 37, 38 - e avevo sotto gli occhi tutti quei calzini - 39, 40, 41. Come fare per contarli? Mi accorsi che potevo sistamarli in insiemi geometrici - un quadrato per esempio: un paio in quest'angolo, un altro in quello, uno là, uno qua. Otto calzini. Continuai il gioco di contare per insiemi e riuscii a contare le righe di un articolo sul quotidiano raggruppandole in 3, 3, 3 e 1 per ottenere 10; tre volte tre di questi insiemi più un insieme facevano 100 righe. Contai così tutto il quotidiano. Una volta a 60 sapevo a che punto ero e potevo dire: «Sono arrivato a 60 e ci sono 113 righe». Riuscivo addirittura a leggere gli articoli, mentre contavo fino a 60, e il ritmo non cambiava! Direi che potevo fare qualunque cosa mentre contavo mentalmente, salvo parlare a voce alta, ovviamente. Battere a macchina, copiare le parole di un libro? Sì, ci riuscivo: ma in questo caso il ritmo cambiava. Ecco. Ero emozionato: avevo finalmente trovato qualcosa che modificava il mio modo di contare. Indagai più a fondo. Battevo parole semplici abbastanza velocemente, mentre contavo 19, 20, 21, tasto tasto, 27, 28, 29, tasto tasto, finché - ma che parola è questa? Ah sì - e via contando 30, 31, 32. Arrivavo a 60 in ritardo. Dopo un po' di introspezione e ulteriori osservazioni, capii cos'era successo: smettevo di contare quando incappavo in una parola difficile che «richiedeva più cervello», per così dire. Il tempo impiegato per contare non rallentava, ma il contare stesso veniva ogni tanto bloccato. Era diventato così automatico per me contare fino a 60, che all'inizio non mi ero nemmeno accorto delle interruzioni.”²

Ebbene dopo una serie di tentativi ed analisi giunse al punto di estendere al di fuori della sua persona il campione di studio, coinvolgendo anche i suoi compagni di università. Continua infatti come segue:

“L'indomani, a colazione, riferii agli altri del mio tavolo i risultati degli esperimenti. Elencai loro tutte le cose che riuscivo a fare mentre contavo mentalmente, e aggiunsi che l'unica cosa che non mi riusciva mai era di contare mentalmente mentre parlavo. Uno di loro, un ragazzo di nome John Tukey, obiettò: «Non ci credo che riesci a leggere contando; mentre non vedo perché non riesci a parlare. Scommettiamo che riesco a parlare mentre conto mentalmente, e che tu non riesci a leggere?». Feci una dimostrazione: mi diedero un libro e lessi per un po', contando. Arrivato a 60, dissi: «Ora!» - 48 secondi, il mio solito tempo. Poi raccontai quello che avevo letto. Tukey era stupefatto. Lo cronometrammo alcune volte per misurare il suo ritmo caratteristico, e poi lui si mise a parlare: «Eran trecento, eran giovani e forti. Posso dire quello che mi pare, non fa differenza; non capisco cos'è che ti disturba», blablà e poi: «Ora!». Aveva fatto esattamente il suo solito tempo. Non mi ci raccapezzavo. Ne discutemmo per un po' e scoprimmo qualcosa di interessante. Tukey contava mentalmente in un modo diverso dal mio: visualizzava un nastro sul quale scorrevano i numeri. Diceva: «Eran trecento, eran giovani e forti», e intanto osservava il nastro. Tutto chiaro: lui per contare guardava, e perciò non riusciva a leggere; siccome io invece pronunciavo i numeri mentalmente, non riuscivo a parlare. Fatta questa scoperta, cercai il modo di leggere a voce alta mentre contavo - una cosa che nessuno di noi sapeva fare. Immaginavo di dover usare una parte

²Cfr. Ibid.

*del cervello non collegata con l'area della vista o della parola, per cui decisi di usare le dita, cioè il tatto. Ben presto fui in grado di contare con le dita mentre leggevo ad alta voce. Ma volevo che l'intero processo fosse mentale e non si basasse su qualche attività fisica. Tentai allora di immaginare la sensazione delle dita che contavano mentre leggevo a voce alta. Non ci riuscii mai. Forse perché non avevo abbastanza pratica, o forse perché è impossibile: non ho mai incontrato nessuno che ne fosse capace.”*³

Il confronto che ne nacque in quell'occasione gli permise di comprendere una cosa importante. Scrive ancora infatti:

*“L'esperimento ci fece capire che quanto accade nella mente di persone diverse che pensano di fare la stessa cosa - una cosa semplice come contare - cambia caso per caso.”*⁴

Ciò permise a Feynman un'ulteriore riflessione che ci fornisce una possibile risposta agli interrogativi di cui sopra, rimasti ancora in sospeso. Probabilmente, la stessa riflessione contribuì a formare in lui quell'attenzione per i diversi modi di interpretare la realtà che possono albergare in persone diverse. Ed è forse anche questa attenzione che gli permise di avere una marcia in più come insegnante. Non a caso infatti viene ancora oggi indicato con l'epiteto di “The Great Explainer”. Prosegue dunque scrivendo:

