

La cosa e la misura

Friedrich Herrmann, Abteilung der Didaktik der Physik, Universität Karlsruhe
Traduzione: Michele D'Anna

ABSTRACT¹

„A mass is hanging at a spring“, „Light is pure energy“, „Electric charge is flowing through a conductor“. In each of these sentences an object is mistaken for a physical quantity that describes the object. We shall investigate if such formulations are justified. It will be seen, that the first of these sentences is not inadmissible, the second should be absolutely avoided and the third is indispensable.

1 – Introduzione

“Ad una molla è appesa una massa“, “la luce è pura energia“, “la carica elettrica fluisce attraverso un conduttore“. In ognuna di queste frasi al posto di un oggetto viene menzionata una grandezza fisica che lo descrive. Ci proponiamo di indagare in che misura queste formulazioni possono essere giustificate. Vedremo che la prima non è inammissibile, che la seconda è assolutamente da evitare, mentre della terza non si può addirittura fare a meno.

2 – Grandezze fisiche e sistemi fisici: scambio di ruoli

Consideriamo un'espressione che viene ampiamente utilizzata in relazione alla situazione indicata nella figura 1: “ad una molla è appesa una massa”.



Figura 1.
Alla molla è appesa
una massa?
Alla costante elastica
è appeso un oggetto?

Nella sua essenza, questa affermazione è in sé errata. La massa è una grandezza fisica, vale a dire che in termini matematici essa rappresenta una variabile, un concetto astratto. Come tale evidentemente essa non può essere né appesa né non appesa. Una formulazione che esplicita correttamente quanto si intendeva dire potrebbe essere la seguente: “ad una molla è appeso un oggetto”.

Molte altre formulazioni di uso comune contengono incoerenze dello stesso genere: “in un circuito viene inserita una capacità” invece che “in un circuito viene inserito un condensatore”; “il filtro lascia passare unicamente le lunghezze d’onda elevate” invece che “il filtro lascia passare unicamente

¹ Nota: questo articolo, apparso recentemente sul numero 2-57 (2008) della rivista *Praxis der Naturwissenschaften – Physik* con il titolo *Ding und Mass*, riprende ed amplia l’omonimo intervento proposto dall’autore al *IV Forum di didattica delle scienze sperimentali* che si è tenuto presso l’Alta scuola pedagogica di Locarno (Svizzera) nel marzo 2006. Ci sembra utile proporlo ad un pubblico più vasto in quanto esso, al di là degli esempi specifici proposti, offre innumerevoli spunti di riflessione sull’importanza del linguaggio nell’insegnamento scientifico, non tanto quale veicolo di informazioni, ma anche come strumento che permette una precisa traduzione della nostra rappresentazione sia del mondo reale che della scienza con le sue strutture e il suo modo di funzionare.

la luce con lunghezza d'onda elevata"; oppure "il gas è racchiuso in un volume cilindrico" invece che " il gas è racchiuso in un recipiente di forma cilindrica". Le stesse ragioni che non permettono ad una variabile di essere appesa, ci impediscono di inserirla in un circuito, oppure di farla passare attraverso un filtro, o di farle assumere una forma cilindrica.

In ciascuno di questi casi, il sostantivo che designa qualcosa di concreto – un oggetto, un condensatore, la luce, un recipiente – viene sostituito dal nome di una grandezza fisica – massa, capacità, lunghezza d'onda, volume. In tutte e tre le frasi si fa sempre riferimento ad un oggetto concreto. Con massa si intende l'oggetto e con lunghezza d'onda si intende la luce. Utilizzando il nome della grandezza fisica si sottolinea il fatto che nella situazione specifica considerata solo una delle varie proprietà dell'oggetto risulta essere rilevante.

Nel linguaggio comune, la sostituzione del nome di un concetto con il nome di un altro è una pratica assolutamente corrente. Dal punto di vista linguistico essa viene indicata con il termine di *metonimia*. È un fatto evidente che le lingue funzionano anche con queste sostituzioni; si potrebbe persino affermare che il linguaggio comune funziona così bene proprio perché esiste questa possibilità di sostituzione.

