



Zeno Martini (admin)

PALETTI (UNITÀ DI MISURA E COSTANTI FISICHE)

3 October 2004

Chi insegna una materia tecnica nel primo anno del triennio di un ITIS, sente la necessità di iniziare con il ripasso delle principali grandezze fisiche e delle loro unità di misura, fondamentali e derivate. C'è sempre una leggera esitazione nel farlo poiché l'argomento, in sé fondamentale, ha qualcosa di poco appassionante, che prelude ad un'insoddisfazione generale. Eppure l'insegnante sa bene come sia importante la padronanza delle unità di misura, non solo per la corretta distinzione delle grandezze fisiche, ma anche per riconoscerne l'ordine di grandezza.

Cosa c'è di appassionante nell'imparare a memoria la definizione di metro o di secondo? La loro arbitrarietà può anche apparire irritante, ma riflettendo su di essa ricercandone le motivazioni storiche, può iniziare un'indagine dagli sviluppi impensati e coinvolgenti.

Per quale motivo il metro è quello che è? O il secondo? O il chilogrammo?

Prima ancora che nascesse la fisica, lo scambio di merci e la necessità di spostamento resero necessario un riferimento per lunghezze, distanze, tempi, pesi.

Naturale che tutto fosse definito sulla base delle dimensioni del corpo umano e della sua esperienza quotidiana.

Così l'unità di lunghezza poteva essere la lunghezza del braccio, l'unità di tempo una frazione del giorno, e l'unità di peso, cui è associata la quantità di materia, cioè la massa, qualcosa di comodo che una mano poteva tenere. Il problema che s'imponeva per le lunghezze era l'accordo su quale uomo considerare per definire il braccio, il piede od il pollice. Non siamo tutti uguali fisicamente, nemmeno all'interno di uno stesso gruppo etnico. Già nel 1150 d.c. Davide I di Scozia decretò che il pollice dovesse essere la media della larghezza della base dell'unghia del pollice di un uomo alto, di un uomo piccolo e di uno di statura media. Ogni gruppo etnico o nazione inventava i riferimenti più comodi sulla base delle proprie abitudini sociali e nessuno era disposto a rinunciare alle proprie unità a favore di quelle di altri. Ci volle addirittura la Rivoluzione francese per iniziare una razionalizzazione. Le unità di misura dovevano rispondere al principio dell'eguaglianza. Liberté, **égalité**, fraternité era il motto sancito dalla rivoluzione, ed in tal senso l'Assemblea Nazionale promulgò una legge nel 1791 sulle unità di misura. Nel 1799 si realizzarono campioni appositi cui fare riferimento per le unità di lunghezza e massa, da conservare negli archivi della nuova repubblica francese.

La standardizzazione progressivamente si rendeva necessaria pur seguendo un andamento che oscillava con le vicende storiche. In Francia ed in Inghilterra i campioni definiti erano diversi, ma il processo era iniziato ed il progresso della scienza, la necessità degli scambi di merci ed informazioni, avrebbe fatto il resto, anche nei riguardi dell'esigenza di definire i multipli ed i sottomultipli dell'unità di riferimento. Ha finito con il prevalere, sotto quest'ultimo aspetto, il sistema metrico decimale, anche se le unità anglosassoni come libbra o iarda hanno lottato per rimanere, dando origine anche ad un incredibile errore, per quel che riguarda almeno le

spiegazioni ufficiali, che fu alla base del fallimento della sonda spaziale su Marte nel 1998.

Lo sviluppo della fisica sempre più rapido ed imponente, mise in crisi, almeno per certi aspetti, la scelta delle grandezze campione. Erano grandezze antropometriche, mentre, della natura studiata dalla fisica, l'uomo non è che uno dei tanti componenti; un sistema complesso, importante indubbiamente, almeno per se stesso, ma per nulla privilegiato. L'uomo ha, con il suo progresso tecnico, acquisito un discreto controllo dei fenomeni fisici sulla scala che lo riguarda, ma è ancora insignificante nell'evolversi degli eventi non solo cosmologici, ma anche terrestri. Un terremoto, un uragano, per non parlare delle reazioni atomiche stellari, non si curano di uno o tanti microscopici condensati semiliquidi mobili, per quanto pensanti siano, che si aggirano sulla superficie del nostro pianeta. La fisica e le sue leggi appaiono indipendenti dall'uomo; anzi l'uomo è destinato ad accettarle come sono: non le può modificare.

