

Metafore e comunicazione scientifica

Alessandro Pascolini^{1,2}

¹ Dipartimento di Fisica, Università di Padova

² Sezione INFN di Padova

Metafore e catacresi, che tanta parte hanno nella comunicazione artistica, svolgono un ruolo importante anche nella scienza, sia quali strumenti per superare le carenze linguistiche nella fase della scoperta, sia per la susseguente comunicazione e divulgazione. Nel primo caso le metafore possono avere un'essenziale funzione euristica e vengono rapidamente metabolizzate dalla comunità scientifica. Un caso interessante nella fisica è costituito dallo spin delle particelle. Maggiori problemi sorgono nell'uso delle metafore nella divulgazione ai non addetti ai lavori, per la limitata contestualità culturale che può portare a interpretazioni errate e a confondere più che a illuminare.

1. La metafora

La metafora [è] il più ingegnoso e acuto, il più pellegrino e mirabile, il più gioviale e giovevole, il più facondo e fecondo parto dell'umano intelletto. Ingegnosissimo veramente, però che, se l'ingegno consiste ... nel ligare insieme le remote e separate nozioni degli propositi obietti, questo appunto è l'ufficio della metafora, e di non alcun'altra figura: perciò che, traendo la mente, non men che la parola, da un genere all'altro, esprime un concetto per mezzo di un altro molto diverso, trovando in cose dissimiglianti la simiglianza.... Né men giovevole a' dicitori che dilettevole agli uditori è la metafora, sì , perch'ella spesse fiato, providamente sovviene alla mendicizia della lingua e, ove manchi il vocabolo proprio, supplisce necessariamente il translato. ... Un obietto rettamente illuminato dall'altro ti vibra come un lampo nell'intelletto, e la novità cagiona meraviglia, la qual è una riflessione attenta che t'imprime nella mente il concetto: onde tu sperimenti che le parole metaforiche più altamente scolpite ti rimangono nella memoria.¹

¹ *Op.cit.* (20)

L'entusiasmo del letterato secentista torinese Emanuele Tesauro, ancorché roboante, non è ingiustificato: in tutte le letterature mondiali, dall'*Iliade* e da *I Ching* in poi, le metafore costituiscono uno strumento essenziale della poesia e della comunicazione artistica, con esempi altissimi, per citare due opere fra di loro lontanissime, nella *Commedia* di Dante e nelle *Note del guanciale* di Sei Shonagon.²

In alcuni casi la metafora viene addirittura considerata come una condizione poetica indispensabile, come nell'*Edda* e nella poesia classica indiana.³ Nell'*Edda Prosastica* del poeta islandese Snorri Sturluson la narrazione procede per continue metafore – le *kenningar* – fissate dalla divinità e dettate a Hlerdal dal dio Bragi, esperto nell'eloquenza e la metrica.⁴ Queste *kenningar*, spesso laboriose ed inutili, hanno particolarmente incuriosito Borges, che ha dedicato loro alcuni racconti.⁵

Tabella 1. *Alcune kenningar*

casa degli uccelli	l'aria	frecce del mare	le aringhe
maiale delle onde	la balena	albero da sedere	la panca
assemblea delle spade	la battaglia	canzone delle lance	la battaglia
forza dell'arco	il braccio	cigno insanguinato	l'avvoltoio
sostegno dell'elmo	la testa	onda del corno	la birra
cammino della luna	il cielo	mela del petto	il cuore
rupi delle parole	i denti	lupo delle ferite	la spada
ocche della battaglia	le frecce	sole delle case	il fuoco
albero dell'elmo	il guerriero	rugiada della pena	le lacrime
spada della bocca	la lingua	tetto della balena	il mare
riposo delle lance	la pace	fuoco dell'aria	il sole
mare degli animali	la terra	fratello del fuoco	il vento

² *Op.cit.* (17)

³ *Op.cit.* (10)

⁴ *Op.cit.* (18)

⁵ *Op.cit.* (3)

Anche il linguaggio comune è permeato di continue metafore che ne formano un nucleo essenziale, tanto che gran parte dei vocaboli hanno anche un senso figurato (anche questo “figurato” è una metafora!), spesso di uso tanto comune che non ne viene più colta l’origine metaforica. D’altra parte, come osserva Platone nel *Fedro*, “parlare secondo immagini è impresa umana e più breve”. La capacità di generare metafore e di esprimersi per immagini è chiaramente una caratteristica specifica dell’uomo fra tutti gli esseri viventi e richiede una significativa potenza di pensiero, tanto che Richard Dawkins avanza l’ipotesi che proprio tale capacità abbia costituito la spinta evuzionista per l’intelligenza e lo sviluppo del cervello umano.⁶

La metafora si esprime nel linguaggio ma non si riduce ad un fenomeno intra-linguistico: già Aristotele aveva osservato, nel terzo libro della *Retorica*, che la metafora sorge dall’intuizione di un’analogia fra cose dissimili, e pertanto si fonda sulle cose e non sul linguaggio. Metafore pertanto possono superare barriere linguistiche e riproporsi con la stessa carica comunicativa in culture differenti ed inoltre esprimersi nelle arti figurative e nella comunicazione iconografica. Tutti questi aspetti sono importanti per capire il loro ruolo nella scienza e nella comunicazione scientifica.