Le sostituzioni che abbiamo sin qui discusso non possono quindi essere considerate inammissibili, e possono addirittura essere vantaggiose. Comunque il guadagno non è molto rilevante, poiché sostituire l'espressione "ad una molla è appesa una massa" con "ad una molla è appeso un oggetto" non richiede un grande sforzo. Che tali sostituzioni non siano indispensabili lo si vede facilmente considerando una situazione del tutto simile alle precedenti, ma nella quale mai e poi mai si farebbe una tale sostituzione. Per quale ragione, infatti, accettando di appendere una massa ad una molla, non si potrebbe appendere un oggetto ad una costante elastica? Per quale ragione non si utilizza una simile espressione? La ragione è che in questo caso il nome della grandezza fisica non permette un riferimento specifico e diretto all'oggetto in questione (la molla). Esistono nomi di grandezze fisiche che non vengono accettati come sostituti per i rispettivi oggetti, poiché essi esprimono unicamente la misura o il valore di una loro caratteristica. Questi nomi sono generalmente composti, e sono formati con un termine che si riferisce ad un concetto matematico. Essi possono contenere il termine *costante* (come nel caso di costante della molla), oppure *quantità* (come per esempio nel caso di quantità di sostanza), oppure ancora *intensità* (come nel caso di intensità di un campo)².

Dobbiamo inoltre essere consapevoli del fatto che i nomi delle diverse grandezze fisiche sono nati, all'interno del linguaggio scientifico, attraverso un processo di evoluzione assai contorto. Alcuni di questi nomi sono voluti e sono frutto di attenta riflessione, mentre per altri non è proprio stato il caso. Alcuni termini possono essere considerati come particolarmente riusciti, altri per nulla. Il linguaggio scientifico non è infatti stato costruito da parte di un'autorità onnisciente secondo regole ben determinate. Esso si è formato con i contributi di molte persone, ciascuna con differenti inclinazioni e intendimenti, e provenienti anche da contesti storici assai diversi. Allo stesso modo, l'abitudine alla sostituzione del nome dell'oggetto con il nome della grandezza fisica non nasce da una precisa necessità, ma in certe situazioni tale sostituzione avviene quasi per caso, mentre in altre no.

Se è vero che negli esempi fin qui citati l'interscambio di nome tra oggetto e grandezza fisica non porta con sé grandi benefici, esso non procura nemmeno grandi danni. Qui di seguito desideriamo discutere alcune situazioni nelle quali tali sostituzioni creano invece effettivi problemi.

3 – Grandezze fisiche e sistemi fisici: confusione di ruolo

3.1 Radiazione elettromagnetica uguale energia

Spesso si dice che la radiazione elettromagnetica è pura energia, oppure che i fotoni sono i quanti di energia. Queste affermazioni non sono corrette, in quanto la radiazione elettromagnetica (o il campo

² NdT : nella versione tedesca si parla più specificatamente di *parole composte*, che terminano con una serie di suffissi caratteristici, come *Federkonstante*, *Stoffmenge* oppure *Feldstärke*.

elettromagnetico) costituisce un sistema fisico, e come tale è a tutti gli effetti un'entità del mondo reale. L'energia per contro è un concetto matematico, che viene impiegato nella descrizione del sistema, ma non è l'unica grandezza fisica utilizzata per caratterizzare questo sistema. Oltre all'energia, la radiazione possiede infatti quantità di moto ed entropia, una pressione e, in certe situazioni, anche una temperatura. Lo stesso vale per le porzioni elementari: i fotoni trasportano sì una determinata quantità di energia, ma anche quantità di moto, momento angolare e altro ancora.

In questo caso abbiamo quindi nuovamente a che fare con la sostituzione di un sistema fisico con una grandezza fisica, ma di un altro tipo rispetto agli esempi precedenti. Infatti, qui non si tratta semplicemente dell'uso del termine *energia* al posto di *radiazione elettromagnetica* (ciò che in effetti capita frequentemente); qui si afferma esplicitamente che la radiazione è energia. Radiazione ed energia sarebbero quindi sinonimi. Sostituzioni di questo tipo ci porterebbero per esempio a dire: "un oggetto è massa", oppure "un tavolo è lunghezza". Queste espressioni non possono essere considerate delle metonimie: esse sono semplicemente errate.