Appare allora quanto meno singolare che la spiegazione e la misura di questi fenomeni si basi su oggetti di cui solo l'uomo ha esperienza. Sì, è vero, la scienza nasce soprattutto per conoscere e risolvere problemi tipicamente umani, ma la sua evoluzione ha posto il problema se sia l'uomo a decidere com'è fatto il mondo o se sia il mondo ad essersi evoluto con leggi proprie, indipendenti dall'uomo e che hanno prodotto l'uomo. Se vogliamo è un problema antico: cosa siamo, come funzioniamo, perché ci siamo, cos'è l'universo. Dalle religioni mitologiche, alle prime spiegazioni dei filosofi greci basate sulla nuda ragione, alle religioni più elaborate, astratte, più o meno umanizzate, la ricerca della risposta alle eterne domande, si è affacciata alla porta della ricerca scientifica. La scienza pur consapevole di un'incapacità di rispondervi definitivamente, forse necessaria, si è comunque resa conto che le sue basi avrebbero dovuto essere sempre più indipendenti dalle particolari esigenze umane.

Il sistema uomo nell'universo, sia come massa che come dimensioni, è a metà strada tra l'ultrapiccolo, il modo delle particelle elementari, e l'ultragrande, le galassie. Non sappiamo se ci sia un significato, né se la ricerca di questo significato abbia un senso. Probabilmente è un caso, ma che il caso non abbia un significato è, pare, smentito tanto dall'evoluzione che dalla fisica quantistica.

Per uscire comunque da domande che forse rimarranno sempre senza risposta, o almeno senza una risposta che ci soddisfi, torniamo al problema delle unità di misura.

La proliferazione di unità che si stava imponendo nel XIX secolo in ogni ramo dell'industria e del commercio, poteva anche andar bene per chi si limitava a svolgere l'attività all'interno di un settore specifico, ma era quantomeno bizzarra, e, per chi era alla ricerca di una conoscenza della natura non frammentaria, senz'altro immotivata e fonte di equivoci.

Ma non c'era solo l'aspetto della varietà delle unità: si cominciava anche a porre sotto critica i campioni che potevano essere standardizzati. Per quanto ben conservati, non potevano essere veramente costanti, costituire dunque un riferimento inequivocabile. E non erano universali: come spiegare ad una eventuale civiltà extraterrestre com'è il nostro campione di massa, o di metro senza spedirglielo?

Certo, dal punto di vista delle comuni attività umane, si tratta di problemi di poco conto, ma è un principio di conoscenza vera da cui progressivamente non si potrà prescindere.

Fu Maxwell che, nel 1870, in un discorso alla British Association for the Advancement of Science, fece presente che le unità di misura non avrebbero dovuto essere collegate ad oggetti particolari,

come metri o chilogrammi campione, che, anche se perfettamente conservati, non possono essere costanti. Possono perdere od acquistare molecole e l'unità di misura del tempo non può essere costante, riferita com'è al moto della terra, il quale, seppure lentamente, è soggetto a molteplici variazioni. Egli proponeva un riferimento alle molecole in cui individuava le uniche entità non soggette a variazioni: vere costanti naturali dunque. La sua idea, in definitiva, era trovare ciò che in natura, in ogni luogo ed in ogni tempo potesse essere ritenuto costante e fare di esso il vero campione per le unità di misura. L'obiettivo era stato individuato: occorre tracciare la strada per arrivarci.