2. Metafore e scienza

A prima vista il rapporto può sembrare una contraddizione di termini: l’opinione corrente, rafforzata anche da una tradizione filosofica millenaria, differenzia scienza e letteratura proprio nel ruolo che nei due contesti gioca il linguaggio: mentre la letteratura è involupata negli aspetti linguistici in modo inestricabile, per la scienza il linguaggio sarebbe solo un veicolo trasparente per trasmettere le sue scoperte che “riflettono la natura”. Pertanto la scienza mantiene sempre uno stretto controllo sul linguaggio, distinguendo in modo chiaro le parole dalle cose, il senso letterale e quello metaforico, mentre invece è il linguaggio a controllare altri modi di pensare.

Flaubert ridicolizza la ricerca di liberarsi dalle ambiguità del linguaggio: Bouvard e Pécuchet

appresero ... quali sono le cause principali dei nostri errori. Quasi tutte dipendono dall’imprecisione del nostro linguaggio. ... «Mi sovviene del tale oggetto, del tale assioma, della tale verità». Macché! sono le idee, e niente affatto le cose, che persistono nell’io; e se si parlasse correttamente, dovrebbe dirsi: «Mi sovviene del tal atto del mio spirito, grazie al quale ho percepito quell’oggetto, dal quale ho dedotto l’assioma, per cui ho ammesso quella verità». Considerato che il vocabolo esatto limita sempre la realtà,

⁶ *Op.cit.* (6)

cercarono di non adoperare che vocaboli astratti; dimodoché, invece di dire: «Facciamo un giro – è ora di cenare – ho la caccarella» emettevano frasi come queste: «Una passeggiata sarebbe salutare – Ecco l'ora di assorbire alimenti – Provo un bisogno di sgravarmi».⁷

Il linguaggio scientifico è sempre stato una fonte per la satira, da Swift⁸ a Quino⁹ e Watterson¹⁰. Gulliver così descrive gli scienziati dell'isola di Laputa:

Le loro idee si aggirano sempre fra linee e figure. Volendo lodare, per esempio, la bellezza d'una donna, o di qualunque altro vivente, essi la descrivono con rombi, cerchi, parallelogrammi, ellissi, ed altri termini tolti in prestito dalla geometria, o con vocaboli dell'arte musicale, dei quali faccio grazia al lettore. Osservai dalla cucina del Re ogni specie di strumenti matematici e musicali: essi servono di modelli per tagliare in determinate figure la carne che s'imbandisce alla tavola di Sua Maestà.

Negli ultimi tempi si sta invece scoprendo che gli aspetti metaforici e non esplicitabili del linguaggio sono essenziali per comprendere la dinamica dei cambiamenti concettuali nella scienza e della disseminazione del significato delle sue acquisizioni.

È diventato sempre più evidente con l'evoluzione della scienza nel nostro secolo, che i principi della scienza non sono astrazioni dalla realtà immediata, ma un sistema di simboli generato dall'immaginazione creativa dello scienziato e mediato da linguaggi ricchi di connotazioni metaforiche. Non vi è alcun processo di astrazione che faccia passare dalla nostra esperienza sui corpi in movimento alle leggi del moto di Newton o alle equazioni del moto in un campo gravitazionale secondo la teoria generale della relatività. Mentre le nostre esperienze sul movimento possono venir descritte con un linguaggio comune, i principi generali contengono nella loro formulazione termini simbolici come “evento”, “spazio curvo quadridimensionale” o “coordinate relative ad un sistema inerziale”, che non appartengono al linguaggio comune usato nella descrizione dell'esperienza quotidiana. Ancor più lontani, i principi della teoria quantistica contengono parole, quali “probabilità di transizione di un sistema” o “funzione d'onda di un certo campo materiale”, che non si trovano nel nostro linguaggio comune.

Dai principi generali noi possiamo dedurre, mediante lunghe catene matematiche, proposizioni che descrivano direttamente fatti osservabili e che possano

⁷ *Op.cit.* (8)

⁸ *Op.cit.* (19)

⁹ *Op.cit.* (9)

¹⁰ *Op.cit.* (24)

venir formulate nel linguaggio comune, ma tali catene diventano sempre più lunghe col progredire della scienza, con passaggi di crescente difficoltà, e spesso le catene non posseggono un termine ben preciso.

È così sempre esistita l'aspirazione di connettere i principi con il linguaggio per mezzo di tramiti più brevi e diretti, eliminando la mediazione metaforica e ripristinando la situazione in cui i principi generali stessi siano in accordo con il senso comune. Questa esigenza è stata particolarmente forte all'inizio della rivoluzione scientifica, quando era necessario distinguere in modo netto la scienza dalla magia, per la quale le parole equivalgono alle cose che descrivono, per cui manipolando le parole si può agire sulle cose stesse.¹¹ Per Bacone, Hobbes e Locke le metafore introducevano nella scienza dei significati non-letterali e quindi inappropriati, col rischio di inquinare i significati precisi e stabili che la scienza deve scoprire al là dei termini che usa, e pertanto dovevano venir evitate.