L'identificazione di radiazione ed energia testimonia due diverse concezioni errate:

- 1) in primo luogo essa testimonia di un'errata concezione dell'energia. L'energia sembra essere ritenuta qualcosa di più che una grandezza fisica. In realtà la si considera una sorta di sostanza. Questa idea è molto diffusa. A questo proposito ecco un esempio tratto da un articolo apparso su di una rivista scientifica: "...anche l'energia termica e quella di movimento hanno massa". Quindi una grandezza fisica "ha" un'altra grandezza fisica, quasi che si potesse dire "la pressione ha una temperatura". Questo malinteso è riconoscibile ancora più chiaramente nelle varie locuzioni impiegate quando si parla delle forme di energia: il calore ha proprietà diverse da quelle del lavoro, l'energia cinetica ha altre proprietà rispetto a quelle dell'energia potenziale. All'energia vengono di volta in volta associate delle proprietà, per la cui caratterizzazione occorre far capo ad altre grandezze fisiche. Nel caso del calore, all'energia vengono attribuite proprietà che sono caratteristiche dell'entropia, mentre nel caso del lavoro quelle relative alla forza o alla quantità di moto. D'altronde, già la locuzione stessa di *forme di energia* suggerisce che l'energia possa avere proprietà diverse;
- 2) in secondo luogo è molto diffusa un'infelice rappresentazione riguardante luce e fotoni. Un fotone non sarebbe altro che una porzione di energia, e di conseguenza avrebbe un'unica proprietà. Quando un fotone viene prodotto o annichilato nei processi di emissione o di assorbimento, una tale concezione porta a focalizzare l'attenzione unicamente sugli aspetti legati alla conservazione dell'energia: ci si dimentica facilmente che in tali processi valgono anche le leggi di conservazione della quantità di moto e del momento angolare. Con un tale modo di concepire i fotoni risulta inoltre più difficile rappresentarsi il fatto che la luce possiede anche entropia e una temperatura.

3.2 Intensità del campo elettrico uguale campo elettrico

Consideriamo ora un ulteriore caso di interscambio tra sistema fisico e variabili, in cui compare una difficoltà aggiuntiva. Il termine campo viene impiegato in fisica con due differenti accezioni:

- 1) con *campo* si indica una distribuzione di grandezze locali nello spazio. Così ad esempio si parla di campo di temperatura, quando ci si riferisce alla funzione $T(x, y, z, t)$, oppure di campo di densità, quando si impiega la funzione $\rho(x, y, z, t)$. In modo coerente, $\vec{E}(x, y, z, t)$ dovrebbe quindi essere indicato come il campo di intensità del campo elettrico;
- 2) *campo* è il nome che indica una ben definita classe di sistemi fisici. Così ad esempio si parla del sistema *campo elettromagnetico*, oppure del sistema *campo gravitazionale*.

Sarebbe opportuno utilizzare il termine *campo* solo per uno dei due significati. In realtà si potrebbe rinunciare abbastanza facilmente al primo significato, in quanto non è difficile trovare un'alternativa. Una soluzione appropriata sarebbe di indicare la funzione $T(x, y, z, t)$ con il termine "distribuzione di temperatura", oppure la funzione $\vec{E}(x, y, z, t)$ con "distribuzione di intensità".

Ma torniamo al nostro tema, ossia alla confusione di ruolo: anche in questo ambito si sostituisce sovente la grandezza fisica al sistema fisico. Lo si vede ad esempio in espressioni come “tra le lastre del condensatore è presente un campo elettrico \vec{E} ”. Che cose si intende esattamente? La grandezza fisica \vec{E} , oppure il sistema fisico *campo*? Se estendiamo queste considerazioni al sistema dell’oggetto appeso alla molla, si dovrebbe dire per analogia “alla molla è appeso un corpo m ”. Quale dei due? Il sistema *oggetto* oppure la variabile m ?

