

DAL PENSIERO MITICO ALLA CONOSCENZA DELLA NATURA

Hans U. Fuchs

Centro per la matematica e la fisica applicate, Dip.to di Ingegneria
Università di Scienze Applicate di Zurigo, Winterthur, Svizzera
E-mail: hans.fuchs@zhaw.ch

Abstract

Questo saggio rappresenta la continuazione ideale del discorso sulle strutture tematiche e narrative iniziato lo scorso anno in occasione della prima conferenza sulla didattica delle scienze nella scuola primaria (Fuchs, 2011). In questa occasione parlerò dello sviluppo della mentalità scientifica dopo la fase del pensiero mitico e delle sue conseguenze per la didattica delle scienze. Aggiungerò il concetto delle basi mitiche del modo in cui percepiamo le forze della natura, esporrò alcuni esempi di strutture mitiche usate per parlare di scienze nel corso dei secoli, e poi passerò alla questione di cosa occorra per parlare della scienza moderna. Si identificheranno tre aspetti cruciali dello sviluppo della comprensione della fisica: il realismo romantico, il pensiero teorico e il concetto di spazio. Si giungerà alla conclusione che la narrazione (*storytelling*) vada mantenuta come importante strumento di apprendimento, ma vada sviluppata in tipi di narrazione più formali per creare modelli di processi naturali. Le storie possono essere usate per approfondire la comprensione della *gestalt* delle forze e dei suoi elementi, favorendo una conoscenza della natura motivata da un coinvolgimento di tipo romantico. Il modo migliore per sviluppare strumenti per il pensiero teorico, infatti, è quello di adottare un approccio narrativo alla modellizzazione. Il concetto della spazialità, come si vedrà, non è che l'espressione della crescente distanza tra l'esperienza del sé e il suo inconscio; questo è un elemento da tenere in considerazione se si vuole comprendere la differenza tra i modelli microscopici e i modelli delle forze della natura.

1. Introduzione

Esattamente due anni fa, alla prima conferenza di Modena sulla didattica delle scienze nella scuola primaria, ho presentato una descrizione delle strutture schematiche, metaforiche e narrative nel pensiero umano in generale e nella fisica in particolare (Fuchs, 2011) allo scopo di aiutare i docenti a creare delle storie adatte all'insegnamento delle scienze a bambini nella prima infanzia (si veda anche Fuchs, 2013a,b; Corni et al., 2012).

Il concetto alla base di tale approccio era semplice: se è vero che come nelle descrizioni più quotidiane del mondo che ci circonda, così anche nel discorso scientifico ricorrono le medesime strutture schematiche e metaforiche, è lecito sperare nell'applicabilità di un approccio narrativo alle scienze, e che i docenti trovino facile narrare racconti sulle forze della natura come calore, luce, sostanze chimiche, acqua, aria, suolo, elettricità, moto e cibo, ossia tutte le cose che determinano gran parte di ciò che accade nel mondo (Corni et al., 2012). E in effetti, il linguaggio usato dai bambini in tenera età è già pieno di quelle strutture che con l'avanzare degli anni potranno essere usate per parlare delle scienze in modo più formale.

Tutto ciò non ci sorprende più di tanto se ci rendiamo conto che il linguaggio e il pensiero umano sono figurativi, che gli *image schema* che si sviluppano nella prima infanzia sono gli stessi che si utilizzano nel pensiero metaforico, e che tutti noi creiamo delle storie per interpretare ciò che ci circonda. Se invece pensiamo che la scienza vada intesa come un'espressione letterale di verità assolute e indipendenti dalla mente umana, troveremo difficile credere che esista un solo tipo di scienza di cui si possa parlare ai bambini come agli esperti.

In questo mio saggio intendo addentrarmi più a fondo nel mondo della fisica, analizzandone alcuni concetti fondamentali e tracciandone a grandi linee la genesi storica. A questo scopo, seguiremo l'evoluzione del modo di concettualizzare la natura partendo dai miti delle culture orali fino alla moderna fisica del continuo, e vedremo quanto le radici della scienza odierna siano antiche e affondino in un profondo substrato culturale quanto biologico. Ciò significa anche che non correrò il rischio che il mio discorso sulle teorie della scienza moderna si riveli troppo formale: infatti gli strumenti per comprendere tale discorso provengono dal comune linguaggio

quotidiano. Spero che la mia trattazione offra alcuni spunti pratici per la didattica delle scienze.

A muovermi sono almeno due convinzioni. La prima è che il pensiero mitico sia per tutti noi un modo efficace per arrivare alla comprensione della natura e costituisca la base della scienza moderna. La seconda è che l'analisi della sua evoluzione può condurci a trovare cosa occorre, oltre al pensiero mitico, per fare scienza, il che assume particolare importanza se si vuole, come in questa sede, parlare di come far progredire l'insegnamento delle scienze dai primi anni dell'infanzia fino alla seconda parte della scuola primaria e oltre, anche alla luce dei profondi cambiamenti che interessano la mente del bambino tra gli otto e i dieci anni (come osservato da Egan, 1990, 1997). Ma quali sono le implicazioni di tali riflessioni per la didattica in generale e per quella delle scienze in particolare?

2. Il pensiero mitico e le cosmologie primordiali

Quando si osservano i bambini in tenera età giocare, interagire e parlare, non si può fare a meno di pensare che vivano in un mondo diverso da quello degli adulti, più simile a quello dei miti dell'alba dei tempi.

È il mondo delle culture orali (Ong, 1982) che ancora sopravvive in alcune remote comunità (Levi-Strauss, 1968; Parry, 1971) e si rinnova nelle "società" dei bambini di età compresa approssimativamente tra i quattro e gli otto/nove anni (Egan, 1988). Quello che normalmente si ignora, tuttavia, è che le astrazioni che popolano il mondo dei nostri bambini sono le stesse che costituiscono le basi concettuali delle teorie macroscopiche delle forze della natura. Vediamo allora come gli esseri umani hanno descritto e spiegato il funzionamento della natura nel corso dei secoli e millenni.

Prima di passare ad alcune osservazioni concrete sulle cosmologie dei primordi e sui miti della creazione, va sottolineato che ciò che i miti delle antiche culture ci tramandano è una rappresentazione dello sviluppo della psiche umana (si veda p.es. Neumann, 1949/1954). In altre parole, ciò che sperimentiamo in noi stessi (la nostra esperienza psichica) viene proiettato sul mondo esterno; ciò che struttura i nostri miti sono gli archetipi umani più basilari.

Al di là di alcuni particolari che variano di cultura in cultura, importanti tratti comuni ricorrono nelle cosmologie di antichi popoli come

i sumeri, gli egizi o gli indiani d'America (Lévy-Bruhl, 1923/2012, 1926/1985). Il mondo ha inizio di solito come un tutt'uno indifferenziato. Quindi interviene una separazione; per esempio, nel cosmo sumero il vento gonfia il cielo come una vela, tendendolo al di sopra del disco della terra. Nella mitologia egizia, dopo una prima differenziazione delle acque primordiali, terra e cielo rimangono uniti finché non vengono separati dal dio Shu (aria) che si interpone tra Geb (terra) e Nut (cielo; v. Fig. 1). Da notare che terra e cielo sono entrambi concettualizzati come solidi che separano le acque primordiali. La sostanza del cielo viene talvolta descritta come metallo, talvolta come cristallo. Il mondo degli antichi è finito; il cielo non è pensato, come nell'era moderna, come una distesa d'aria o come uno spazio vuoto, infinito (Seely, 1991). Lo spazio come astrazione non esisteva (Weber, 2006); tornerò su questo importante punto quando passerò a parlare delle forme di scienza più moderne.



Figura 1. Shu sostiene il cielo (Nut) impedendogli di cadere sulla terra (Geb).
Tipica rappresentazione degli elementi nella cosmologia egizia.