*“Per noi è naturale spiegare un'idea attraverso qualcosa che si trova già nella nostra mente. I concetti sono accatastati l'uno sopra l'altro: una certa idea viene insegnata attraverso un'altra idea, la quale è, a sua volta, spiegata ricorrendo a un'altra idea ancora, che deriva dall'operazione del contare, che abbiamo però visto poter essere molto diversa a seconda dei soggetti. Ci penso spesso, soprattutto quando devo insegnare qualche tecnica esoterica, come integrare le funzioni di Bessel, per esempio. Quando vedo delle equazioni, vedo le lettere a colori - non so come mai. Mentre parlo, vedo vaghe immagini delle funzioni di Bessel tratte dal libro di Jahnke e Emde, la j biondo dorato, la n lilla con una punta di blu, e svolazzanti x marrone scuro. E mi chiedo come accidente le vedano gli studenti.”*⁵

A tal proposito, ovvero su come persone diverse abbiano diverse sensibilità anche di fronte all'apprendimento, è ancora una volta Maxwell a fornire un ulteriore spunto di riflessione. Una comprensione, via via più profonda, della realtà fisica è secondo Maxwell ottenibile attraverso lo studio della verità scientifica, tuttavia formalismo matematico e rigore metodologico possono non essere sufficienti a tale scopo. Di più, possono risultare alle volte demotivanti e allontanare dal percorso che conduce ad una formazione completa e soddisfacente. Alle volte è proprio attraverso una diversa e molteplice “illustrazione” di un medesimo argomento, tramite diversi modi di vedere la stessa cosa o di metterne in relazione di diverse, che una conoscenza più ampia, profonda ed appagante può essere ottenuta.

Come lui stesso scrive infatti:

“La mente umana è raramente soddisfatta, e certamente non sta esercitando le sue più alte funzioni, quando compie il lavoro di una macchina calcolatrice. Ciò a cui l'uomo di scienza, che sia un matematico o un fisico, mira è di acquisire e sviluppare idee chiare delle cose di cui tratta. A questo scopo egli è disposto a intraprendere lunghi calcoli e diventare per un po' di tempo una macchina calcolatrice solo se alla fine può rendere più chiare le sue idee. Ma se scopre che idee chiare non possano essere ottenute se non con processi i cui passaggi è sicuro di dimenticare prima di arrivare alle conclusioni, è molto meglio che si rivolga a un altro metodo, e cerchi di comprendere l'argomento per mezzo di illustrazioni ben scelte derivate da campi con i quali ha maggiore familiarità. [...] Ora una illustrazione veramente scientifica è un metodo che permette alla mente di afferrare qualche concezione o legge di una branca della scienza ponendo davanti a essa una concezione o legge di una branca differente della scienza e dirigendo la mente ad afferrare quella forma matematica che è comune alle idee corrispondenti nelle due scienze, non tenendo al momento in nessuna considerazione le differenze tra la natura fisica dei fenomeni reali. La correttezza di una tale illustrazione dipende da se i due sistemi di idee che vengono paragonati insieme sono realmente analoghi in forma, o in altri termini se le quantità

³Cfr. Ibid.

⁴Cfr. Ibid.

⁵Cfr. Ibid.

*fisiche corrispondenti appartengono realmente alla stessa classe matematica. Quando questa condizione è realizzata, l'illustrazione non è solo conveniente per insegnare la scienza in un modo piacevole e facile, ma il riconoscimento dell'analogia formale tra i due sistemi di idee conduce a una conoscenza di entrambi più profonda di quella che potrebbe essere ottenuta studiando separatamente ognuno dei due sistemi.”*⁶

Ed è proprio qui che Maxwell pone l'accento sulla questione in essere, considerandola in tutta la sua importanza, poiché riconosce in essa una sfida educativa non trascurabile e anzi a cui è necessario prestare attenzione nel momento in cui si voglia massimizzare l'efficacia del metodo didattico.

Continua infatti Maxwell:

*“Ci sono, come ho detto, menti che possono andare avanti contemplando con soddisfazione pure quantità, presentate agli occhi come simboli e alle menti in una forma che solo i matematici possono concepire. Ce ne sono altre che sentono maggior diletto nel seguire forme geometriche, che disegnano su una carta, o costruiscono nello spazio vuoto di fronte a loro. Altri, ancora, non sono soddisfatti se non proiettando le loro intere energie fisiche nella scena che evocano o rievocano. Questi, [quando] imparano a quale velocità i pianeti viaggiano attraverso lo spazio, sperimentano un incantevole sentimento di vigore; quando calcolano le forze con le quali i corpi si attirano gli uni con gli altri, sentono i loro stessi muscoli tesi dallo sforzo. Per tali uomini, energia, massa non sono mere espressioni astratte dei risultati dell'indagine scientifica, sono parole piene di potenza, che scuotono le loro anime come le memorie dell'infanzia. Per amore di tutte queste persone di tipi diversi, la verità scientifica dovrebbe essere presentata in forme diverse, eppure essere considerata scientificamente equivalente, sia che appaia nella robusta forma e nel vivido colore della illustrazione scientifica, sia nella tenuità e pallore di un'espressione simbolica.”*⁷

Ecco perché dunque darsi tanta pena: perché le menti a cui sono rivolte le informazioni che vogliamo veicolare sono ciascuna diversa dalle altre, certamente con dei fattori in comune, ma anche con le proprie importanti differenze. Analogie e metafore aiutano dunque ciascuna a trovare la formulazione più congeniale per poter far propria la verità scientifica, che invece è la medesima per tutti.