George Johnstone Stoney, un eclettico fisico irlandese, nel 1874 si propose di individuare nella fisica delle costanti vere che potessero definire il superamento dei limiti imposti dalle unità di misura antropometriche ed antropocentriche. Partì dalla legge di Newton ed ipotizzando la sua validità in ogni parte dell'universo, ipotesi convalidata dalle precise previsioni dei moti celesti che essa consentiva, assunse che la costante di gravitazione G , fosse identica in ogni punto dell'universo. Ricordiamo che nelle nostre abituali unità il valore della costante è

$$G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}.$$

La seconda costante che Stoney ritenne di dover considerare fu la velocità della luce, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ che, tra l'altro, la teoria elettromagnetica di Maxwell aveva dimostrato essere pari all'inverso della radice quadrata del prodotto della costante dielettrica e della permeabilità magnetica del vuoto, stabilendo un inscindibile legame tra luce ed elettromagnetismo. Stoney non sapeva ancora quanta importanza avrebbe assunto la costanza della velocità della luce. Einstein nel 1905 sulla base di quest'ipotesi elaborò la teoria della relatività ristretta che, ampliata nel 1916 nella teoria della relatività generale, era destinata a rivoluzionare i concetti di spazio e tempo.

Infine Stoney propose come terza costante universale la carica dell'elettrone, e , il cui valore era ancora da scoprire; non solo, l'elettrone stesso era ancora da scoprire, cosa che avvenne nel 1897. Stoney ne ipotizzava comunque un valore teorico ed in base ad esso dimostrò che erano esprimibili in maniera univoca, sulla base delle tre costanti G , c , e , nuovi campioni di massa, lunghezza e tempo.

$$M_S = (e^2/G)^{1/2} = 10^{-10} \text{ chilogrammi}$$

$$L_S = (G \cdot e^2/c^4)^{1/2} = 10^{-37} \text{ metri}$$

$$T_S = (G \cdot e^2/c^6)^{1/2} = 3 \cdot 10^{-46} \text{ secondi}$$

Sono le prime unità costruite senza finalità umane pratiche, indipendenti dalle dimensioni umane, determinate unicamente dalla struttura della realtà fisica. Le prime unità indipendenti dall'uomo ed indifferenti all'uomo, come testimoniano del resto gli inavvicinabili valori dell'unità di tempo e di lunghezza. Il loro significato però non era chiaro, il tutto appariva un esercizio matematico sterile. Eppure il modo in cui ci si era arrivati ed il valore che assumevano possedeva qualcosa che sembrava andare oltre la semplice curiosità.

L'idea delle costanti universali naturali fu ripresa nel 1899 da Max Planck. Anch'egli scelse la costante di gravitazione e la velocità della luce, ma al posto dell'elettrone propose la costante d'azione o costante di Planck appunto, h , che stabilisce la quantità minima con cui può variare l'energia in natura: il quanto di energia dunque. Anche Planck combinò le tre costanti G , c , h , per trovare le unità naturali di lunghezza tempo e massa:

$$L_P = (G \cdot h / c^3)^{1/2} = 4,13 \cdot 10^{-35} \text{ metri}$$

$$M_P = (h \cdot c / G)^{1/2} = 5,56 \cdot 10^{-8} \text{ chilogrammi}$$

$$t_P = (G \cdot h / c^5)^{1/2} = 1,38 \cdot 10^{-43} \text{ secondi}$$

Considerando infine un'ulteriore costante, la costante di Boltzmann k che converte energia in temperatura, aggiunte

$$T_P = (1/k) \cdot (h \cdot c^5 / G)^{1/2} = 3,5 \cdot 10^{32} \text{ kelvin}$$

A condizione che la legge di gravitazione e quella di propagazione della velocità della luce nel vuoto rimangano valide, le grandezze proposte da Planck come unità di misura, saranno sempre uguali in ogni luogo e tempo dell'universo. Egli le riteneva dunque le unità di misura naturali, poiché extraumane, prescindevano cioè da qualsiasi esigenza pratica dell'uomo.

Ma che cosa rappresentano i valori di Planck, le unità che lui stesso definiva naturali?

La velocità della luce è una costante e sappiamo a cosa si riferisce, ma M_P , L_P , t_P , T_P hanno un'entità fisica che vi corrisponde?

Una risposta non è stata fornita. Neppure Planck lo seppe fare ma per lui rappresentavano la prova di una realtà fisica distinta dall'attività della mente umana proprio per il fatto che i loro valori non avevano attinenza con oggetti direttamente percepibili dall'uomo, nonostante si fosse giunti ad essi mediante grandezze scelte originariamente per comodità umane. Rappresentavano qualcosa che, in un certo senso, definiva la struttura della natura.