Fondamentalmente, tutti i miti della creazione parlano della nascita del mondo come una separazione di qualità come luce e buio, alto e basso, asciutto e bagnato, caldo e freddo, giorno e notte, sonno e veglia. E qui troviamo la prima fonte di una forma importante di percezione mitica: la percezione delle polarità contrarie. La psiche

umana e le nostre società riconoscono polarità quali bene e male, coraggio e viltà, giustizia e ingiustizia, amicizia e inimicizia, tutti opposti reciprocamente esclusivi (Lévi-Strauss, 1969) che possono essere interpretati come forze creatrici di ciò che ci circonda e stanno alla base della struttura delle storie che narriamo ai nostri bambini e a noi stessi.

Un secondo elemento che ha pervaso il pensiero umano fin dagli albori della storia è l'idea di agenzialità (*agency*; Gell, 1998). Non sono solo gli esseri umani a poter agire: questa capacità (l'agenzia, appunto) si attribuisce anche agli oggetti e a quelle cose invisibili che potremmo chiamare spiriti immateriali. Come scrive Miller (2012) in un contesto moderno, "Quando una forma materiale ha su una persona una conseguenza indipendente dall'agire umano, allora le si attribuisce la facoltà di causare quegli effetti". L'agenzia ha due importanti aspetti: da una parte quello dell'oggetto, cosa o persona, e dall'altra quello della causalità: l'agente fa in modo che qualcosa accada, lo causa, oppure fa (causa) qualcosa a qualcos'altro o qualcun altro.

La percezione delle distinzioni qualitative, ossia le polarità, e il senso dell'agenzia si uniscono a formare un tutt'uno. Non siamo solo in grado di discernere luce e ombra, ci figuriamo i concetti di luce e ombra come agenti che causano fenomeni e hanno il potere di influenzare il modo in cui funziona il mondo. Torneremo sulle idee di qualità, oggetto e causalità nelle scienze naturali, che sono emerse con il declino delle culture mitiche e all'alba di ciò che definiamo "modernità".

Vorrei ora, però, aggiungere un'ulteriore riflessione. Sebbene siamo abituati a pensare che per fare scienza occorra avere una mente già adulta e ben allenata a seguire metodi formali, l'idea di una conoscenza mitica della natura non dovrebbe sconvolgerci. Fondamentalmente, ogni persona può sopravvivere su questo pianeta e nel nostro mondo moderno se usa gli strumenti cognitivi della cultura orale tuttora a disposizione di ogni individuo sano che viva in contatto con la comunità umana. Essere capace di fare scienza non equivale a comprendere la natura, che è una semplice necessità biologica. Ma è interessante vedere come tale necessità biologica ci fornisca anche gli strumenti cognitivi per arrivare a costruire le modalità più formali della scienza.

3. Dai primordi della scienza alla moderna fisica del continuo

In questa sezione esporrò brevemente alcuni esempi di come la fisica è stata trattata nei secoli e sottolineerò alcune concettualizzazioni chiaramente ispirate al pensiero mitico. Tale descrizione non vuole, né può, essere in alcun modo completa. Nella sezione successiva parlerò invece di alcuni aspetti della scienza moderna che esulano dalle culture mitiche. Sebbene io tenga a evidenziare che molti dei suoi concetti basilari sono antichi, la fisica è una scienza del tutto moderna in quanto a pratiche, formalismo e approccio generale.

Iniziamo con Erone di Alessandria (10-70 d.C.) e il suo trattato di *Pneumatica* (Woodcroft, 1851), citandone alcuni brevi brani. Dopo una breve introduzione generale al suo modo di fare scienza e ingegneria, Erone descrive una vasta serie di congegni che utilizzano aria, liquidi e fuoco per creare effetti utili e ludici. Scrive che “[...] con l'unione di aria, terra, fuoco e acqua e la concorrenza di tre o quattro principi elementali si ottengono varie combinazioni, alcune delle quali concorrono a soddisfare i bisogni più pressanti della vita umana, altre suscitano meraviglia e spavento”. Sull'argomento del vuoto, impariamo che “Alcuni asseriscono che non esista assolutamente alcun vuoto; altri che, sebbene il vuoto continuo non sia visibile in natura, esso si trovi distribuito in porzioni minuscole nell'aria, nell'acqua, nel fuoco e in ogni altra sostanza [...]. Ancora, testimoniano dell'esistenza degli spazi vuoti le seguenti considerazioni: poiché, se non esistessero tali spazi, né la luce, né il calore né alcuna altra forza materiale potrebbe penetrare l'acqua, l'aria, o qualsivoglia altro corpo”.

Dopo l'introduzione, da cui erano tratte queste citazioni, Erone passa a descrivere i suoi congegni, molto spesso senza specificarne lo scopo, ma semplicemente disegnando la macchina, etichettandone le parti principali e fornendo istruzioni di montaggio e uso. In questa parte, quello che chiamerei ragionamento mitico emerge per esempio nel titolo della sezione 77, “Organo da altare azionato da mulino a vento”, o quando si legge “quando tutti questi bracci, sospinti dal vento, fanno girare la ruota [...]”. O anche nella sezione 11, “Libagioni ad un Altare prodotte dal Fuoco [...]”. La conduttura in cui passa il calore deve essere più larga verso la parte mediana, poiché è necessario che il calore, o meglio il vapore da esso prodotto, passando in uno spazio più ampio, si espanda e agisca con maggiore forza”.

Erone usa concetti di natura chiaramente mitica per spiegare il funzionamento della natura. Tuttavia, nelle sue descrizioni sono già visibili alcuni elementi che non sarebbero stati possibili in una società mitica; vedremo quali nelle sezioni successive di questo saggio.

Ora passiamo alla Firenze del XVII secolo, dove alcuni sperimentatori fondarono l'Accademia del Cimento (Magalotti, 1667) per condurre esperimenti sull'aria, sul riscaldamento e sul congelamento, sul magnetismo, sull'elettricità, sulla luce e altri fenomeni fisici, tentando *in primis* di descrivere e comprendere le varie forze della natura. Una sezione del loro trattato verte sulla forza del freddo (Fig. 2). Ecco come presentano la sezione sulle "Esperienze intorno agli artificiali agghiacciamenti" (Magalotti, 1667, pp. 77-78):

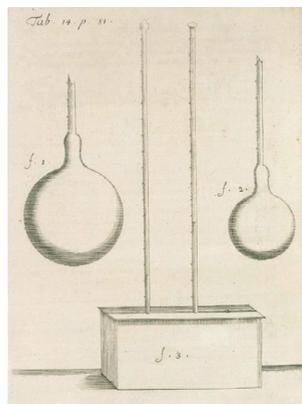


Figura 2. Disegno di un apparato usato per studiare la forza del freddo, dal trattato dell'Accademia del Cimento. Uno dei bulbi era riempito di alcool e serviva da termometro, l'altro conteneva il liquido da congelare.

Fra le stupende operazioni della natura fu sempre avuto in grandissimo pregio quell'ammirabil lavoro, ond'ella rimuovendo l'acqua dalla sua fluidità la lega e ferma insieme, donandole soliditate e durezza. [...] Il freddo [...] i liquori più fluidi invetra e rassoda, convertendogli in gelata neve ed in ghiaccio [...]. Anzi (che più stupore n'arrecata) vedesi con sì violenta forza operare il freddo nell'agghiacciamento de' fluidi, che penetrando non che ne' vetri fino per l'occulte vie de' metalli. [...] 'l freddo nell'atto del congelare i chiusi vasi di grossissimo cristallo rompe, quegli d'oro più schietto sottiglia e distende e finalmente strappa, e quelli di crudo bronzo gettati spezza; [...] non è mancato chi creda che dove il freddo lavora colà nelle sue miniere co' materiali più propri, arrivi a condizionar le acque purissime a ricever così fatta tempera, che e' le formi eziandio in rocche durissime di cristalli [...].