⁶Cfr. Giulio Peruzzi, op. cit., p. 23, con riferimento a W. Niven (a cura di), *The scientific papers of James Clerk Maxwell (1866-1879)*, vol. II, cit., p. 219-220.

⁷Cfr. Ibid.

Capitolo 7

Norman il secchione e la Regina Vittoria

Vogliamo in questa ultima sezione parlare dell'importante ruolo di metafore e analogie come mezzi comunicativi. Per farlo citeremo un lungo estratto del libro dal titolo *“Il Mondo infestato dai Demoni - La scienza ed il nuovo oscurantismo”*, scritto dal famoso astronomo e divulgatore scientifico Carl Sagan e pubblicato nel suo ultimo anno di vita, il 1996. In questo estratto Sagan, anche attraverso un esempio basato su di una figura forse ormai familiare al lettore, affronta temi molto importanti (e ancora attuali) nella relazione tra pubblico, politici e scienziati. Questi temi vanno dal pregiudizio con cui gli uni guardano agli altri, all'enorme importanza che la ricerca scientifica può avere per la società, senza mancare di sottolineare che tale è appunto una possibilità e come quindi serva fiducia reciproca nel poter tessere un rapporto di mutuo sostegno tra le tre entità in gioco. Per costruire tale fiducia, come in ogni rapporto umano, una buona comunicazione è la base da cui partire e in questa analogie e metafore rivestono un ruolo di primaria importanza.

Lasciamo dunque spazio alle sue parole:

“Perché mai dovremmo sovvenzionare la curiosità intellettuale?”

Ronald Reagan, da un discorso della campagna elettorale del 1980

Non c'è niente che possa meritare il nostro patrocinio più della promozione della scienza e della letteratura. Il sapere è in ogni Paese la base più sicura della pubblica felicità.

George Washington, dal discorso al Congresso dell'8 gennaio 1790

Gli stereotipi abbondano. Abbiamo idee stereotipate dei gruppi etnici, dei cittadini di altre nazioni, dei fedeli delle varie religioni, dei sessi e delle preferenze sessuali, delle persone nate in varie epoche dell'anno (astrologia dei segni) e anche delle occupazioni. L'interpretazione più generosa assegna questi stereotipi a una sorta di pigrizia intellettuale: invece di giudicare le persone sulla base dei loro meriti e difetti individuali, ci concentriamo su pochi elementi di informazione su di esse, dopo di che le collochiamo in un piccolo numero di caselle precostituite. In questo modo ci sottraiamo al fastidio di dover pensare, a costo di commettere in molti casi una profonda ingiustizia. Chi ragiona per stereotipi si risparmia anche il contatto con l'enorme varietà delle persone, con la molteplicità dei modi umani di essere. Anche se gli stereotipi fossero mediamente validi, sono insufficienti in molti casi singoli: la variazione umana presenta l'andamento tipico delle curve a campana. C'è un valore medio di qualsiasi qualità, e numeri minori di persone che si dispongono ai due estremi.

[...] Una delle occupazioni stereotipate è la scienza. Gli scienziati sono secchioni, sono socialmente inetti e lavorano su argomenti incomprensibili che nessuna persona normale troverebbe in alcun modo interessanti anche se fosse disposta a investirvi il tempo richiesto, cosa che, di nuovo, nessuna persona sensata farebbe. «Vivi, piuttosto!», verrebbe voglia di dire agli scienziati. Ho chiesto una caratterizzazione contemporanea esauriente dei secchioni di scienze a un'esperta di undici anni che conosco bene.

Devo sottolineare che lei sta semplicemente riferendo, e non necessariamente condividendo, i pregiudizi convenzionali: I secchioni portano la cintura subito sotto le costole. Le loro camicie con le maniche corte sono dotate invariabilmente di taschino, da cui sporgono una grande varietà di penne e matite multicolori. In una speciale custodia fissata alla cintura portano una calcolatrice programmabile. Hanno invariabilmente occhiali dalle lenti spesse, col ponte rotto riparato con del nastro isolante. Non hanno abilità sociali, cosa che peraltro li lascia indifferenti. Quando ridono, emettono una specie di sbuffo. Parlano fra loro in un linguaggio incomprensibile. Colgono al volo ogni opportunità di lavoro per acquisire meriti extra in qualsiasi materia tranne la palestra. Guardano dall'alto al basso le persone normali, che a loro volta si fanno beffe di loro. La maggior parte dei secchioni hanno nomi come Norman. (La conquista normanna dell'Inghilterra comportò un'invasione di secchioni dalla cintura alta, col taschino pieno di penne, la calcolatrice alla cintura e occhiali rotti.) Ci sono più secchioni maschi che femmine, ma comunque ce ne sono moltissimi in entrambi i sessi. I secchioni non escono con ragazze (lo stesso vale, mutatis mutandis, per le ragazze secchione). Se sei un secchione, non puoi essere fantastico. E viceversa. Questo, ovviamente, è uno stereotipo.