Per quale ragione nel caso del campo i due concetti non vengono distinti con sufficiente cura? Un motivo potrebbe essere ricercato nell’assenza di una rappresentazione concreta dell’entità “campo”, quasi che esistesse unicamente la grandezza fisica. Il campo viene concepito unicamente come costruzione matematica. Esso non viene invece preso seriamente in quanto entità reale. Lo si vede anche dal modo in cui il campo viene definito nei libri di testo scolastici: “lo spazio attorno al magnete ... viene indicato come campo magnetico”. Lo spazio viene concepito in sé come vuoto. Quando in una data situazione l’intensità di un campo assume valori differenti da punto a punto, si dice che lo spazio vuoto assume una qualche proprietà. Come se esistesse una proprietà senza l’esistenza di una corrispondente entità che possieda questa proprietà. Non possiamo quindi meravigliarci se il concetto di campo viene recepito come difficile.

Anche i libri di testo universitari si perdono talvolta in confusi grovigli concettuali. Un esempio è il modo con cui vengono trattate le grandezze \vec{H} e \vec{B} . Si afferma spesso che in realtà il “vero” o “autentico” campo magnetico è \vec{B} , e non \vec{H} . Che cosa si vuole esprimere con tali affermazioni? Il campo esiste, indipendentemente dal fatto che ci sia o meno un fisico che tenti di descriverlo, addirittura indipendentemente dal fatto che siano state o meno definite delle grandezze fisiche. Per descrivere questo sistema, gli scienziati impiegano delle grandezze fisiche da loro inventate o costruite, impiegandone, nel caso specifico, anche più di una, vale a dire:

- l’intensità del campo magnetico \vec{H} ;
- l’intensità dell’induzione magnetica \vec{B} ;
- il potenziale magnetico scalare;
- il potenziale magnetico vettoriale;
- la magnetizzazione;
- la densità dell’energia;
- il tensore degli sforzi meccanici.

Nessuna di queste grandezze è il vero o l’autentico campo. Il campo esiste indipendentemente da queste grandezze e può essere descritto da ognuna di esse. Quale viene scelta in un determinato contesto è unicamente una questione legata alla sua maggior utilità.

4 – Correnti di grandezze fisiche

Per terminare analizziamo una situazione che, se considerata un po’ superficialmente, potrebbe sembrare del tutto simile a quelle discusse in precedenza: “la carica elettrica fluisce in un circuito” (o formulazioni analoghe). La prima obiezione potrebbe essere: la carica elettrica è una grandezza fisica e, come tale, in linea di principio, non può fluire. Forse in questa situazione la carica elettrica viene di nuovo utilizzata al posto di qualcosa che può fluire e che realmente fluisce? Si tratta cioè di un nuovo caso di metonimia? Si potrebbe pensare in questo contesto agli elettroni di conduzione. Tuttavia non può trattarsi di questi, in quanto molte frasi che vengono formulate in relazione alla carica non rimangono corrette se, al posto del termine *carica*, si sostituisce quello di elettroni.

Desideriamo semplicemente trovare un modo di esprimersi che ci consenta di descrivere in modo plausibile e convincente il contenuto di un’equazione, ossia dell’equazione di continuità:

$$\frac{d\rho}{dt} + \operatorname{div} \vec{j} = 0.$$

A questo proposito utilizziamo un modello. Diciamo: immaginati un fluido, che non può essere né creato né distrutto. La sua quantità viene caratterizzata con Q . In questo modo possiamo farci un'idea dei processi che vengono descritti dall'equazione di continuità. Il fluido che abbiamo immaginato possiamo indicarlo con "carica elettrica", utilizzando quindi il nome della grandezza che abbiamo introdotto per descrivere il fluido. Una tale denominazione è qui ancora più legittima che nel caso dell'oggetto appeso alla molla, poiché l'oggetto appeso possiede, oltre alla massa, molte altre proprietà misurabili, mentre nel caso del fluido del nostro modello non desideriamo certamente definire altre proprietà (anche se dobbiamo constatare che esistono persone che associano dei colori a certe grandezze fisiche). Si può concludere che qui abbiamo nuovamente a che fare con un caso di metonimia.

Tuttavia in questa situazione vi è un'ulteriore particolarità: per la descrizione delle correnti elettriche (come pure delle correnti di altra natura) sono in uso due modelli. Taluni danno la preferenza all'uno, taluni all'altro, e sono riscontrabili anche delle forme miste. Desideriamo descrivere le due forme estreme, e in seguito discutere i problemi che sono connessi con il loro utilizzo. Il primo modello è il ben conosciuto *modello corpuscolare*. Il secondo non possiede un nome riconosciuto con validità generale; lo indicheremo come il *modello di sostanza*.