Per un certo periodo si è sperato di trovare una scorciatoia che superasse il problema dei limiti e delle mediazioni linguistiche e che quindi rendesse automaticamente evidenti i significati ed i contenuti dei concetti scientifici. L'idea che esistano simboli, diversi da quelli alfabetici, in grado di esprimere direttamente cose, concetti o nozioni senza l'intermediario delle parole, trovò in Francesco Bacone una precisa formulazione in *De augmentis*:

è da qualche tempo cosa nota che in Cina e nelle regioni dell'Estremo Oriente sono oggi in uso dei caratteri reali, non nominali, che esprimono cioè non lettere e parole, ma cose e nozioni. In tal modo genti di diversissime lingue, che consentono su questo tipo di caratteri, comunicano fra loro per iscritto ... Le notae rerum, che significano le cose senza l'opera e l'intermediario delle parole, sono di due tipi: l'uno fondato sull'analogia, l'altro sulla convenzione. Del primo tipo sono i geroglifici e i gesti, del secondo tipo i caratteri reali dei quali abbiamo parlato.... I gesti sono una sorta di geroglifici passeggeri perché come le parole volano e gli scritti restano, così i geroglifici dipinti restano e quelli espressi mediante i gesti svaniscono. Occorre che geroglifici e gesti abbiano una qualche somiglianza con la cosa significata; sono una specie di emblemi ... Invece i caratteri reali non hanno nulla di emblematico e sono del tutto non sensibili, come le lettere del alfabeto.¹²

John Wilkins, George Dalgarno e Francis Lolowick, seguendo la via indicata da Bacone, cercarono nell'Inghilterra del '600 di costruire una lingua "naturale" di simboli, nella quale ogni termine fosse una definizione e contenesse la natura della cosa. Nella lingua artificiale, fra i segni e le cose esiste una relazione univoca ed ogni segno corrisponde a una cosa o nozione. Nella lingua perfetta o universale l'impositio nominum coincide con la definizione. Quest'ultima consiste nell'esatta collocazione di

¹¹ *Op.cit.* (13)

¹² *Op.cit.* (1)

ogni singolo oggetto o di ogni singola nozione in quell'ordine universale che è rispecchiato dall'*universal philosophy*. Mediante questa collocazione è possibile individuare, con la massima precisione, le relazioni tra la cosa significata e le altre appartenenti alla stessa classe o specie; si possono determinare i rapporti intercorrenti fra la cosa stessa e i generi nei quali essa è contenuta come elemento.¹³

Ubi ars ibi methodus – scrive Dalgarno – ubi methodus ibi numerus, ubi numerus ibi aptitudo, ut res numeratae secundum ordinem numericum, vel figuribus vel vocibus significantur.¹⁴

Wilkins è altrettanto esplicito:

se i segni e le note vengono costruiti in modo da essere in un reciproco rapporto di dipendenza e di relazione conveniente alla natura delle cose significate si potrà al tempo stesso aiutare la memoria e procedere ad un rafforzamento dell'intelletto.¹⁵

Tabella 2. Termini nella sottoclasse *Ska* (religione) nella lingua di Dalgarno

<i>Skam</i>	grazia	<i>Skag</i>	sacrificio
<i>Skān</i>	felicità	<i>Skap</i>	sacramento
<i>Skaf</i>	adorare	<i>Skat</i>	mistero
<i>Skab</i>	giudicare	<i>Skak</i>	miracolo
<i>Skad</i>	pregare		

Il lavoro fatto fu enorme, ma ovviamente non portò alla lingua universale desiderata, richiedendo preliminarmente l'enumerazione completa e ordinata, la classificazione metodica e rigorosa, di tutte quelle cose e quelle nozioni alle quali si vuole che, nella lingua, corrisponda un segno, ossia tutto ciò che esiste nell'universo: Swift non mancherà di inserire queste ricerche fra i folli progetti dell'Accademia di Lagado, satira della Royal Society. Il lavoro non rimase tuttavia senza frutto alcuno: significativa fu la discussione e l'individuazione di metodi per classificazioni razionali in zoologia, botanica e nelle scienze naturali; ad esempio, in base alle tavole di Wilkins, il significato del termine *diamante* è definito come una sostanza, pietra, pietra preziosa, trasparente, colorata, durissima, brillante.

¹³ *Op.cit.* (15)

¹⁴ *Op.cit.* (5)

¹⁵ *Op.cit.* (25)

Un nuovo tentativo di liberazione dai vincoli linguistici fu tentato dagli empiriocriticisti e ripreso nella fisica operativa di Bridgman, che mirava ad una costruzione della fisica completamente basata sull'osservazione e su concetti definibili puramente mediante procedure empiriche: tali progetti sono falliti ed ora i filosofi della scienza accettano come dato di fatto la necessità di referenti teorici non rimandabili all'osservazione per costruire anche le più semplici teorie fisiche e prendono atto del ruolo importante delle metafore nell'evoluzione delle discipline scientifiche. D'altra parte non possiamo dimenticare che il nostro bagaglio di metafore ed altri strumenti dell'immaginario determina in larga misura cosa possiamo pensare in ogni campo, e che l'immaginazione umana, inclusa l'immaginazione creativa nella scienza, può funzionare solo evocando impressioni sensoriali potenziali o fantastiche.

È normale per gli scienziati costruire immagini visuali del particolare fenomeno su cui stanno lavorando come se questo esistesse veramente su una scala accessibile alle impressioni sensoriali, anche quando – ed è sempre più frequente nelle scienze mature – la struttura interna di tali sistemi è in principio inaccessibile alla percezione diretta.