Intorno poi alla ragione dell'agghiacciare sono andati in ogni tempo variamente speculando gl'ingegni, se ciò veramente nascesse da una sustanza propria e reale del freddo [...] la quale, sì come il fuoco e la luce nella miniera del Sole, così anch'ella o nell'aria, o nell'acque o nel ghiaccio avesse sua particolar residenza [...].

Troviamo ancora una volta gli elementi del linguaggio mitico per descrivere le forze della natura in termini di quantità, intensità e potenza o forza. Gli aspetti schematici di tale ubiquo tipo di linguaggio e pensiero sono presenti, ma non necessariamente ben differenziati. Occorsero altri 150 anni prima che emergesse un'altra interpretazione in cui gli aspetti della *gestalt* delle forze fossero chiaramente distinti. Ciò accadde nel trattato *La Puissance du Feu* scritto da Sadi Carnot nel 1824. Come scrive Carnot:

Mediante le nozioni stabilite finora, si farà un confronto abbastanza preciso tra la potenza motrice del calore e quella di una caduta d'acqua [...]. La potenza motrice di una caduta d'acqua dipende dalla sua altezza e dalla quantità di liquido; quella del calore dalla quantità di calorico impiegata, e da ciò che si potrebbe chiamare, e noi chiameremo, l'altezza della sua caduta, cioè la differenza di temperatura dei corpi tra i quali avviene lo scambio di calorico. Nella caduta d'acqua, la potenza motrice è rigorosamente proporzionale alla differenza di altezza tra il serbatoio superiore e quello inferiore. Nella caduta del calorico, essa aumenta con la differenza di temperatura tra il corpo caldo e quello freddo, ma ignoriamo se sia proporzionale a questa differenza.

La descrizione delle forze della natura offerta da Carnot mi serve da archetipo per la mia disamina della fisica (Fig. 3). È infatti espressa nella forma più chiara possibile, utilizzando la forza del ragionamento analogico reso possibile dalle strutture figurative in cui opera la mente umana (Fuchs, 2006, 2007, 2010). I concetti sono mitici, ma la teoria termodinamica che ne deriva è moderna; osserviamo quindi che la percezione mitica si combina con gli elementi che rendono possibile fare scienza in modo moderno (e vedremo quali sono nella prossima sezione).

Centocinquant'anni dopo l'opera di Carnot troviamo le teorie moderne della fisica del continuo. Se esaminiamo il linguaggio e la struttura delle sue trattazioni, di solito ormai completamente formali e matematici, troviamo alla loro base ancora gli stessi concetti mitici (Fuchs, 2010). Un modello del continuo – diciamo – del flusso elettrico all'interno di un conduttore inizia con l'affermazione della legge dell'equilibrio delle cariche elettriche. Non è che la formulazione matematica della nostra convinzione che l'elettricità abbia un aspetto quantitativo, che si descrive al meglio usando l'analogia con una sostanza fluida: l'elettricità scorre e si immagazzina in un

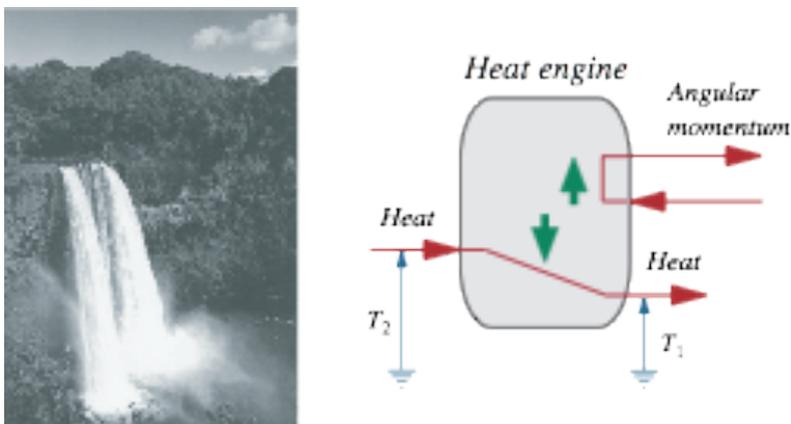


Figura 3. Una cascata serve da archetipo per un processo fisico. In un processo volontario (spontaneo), una quantità scorre da un livello superiore a uno inferiore (è la differenza di livello che la fa fluire). Così facendo innesca altri processi, cioè crea una nuova differenza di livello che innesca il processo successivo. Si dice che per fare tutto ciò occorre energia. L'energia deriva dalla caduta della quantità da un livello superiore a uno inferiore.

contenitore come se fosse un fluido, di natura particolare, ma sempre un fluido. E poi c'è l'idea dell'intensità dell'elettricità, talvolta chiamata tensione elettrica (uso il termine "tensione" in luogo del termine tecnico "voltage"). Anche la tensione elettrica deriva dalla densità con cui l'elettricità viene immagazzinata dentro un materiale: se si verifica una tensione tra due punti del corpo conduttore, allora l'elettricità scorre dal punto di maggiore intensità elettrica a quello in cui l'intensità è minore, ostacolata solo dalla resistenza opposta dal materiale al trasporto di elettricità.

Nel suo scorrere attraverso un conduttore, l'elettricità innesca altri fenomeni. Può pompare o generare calore, produrre luce o variare la composizione chimica del conduttore. Quindi l'elettricità può, ha la forza o potenza di operare questi cambiamenti, i quali a loro volta ne produrranno altri. Viceversa, molte variazioni di luce, composizione chimica, calore o moto possono innescare processi elettrici. Tutti questi rapporti causa-effetto si quantificano in ciò che gli studiosi di fisica hanno chiamato "energia". In termini mitici, possiamo concettualizzare l'energia come la misura della potenza o forza di un fenomeno (Fuchs, 2010b, cap. 2; Fuchs et al., 2011).

Un altro esempio tratto dalla storia della fisica può esserci d'aiuto: l'evoluzione delle teorie del moto dei pianeti, da Platone e Tolomeo attraverso Copernico fino a Keplero e Newton. Queste teorie sono spesso presentate come un esempio di descrizione matematica (o meglio, geometrica) delle regolarità ricorrenti nello spazio e nel tempo. È tuttavia interessante notare che la loro evoluzione fu possibile grazie alla reintroduzione di concetti mitici. In origine, nella concezione tolemaica, la descrizione o meglio il calcolo del moto dei pianeti non era che un esercizio puramente geometrico ispirato alla filosofia di Platone, finché Copernico non vi aggiunse la sua forte convinzione che tale calcolo non spiegava nulla, non rispondeva all'interrogativo della vera natura del sistema solare, mentre sicuramente Dio aveva creato il mondo e l'umanità perché potessimo riconoscere cos'è veramente il mondo che ci circonda (Blumenberg, 1965). Il modello eliocentrico nacque proprio per rispondere a quell'interrogativo. In termini concreti, comunque, il modello copernicano non si distaccava dall'approccio geometrico dei suoi predecessori: Copernico dava per scontato che i pianeti si muovessero in circolo attorno al sole, la cui posizione precisa era determinata da considerazioni puramente geometriche. Fu questo che rese i calcoli di Copernico, alla fine, meno affidabili di quelli di Tolomeo.

Un cambiamento più profondo arrivò con Keplero, che pensava che il moto dei pianeti non potesse essere inteso in termini esclusivamente geometrici ma dovesse risultare dall'influenza fisica del sole sui pianeti (Koestler, 1959/1990). Newton riuscì successivamente a interpretare le idee di Keplero nell'ottica della fisica moderna. Ma è curioso notare che i concetti basilari del moto dei pianeti erano ancora una volta mitici, come tutti quelli di cui abbiamo parlato finora. Il moto dei pianeti era ed è descritto in termini di quantità di moto (momento) che i corpi acquistano o perdono. Inoltre, il moto ha un aspetto intensivo, la velocità, e gli si attribuisce una certa forza o potenza.