4.1 Il modello di sostanza

Quando si può utilizzare il modello di sostanza? Per prima cosa dobbiamo ricordare che in linea di principio non si può dire che un modello è giusto oppure che è sbagliato, ma che esso è adeguato o non adeguato. Il modello di sostanza è applicabile a tutte le grandezze estensive. La giustificazione si basa sul fatto che per ogni grandezza estensiva, indicata anche come "grandezza tipo sostanza", vale un'equazione di continuità, ossia una relazione della forma:

$$\frac{d\rho_X}{dt} + \operatorname{div} \vec{j}_X = 0,$$

dove X rappresenta la grandezza estensiva, ρ_X la sua densità spaziale e \vec{j}_X la relativa densità di corrente, vale a dire la quantità che fluisce per unità di tempo e di superficie.

Per l'energia l'equazione assume la forma:

$$\frac{d\rho_E}{dt} + \operatorname{div} \vec{j}_E = 0,$$

mentre per la carica elettrica abbiamo:

$$\frac{d\rho_Q}{dt} + \operatorname{div} \vec{j}_Q = 0.$$

L'interpretazione che possiamo fornire nel caso della carica elettrica è la seguente: quando in un determinato punto la densità di carica diminuisce, ossia quando $d\rho_Q/dt < 0$, allora in quel punto $\operatorname{div} \vec{j}_Q > 0$ e da lì partono linee di campo. Abbiamo cioè una corrente della carica o della sostanza immaginata verso l'esterno. $d\rho_Q/dt$ diminuisce in quanto una porzione di sostanza si allontana. Inoltre possiamo vedere che la direzione della corrente è indicata dalla direzione del vettore \vec{j}_Q . Si tratta qui di un punto molto importante, sul quale ritorneremo fra poco.

4.2 Il modello corpuscolare

Nell'ambito del modello corpuscolare, la corrente di una grandezza fisica è originata dal movimento di particelle aventi, rispetto alla grandezza in questione, un valore diverso da zero. Nel caso della corrente elettrica questi corpuscoli o particelle sono rappresentati da elettroni, ioni, positroni o altro ancora. In definitiva, la corrente di una grandezza viene ricondotta in questo modo a un movimento di particelle. La direzione della corrente in questo caso viene data dalla direzione del moto delle particelle.

Desideriamo nuovamente porci la questione relativa alle condizioni in cui è lecito applicare un tale modello. I sostenitori meno attenti del modello corpuscolare saranno tentati di dire: lo si può sempre applicare quando ci sono delle particelle. In realtà, con questo unico vincolo, risulta spesso molto difficile valutare se il modello può essere applicato oppure no. Infatti, sono pochissimi i sistemi a cui esso può essere applicato nella sua forma più semplice, ossia dove i corpuscoli possono essere seguiti individualmente nel loro movimento. Spesso i cosiddetti corpuscoli si trovano in uno stato in cui essi sono solo debolmente localizzati. In tali situazioni le singole particelle non sono più individuabili. Inoltre spesso le particelle si trovano in uno stato che viene indicato dagli specialisti con il termine di particelle virtuali. Per queste ragioni il modello corpuscolare può portare a delle ambiguità, come vedremo nel seguito.

Desideriamo ora mettere a confronto i due modelli. Prima, tuttavia, dobbiamo sottolineare ancora una volta che parecchi dei rimproveri che i sostenitori dei due modelli si lanciano reciprocamente, in realtà sono privi di fondamento.

I sostenitori del modello di sostanza rinfacciano ai sostenitori del modello corpuscolare che è una grossa ingenuità immaginarsi gli elettroni come sferette, poiché in realtà gli elettroni non sono delle sferette; di rimando i sostenitori del modello corpuscolare criticano i sostenitori del modello di sostanza dicendo che è errato immaginarsi l'energia come un fluido, in quanto l'energia non è un fluido.

Ai sostenitori di entrambe le parti occorre pertanto ricordare che essi stanno utilizzando dei modelli, e che i modelli non sono mai né giusti né sbagliati. Siamo ora pronti per discutere vantaggi e svantaggi di entrambi i modelli. Metteremo a confronto i due modelli da diversi punti di vista.