Einstein sviluppò una teoria di livelli o stratificazioni del sistema scientifico, in cui le discontinuità fra gli strati possono venire superate mediante una qualche sorta di processo creativo a tentoni, spesso risolto facendo ricorso a metafore. Nella ricerca di unità logica, lo scienziato teorico è portato progressivamente da un primo livello ad uno strato successivo e via via a livelli sempre più alti, ciascuno caratterizzato da una maggiore parsimonia di concetti e relazioni, in particolare di concetti direttamente connessi con l'esperienza.

Come dice Richard Boyd,

l'uso della metafora è uno dei molti mezzi disponibili alla comunità scientifica per assolvere il compito dell'accomodamento del linguaggio alla struttura causale del mondo. Con questa espressione intendo il compito di introdurre una terminologia nuova e di modificare l'uso della terminologia esistente così che diventino disponibili categorie linguistiche che descrivano i caratteri del mondo che sono significanti a livello causale ed esplicativo. In parole povere, questo compito consiste nell'accomodare il nostro linguaggio in modo che le nostre categorie linguistiche “taglino il mondo in corrispondenza delle sue articolazioni”.¹⁶

Mentre le metafore poetiche proiettano il “noto” verso “l'ignoto”, quelle scientifiche si sforzano di riportare l'“ignoto” al “noto”: davanti a un oggetto o a un fenomeno ancora largamente sconosciuto, ne tentano la spiegazione ricorrendo all'analogia con un oggetto o con un fenomeno conosciuto.

Spesso le espressioni metaforiche costituiscono per qualche tempo una parte insostituibile del meccanismo linguistico di una teoria scientifica e gli scienziati devono

¹⁶ *Op.cit.* (4)

ricorrere per esprimere tesi teoriche a metafore che diventano così in qualche modo costitutive delle teorie stesse e per le quali non si conosce alcuna parafrasi letterale adeguata. Tali metafore diventano indispensabili perché forniscono un modo per introdurre una terminologia per aspetti del mondo la cui esistenza sembra probabile ma delle cui proprietà fondamentali molte rimangono ancora da scoprire. Le metafore costitutive di teorie rappresentano pertanto una strategia per l'accomodamento del linguaggio a caratteri naturali non ancora del tutto scoperti. Certe metafore si stabilizzano: non rimangono proprietà del loro inventore e non si possono sostituire con costrutti linguistici alternativi, la comunità scientifica le fa sue e continua ad esplorarle ed arricchirle fino a farle diventare delle idee che entrano a pieno titolo nelle teorie definitive.

Lo stesso rapido metabolismo della scienza costringe gli scienziati al rischio del pensiero metaforico. Gli scienziati sembrano lavorare ai bordi di un vulcano sempre attivo che trabocca di novità che impongono neologismi e catacresi ad un ritmo crescente.

Ma le metafore possono svolgere un importante ruolo euristico e portare a sviluppi inaspettati proprio perché spingono gli scienziati a esplorare collegamenti che altrimenti sarebbero rimasti oscuri: le metafore rappresentano sorgenti di possibili instabilità all'interno del discorso scientifico, con la capacità di creare contatti interdisciplinari, con scambio di significati e l'importazione di nuovi termini teorici.¹⁷

3. Un esempio: lo spin dell'elettrone da modello, a metafora, a grandezza fondamentale

Con spin si indica, in tutte le lingue, un attributo fondamentale di ogni sistema microscopico, che ha lo stesso status della massa o della carica elettrica: l'evoluzione concettuale--linguistica che ha interessato questo concetto da modello a metafora, a grandezza fondamentale, si completò in intensi dibattiti nel giro di due anni, dall'autunno del 1925 al dicembre del 1927.

Spin in inglese è un termine del linguaggio comune che esprime una rotazione: inizialmente *to spin* indicava il processo di torcere una fibra per produrre un filo, attualmente la prima immagine che il termine suggerisce è quello della trottola che gira su se stessa.

¹⁷ *Op.cit.* (2)

Dopo dieci anni di continui successi, agli inizi degli anni '20 la teoria atomica di Niels Bohr e la vecchia teoria dei quanti entrarono in crisi. I sistemi atomici venivano trattati mediante il "principio di corrispondenza": si individuavano innanzi tutto i gradi di libertà sulla base della meccanica classica per poi imporre alle grandezze fisiche loro associate di assumere dei valori multipli interi di un "quanto" fondamentale: un'orbita elettronica in un atomo veniva così caratterizzata da una terna di numeri quantici (interi) esprimenti la quantizzazione della dimensione, della forma e dell'orientamento spaziale.

Il metodo, oltre ad essere insoddisfacente dal punto di vista teorico, si scontrò con delle difficoltà insormontabili nell'affrontare gli effetti del campo magnetico sugli spettri atomici (effetto Zeeman) e su fasci di particelle (esperimento di Stern e Gerlach): in entrambi i casi i sistemi atomici presentavano una molteplicità di stati, irriducibili alla teoria. Come disse Wolfgang Pauli,

allora ci si scontrava contemporaneamente contro due difficoltà differenti dal punto di vista logico. Una era la mancanza di una chiave generale per tradurre un dato modello meccanico nella teoria dei quanti... La seconda difficoltà era la nostra ignoranza di quale fosse il corretto modello classico da impiegare.¹⁸

Arnold Sommerfeld nel 1920 introdusse, senz'altra motivazione che di descrivere i dati, un numero quantico ulteriore, non collegato alla dinamica del sistema, che chiamò "numero quantico interno" e che, a differenza di quelli canonici, poteva assumere anche valori seminteri (ossia multipli di 1/2), come mostrò Alfred Landé nel 1921. Nel 1923 Pauli suggerì che ogni elettrone nelle orbite atomiche possedesse una peculiare duplicità che si manifestava con il nuovo numero quantico che poteva assumere due valori, +1/2 o -1/2. Pauli non anticipò alcuna ipotesi fisica per questa proprietà dell'elettrone, ma era particolarmente soddisfatto che essa non corrispondesse ad alcun grado di libertà classico, e fosse quindi un primo effetto assolutamente quantistico.