Dopo tutti questi esempi, possiamo affermare con certezza che le radici della scienza affondano nel mito. Ma per proseguire con questa metafora, dove si colloca il resto della pianta?

4. La scienza oltre il pensiero mitico

Il pensiero mitico è un ingrediente necessario del pensiero scientifico, ma da solo non basta a fare scienza. Se si chiede a studiosi diversi cosa abbia marcato la transizione dalla fase mitica alla scienza moderna, si otterranno risposte differenti: gli psicologi diranno che l'autocoscienza è cresciuta nel corso degli ultimi millenni, i sociologi e gli storici menzioneranno i cambiamenti delle strutture sociali e le innovazioni tecnologiche, mentre i linguisti e gli specialisti dell'evoluzione sociocognitiva sottolineeranno il passaggio dall'oralità alla scrittura e quindi alla tecnologizzazione della parola. È molto probabile che tutti questi processi abbiano concorso allo sviluppo della scienza al di là della percezione mitica; se è difficile individuarne uno in particolare come unica causa del cambiamento, sembra invece più produttivo considerarli come fattori interrelati che si rafforzano a vicenda.

Sadi Carnot ne è un esempio lampante. Se leggiamo altri brani dell'introduzione al suo trattato del 1824, otterremo una visione più chiara dello sviluppo della mentalità scientifica:

Come ognuno sa, il calore, in quanto causa del movimento, racchiude una enorme potenza motrice: le macchine a vapore, oggi così diffuse, ne sono una prova evidente agli occhi di tutti.

Dal calore dipendono tutti i grandi movimenti su cui si appuntano i nostri sguardi: le turbolenze atmosferiche, l'ascensione delle nuvole, la caduta delle piogge e delle altre meteore, le correnti d'acqua che solcano la superficie del globo e di cui l'uomo è riuscito a impiegare per suo uso solo una parte esigua, le vibrazioni della Terra e le eruzioni vulcaniche. [...]

Il fenomeno della produzione del movimento per mezzo del calore non è stato considerato da un punto di vista sufficientemente generale. [...] Bisogna stabilire [...] una teoria completa. La quale evidentemente non è ancora disponibile per le macchine a fuoco. Lo diventerà solo quando le leggi della fisica saranno abbastanza estese, abbastanza generalizzate, da permetterci di prevedere tutti gli effetti del calore agente in un determinato modo su un corpo qualunque.

La percezione di Sadi Carnot è allo stesso tempo mitica (si ricordi la sua spiegazione del funzionamento dei motori termodinamici), romantica e teorica. Si noti il suo interesse romantico nei confronti della natura e dell'impiego della sua potenza nell'arte dell'inge-

gneria, e il suo desiderio di creare una teoria generale e formale. Chiamerò quindi, con Egan (1990) e Donald (1991), rispettivamente romantica e teorica le due fasi che seguono la fase mitica del pensiero scientifico. La convinzione di Copernico che l'essere umano sia capace di riconoscere la vera natura del mondo è romantica. L'idea di Keplero che sia la forza del sole a determinare il moto dei pianeti e il concetto newtoniano di momento sono mitici; i loro modelli matematici sono invece teorici.

Vorrei ora elencare alcuni degli aspetti che caratterizzano il modo in cui gli esseri umani fanno scienza. Tutto nasce dal nostro interesse e dalla nostra meraviglia verso il mondo materiale e le sue parti così molteplici e multiformi, stupende e talvolta terrificanti. Per soddisfare necessità sociali ed economiche, abbiamo imparato a costruire macchine che impiegano le forze della natura. Utilizziamo liste, mappe e diagrammi; quantifichiamo, misuriamo, sperimentiamo; usiamo linguaggi come la matematica o Java per far funzionare i computer che ci aiutano nella nostra impresa scientifica; pensiamo in termini di relazioni, processi, strutture e sistemi; e descriviamo e raccogliamo tutto questo in scritti che riempiono le nostre biblioteche e Internet.

Da questo elenco manca però un elemento che sembrerebbe naturale nell'era dei viaggi spaziali: l'idea stessa dello spazio. Lo spazio è una nozione romantica con grandi conseguenze teoriche che saranno esposte poco oltre e nella sezione 6. Si ricorderà che le cosmologie mitiche non includevano alcuna idea astratta di spazio; nella *Pneumatica* di Erone vi troviamo una fugace allusione, mentre inizia a rivestire un ruolo importante nella teoria del moto dei pianeti della tradizione copernicana. (Si potrebbe a questo punto concludere che tale idea fu conseguenza degli sviluppi in campo astronomico, ma si veda poco oltre il discorso sulle forze psicologiche). Fu così che la conoscenza umana infranse il confine del firmamento (Fig. 4) e il cielo si trasformò in un immenso vuoto: era nata l'idea moderna dello spazio. Oggi il concetto è così ubiquo, non solo in astronomia e in fisica microscopica ma anche nella nostra stessa autocoscienza, che rimaniamo stupiti ogni volta che ci accorgiamo che nella prima infanzia i bambini non lo usano spontaneamente.

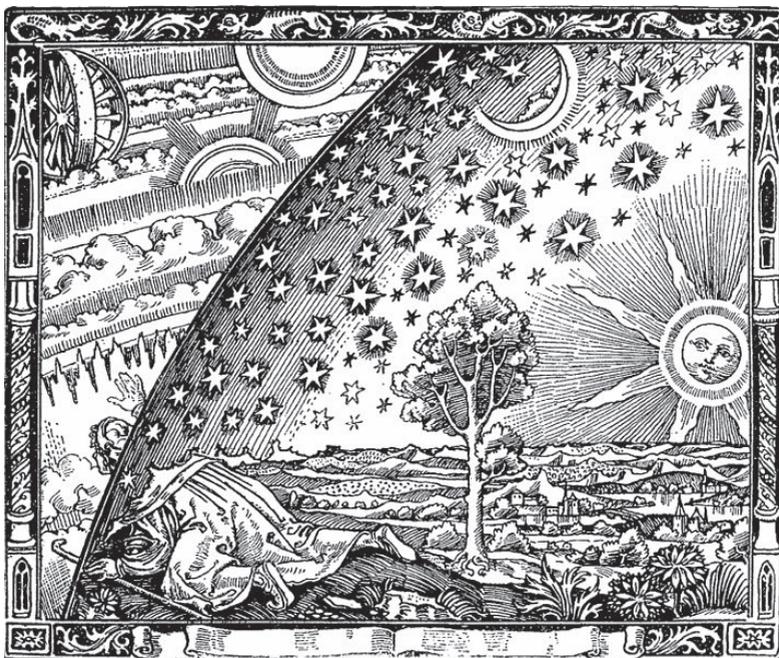


Figura 4. Incisione su legno di artista anonimo, apparsa per la prima volta in *L'atmosphère: météorologie populaire* di Camille Flammarion (1888): l'uomo attraversa il firmamento.

Riformulo ora una lista completa, benché sommaria, dei tratti generali a mio vedere più caratteristici della scienza moderna:

1. Il realismo romantico: la percezione di una realtà esterna indipendente dal soggetto senziente, che ci interessa per la sua bellezza e multiforme diversità; tale realtà può essere ridotta a elenchi, mappe, misure, e su di essa si possono condurre esperimenti.
2. Il pensiero teorico: la percezione della realtà indipendente del pensiero formale, che ci interessa per la forza della logica e delle teorie, e la convinzione che esistano leggi in natura.
3. Il concetto di spazio: l'astrazione di uno spazio (vuoto, buio, infinito).