4.3 Confronto fra i modelli

4.3.1 Immediatezza e forza rappresentativa

Il modello corpuscolare è estremamente intuitivo – su ciò non vi è alcun dubbio. Ma anche il modello di sostanza lo è, tanto che l'uomo della strada lo applica in continuazione e con grande facilità.

Tutti, anche i fisici nella loro vita quotidiana, applicano per esempio il modello di sostanza al denaro e al valore da esso rappresentato in modo del tutto naturale. Sono correnti anche espressioni come “avrei bisogno di un po' della tua pazienza”, proprio come se essa potesse essere trasferita come una sostanza. Per il poeta Wilhelm Busch anche il tempo sembra assumere i connotati di una sostanza:

*Inesorabilmente scorre il tempo.
Il futuro diventa passato.
Da un grande serbatoio
all'altro scivola anno dopo anno³.*

Esaminiamo qui di seguito ciò che i due modelli dicono a proposito della direzione della corrente.

³ Ecco i versi originali: *Hartnäckig weiter fließt die Zeit. / Die Zukunft wird Vergangenheit. / Von einem grossen Reservoir / ins andere rieselt Jahr für Jahr.*

4.3.2 La direzione della corrente

Prima di tutto un'osservazione a proposito di un errore che i sostenitori del modello corpuscolare commettono di frequente: essi sostengono che il verso della corrente elettrica può essere definito per convenzione. In realtà non c'è una tale libertà nella definizione della direzione della corrente.

Nell'ambito del modello di sostanza, la direzione della corrente è data dalla direzione del vettore \vec{j}_Q . Per quanto riguarda il modello corpuscolare, essa è data dalla direzione del movimento delle particelle che portano la carica. Questa direzione cambia a seconda del portatore di carica considerato. La si può anche interpretare come direzione del vettore per la densità di corrente \vec{j}_n che compare nell'equazione di continuità per la quantità di sostanza o per il numero di particelle. Ad ogni modo non vi è nessuna libertà di scelta tra due possibili direzioni per la corrente elettrica. Tuttavia, la scelta della direzione del moto delle particelle come direzione per la corrente è accompagnata da alcune difficoltà. Se effettivamente si parlasse sempre unicamente della direzione del moto delle particelle, la descrizione dell'elettrologia diverrebbe inutilmente complicata. Questo poiché ogni volta che in un circuito vi è un cambio di portatore di carica, la corrente sarebbe interrotta, anche se sostituita da una nuova corrente che potrebbe addirittura avere direzione opposta. Un simile cambio di portatore di carica avviene in realtà in ogni circuito in cui è presente una cella elettrochimica. Un tale modo di procedere appare quindi poco sostenibile. Ed effettivamente nessuno lo propone in modo coerente fino in fondo. Che cosa viene fatto allora? Ci si comporta come se esistesse solo un unico tipo di portatore di carica, gli elettroni. Si tratta in verità di una soluzione del problema un po' a buon mercato. E inoltre rimangono ancora alcune conseguenze irrisolte che riguardano l'elettrodinamica: in questo modo infatti la cosiddetta regola della mano destra, che esprime una parte del contenuto della prima equazione di Maxwell, diventa una regola della mano sinistra. Con ciò non si facilita di certo l'apprendimento agli studenti, dato che in seguito ciò dovrà essere corretto e messo a posto. Al contrario, gli allievi non mostrano la minima difficoltà nel lavorare nell'ambito del modello di sostanza. Esattamente come non hanno nessun problema nel distinguere il valore monetario dalla banconota che tengono in mano, gli studenti non mostrano nessuna difficoltà nel distinguere la carica dai portatori di carica.

4.3.3 Quando non ci sono particelle

L'utilizzo del modello corpuscolare implica l'esistenza di particelle, o quantomeno di quasi-particelle. Il modello tuttavia risulta davvero convincente solo nel caso in cui si ha a che fare con particelle che meritano questo nome anche nel linguaggio comune, ossia quando la loro funzione d'onda quantistica risulta essere ragionevolmente ben localizzata. Esistono tuttavia altri trasporti, nei quali tali particelle non ci sono.