Ci sono scienziati che vestono con eleganza, che sono veramente fantastici, con cui molte persone dell'altro sesso desiderano uscire, che non portano calcolatrici nascoste alle feste. Di alcune persone non ti accorgeresti che sono scienziati neppure invitandoli a casa tua. Altri scienziati corrispondono invece più o meno allo stereotipo. Sono socialmente quasi del tutto incapaci.

[...] Che cosa c'è di male in un po' di bonario divertimento a spese degli scienziati? C'è che se, per qualche ragione, alle persone non piace lo stereotipo dello scienziato, è meno probabile che facciano qualcosa a favore della scienza. Perché sovvenzionare i secchioni per perseguire i loro assurdi e incomprensibili piccoli progetti? Beh, noi sappiamo la risposta: la scienza dev'essere sostenuta perché apporta benefici spettacolari a tutti i livelli nella società, come ho sostenuto in precedenza in questo libro. Perciò coloro che trovano sgradevoli i secchioni, ma al tempo stesso desiderano i prodotti della scienza, si trovano di fronte a una sorta di dilemma. Una soluzione attraente sembrerebbe quella di tentare di dirigere le attività degli scienziati. Non diamo loro denaro da spendere in ricerche strane; diciamo invece loro di che cosa abbiamo bisogno: questa invenzione, o quel processo. Sovvenzioniamo non la curiosità dei secchioni ma ciò che può apportare beneficio alla società. Sembra tutto abbastanza semplice. Il guaio è che, quando si ordina a qualcuno di fare una specifica invenzione, anche se non ci sono problemi di denaro, non è affatto garantito che tale risultato possa essere raggiunto. Potrebbe mancare una conoscenza fondamentale, senza la quale nessuno mai potrà costruire la macchina o lo strumento che abbiamo in mente. E la storia della scienza mostra spesso che non si possono neppure cercare direttamente i presupposti indispensabili che mancano. Essi potrebbero emergere dalle riflessioni più o meno oziose di un qualche giovane solitario in qualche zona rurale. Tali riflessioni potrebbero essere ignorate o rifiutate persino da altri scienziati, a volte fino all'emergere di una nuova generazione di scienziati. Chiedere importanti invenzioni pratiche, scoraggiando al tempo stesso le ricerche stimolate dalla semplice curiosità sarebbe spettacolarmente controproducente.

Supponiamo che tu sia, per grazia di Dio, Vittoria, regina del Regno Unito di Gran Bretagna e Irlanda, e Protettrice della Fede nell'epoca più prospera e trionfale dell'impero britannico. I tuoi domini si estendono in tutto il pianeta. Le carte del mondo presentano grandi chiazze rosse, che indicano i possedimenti britannici. Tu hai il comando della massima potenza tecnologica del mondo. La macchina a vapore è stata perfezionata in Gran Bretagna, in gran parte da ingegneri scozzesi, i quali forniscono la loro esperienza tecnica alle ferrovie e ai piroscafi che collegano le varie parti dell'impero. Supponiamo che, nell'anno 1860, tu abbia un'idea visionaria, un'idea così audace da essere rifiutata addirittura dall'editore di Jules Verne. Vorresti realizzare una macchina in grado di trasportare la tua voce, oltre che immagini in movimento della gloria imperiale, in ogni casa britannica. Vorresti inoltre che i suoni e le immagini arrivassero, non attraverso condotti o cavi, ma in qualche modo attraverso l'aria, così che persone al lavoro e nei campi potessero ricevere istantaneamente i messaggi destinati a ispirare la fedeltà ai regnanti e l'etica del lavoro. La stessa macchina potrebbe trasmettere anche la parola di Dio. Senza dubbio si troverebbero inoltre ben presto altre applicazioni socialmente desiderabili. Così, col sostegno del primo ministro, convochi il gabinetto, lo stato maggiore generale dell'impero e i principali scienziati e ingegneri. Dici loro che vuoi stanziare un milione di sterline, una somma enorme per quel tempo. Se hanno bisogno di più denaro, lo dicano. Il progetto riceve anche un nome: si chiamerà