Come sono nati queste nozioni e questi concetti? È evidente che si sono sviluppati di pari passo con la scrittura e sembra ragionevole pensare che quest'ultima e le sue tecniche abbiano contribuito almeno in parte alla loro genesi. La cultura mitica si è sviluppata nelle società orali; anche oggi, la mentalità mitica è frutto dell'oralità (Ong, 1982; Egan, 1988). La mentalità scientifica, invece, è sicuramente figlia della scrittura e delle sue tecniche, ivi inclusi i linguaggi formali (come la matematica), la stampa e Internet (Ong, 1982; Donald, 1991). Senza gli strumenti della scrittura non avremmo gli strumenti per stilare elenchi, mappe, misurazioni e grafici per descrivere l'infinita diversità della realtà materiale, e non sarebbe possibile condurre esperimenti.

Ma la scrittura non è l'unica responsabile: c'è un'altra concausa di tipo psicologico, ovvero l'esperienza del sé che aumenta man mano che l'autocoscienza si sviluppa nella storia umana e in ciascun individuo. La percezione dell'indipendenza e del potere della propria mente o spirito (ossia della contrapposizione tra sé e la realtà esterna) è il risultato della crescente distanza tra il sé e il suo inconscio (Neumann, 1949/1954; Weber, 2006). Sempre questa distanza è responsabile del senso di realtà che attribuiamo al mondo esterno e ai prodotti del pensiero teorico, e si riflette nell'astrazione storicamente recente dello spazio vuoto e infinito.

C'è ragione di credere che chi vive nelle culture mitiche e tutti i bambini nella prima infanzia siano più vicini all'inconscio (Weber, 2006), mentre il passaggio alla mentalità moderna è stato segnato da un cambiamento epocale. Francesco Petrarca ci offre un bell'esempio di come un senso romantico della realtà si possa combinare al concetto di spazio. In una sua lettera a un professore di filosofia – la prima delle Familiari, scritta in latino nel 1336 – scrive (Petrarca, 1978):

Oggi, spinto dal solo desiderio di vedere un luogo celebre per la sua altezza, sono salito sul più alto monte di questa regione, chiamato giustamente Ventoso [...].

Il giorno lungo, l'aria mite, l'entusiasmo, il vigore, l'agilità del corpo e tutto il resto ci favorivano nella salita; ci ostacolava soltanto la natura del luogo. In una valletta del monte incontrammo un vecchio pastore che tentò in mille modi di dissuaderci dal salire, raccontandoci che anche lui, cinquant'anni prima, preso dal nostro stesso entusiasmo giovanile, era salito fino sulla vetta, ma che non ne aveva riportato che delusione e fatica [...] Ma mentre ci gridava queste cose, a noi – così sono i giovani, restii ad ogni consiglio – il desiderio cresceva per il divieto. [...]

Ascolta [...] anche il resto. [...] Dapprima, colpito da quell'aria insolitamente leggera e da quello spettacolo grandioso, rimasi [sulla cima] come istupidito. Mi volgo d'attorno: le nuvole mi erano sotto i piedi [...]. Ed ecco che le Alpi gelide e nervose [...] mi parvero, pur così lontane, vicine. [...] Ma ecco entrare in me un nuovo pensiero che dai luoghi mi portò ai tempi. [...]

Mi volgo indietro, verso occidente, per guardare ed ammirare ciò che ero venuto a vedere: m'ero accorto infatti, stupito, che era ormai tempo di levarsi, che già il sole declinava e l'ombra del monte si allungava. [...] A destra, molto nitidamente, si scorgevano [...] i monti della provincia di Lione, a sinistra il mare di Marsiglia [...]; quanto al Rodano, era sotto i nostri occhi.

[...] Ammiravo questo spettacolo in ogni suo aspetto ed ora pensavo a cose terrene [...]. Soddisfatto oramai, e persino sazio della vista di quel monte, rivolsi gli occhi della mente in me stesso e da allora nessuno mi udì parlare per tutta la discesa [...].

In questo importante brano troviamo un nuovo elemento della mentalità moderna: la combinazione del realismo romantico con il concetto astratto di spazio. Senza tale sviluppo, non esisterebbe la scienza moderna né si sarebbe imposta – circa 500 anni dopo Petrarca – l'idea che la realtà sia composta da minuscole particelle che si muovono in uno spazio vuoto (v. sezione 6).

E poi c'è la cultura teorica. Anche qui, senza la scrittura non avremmo avuto i mezzi tecnici per sviluppare teorie matematiche. Eppure anche qui appaiono necessari sviluppi di tipo psicologico. Da una parte avremo quindi gli strumenti del pensiero formale e logico, dall'altra il crescente senso di realtà attribuito al sé pensante e ai prodotti del suo pensiero. Sembra dunque che lo sviluppo della coscienza di sé – sia grazie a mezzi tecnologici come la scrittura, sia in termini di normale sviluppo della psiche – sia un'importante chiave di lettura dell'evoluzione della scienza moderna al di là delle sue radici mitiche.

5. La didattica delle scienze dopo la prima infanzia

Due anni fa, nel mio intervento alla prima conferenza sulla didattica delle scienze nella scuola primaria, ho parlato di come la percezione della natura (e di noi stessi e della società) si basi su concetti mitici che caratterizzano gli albori della storia umana e l'inizio della vita del bambino. Secondo la linguistica cognitiva, per apprendere,

la mente umana costruisce strutture basate sugli *image schema* e sulle loro proiezioni metaforiche (Lakoff e Johnson, 1999; Hampe, 2005). [Gli *image schema* sono strutture astratte che si creano fin dalla nascita grazie all'interazione corporea con il mondo; Johnson, 1987]. Dopo la conferenza di due anni fa, ho collaborato con Federico Corni, Enrico Giliberti e Cristina Mariani alla creazione di un approccio narrativo alla didattica delle scienze nei primi anni della scuola primaria (Corni et al., 2012), e abbiamo dimostrato che i docenti hanno la capacità di diventare bravi narratori di racconti sulle forze naturali che possono essere capiti, apprezzati e usati con profitto dai bambini.

Questo approccio è ormai abbastanza ben sviluppato e consolidato da fornire valide basi per la didattica delle scienze nella prima infanzia, e ci consente di passare ora a valutare come le strutture del pensiero scientifico descritte finora possono influenzare la nostra visione dello sviluppo della mente del bambino, e quindi la didattica, dopo i primi anni della scuola primaria.

Voglio partire con una rappresentazione grafica di come ci raffiguriamo lo sviluppo della mente di un essere umano moderno (Fig. 5). Nei primissimi anni di vita, quando il bambino impara a parlare, emerge e via via si rafforza la sua mentalità mitica (Egan, 1988). Gli sviluppi successivi, quelli della conoscenza romantica e teorica, non si configurano come fasi nettamente separate ma procedono in parallelo, interagendo in qualche misura tra loro. In altre parole, quando (anche grazie alla scrittura) l'essere umano ottiene gli strumenti per passare oltre la fase mitica, il pensiero romantico e teorico diventano entrambi, e quasi simultaneamente, opzioni praticabili. Se l'alfabetizzazione si combina ai naturali effetti biologici, emotivi e sociali della crescita, facendo così acquisire al bambino la coscienza di sé, ecco che diventano possibili il concetto di spazio e la percezione di un mondo esterno e di un pensiero formale che esistono indipendentemente dal bambino.