Gli sviluppi della cosmologia, alla fine degli anni sessanta del ventesimo secolo, portarono ad una loro interpretazione proprio in questa direzione.

Le unità di Planck segnano i confini delle nostre conoscenze teoriche, fissano, come dire, "dei paletti". Ci dicono cioè fino a quali limiti sono applicabili le teorie elaborate per interpretare i fenomeni fisici.

Due sono le principali teorie del ventesimo secolo: la teoria della relatività e la meccanica quantistica. La prima descrive correttamente fenomeni fisici in cui i corpi si muovono a velocità prossime alla velocità della luce, o quando la forza di gravità è molto intensa. La seconda definisce con precisione, poiché le sue previsioni sono rigorosamente confermate, il comportamento del mondo microscopico, a livello dell'atomo. Le due teorie si applicano a livelli diversi di realtà, sembrano comunicabili, ma quando inizia la validità dell'una e finisce quella dell'altra, o meglio quando è necessario utilizzare l'una piuttosto dell'altra? Non solo, ma fino a quando sono valide?

Le unità naturali di Planck sono attualmente la risposta al quesito.

Se l'intera massa dell'universo occupasse uno spazio di dimensioni inferiori ad L_P , avesse un'età inferiore a t_P ed una temperatura superiore a T_P , nessuna delle due teorie è applicabile. Ne occorre una nuova capace di unificarle. Dal punto di vista pratico la cosa non sembra interessarci molto, diciamo la verità, però è un grande problema di conoscenza. E' una teoria che sarebbe in grado di descriverci l'origine dell'universo rispondendo scientificamente alle domande che spesso citiamo sorridendo, perché la loro secolare assenza di risposta ci fa apparire inutile la loro incessante riformulazione. Ma sono domande che ognuno si fa o si è fatto: "cos'è l'universo? chi siamo noi? da dove veniamo? dove andiamo?" e che assillavano anche i protagonisti dell'indimenticabile

trasmissione di Renzo Arbore "Quelli della notte" nei primi anni ottanta del ...secolo scorso: eh, si bisogna dire così ormai!

Forse, e probabilmente senza forse, si tratterebbe di una spiegazione che non ci entusiasmerebbe più di tanto, ma potrebbe essere convincente, perché non inventata, non di fantasia pura, ma capolinea di un viaggio avventuroso della mente che non ha modificato il mondo, ma lo ha scoperto, ed ha, in fondo, compreso se stessa.

Oltre quel limite, quindi nel nostro attuale esistente universo, le due teorie sono valide.

Gli oggetti presenti nel nostro universo possiamo suddividerli in strutture che differiscono per massa e dimensioni, in qualunque regione si trovino. Così andiamo dall'atomo alle galassie se consideriamo oggetti osservabili. Ma ci sono oggetti o ci potrebbero essere che hanno masse e dimensioni inosservabili, sia per ragioni relativistiche sia per ragioni quantistiche. Nel primo caso siamo di fronte ai "buchi neri" ipotizzati, contestati, ma che la maggior parte dei fisici considera non solo possibili ma effettivamente "esistenti", che possiedono una massa tale da produrre una forza di gravità così intensa da impedire alla luce di emergere da essi. Nel secondo caso siamo di fronte ad oggetti così piccoli che un'eventuale osservazione li perturberebbe modificandoli radicalmente.

La regione quantistica e la regione dei buchi neri non sono separate: esse si uniscono proprio in corrispondenza di quegli oggetti di massa M_p e dimensioni uguali od inferiori ad L_p .

Sì, è vero, non abbiamo scoperto nulla di utile o pratico con questo. Almeno non riusciamo a vederne l'utilità o la praticità immediata, anche perché si è ancora lontani da una teoria globale che spieghi i limiti trovati.

Però è un bel viaggio della mente ed un bel viaggio od un bel gioco è ciò che ci può fare accettare la vita, vivendola.

Bibliografia

John D. Barrow – I numeri dell'universo - Mondadori