« Progetto Westminster ». Da una tale impresa emergerà probabilmente qualche invenzione utile: si ottengono sempre prodotti secondari o derivati quando si investono grandi somme in nuove tecnologie. Ma il « Progetto Westminster » sarà quasi certamente destinato a fallire. Perché? Perché manca ancora la scienza da cui esso dovrebbe prendere l'avvio. Nel 1860 esisteva già il telegrafo. Si potrebbe immaginare la possibilità di installare, con grandi spese, apparecchi telegrafici in tutte le case, dando così la possibilità di trasmettere e ricevere messaggi in codice morse, ma non sarebbe ciò che ha chiesto la regina Vittoria. Lei aveva in mente la radio e la televisione, due conquiste non ancora alla portata della scienza e della tecnologia del tempo. Nel mondo reale, la fisica necessaria a inventare la radio e la televisione sarebbe venuta da una direzione che a quel tempo nessuno era ancora in grado di prevedere. James Clerk Maxwell nacque a Edimburgo, in Scozia, nel 1831. All'età di due anni si accorse di poter usare una lamina di stagno per riflettere un'immagine del Sole sui mobili e per farla danzare sulle pareti di casa. Quando i suoi genitori si precipitarono nella stanza, esclamò: « Il sole! L'ho preso con questa! » Da ragazzo fu affascinato da insetti, larve, pietre, fiori, lenti e macchine. « Era umiliante », ricordò in seguito sua zia Jane, « sentirsi fare da un bambino così piccolo tante domande alle quali non si riusciva a dare una risposta. » Naturalmente, quando cominciò ad andare a scuola fu chiamato « Dafty », parola britannica per indicare qualcuno che non è tanto a posto con la testa. Era un giovane eccezionalmente bello, ma vestiva in modo molto libero, badando alla comodità più che allo stile, e i suoi provincialismi scozzesi erano una causa di derisione, specialmente all'età in cui andò al college. Aveva inoltre interessi peculiari. Era un secchione. Andava poco più d'accordo con gli insegnanti che con i suoi compagni. Ecco un caustico distico da lui scritto a quel tempo:

Passano gli anni, e i tempi diventano più vicini in cui diverrà un crimine fustigare i bambini.

Molti anni dopo, nel 1872, nella sua prolusione come professore di fisica sperimentale all'Università di Cambridge, alluse allo stereotipo del secchione:

Ancora non molto tempo fa chiunque si dedicasse alla geometria o a una qualsiasi scienza che richiedesse una continua applicazione era considerato inevitabilmente un misantropo, che doveva aver abbandonato ogni interesse umano per dedicarsi ad astrazioni così lontane dal mondo della vita da diventare insensibile sia alle attrazioni del piacere sia ai richiami del dovere.

Io sospetto che con le parole « non molto tempo fa » Maxwell intendesse riferirsi agli anni in cui era un ragazzo. Continuava poi dicendo: Oggi gli uomini di scienza non sono più considerati con la stessa soggezione o con lo stesso sospetto. Si suppone che essi siano in combutta con lo spirito materiale del tempo e che formino una sorta di partito radicale avanzato fra gli uomini di cultura.

Noi non viviamo più in un tempo di incondizionato ottimismo sui benefici della scienza e della tecnologia. Comprendiamo che c'è un rovescio della medaglia. Oggi le circostanze sono molto più vicine a quelle che Maxwell ricorda della sua infanzia. Maxwell diede grandissimi contributi all'astronomia e alla fisica: dalla dimostrazione conclusiva che gli anelli di Saturno sono composti da piccole particelle alle proprietà elastiche dei solidi e alle discipline note oggi come la teoria cinetica dei gas e la meccanica statistica.

[...] Il massimo contributo di Maxwell fu la scoperta che elettricità e magnetismo si uniscono insieme a formare la luce. La comprensione oggi convenzionale dello spettro elettromagnetico - che va, per lunghezze d'onda decrescenti, dai raggi gamma ai raggi X, alla luce ultravioletta, alla luce visibile, alla luce infrarossa, alle onde radio - è dovuta a Maxwell. Di qui sarebbero poi derivati la radio, la televisione e il radar. Maxwell non cercava però niente di tutto questo. Egli era interessato a chiarire come l'elettricità produca il magnetismo e viceversa.

[...] Il collegamento economico, culturale e politico del mondo moderno per mezzo di torri di radiodiffusione circolare, ripetitori a microonde e satelliti per telecomunicazioni risale direttamente al giudizio di Maxwell di comprendere nelle sue equazioni del vuoto le correnti di spostamento. E lo stesso vale per la televisione, che ci istruisce e diverte in modo tutt'altro che perfetto; per il radar, che potrebbe essere stato l'elemento decisivo nella Battaglia d'Inghilterra e nella sconfitta dei nazisti nella Seconda guerra mondiale; per il controllo e la navigazione di aerei, navi e sonde spaziali; per la radioastronomia e la ricerca di esseri intelligenti nel cosmo; e per aspetti significativi delle industrie elettrotecniche e microelettroniche.