Le forme romantica e teorica della percezione sono quindi legate tra loro e si rafforzano a vicenda; ma, cosa più importante, come si vede in figura (Fig. 5), anche il pensiero mitico rientra in questa relazione di alimentazione reciproca. Gli strumenti cognitivi romantici e teorici, infatti, non sono solo un'aggiunta posteriore rispetto alle loro radici mitiche (il che suggerirebbe che se le possano lasciare

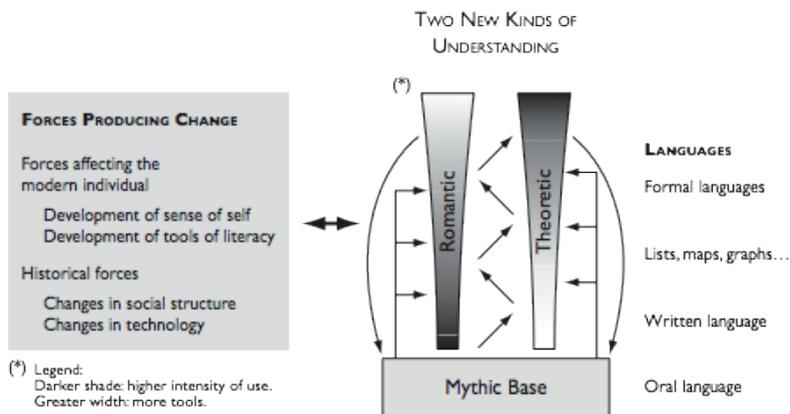


Figura 5. Modello dello sviluppo delle forme cognitive romantica e teorica. Gli strumenti cognitivi romantici e teorici si sviluppano da una base di cultura mitica e crescono in numero di pari passo con l'avanzare del tempo. Si pensa che l'intensità del pensiero romantico sia più forte nei primi anni; tuttavia entrambe le modalità sembrano crescere in parallelo, come forze collegate che si rafforzano reciprocamente. La base mitica continua a dare linfa ai crescenti strumenti del pensiero romantico e teorico, che a loro volta portano alla coscienza la struttura cognitiva mitica.

alle spalle), ma continuano a trarne linfa vitale. Viceversa, riusciamo a differenziare gli elementi della *gestalt* delle forze (FDG, *force dynamic gestalt*) solo quando acquisiamo coscienza di tali strutture basilari perché iniziamo ad applicarle in modalità scientifiche romantiche e teoriche, dando fondamenta più solide alle modalità cognitive mitiche. Questo ultimo punto è importante: anche se le strutture schematiche della FDG sono appannaggio del buon senso comune a tutti, questo non significa che tutti possano automaticamente applicarle alle argomentazioni formali e alle scienze. Perché questo accada è necessaria un'adeguata didattica.

Questo è ben illustrato dall'andamento della storia del pensiero. Nel corso degli ultimi due o tre millenni, si sono susseguite varie fasi di pensiero romantico e teorico (Egan, 1997). Si sono verificate fasi romantiche nel pensiero greco (Erodoto), rinascimentale (Petrarca e Copernico) e romantico in senso storico, ossia il pensiero proprio del periodo caratterizzato dalla rivoluzione industriale e dalla filosofia naturale o *Naturphilosophie*. Anche il pensiero teorico ha avuto fasi pronunciate in Grecia durante l'età dei filosofi e dei matematici,

nelle culture arabe, in Europa con la riscoperta della filosofia greca nel tardo Medioevo o successivamente con Keplero e Newton e i loro epigoni che fondarono la meccanica. Ma si ricorderà che in tutte queste epoche si è anche assistito a un ritorno o riscoperta di concetti mitici, che venivano riadattati alle nuove opportunità offerte dalla mentalità moderna.

Questo non significa che non sia possibile una certa sequenza naturale dello sviluppo degli strumenti cognitivi nella mente del bambino. Dopotutto, Erodoto, il cui fine era solo di raccontare eventi strani, meravigliosi o memorabili, precede storicamente Tuciddide, il generale e storico più interessato alla struttura e alle cause delle guerre; in questo caso, il romanticismo è venuto prima della cultura teorica. Si può pensare a un parallelismo con lo sviluppo mentale umano, in cui la conoscenza romantica emerge prima della percezione della realtà dei costrutti teorici (Egan, 1997).

Gli strumenti della scrittura sono però forniti ai bambini prima che questi sviluppino il realismo romantico, il pensiero teorico e il concetto di spazio. I bambini imparano a far di conto e a stilare elenchi, mappe, grafici prima di avere un senso del sé abbastanza forte da stabilire un legame romantico con la multiforme realtà che li circonda e quindi prima che possano provare un vero interesse verso teorie cinetiche, elettrologiche o termodinamiche. Eppure occorre cautela nel considerare gli anni della prima infanzia e quelli della prima adolescenza come due fasi separate e consecutive. Con gli strumenti didattici che ricevono a scuola oggi in campo matematico, informatico e di modellizzazione, i bambini hanno accesso ad alcuni sviluppi formali che possono essere precursori di costrutti teorici già in età relativamente precoce. E anche senza tali precursori, è inevitabile che ci siano corsi e ricorsi tra le modalità parallele di sviluppo. Che implicazioni ha tutto questo per la didattica delle scienze dopo i primi anni di scuola? In linea generale, la risposta è molto semplice: occorre dare ai bambini la possibilità di sviluppare una conoscenza romantica e teorica del mondo. Quello che è più difficile è capire come farlo. Torniamo un momento all'approccio narrativo per valutare se ci può aiutare. Fino ad ora, le storie si sono rivelate strumenti utili per veicolare nel modo più appropriato la conoscenza della natura e del suo funzionamento nei primi anni di scuola. Alla fine della terza classe, possiamo aspettarci che la mentalità mitica sia ormai più o meno

completamente sviluppata, e che i bambini siano in grado di comprendere appieno gli elementi della *gestalt* delle forze della natura. Questo, tuttavia, non implica che il percorso sia terminato: imparare a differenziare nel dettaglio i vari aspetti della *gestalt*, come accade nella descrizione del motore termodinamico di Carnot, richiede molto più tempo e diventa probabilmente possibile solo in combinazione con una conoscenza più particolareggiata degli elementi della realtà circostante e con l'applicazione delle forme più semplici del pensiero teorico. Non va inoltre dimenticato che la *gestalt* delle forze è più complessa di quanto i suoi tre aspetti principali di quantità, intensità e potenza ci lascino credere: vi sono infatti strutture schematiche aggiuntive che vanno apprese a parte e in maniera esplicita, come gli schemi di resistenza, inerzia, percorso, ciclo, e così via.

Se crediamo nel potenziale dell'approccio narrativo alla didattica delle scienze, dobbiamo rispondere a due domande: come usare racconti per insegnare la multiforme realtà che ci circonda, e come usarli per favorire lo sviluppo del pensiero teorico?

Iniziamo dal primo interrogativo. Sembra piuttosto semplice creare e usare delle storie che suscitino e alimentino l'interesse verso il mondo esterno. È opinione diffusa che un coinvolgimento di tipo romantico si possa ottenere soprattutto raccontando le meravigliose gesta di individui particolarmente eroici, ed è sicuramente vero che nell'infanzia e prima adolescenza si è positivamente colpiti da tali narrazioni. Ma personalmente credo che la natura ci fornisca degli esempi analoghi che hanno come protagonisti dei personaggi meravigliosi, spaventosi, importanti e potenti: le forze della natura. Non dobbiamo fare altro che portare avanti il nostro approccio narrativo alla didattica delle scienze creando e usando storie sulle forze della natura che si fanno man mano più ricche di particolari realistici e forniscono a docenti e studenti nuovo materiale a cui applicare gli strumenti della scrittura che si vanno consolidando con l'età. Si può per esempio raccontare come gli esseri umani impiegano le forze della natura nell'agricoltura e nell'industria, o tentano di proteggersi dalle catastrofi naturali. In questa fase di transizione, è possibile arricchire le nostre storie con esperimenti accuratamente selezionati, o più in generale con un approccio investigativo adeguato all'età. Ancora una volta, è essenziale intensificare l'uso degli strumenti offerti dalla scrittura (liste, mappe, grafici ecc.) per far progredire una mentalità scientifica sperimentale.