Mentre Bohr, Pauli e Werner Heisenberg disperatamente cercavano una teoria rigorosa e consistente del microcosmo, sforzo che porterà nel 1925-26 alla meccanica quantistica, due giovani dottorandi allievi di Paul Ehrenfest a Leida, Samuel Goudsmit e George Uhlenbeck, proposero in un breve lettera pubblicata su "Naturwissenschaften" il 20 novembre 1925 un'interpretazione fisica della bivalenza degli elettroni, riconducendo il quarto numero quantico ad un grado di libertà interno, la rotazione dell'elettrone attorno ad un asse intrinseco, un po' come la terra ruota su se stessa nella sua rivoluzione attorno al sole. Il corrispondente momento angolare ha il valore fisso di

¹⁸ *Op.cit. (12)*

$1/2$ in opportune unità, e nell'interazione con un campo magnetico può assumere solo due orientazioni, o parallelo o antiparallelo al campo, da cui i due valori del numero quantico associato. Questa descrizione permetteva di risolvere una serie di problemi aperti e di chiarire vari punti ancora oscuri, in particolare la struttura fine di spettri atomici, nonché di dar conto dei momenti magnetici degli atomi.

Per i due olandesi la rotazione dell'elettrone era un vero modello, una schematizzazione di una realtà fisica oggettiva.

L'ipotesi presentava delle difficoltà quantitative – alcune dovute a calcoli errati – e suscitò perplessità di fondo. Hendrik Lorentz, il grande vecchio della fisica olandese, cui l'idea era stata presentata, si era subito dimostrato scettico, avendo calcolato che il modello comportava una velocità tangenziale quasi 10 volte quella della luce; Ehrenfest tuttavia incoraggiò i suoi allievi alla pubblicazione: “siete entrambi tanto giovani che potete affrontare la proposta di un'idea stupida!”

Un grado di libertà rotazionale, imponendo una struttura interna agli elettroni, cozzava contro la descrizione corrente che li considerava assolutamente puntiformi e scosse la comunità dei fisici atomici: Bohr in particolare riteneva impossibile che il momento magnetico intrinseco degli elettroni potesse produrre effetti in un atomo, ove esiste solo un campo elettrico. Tale problema venne risolto da Albert Einstein, che incontrò Bohr a Leida nel dicembre 1925 in occasione della festa per il cinquantesimo del dottorato di Lorentz: Einstein osservò che l'elettrone vede in realtà un campo elettrico rotante, che in base alla teoria della relatività comporta un campo magnetico, cui la rotazione dell'elettrone può accoppiarsi.

Un'idea dell'ansia dei fisici di fronte all'ipotesi dell'elettrone rotante è data dal susseguirsi di incontri di Bohr nel suo viaggio a Leida: alla fermata nella stazione di Amburgo lo aspettavano Pauli e Otto Stern, assolutamente contrari all'idea; sulla via del ritorno, a Gottinga cercò di convincere Heisenberg e Pascual Jordan e nella fermata di Berlino incontrò Pauli, appositamente giunto da Amburgo.

Bohr dopo il colloquio con Einstein era convinto della sostanziale validità dell'idea, come scrisse il 22 dicembre 1925 a Ehrenfest:

Sono convinto che essa rappresenti un passo avanti estremamente grande nella teoria della struttura atomica. Nel mio viaggio di ritorno mi sono sentito proprio come un profeta del vangelo dell'elettrone magnetico.¹⁹

¹⁹ *Op.cit.* (16)

Bohr aggiungerà un positivo commento ad un nuovo articolo degli olandesi, pubblicato su Nature il 20 febbraio 1926.²⁰ In questo articolo Goudsmit e Uhlenbeck ricordano che l'idea di un elettrone magnetico rotante era già stata considerata nel 1921 da Arthur Compton nello studio dei fenomeni magnetici della materia: in tale articolo, che essi non conoscevano al tempo della prima pubblicazione, compare per la prima volta il termine "spinning electron", come espressione inglese corrente del concetto "elettrone rotante".

Per Pauli si trattava di una *nuova eresia*, perché riconduceva la duplicità elettronica – per lui un effetto assolutamente quantistico – nella prospettiva semiclassica della vecchia teoria dei quanti. Per tale motivo aveva affossato un'ipotesi analoga proposta nel gennaio 1925 da Ralph de Laer Kronig ridicolizzandola con un feroce: idea molto ingegnosa ma naturalmente priva di alcun rapporto con la realtà, tanto che Kronig non ebbe il coraggio di pubblicarla, perdendo così la priorità: "In futuro dovrò fidarmi di più del mio giudizio e meno di quello altrui". Solo dopo che le discrepanze numeriche vennero corrette nel 1926 da calcoli più precisi di Llewellyn Thomas, Pauli cedette alla insistenze di Bohr ritirando a malincuore la sua opposizione.