La nozione di campo di Faraday e Maxwell ha avuto inoltre un'influenza enorme nella comprensione del nucleo atomico, della meccanica quantistica e della struttura fine della materia. L'unificazione, a opera di Maxwell, dell'elettricità, del magnetismo e della luce in un tutto matematico coerente ispirò i tentativi successivi - alcuni dei quali coronati da successo, altri tuttora in stadi rudimentali - di unificare in una grande teoria tutti gli aspetti del mondo fisico, comprese la gravità e le forze nucleari. Si può ben dire che fu Maxwell a dare inizio all'epoca della fisica moderna. [...] Se la regina Vittoria avesse mai convocato una riunione urgente dei suoi consiglieri, e ordinato loro di inventare l'equivalente della radio e della televisione, nessuno di loro avrebbe con ogni probabilità potuto immaginare la via che ha condotto storicamente agli esperimenti di Ampère, Biot, Ørsted e Faraday, alle quattro equazioni di calcolo vettoriale e al giudizio per conservare la corrente di spostamento nel vuoto. Penso che non avrebbero conseguito alcun risultato. Nel frattempo, operando spontaneamente spinto dalla sola curiosità, senza costare quasi niente al governo, e senza rendersi conto di preparare la via al « Progetto Westminster », « Dafty » stava scribacchiando le sue equazioni. È dubbio che il modesto e schivo signor Maxwell avrebbe mai pensato a compiere un tale studio. Se lo avesse fatto, probabilmente il governo gli avrebbe detto su che cosa riflettere e su che cosa no, impedendo piuttosto che promuovendo la sua grande scoperta. Più tardi nel corso della sua vita, Maxwell ebbe un colloquio con la regina Vittoria. Egli si preoccupò molto in attesa di quel colloquio, essenzialmente sulla sua capacità di spiegare cose scientifiche a un profano, ma la regina era distratta e il colloquio durò molto poco. Come gli altri quattro massimi scienziati britannici della storia recente - Michael Faraday, Charles Darwin, P.A.M. Dirac e Francis Crick -, Maxwell non fu mai nominato cavaliere (diversamente da Charles Lyell, Lord Kelvin [William Thomson], Joseph John Thomson, Ernest Rutherford, Arthur Eddington e Fred Hoyle, nel giro successivo). Nel caso di Maxwell, non c'era neppure la scusa che potesse avere opinioni in disaccordo con la Chiesa d'Inghilterra: egli fu un cristiano assolutamente convenzionale per il suo tempo, semmai più devoto dei più. Forse fu la sua goffaggine nei rapporti sociali.

[...] Nell'ottobre 1992 - nel Deserto del Mojave e in una valle carsica del Puerto Rico - iniziammo la ricerca di gran lunga più promettente, potente e comprensiva di esseri intelligenti extraterrestri; tale ricerca è nota come SETI, da Search for Extraterrestrial Intelligence. Per la prima volta il programma sarebbe stato organizzato e gestito dalla Nasa. Per un periodo di dieci anni si sarebbe esaminato l'intero cielo con una sensibilità e una gamma di frequenze senza precedenti. Se, da un pianeta di una qualsiasi delle quattrocento miliardi di altre stelle che compongono la Galassia della Via Lattea, qualcuno ci avesse mandato un radiomessaggio, avremmo avuto una probabilità abbastanza buona di udirlo. Appena un anno dopo, però, il Congresso staccò la spina. Il «Progetto SETI» non aveva un'urgenza prioritaria; il suo interesse era limitato e il suo costo eccessivo.

[...] Lungi dall'essere troppo dispendioso, il programma costerebbe pressappoco quanto un elicottero da guerra all'anno.

[...] Io sono tuttavia preoccupato per come vengono distribuiti i fondi per la ricerca. Temo che l'annullamento degli stanziamenti governativi per il programma SETI faccia parte di una tendenza. Il governo ha esercitato pressioni sulla National Science Foundation perché trasferisca il suo interesse dalla ricerca scientifica di base alla tecnologia, all'ingegneria e alle applicazioni. Il Congresso suggerisce di liquidare la U.S. Geological Survey e di tagliare il sostegno allo studio del fragile ambiente terrestre. Il sostegno alla Nasa per la ricerca e per l'analisi dei dati già ottenuti viene ridotto sempre più. Molti giovani scienziati non riescono più non solo a ottenere borse di studio a sostegno di ricerche ma neppure a trovare lavoro.

[...] La ricerca di base è quella in cui gli scienziati sono liberi di seguire la loro curiosità e di interrogare la natura, non perseguendo obiettivi a breve termine, ma nella ricerca della conoscenza per la conoscenza. Gli scienziati hanno ovviamente un grande interesse per la ricerca di base. In molti casi è stato proprio tale interesse a indurli a scegliere la carriera di scienziati. È però nell'interesse della società sostenere tale ricerca. È in gran parte grazie alla ricerca di base che si fanno le grandi scoperte che beneficiano l'umanità. Un problema che val la pena di affrontare è se sia un investimento migliore promuovere pochi progetti scientifici grandiosi e ambiziosi o un maggior numero di piccoli programmi. Raramente noi siamo abbastanza intelligenti da metterci di proposito a compiere le scoperte che faranno progredire la nostra economia e salveranno la nostra vita. Spesso ci manca la ricerca fondamentale. Noi perseguiamo invece una vasta gamma di ricerche sulla natura, da cui finiscono per