Si incontrano invece maggiori difficoltà nello sviluppo del pensiero teorico. Il pensiero teorico fa uso dei linguaggi formali e sembrerebbe più ostico da inserire in una cornice narrativa. Ma occorre tenere a mente il nostro obiettivo: far sì che gli studenti imparino a usare la propria conoscenza degli aspetti delle forze della natura per creare dei modelli realistici dei processi fisici, per esempio il riscaldamento o raffreddamento di una tazza di té, il modo in cui un inquinante si decompone e si diluisce in un lago nel corso del tempo, il funzionamento dell'aorta nel corpo umano, la fotosintesi (una foglia che raccoglie il flusso di luce solare e la usa come energia), il percolare dell'acqua nel suolo o la sua evaporazione in superficie, il moto di un razzo. Dovunque rivolgiamo lo sguardo, troveremo all'opera qualcuna delle forze che già conosciamo in termini mitici. I modelli che vogliamo imparare a creare sono in primo luogo l'estensione delle storie che abbiamo già utilizzato per insegnare le forze; ecco dunque che l'approccio narrativo può fornire solide basi anche per la modellizzazione dei processi tecnici e naturali. Le conoscenze implicite sono narrative, come sono narrativi i modelli linguistici formulati nei linguaggi naturali, che precedono quelli dei linguaggi formali; le rappresentazioni grafiche dei modelli che scaturiscono dalla comprensione delle relazioni tra elementi diversi di un sistema sono metafore visive che proiettano le ben note strutture schematiche delle nostre storie, cioè sono storie disegnate. Le rappresentazioni matematiche non sono che l'ultimo passo di questa catena narrativa; se riusciamo a vedere il processo di modellizzazione come un percorso narrativo, potremmo addirittura imparare a leggere le equazioni come se fossero storie.

Per dare sostanza a questo discorso, passiamo a un esempio pratico. Una storia per bambini di 10-11 anni potrebbe narrare di due sorelline, Sarah e Robin, che vivono nella zona interessata dal recente uragano che ha colpito il nord-est degli Stati Uniti. Il racconto si basa sulla *gestalt* della forza di un uragano, utilizza i concetti di grandezza, intensità, potenza e durata (di una tempesta), e collega i fenomeni atmosferici ai concetti di caldo e freddo. Sarà facile usare questo racconto per veicolare aspetti romantici e teorici e per guidare varie attività in classe proprio allo scopo di sviluppare queste due nuove modalità di apprendimento.

Sarah e Robin hanno sentito nel discorso del Presidente che "Sarà

una grande tempesta. Sarà una tempesta difficile". Visto che hanno il permesso di usare la TV e il computer, seguono il percorso dell'uragano, ne tracciano una mappa (Fig. 6), raccolgono immagini satellitari della sua avanzata e fotografie che ne descrivono gli effetti. Le scuole sono chiuse in questi giorni e svolgono tutte queste attività in salotto, spaventate di quello che l'uragano potrebbe fare alla loro casa, ma anche emozionata per essere coinvolte in un evento di tale portata. Quando l'uragano causa un blackout elettrico, entra in funzione il generatore d'emergenza fatto installare dai genitori; le bambine si tengono occupate discutendo di come fattori come grandezza, intensità, potenza e durata della tempesta influenzano i danni che essa causa ed elaborano modelli semi-quantitativi.

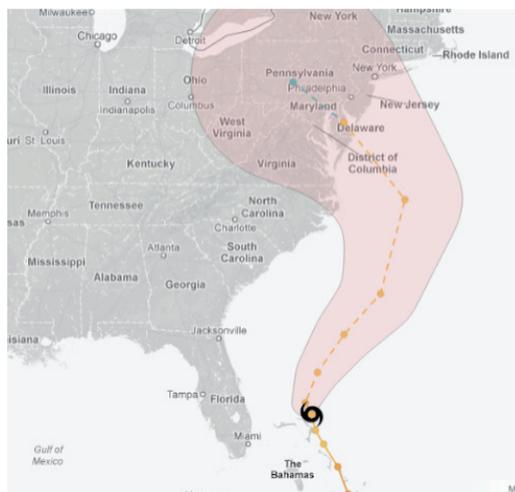


Figura 6. L'avanzata dell'uragano Sandy nelle previsioni dei meteorologi. L'ampiezza del cono ombreggiato rappresenta l'inevitabile imprecisione rispetto al percorso reale.

Sentono dire che la potenza di un uragano è alimentata dalle acque calde dell'oceano e che la sua intensità decresce rapidamente quando passa sopra la terraferma; sentono anche che questa particolare tempesta, tuttavia, si scontrerà con l'aria molto fredda di un'altra perturbazione continentale, col risultato di violente piogge e nevicate. Le bambine ricordano quello che la loro maestra aveva detto in classe riguardo al calore, cioè che può essere un agente

e far funzionare motori e causare tempeste; possono quindi trasformare queste nozioni in considerazioni sulla potenza del calore come agente scatenante dell'uragano che stanno vivendo.

6. Minuscole particelle in uno spazio vuoto

Vi sarete chiesti come mai nella mia descrizione delle basi concettuali della fisica manchi l'idea di particelle in movimento attraverso uno spazio buio, vuoto e infinito. In effetti non ho utilizzato quello che si considera una delle pietre miliari di una descrizione moderna e realistica del mondo materiale. Le teorie di cui ho parlato sono spesso chiamate (con un certo senso di superiorità) "fenomenologiche", e si definiscono "metaforici" i concetti su cui si fondano. Oggi, quando vogliamo sapere com'è realmente fatto il mondo e come realmente funziona, convenzionalmente facciamo riferimento all'idea che ciò che percepiamo è creato dal moto di minuscole particelle nello spazio, qualcosa che trascende dal mito (anche se il concetto stesso di moto è mitico). Rudolf Clausius, uno dei padri della termodinamica tradizionale, fu anche uno dei primi a introdurre questo sviluppo nella sua forma moderna. Nel 1850 scriveva (Clausius, 1850):

[...] altri fatti hanno [...] confermato che il calore non è una sostanza, ma è prodotto dal moto dei più piccoli costituenti dei corpi.

Per la didattica in generale, e in particolare quella delle scienze, sussistono due importanti problemi legati ai modelli microscopici della natura: in primo luogo, richiedono ai bambini o meglio agli adolescenti uno sforzo astrattivo per cui devono essere pronti; in secondo luogo, dobbiamo informare gli studenti che dietro a questa astrazione rimangono i vecchi modelli mitici (che ovviamente dovrebbero avere già imparato). Non è pensabile che semplicemente invocando il moto delle particelle si arrivi a un accesso privilegiato alla conoscenza.

Iniziamo con il primo problema. Come impariamo da Weber (Weber, 2006), non può esserci alcuna fisica microscopica senza il concetto di uno spazio astratto. Come abbiamo visto, questa astrazione appare relativamente tardi nella storia umana e probabilmente ancora oggi compare tardi nell'evoluzione individuale, poiché occorre prima prendere coscienza della distanza tra sé e il resto del mondo – quel mondo che in precedenza non era che l'immediata espe-

rienza di genitori, amici, fratelli, casa, cibo, vestiti, pioggia, vento, sole, caldo, freddo, luce, buio, terra, cielo, dolore, gioia e racconti. La presa di coscienza deve essere abbastanza forte da creare un sé che si contrappone al mondo esterno, da cui è distante. Tale distanza genera lo spazio come astrazione, che è diverso rispetto alle relazioni nello spazio che, nella forma di *image schema*, sono uno dei fondamenti della ragione umana. In altre parole, occorre sviluppare il senso della realtà di un mondo esterno che è distante e diverso da noi stessi, una realtà la cui struttura è importante e va controllata e conosciuta. Una mente di impronta mitica non sentirebbe mai il bisogno di ricorrere o credere a spiegazioni sulla vera struttura materiale dell'universo basate sull'esistenza e sul moto di innumerevoli particelle in uno spazio altrimenti vuoto.