Sul problema intervennero nel 1926 anche Enrico Fermi e Franco Rasetti che dimostrarono che l'interpretazione semiclassica dell'elettrone rotante portava ad incongruenze in quanto le sue dimensioni diventavano enormi; essi concludono tuttavia che

l'ipotesi dell'elettrone rotante non debba per questo venir abbandonata. Naturalmente noi non riteniamo che essa debba venir presa troppo alla lettera, nel senso che ci si debba veramente figurare l'elettrone come un corpo macroscopico carico di elettricità e rotante attorno a se stesso, poiché quello che è essenziale per le applicazioni è che l'elettrone possieda un momento meccanico e un momento magnetico, indipendentemente da rappresentazioni modellistiche troppo particolari sopra l'origine di questi.²¹

Per Fermi e Rasetti pertanto la rotazione diviene da modello fisico una pura metafora – una cataresi – in mancanza di una migliore descrizione delle proprietà intrinseche dell'elettrone. Il senso metaforico diviene quello prevalente ed emerge anche dall'uso linguistico: i vari autori esprimono ciascuno nella propria lingua il concetto "rotante", e si parla appunto di "momento meccanico", "Drehmoment" o "Drehimpuls" o "Kreiselmoment", "elektronens impuls", "moment d'impulsion", "angular momentum of spinning electron" ...

²⁰ *Op.cit.* (21)

²¹ *Op.cit.* (14)

Nel 1927 si era intanto posto il problema di esprimere l'elettrone nell'ambito della nuova meccanica quantistica; Pauli formulò un'elegante soluzione non-relativistica in cui l'inerente duplicità dell'elettrone viene espressa da associandogli una coppia di stati, uno per ciascuna delle due possibili "orientazioni" del "Kreismoment", senza però derivare tale speciale caratteristica da principi fondamentali.

Lo "spin" diviene finalmente un termine tecnico, sganciato dalla sua connotazione metaforica (in inglese), a partire dalla fine del 1927: i primi ad usare esplicitamente (in un testo tedesco) le espressioni "Elektronen-Spin" e "Spin" per individuare la corrispondente grandezza sono infatti Jenö Pal Wigner e Johann von Neumann nella loro descrizione degli spettri sulla base della teoria matematica dei gruppi, che esprime le proprietà di simmetria dell'elettrone.²²

Spettò a Paul Dirac raggiungere una sistemazione definitiva nel febbraio 1928 con la sua equazione che rispetta le leggi sia della meccanica quantistica che della relatività, equazione che implica in modo ineluttabile tutte le proprietà dell'elettrone, spazzando via le inadeguatezze del modello e superando la rinuncia concettuale insita in una descrizione metaforica: Rimane la questione del perché la natura abbia dovuto scegliere questo particolare modello per l'elettrone invece di essere soddisfatta con una carica puntiforme. ... In questo lavoro si dimostra che l'incompletezza delle precedenti teorie sta nel loro disaccordo con la relatività.²³

L'equazione di Dirac – una delle meraviglie del XX secolo – fornisce una descrizione estremamente accurata dei dati empirici e, come tutte le grandi teorie, apre prospettive inaspettate: a differenza di quanto correntemente accettato, prevede per l'elettrone quattro, e non due, stati possibili, che tengono conto non solo della bivalenza associata allo spin ma introducono un'ulteriore bivalenza, assolutamente impreveduta, in cui si invertono carica elettrica ed energia, dischiudendo le porte di un nuovo universo, quello dell'antimateria. Ma questo è un nuovo capitolo glorioso della storia della fisica del '900.

4. Metafore e comunicazione scientifica

²² *Op.cit.* (23)

²³ *Op.cit.* (7)

La divulgazione scientifica fa grande uso, e spesso abuso, di metafore, stretta com'è fra le problematiche scientifiche sempre più lontane dall'esperienza quotidiana ed il generale analfabetismo scientifico dei destinatari della comunicazione.

Innanzitutto va notato che non sempre si possono trasferire immediatamente le metafore sviluppate dagli scienziati nella fase creativa alla comunicazione dei nuovi risultati al pubblico più generale. Il problema principale è che tali metafore non portano con sé una chiara demarcazione delle aree della loro legittimità: esse possono essere degli strumenti efficaci per gli scienziati, ma fonti di errori per gli studenti ed il pubblico. Gli scienziati di frontiera, ove vengono sviluppate la terminologia e le nuove immagini, parlano soprattutto con altri scienziati al loro livello di comprensione o prossimi: per questo il loro linguaggio esce dal regno del linguaggio naturale con le sue proprietà. E la differenza di linguaggio riflette in realtà una diversa visione del mondo, per cui non si tratta solo di un problema di traduzione. Senza dare preminenza ad un programma di adattamento di queste visioni del mondo, l'insegnamento e divulgazione della scienza rischiano di restare del tutto superficiali.