L'energia

Nella descrizione del flusso di energia dal Sole alla Terra non sembrano esserci problemi. Le particelle che trasportano l'energia sono i fotoni, che in questa specifica situazione possono essere tranquillamente immaginati come piccole entità, tra loro spazialmente separate.

Di tutt'altra natura è il caso di un semplice circuito elettrico, costituito ad esempio da una batteria e da una lampadina. In questo caso le particelle in questione sarebbero fotoni virtuali, vale a dire entità che nel linguaggio comune non corrispondono di certo al concetto di particella. Un sostenitore del modello corpuscolare obietterebbe naturalmente che, certo, l'energia si propaga dalla batteria alla lampadina, ma che in questo caso è meglio parlare di trasferimento di energia e non di corrente di energia. Una situazione analoga è quella del trasformatore: è usuale dire che "vi è un trasferimento di energia dalla bobina primaria a quella secondaria" e non certo che "l'energia fluisce dalla bobina primaria a quella secondaria".

Del tutto analoga è la situazione dei trasporti meccanici di energia, come nel caso in cui essi avvengono lungo una stanga, una corda oppure attraverso un fluido idraulico. Le particelle associate a questo trasporto sono fononi virtuali. Anche in queste situazioni il modello corpuscolare è di poco

aiuto e si preferisce quindi utilizzare il vecchio linguaggio dell'azione a distanza: invece di dire che l'energia fluisce, si dice che viene compiuto un lavoro. La gestione degli aspetti energetici diventa quindi difficile. Gli allievi e gli studenti devono imparare a districarsi all'interno di un modello misto. Sarebbe molto più semplice se venisse impiegato il modello di sostanza. Stando alla nostra esperienza, gli studenti non incontrano nessuna difficoltà con il suo impiego.

La carica elettrica

Ne abbiamo già discusso precedentemente. In quanto sostenitori del modello corpuscolare, si dovrebbero avere i medesimi scrupoli anche in relazione alla descrizione del movimento degli elettroni all'interno di un corpo solido. La funzione d'onda elettronica all'interno di un conduttore solido macroscopico è talmente delocalizzata da rendere di quasi nessuna utilità parlare di particelle in movimento.

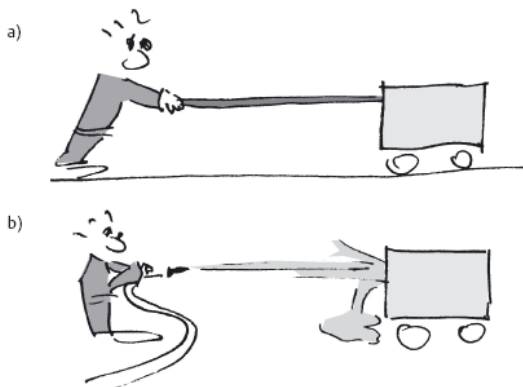
La quantità di moto

Anche per quanto riguarda la quantità di moto si incontrano difficoltà quando si cerca di descriverne il trasporto con il modello corpuscolare. Consideriamo ad esempio le due situazioni illustrate in figura 2.

Figura 2.

Per i due esempi di trasporto di quantità di moto sono in uso due modi di dire diversi.

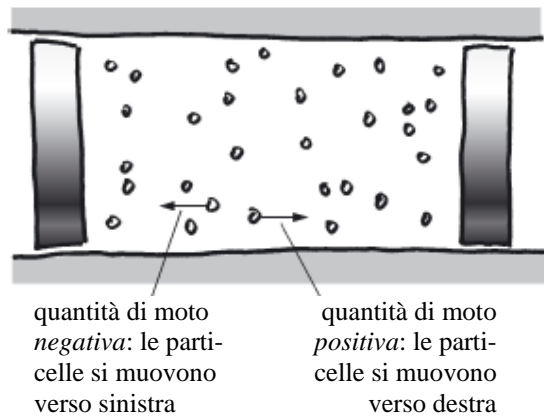
- a) "Sul carrello agisce una forza."
- b) "L'acqua trasporta quantità di moto".