Il secondo problema è di natura scientifica. Dobbiamo conoscere i concetti mitici che sono alla base della fisica per essere in grado di collegare i modelli microscopici alla realtà percepita dalla mente umana. Non è possibile creare spiegazioni statistiche di fenomeni termodinamici senza prima sapere cos'è la temperatura; e non serve liquidare la questione dicendosi che la temperatura va spiegata in termini di energia sprigionata dal moto delle particelle. Il modello meccanico-statistico di un gas, per esempio, può solo descrivere le relazioni tra variabili meccaniche ed energia; ma se vogliamo sapere cosa abbia a che fare con la temperatura del gas, dobbiamo possedere il concetto indipendente di temperatura. Non c'è modo di ridurre tutto all'idea delle particelle e sperare che basti a comprendere il mondo che ci circonda.

Non è questa la sede per approfondire il lato costruttivo dei modelli delle strutture e dei fenomeni naturali basati sulle particelle. Oltre ad affermare che alla base di tali rappresentazioni della realtà vi sono necessariamente la nozione dello spazio vuoto e i nostri soliti concetti mitici, non ho detto nulla sulle fondamenta concettuali della fisica e chimica microscopiche. Non vi è dubbio che i modelli microscopici siano importanti nella cultura scientifica moderna, ma ciò non significa che si possano ignorare i problemi che ho appena sollevato ed esporre immediatamente i bambini più piccoli a spiegazioni basate sull'esistenza delle particelle senza tenere in conto il loro sviluppo psico-cognitivo. Se e quando desideriamo presentare ai nostri studenti il modo in cui la scienza moderna racconta

la struttura microscopica del mondo, dobbiamo sapere quello che facciamo. La via forse più adatta per arrivare ad atomi e particelle passa per l'astronomia, che permette di sviluppare quella nozione di spazio tanto importante per la prospettiva scientifica moderna.

7. Alcune conclusioni

Si sarà capito che gran parte di quanto ho scritto nelle ultime sezioni riguarda un percorso didattico che si snoda ben oltre la scuola primaria. Vorrei quindi concludere con un invito alla cautela, per scongiurare il rischio di voler accelerare troppo un apprendimento che richiede tempo e accortezza. Dovremmo sempre tenere a mente che il realismo romantico, il pensiero teorico o formale e l'astrazione dello spazio sono sviluppi evolutivi relativamente tardivi sia nella storia umana che nella mente del bambino. Non sappiamo di preciso quanto tardivi; per rispondere a questo interrogativo occorreranno altre ricerche, di natura empirica. Durante l'adolescenza, e forse anche molto più tardi, gli strumenti della scrittura e il profondo interesse verso la diversità e le polarità osservabili nel mondo esterno continuano a svilupparsi, cambiare e maturare. Il concetto di spazio vuoto, infinito, e il significato dei modelli microscopici della realtà sfuggono al bambino che non ha ancora una solida esperienza e coscienza di sé. Solo ancora più tardi si può parlare di una conoscenza della realtà e di una comprensione delle teorie che sia davvero profonda. Se il realismo romantico, la conoscenza teorica e la nozione di spazio sono figli dell'autocoscienza, allora non stupisce che questo percorso di cambiamento e crescita sia così lento e irto di difficoltà.

Bibliografia

- Blumenberg, H. (1965). *Die kopernikanische Wende*. Frankfurt: Suhrkamp Verlag.
- Carnot, S. (1824). *Reflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a developper cette puissance*. Paris: Bachelier. Trad. it. *Riflessioni sulla potenza motrice del fuoco*. A cura di R. Fox, Torino: Bollati Boringhieri (1992).

- Clausius, R. (1850). "Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen". *Annalen der Physik und Chemie* 79, 368-397, 500-524. Trad. it. "Sulla potenza motrice del calore e sulle leggi che da essa si possono ricavare per la teoria del calore". In P. Clapeyron & R. Clausius, *Memorie sulla potenza motrice del calore*. A cura di M. Fazio, Napoli: CUEN (1998), 73-144.
- Corni, F., Fuchs, H.U., Giliberti, E. & Mariani, C. (2012). *Primary school teachers: Becoming aware of the relevance of their own scientific knowledge*. Istanbul: WCPE 2012.
- Donald, M. (1991). *Origins of the Modern Mind. Three Stages in the Development of Culture and Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Egan., K. (1988). *Primary Understanding. Education in Early Childhood*. New York: Routledge.
- Egan, K. (1990). *Romantic Understanding. The Development of Rationality and Imagination*. New York: Routledge.
- Egan, K. (1997). *The Educated Mind. How Cognitive Tools Shape Our Understanding*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Fuchs, H.U. (2006). "System Dynamics Modeling in Fluids, Electricity, Heat, and Motion". Proceedings GIREP 2006, Modeling in Physics and Physics Education, Amsterdam University, <<http://www.girep2006.nl/>>.
- Fuchs, H.U. (2007). *From Image Schemas to Dynamical Models in Fluids, Electricity, Heat, and Motion*, CAMP, Università di scienze applicate di Zurigo, sede di Winterthur.
- Fuchs, H.U. (2010). *The Dynamics of Heat. A Unified Approach to Thermodynamics and Heat Transfer*. New York: Springer.
- Fuchs, H.U. (2011). "Force Dynamic Gestalt, Metaphor, and Scientific Thought". *Atti del convegno Innovazione nella didattica delle scienze nella scuola primaria: al crocevia fra discipline scientifiche e umanistiche*, Università di Modena e Reggio Emilia, Modena: Artestampa.
- Fuchs, H.U. (2013a). *Il significato in natura. Dalle strutture schematiche alle strutture normative della scienza*. Trento: Erickson.
- Fuchs, H.U. (2013b). *Costruire e utilizzare storie sulle forze della natura per la comprensione primaria della scienza*. Trento: Erickson.
- Fuchs, H.U., Corni, F., Giliberti, E. & Mariani C. (2011). *Force Dynamic Gestalt of Natural Phenomena: Teaching the Concept of Energy*, Lyon: ESERA.
- Gell, A. (1998): *Art and Agency: An Anthropological Theory*. Oxford, UK: Clarendon Press.

- Hampe, B. (2005). *From Perception to Meaning. Image Schemas in Cognitive Linguistics*. Berlin: Mouton de Gruyter.
- Johnson, M. (1987). *The Body in the Mind. The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*. Chicago: University of Chicago Press.
- Koestler, A. (1959/1990). *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*. London: Penguin Books.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the Flesh: The Embodied Mind and Its Challenge to Western Thought*. New York: Basic Books.
- Lévi-Strauss, C. (1968). *The Savage Mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lévi-Strauss, C. (1969). *The Raw and the Cooked: Mythologiques, Volume 1*. Chicago: University of Chicago Press,.
- Lévy-Bruhl, L. (1923/2012). *Primitive Mentality*. Filiquarian Legacy Publishing.
- Lévy-Bruhl, L. (1926/1985). *How Natives Think*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Magalotti, L. (1667/1841). *Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento sotto la protezione del serenissimo principe Leopoldo di Toscana e descritte dal segretario di essa Accademia*. Firenze: Tipografia Galileiana. [IMSS Digital Library: fermi.imss.fi.it/rd/bd?lng=en&progetto=583].
- Miller, D. (2012). *Materiality: An Introduction*. <http://www.ucl.ac.uk/anthropology/people/academic_staff/d_miller/mil-8> [23/10/2012].
- Neumann, E. (1949/1954). *The Origins and History of Consciousness*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Ong, W.J. (1982). *Orality and Literacy*. New York: Routledge.
- Parry, M. (1971). *The Making of Homeric Verse. The Collected Papers of Milman Parry*, Ed. A. Parry. Oxford: Oxford University Press.
- Petrarca, F. (1978). *Epistole*. A cura di U. Dotti, Torino: UTET.
- Seely, P.H. (1991). "The Firmament and the Water Above". *The Westminster Theological Journal* 53, 227-240.
- Weber, K. (2006). *Evolution des Bewusstseins*. Appunti delle lezioni, Dipartimento di linguistica applicata, Università di scienze applicate di Zurigo, sede di Winterthur.
- Woodcroft, B., traduttore (1851). *Hero of Alexandria: The Pneumatics*. London: Taylor Walton and Maberly.