D'altra parte troppo spesso nella divulgazione scientifica si cerca di ottenere attenzione o comprensione banalizzando metafore. Ciò è tanto controproducente quanto non spiegare i confini propri delle metafore corrette. Vi sono due ruoli competitivi delle metafore: a volte agiscono come mezzi per trasferire significato attraverso delle discontinuità ed, in altri casi, come uno strumento più attivo di metamorfosi, di ristrutturazione di una percezione dell'immagine del mondo. In ogni caso la metafora ha limiti espliciti od impliciti, e poiché la metafora è sempre contingente al contesto, i suoi limiti cambiano con spostamenti del contesto.

L'uso sistematico di metafore era uno strumento importante nell'iconografia religiosa, in particolare quando affreschi e quadri nelle chiese costituivano il mezzo di comunicazione più efficace a fronte dell'analfabetismo dominante: ogni immagine doveva portare con sé un ampio bagaglio metaforico per ricordare i principi della fede, ancorché astratti, in immagini di presa immediata, in grado di per sé di produrre emozioni estetiche e sentimentali. Ciò che era tuttavia immediato per i fedeli illetterati del medioevo ora è muto per noi, se non troviamo chi ci aiuti a decodificare le metafore.

Si consideri ad esempio il quadro *Madonna con il Bambino* di Carlo Crivelli, ora esposta all'Accademia Carrara di Bergamo (**figura 1**). Tullio Zevi ci permette di leggere i messaggi che esso propone ai fedeli:

La Madonna con il Bambino è posta al di là di un parapetto e contro una tenda, su cui sono delle ghirlande con due grosse mele. Sullo sfondo c'è un paesaggio; in primo piano appaiono un garofano, un cetriolo e una ciliegia. Frutti e fiori non sono capricci del

Crivelli, ma hanno, invece, un significato preciso. Perché il Bambino ha in mano una mela così grossa e pesante? Perché la mela rappresenta il peccato originale ed è il frutto colto da Eva: quindi Gesù Redentore, incarnandosi, prende su di sé il peccato originale e ne sostiene il peso. Questo stesso tema della mela è ripreso nello sfondo: i due pomi della ghirlanda sono un'altra allusione precisa al peccato originale. In primo piano c'è un cetriolo, anch'esso provvisto di valore simbolico. Posto che tutto il pensiero medioevale è volto a trovare concordanze tra l'Antico e il Nuovo Testamento, il cetriolo è il simbolo della Resurrezione. In effetti, quando Giona, dopo essere stato inghiottito dalla balena (nel cui ventre restò tre giorni), fu riportato alla luce grazie al vomito della balena, secondo la leggenda biblica si svegliò sotto un pergolato di zucche. I tre giorni nei quali Giona rimase nell'oscurità del mostro marino vengono paragonati, nella concordanza, ai tre giorni trascorsi da Cristo nell'aldilà dopo la crocefissione. Il cetriolo in primo piano è posto tra una ciliegia e un garofano. Quest'ultimo è simbolo nuziale. La Madonna viene identificata con la Chiesa sposa di Cristo. Quindi anche qui il garofano, sia pure in senso mistico, è un simbolo nuziale. Il paesaggio ha caratteri completamente diversi a destra e a sinistra. Sulla sinistra gli alberi sono verdi, a destra sono secchi. Sono l'aridità, la morte, il seccume del mondo prima dell'Incarnazione; il vigore e il ritorno della vita nel mondo dopo l'Incarnazione. Sono quadri che non si limitano alla rappresentazione della Madonna col Bambino; costituiscono, piuttosto, una sorta di compendio teologico, sono delle miniere di informazioni su quelle che erano le credenze, le preferenze teologiche del tempo.²⁴

Nel ricorso ad enunciazioni metaforiche occorre tener presente che così facendo si mette in gioco una particolare comunità di saperi e di intenzioni, di interessi e di gusti e si postula un contatto metacomunicativo tra gli interlocutori: ove questo contatto è forte la comunicazione può essere estremamente sintetica, come nei libri senza testo (*Mutus Liber*) che si scambiavano gli alchimisti.²⁵ Ma se l'ascoltatore non riesce a produrre un significato, come un estraneo al mondo alchemico di fronte a illustrazioni misteriose, allora si sviluppa un divario, una perdita netta di comunicazione.

²⁴ *Op.cit.* (26)

²⁵ *Op.cit.* (11)



Figura 1 Carlo Crivelli, *Madonna con Bambino*, Bergamo, Accademia Carrara

Quanto l'efficacia della metafora dipenda dalla contestualità culturale si può percepire anche considerando la differenza nella rappresentazione iconografica della Trinità nella tradizione cattolica occidentale e in quella ortodossa orientale, espressa da una parte dall'affresco di Masaccio in S. Maria Novella e dall'icona di Rublyov, ora alla galleria Tretyakov di Mosca. In quest'ultima opera vi è un sottile gioco di messaggi metaforici espressi da relazioni geometriche anziché da oggetti, come invece proposto nella Madonna del Crivelli.²⁶

Sono in particolare da evitare metafore nella spiegazione di teorie che già consentono formulazioni non metaforiche del tutto adeguate: in questi casi le metafore suggeriscono troppo poco od offrono una percezione insufficiente a livello teorico per poter assolvere più di un semplice aiuto alla visualizzazione. Si considerino, ad esempio, la descrizione della localizzazione spaziale di elettroni legati come una

²⁶ *Op.cit.* (22)

“nuvola elettronica” o la descrizione di atomi come “sistemi solari in miniatura”, come nel *La montagna incantata* di Thomas Mann. La prima metafora non produce intuizioni o chiavi di penetrazione nel fenomeno che intende descrivere. La seconda metafora compendia effettivamente la concezione teorica fondamentale di Bohr, ed ha avuto storicamente una rilevanza nella discussione dei modelli alternativi, ma questa forma di percezione non deriva dall’adeguatezza della metafora, né dal suo carattere aperto a successivi sviluppi: si può infatti dire esattamente sotto quali aspetti la nozione di atomo di Bohr assomigli a un sistema solare senza usare alcun espediente metaforico. Anzi il confronto analitico fra i due modelli, non più metafore, permette di far risaltare aspetti precisi delle due differenti dinamiche e proporre approfondimenti non banali.