emergere applicazioni che non abbiamo mai neppure immaginato. Non sempre, ovviamente, è così, ma abbastanza spesso. Assegnare del denaro a una persona come Maxwell sarebbe potuto sembrare il più assurdo incoraggiamento a una scienza spinta solo dalla « curiosità », e un giudizio imprudente per legislatori pratici. Perché distribuire denaro per permettere a scienziati secchioni, che parlano un loro gergo incomprensibile, di indulgere ai loro hobby, quando ci sono urgenti bisogni nazionali insoddisfatti? Da questo punto di vista è facile capire la tesi che la scienza è solo un'altra lobby, un altro gruppo di pressione desideroso di procurarsi denaro, per permettere agli scienziati di non assoggettarsi mai a normali rapporti di lavoro. Maxwell non pensava certo alla radio, al radar o alla televisione quando abbozzò le equazioni fondamentali dell'elettromagnetismo; Newton non sognava il volo spaziale o i satelliti per telecomunicazioni quando comprese per la prima volta il moto della Luna; Roentgen non aveva in mente la diagnosi medica quando investigò una radiazione penetrante così misteriosa da ricevere poi il nome di « raggi X »; Madame Curie non pensava alla terapia del cancro quando estrasse faticosamente piccole quantità di radio da tonnellate di pechblenda; Fleming non progettava di salvare la vita a milioni di persone con gli antibiotici quando osservò un cerchio privo di batteri intorno a una chiazza di muffa; Watson e Crick non avevano in mente la cura di malattie genetiche quando si rompevano la testa sulla diffrattometria del Dna nei raggi X; Rowland e Molina non immaginavano che sarebbero giunti a denunciare il coinvolgimento dei clorofluorocarburi nello svuotamento dello strato dell'ozono quando cominciarono a studiare il ruolo degli alogeni nella fotochimica stratosferica. Membri del Congresso e altri capi politici non hanno resistito di tanto in tanto alla tentazione di scherzare su ricerche scientifiche apparentemente oscure che si chiedeva al governo di finanziare. Perfino un senatore brillante come William Proxmire, laureato a Harvard, era dedito ad assegnare episodici premi « Golden Fleece » (Vello d'oro), molti dei quali commemoravano progetti chiaramente inutili, compreso il SETI. Immagino che disposizioni di spirito simili possono avere animato governi precedenti, dinanzi a un certo signor Fleming che voleva studiare gli animaletti in un formaggio puzzolente; o una signora polacca che voleva setacciare tonnellate di un minerale africano per trovare piccole quantità di una sostanza che secondo lei splendeva al buio; o un tale signor Keplero che voleva sentire i canti dei pianeti. Queste scoperte e numerose altre che beneficiano e caratterizzano il nostro tempo, ad alcune delle quali molti di noi devono la loro stessa vita, furono fatte da scienziati che ebbero l'opportunità di esplorare quali fossero a loro parere - un parere sottoposto al giudizio dei loro pari - le grandi domande ai fini della conoscenza della natura. Le applicazioni industriali, nelle quali il Giappone ha fatto così bene negli ultimi due decenni, sono certamente molto importanti. Ma applicazioni di che cosa? La ricerca fondamentale, la ricerca nel cuore della natura, è il mezzo con cui noi acquisiamo la nuova conoscenza che dev'essere applicata.

Specialmente quando chiedono grandi somme di denaro, gli scienziati hanno l'obbligo di spiegare con grande chiarezza e onestà ciò che cercano. Il Supercollisore a magneti superconduttori (SSC, Superconducting Super Collider), se fosse stato realizzato, sarebbe stato lo strumento più importante sul nostro pianeta per sondare la struttura fine della materia e la natura dell'universo primitivo. Il suo costo previsto si aggirava fra 10 e 15 miliardi di dollari. Esso fu annullato dal Congresso nel 1993, quando erano già stati spesi circa 2 miliardi di dollari. La discussione non riguardò principalmente, secondo me, il declino dell'interesse a sostegno della scienza. Ben pochi membri del Congresso capivano a che cosa servono i moderni acceleratori ad alta energia. Essi non servono alla produzione di armi, né hanno applicazioni pratiche. Possono servire alla definizione di quella che viene chiamata, preoccupantemente dal punto di vista di molti, la « teoria di tutto ». Le spiegazioni che implicano entità chiamate quark, incanto, sapore, colore ecc. danno l'impressione che i fisici siano ingegnosi. Almeno alcuni membri del Congresso con cui ho parlato ne hanno tratto la sensazione di « secchioni a ruota libera », che mi sembra un modo ingeneroso di descrivere la curiosità fondata sulla scienza. Nessuno di coloro ai quali è stato chiesto di approvare lo stanziamento di fondi per la ricerca aveva neppure l'idea più confusa di che cosa sia un bosone di Higgs. Io ho letto una parte dei materiali presentati per giustificare la costruzione dell'SSC. Alcuni di tali testi non erano troppo malvagi, ma non c'era niente che spiegasse effettivamente che cos'era il progetto a un livello accessibile a non-fisici brillanti ma scettici. Se i fisici chiedono 10 o 15 miliardi di dollari per costruire una macchina che non ha alcun valore pratico, dovrebbero fare perlomeno uno sforzo molto serio per giustificare la loro

proposta, servendosi di una grafica e di metafore molto efficaci, e usando abilmente la comunicazione linguistica. Io penso che questa sia la chiave per comprendere la sospensione del progetto dell'SSC, più della cattiva amministrazione finanziaria, delle limitazioni di bilancio e dell'incompetenza politica.