In entrambi in casi vi è un trasporto di quantità di moto da sinistra verso destra. Lo si vede dal fatto che la quantità di moto del carrello aumenta. In entrambi in casi, per la quantità di moto vale l'equazione di continuità, e in entrambi i casi un'interpretazione basata sulla corrente di quantità di moto è legittima. Nell'ambito della meccanica del continuo, il trasporto di quantità di moto relativo alla situazione in alto è un esempio di trasporto di tipo conduttivo, mentre quello relativo alla situazione in basso di tipo convettivo. Ma al di fuori della letteratura scientifica specifica, solo nella situazione in basso si parla di corrente di quantità di moto. Di nuovo, la ragione è che viene impiegato il modello corpuscolare, e non il modello di sostanza. Nell'esempio in basso sono facilmente individuabili particelle in movimento, le molecole d'acqua, mentre in quello in alto non ce ne sono, o perlomeno non sono così evidenti. Questa differenziazione ha come conseguenza che i due processi non vengono descritti in modo unitario, anche se ciò sarebbe possibile. Di nuovo abbiamo una situazione in cui viene utilizzato un modello misto. Nella situazione in alto viene impiegata un'immagine totalmente diversa; si dice infatti: agisce una forza. Si utilizza cioè un concetto ereditato dal tempo in cui dominava il linguaggio dell'azione a distanza.

È interessante osservare che anche nel caso delle correnti di quantità di moto nascono problemi quando essa viene confusa con la corrente di particelle. Consideriamo a questo scopo una certa quantità di gas, racchiusa in un recipiente di forma cilindrica munito di due pareti mobili, come indicato in figura 3.

Figura 3.
Una situazione con due correnti di particelle (una da sinistra a destra e l'altra da destra a sinistra), ma con un'unica corrente di quantità di moto (da sinistra a destra).



Il gas trasferisce quantità di moto dalla parete di sinistra a quella di destra: la quantità di moto della parete di destra aumenta a spese della quantità di moto della parete di sinistra. Se consideriamo ora le singole particelle che trasportano quantità di moto, ossia le molecole di gas, possiamo vedere come la metà di esse trasportano quantità di moto positiva da sinistra verso destra, mentre l'altra metà trasporta quantità di moto negativa da destra verso sinistra. Tuttavia, tutte contribuiscono al trasporto di quantità di moto da sinistra verso destra. Dovremmo forse dire che vi sono due correnti di quantità di moto? Una da destra verso sinistra e una da sinistra verso destra? Certamente no. Vi sono effettivamente due correnti di particelle di direzione opposta, ma la corrente di quantità di moto ha la medesima direzione per entrambi i contributi.

La carica magnetica

L'analogo della carica elettrica nel caso dei magneti è costituito dall'intensità dei poli magnetici detta anche carica magnetica, una grandezza largamente utilizzata in passato, ma che negli ultimi decenni è chiaramente caduta in disuso. La ragione alla base del rifiuto di questa grandezza sta presumibilmente in un'errata conclusione ascrivibile ai sostenitori del modello corpuscolare, che potrebbero argomentare nel seguente modo: dato che non esistono particelle magneticamente cariche, ossia dato che non esistono i monopoli magnetici, non esiste nemmeno la grandezza carica magnetica.

I fautori del modello di sostanza sono qui di diverso avviso. Essi dicono: nella teoria compare una grandezza estensiva, la "carica magnetica", alla quale ovviamente applichiamo il modello di sostanza.

Le conseguenze del non utilizzo della grandezza carica magnetica sono di peso. Ad esempio risulta impossibile formulare, con gli strumenti disponibili a scuola, la seguente semplice legge: per ogni corpo la carica magnetica totale è nulla.

5 – Conclusione

Da tutte queste considerazioni piuttosto lunghe è possibile trarre tre brevi conclusioni:

- modi di dire come "una massa è appesa ad una molla" non sono in sé dannosi, ma in realtà non offrono alcun vantaggio rispetto ad una formulazione più attenta come "un oggetto è appeso ad una molla";
- interscambi tra grandezza fisica e sistema fisico in espressioni come "la radiazione elettromagnetica è energia pura" dovrebbero essere assolutamente evitati;
- quando si parla di corrente elettrica, consigliamo di utilizzare il modello di sostanza. Ciò consente di parlare della carica elettrica come se si trattasse di un fluido.