Lo stesso si può dire a proposito dello spin e dell’“elettrone rotante”, mettendo in evidenza il confronto fra una struttura elementare puntiforme ed una dotata di struttura.

Anche nella divulgazione scientifica occorre tener presente che la ragione è molto più efficace di quanto non si consideri. Pertanto un processo educativo ed informativo si può basare su strumenti logici, quali l’argomentazione e l’inferenza. È utile far giungere logicamente a delle anomalie, creando dei fertili conflitti cognitivi, non con metafore ma con paradossi, che sono prodotti dalla giustapposizione di due proposizioni che *sembrano* essere contraddittorie, ma che in realtà sono entrambe vere. In tale modo si può suscitare un ruolo più attivo da parte di chi vuole apprendere e rendere il processo di acquisizione conoscitiva più efficace. L’acculturazione scientifica è infatti un processo globale interattivo: occorre un ruolo attivo da parte di chi vuole impadronirsi del sapore della scienza.

Anche nella scienza la metafora si rivela *il più ingegnoso e acuto, il più pellegrino e mirabile, il più gioviale e giovevole, il più facondo e fecondo parto dell’umano intelletto*. Inoltre la comprensione del suo ruolo costruttivo nelle discipline scientifiche può fornire suggerimenti per ristabilire i contatti fra scienza, letteratura ed arte in un reciproco arricchimento verso una ricomposizione unitaria della cultura.

Bibliografia

- 1) Bacone F., *Scritti*, UTET, Torino, 1975.
- 2) Bono J.J., *Science, Discourse, and Literature: The Role of Metaphor in Science, in Literature and Science*, Peterfreund S. ed., Northeastern University Press, Boston, 1990.
- 3) Borges J.L., *La metafora in Storia dell'eternità*, 1936.
- 4) Boyd R., *Metaphor and Theory Change in Metaphor and Thought*, Ortoni A. ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1979.
- 5) Dalgarno G., *Ars Signorum, vulgo Character Universalis, et Lingua Pilosophica*, 1661.
- 6) Dawkins R., *Unweaving the Raibow*, Houghton Mifflin, Boston, 1998.
- 7) Dirac P.A.M., *The Quantum Theory of the Electron*, Roy. Soc. Proc. A, vol 117, 1928, pg.610.
- 8) Flaubert G., *Bouvard e Pécuchet (1880)*, Einaudi, Torino, 1996.
- 9) Lavado J.S. (Quino), *Gente in su sitio*, La Flor, Buenos Aires, 1988.
- 10) Lienhard S., *History of Classical Poetry Sanskrit-Pali-Prakit in A History of Indian Literature*, Gona J. ed., III.1, Harrassowitz, Wiesbaden, 1984.
- 11) *Mutus Liber (1677)*, Arkeios, Roma, 1995.
- 12) Pauli W., *Exclusion principle and quantum mechanics (1946)*, in *Nobel Lectures: Physics 1942-1962*, Elsevier, Amsterdam, 1964.
- 13) Picatrix, *Il fine del saggio (circa 1100)*, Mimesis, Milano, 1999.
- 14) Rasetti F. e Fermi E., *Sopra l'elettrone rotante*, in "Nuovo Cimento" 3, 1926, pg. 226.
- 15) Rossi P., *La scienza e la filosofia dei moderni*, Bollati Boringhieri, Torino, 1989.

- 16) Rüdinger E. (ed.), *Niels Bohr collected works*, vol 5, New Holland, Amsterdam, 1964.
- 17) Sei Shonagon, *Note del guanciale* (circa 1000), SE, Milano, 1988.
- 18) Snorri S., *Edda* (circa 1200), Tea, Milano, 1997.
- 19) Swift J., *Gulliver's Travel* (1726), Oxford University Press, Oxford, 1998.
- 20) Tesauro E., *Canocchiale aristotelico*, 1670.
- 21) Uhlenbeck G.E. and Goudsmit S., *Spinning Electrons and the Structure of Spectra*, in "Nature", 117, 1927, pg.254.
- 22) Voloshinov A. V., *The Old Testament Trinity of Andrey Rublyov: geometry and philosophy*, in "Leonardo", vol 32, 1999, pg 103.
- 23) von Neumann J. und Wigner E.P., *Zur Erklärung einiger Eigenschaften der Spektren aus der Quantenmechanik des Drehelektrons. Erster Teil*, Zeitschrift f. Phys., 47, 1928, pg. 203.
- 24) Watterson B., *Homicidal Psycho Jungle Cat*, Warner, London, 1994.
- 25) Wilkins J., *Essay towards a Real Character and a Philosophical Language*, 1668.
- 26) Zevi F., *Dietro l'immagine*, Longanesi, Milano, 1987.