[...] Inoltre, nessuno sa quali aspetti di queste ricerche avranno un valore pratico e quali no. Se gli scienziati non sono in grado di fare previsioni del genere, c'è qualche probabilità che possano farle uomini politici o industriali? Se le forze del mercato libero si concentrano solo sui profitti a breve termine - come avviene senza dubbio principalmente in America, col brusco declino della ricerca nelle grandi aziende -, questa soluzione non equivale ad abbandonare la ricerca di base? [...] Ovviamente la nostra nazione e la nostra specie dovranno affrontare molti problemi urgenti, ma la riduzione della ricerca scientifica di base non sarà certamente un modo per risolverli. Gli scienziati non dispongono di una forza elettorale adeguata, né hanno una forza di pressione efficace. Gran parte del loro lavoro è però nell'interesse di tutti.”¹

In sostanza neanche gli scienziati possono farcela senza il supporto del resto della comunità. Da cui la necessità di far comprendere l'importanza ed il valore della scienza al resto della comunità. Allo scopo di assolvere a tale esigenza è lo stesso Sagan ad indicare l'uso della “grafica e di metafore molto efficaci” come mezzi comunicativi efficaci. Sagan conclude infine, non a caso, con una metafora molto evocativa:

“Tagliare i fondi alla scienza fondamentale motivata dalla semplice curiosità è come mangiare il granturco da usare come semente. Il prossimo inverno potremo avere un po' di più da mangiare, ma che cosa semineremo per procurare cibo a noi e ai nostri figli negli inverni successivi?”²

¹Carl Sagan, *Il mondo infestato dai demoni - La scienza e il nuovo oscurantismo*, Dalai Editore, 2001, p. 246-259.

²Cfr. Ibid.

Capitolo 8

Conclusioni

Grazie alla potenza del metodo analogico, tramite le affinità formali con la fluidodinamica da lui notate e alle indagini ulteriori che queste gli suggerirono, Maxwell riuscì a unire elettricità e magnetismo in un'unica teoria, quella appunto dell'elettromagnetismo. Questa prima opera unificatrice, come evidenziato anche da Sagan, ha ispirato i moderni tentativi di unificazione delle forze fondamentali. Tali tentativi, anche se non hanno ancora avuto il successo desiderato, hanno generato nuove indagini facendo progredire il sapere scientifico ed espandendo la conoscenza fondamentale che l'umanità ha della realtà fisica.

Attraverso i suoi metodi creativi e alle potenti immagini con cui era in grado di veicolare concetti spesso anche molto complicati, Richard Feynman non solo vinse un premio nobel (per la formalizzazione dell'elettrodinamica quantistica), ma venne anche soprannominato "the Great Explainer" ed è ancora oggi riconosciuto come uno degli insegnanti di fisica di maggior talento, in grado di spiegare con estrema efficacia ai suoi studenti anche gli argomenti di studio più intricati.

Facendo ampio uso di metafore, analogie e capacità narrative costantemente affinate e migliorate nel corso di anni di pubblicazioni, Carl Sagan dedicò la propria vita oltre che alla scienza alla popolarizzazione di questa. Riconoscendo infatti l'immenso potere che conoscenza ed educazione hanno nel liberare le persone dalle catene costituite anche, ma non solo, da ignoranza e superstizione cambiando loro la vita in meglio, Sagan si impegnò nella produzione di numerosi articoli, libri, romanzi e programmi televisivi rivoluzionando, insieme ad altri, il mondo della divulgazione scientifica.

In definitiva dunque, contributi di fondamentale importanza sono stati, e possono ancora essere, ottenuti in fisica (come nelle altre scienze) attraverso l'utilizzo del potente mezzo dell'analogia, il cui valore conoscitivo, didattico e comunicativo abbiamo cercato di esporre in questo lavoro di tesi.

Chissà quali sfide ci riserverà il futuro in ciascuno di questi tre ambiti e chissà quali analogie daranno un contributo fondamentale per aiutarci a risolverle.

Capitolo 9

Riferimenti Bibliografici

Joseph Turner, “Maxwell on the Method of Physical Analogy”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 6, No. 23, Oxford University Press Nov. 1955.

Mary b. Hesse, *Modelli e analogie nella scienza*, a cura di Cristina Bicchieri, G. Feltrinelli Editore, Milano 1980.

Katharine Park, Lorraine J. Daston e Peter L. Galison, *Bacon, Galileo, and Descartes on Imagination and Analogy*, *Isis*, Vol. 75, No. 2, Jun. 1984.

Giulio Peruzzi, *Vortici e colori - Alle origini dell'opera di James Clerk Maxwell*, Edizioni Dedalo, Bari 2010.

Richard P. Feynman, *Che t'importa di cosa dice la gente?*, a cura di Sylvie Coyaud, Zanichelli editore S.p.A., Bologna 2008.

James Clerk Maxwell, *On Faraday's lines of force*, tratto da: *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, Vol. X, Part I., 1855.

Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, e Matthew Sands - *The Feynman Lectures on Physics, mainly Mechanics, Radiation, and Heat*, vol. 1, part. 1. Traduzione a cura di E. Clementel, S. Focardi e L. Molinari. Edizione bilingua Addison-Wesley, Malta: Addison-Wesley Publishing Company, 1968.

Carl Segan, *Il mondo infestato dai demoni - La scienza e il nuovo oscurantismo*, Dalai Editore, 2001.