

## FORZE E CAMPI

(Lezione tenuta dal Prof. Vincenzo Barone dell'Università del Piemonte orientale,  
presso il Liceo Scientifico "G.Peano" di Cuneo, 14 novembre 2001)

*(Questa nota è costituita dagli appunti presi dalla prof.ssa De Bernardi durante la lezione del prof. Barone. Non è una trascrizione curata dal professore stesso. Pertanto qualsiasi errore è unicamente da imputare alla sottoscritta)*

I due concetti di forza e campo contengono in sé qualcosa di sottile e di oscuro in quanto sono il frutto di idee sviluppatesi, come spesso accade, in maniera poco lineare nei secoli attraverso una dialettica di ricordi e di oblii. Questi due concetti della fisica, che racchiudono 300 anni di pensiero di studiosi, vanno al di là di ciò che coglie in essi il senso comune, anche se oggi sono termini entrati nell'uso quotidiano a causa delle loro applicazioni tecniche.

Per l'uomo dell'inizio del XIX secolo, invece, le onde elettromagnetiche appena scoperte suggerivano addirittura proprietà metafisiche. Rudyard Kipling in un breve racconto del 1904 intitolato "Wireless" narra di un farmacista che decide, con l'aiuto di un elettrotecnico, di effettuare un esperimento di ricezione di onde Hertziane. Siamo proprio negli anni in cui Marconi era uno degli scienziati più noti al mondo per aver reso utilizzabili le onde elettromagnetiche scoperte da Hertz.

Nel racconto di Kipling, il farmacista, tifico ed infelice, diventa addirittura protagonista di una trasmigrazione di anime: insieme alle onde elettromagnetiche, nel corso del suo esperimento, riceve in sé l'anima, il pensiero e la poesia di un altro uomo tifico ed infelice in amore, il poeta John Keats.

Le onde elettromagnetiche vengono pensate come qualcosa di ben più misterioso e inspiegabile di quanto ci appaiano oggi. Nel racconto si trova una descrizione del rivelatore di onde hertziane: oggi tutti o quasi portano in tasca un telefono cellulare che funziona grazie ad un oggettino simile a quel rivelatore "...della forza della natura in opera attraverso tanta estensione di spazio..." descritto da Kipling nel 1904 e nessuno si sognerebbe di associarlo alla trasmigrazione delle anime!

A distanza di cento anni, l'uomo comune, pur privo di nozioni specifiche, usa il linguaggio della fisica con più familiarità.

La definizione di campo elettrico e di campo magnetico, non più relegata sui manuali di fisica, appare per esempio sulla Gazzetta Ufficiale in quanto oggetto di una legge del 1998.

Il passaggio dalla familiarità del termine "campo" alla comprensione effettiva del concetto fisico di campo rimane tuttavia non banale.

Se ci collochiamo nella prospettiva di un signore degli anni venti, il quale abbia nozioni di fisica ma ignori gli effetti quantistici, vediamo il mondo descritto da due enti fisici:

<u>materia</u>	<u>interazioni</u>
particelle	campi
localizzate	estesi
discrete	continui

Rappresentiamo le particelle tramite punti atti ad individuarne la posizione; rappresentiamo i campi con linee di forza che ne descrivano la distribuzione nello spazio. Oggi sappiamo che queste linee sono una mera rappresentazione grafica del campo e non posseggono proprietà materiali.

Questa visione dualistica risale soltanto all'inizio del novecento quando si affermò anche per merito di Albert Einstein, il quale, però, non apprezzava questo dualismo trovando incoerente una descrizione fisica del mondo legata a due diversi oggetti anziché uno soltanto.

Tale stagione dualistica della fisica quindi è relativamente recente e durò in realtà pochi anni.

Qual era prima di allora la visione del mondo da parte dei fisici? Anche in questo caso, come spesso accade parlando di fisica, è opportuno partire da Newton che nei Principia (Philosophiae naturalis principia mathematica) pubblica la legge di gravitazione universale:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

La forza di gravità viene rappresentata da una legge semplice e bella, valida universalmente.

Sulla natura di tale forza è noto che Newton si astenne dal fare ipotesi. In realtà ipotesi ne fece se non altro in privato: lo stesso Newton non riusciva ad accettare che due masse potessero interagire a distanza essendo realmente separate dal vuoto. Molti fisici dopo Newton lavorarono in questa direzione introducendo l'ipotesi di un mezzo continuo che consentisse all'azione di propagarsi da un corpo all'altro. Si pensava che tale mezzo sfuggisse all'evidenza sperimentale a causa della inadeguatezza degli strumenti.

Altri fisici continuarono invece a credere all'azione a distanza. Uno studioso italiano poco noto, ma di grande acume, Boscovich, ideò una teoria in cui la natura e il segno della forza cambiavano a seconda della distanza tra i corpi interagenti fino a divergere negativamente per  $r = 0$ , situazione in cui i corpi erano a contatto e dovevano necessariamente respingersi.

E' curioso osservare che una teoria simile è stata poi elaborata per le particelle elementari: per esempio due protoni si respingono a causa dell'interazione elettrica fino a quando la loro distanza diminuisce al punto da far prevalere le forze di attrazione nucleare.

La strada seguita da Boscovich non ebbe però ulteriori sviluppi.

L'idea di Newton del mezzo interposto tra i corpi fu invece ripresa da vari scienziati tra cui Bernoulli ed Euler.

Quando si incomincia a studiare l'elettrologia e il magnetismo si introduce l'etere, mezzo meccanico, materiale ma trasparente, quale sostegno delle interazioni tra cariche o poli magnetici.

Anche Faraday e Maxwell, a cui si deve l'introduzione del concetto di campo, pensavano in realtà ai campi come stati dell'etere. Il campo, introdotto inizialmente come ausilio matematico, diviene un ente fisico, anzi materiale.

Faraday conduce esperimenti mirati a visualizzare le linee di forza di campi elettrici e magnetici tramite la limatura di ferro: attribuisce a tali linee proprietà materiali. L'etere è percorso da una sorta di tensione che si incanala attraverso queste particolari linee.

Per Faraday le linee di campo sono qualcosa di fisico, non solo di grafico.

Si tenga presente che siamo nell'800 e non si sa ancora che il mondo è fatto di atomi, la cui evidenza sperimentale risale ai primi del novecento, ma lo si pensa costituito di materia continua. All'epoca la teoria dominante era quella dei vortici, che immaginava le molecole come agglomerati particolarmente densi di una materia continua e ovunque presente. L'etere è anch'esso materiale, costituito di una materia particolarmente sottile.

Per Maxwell è ancora naturale inizialmente pensare al campo come ad uno stato dell'etere e fornirne uno schema di tipo prettamente meccanicistico.

L'etere deve avere però una serie di caratteristiche molto particolari e contraddittorie e lentamente si inizia a pensare ad esso come a qualcosa di molto diverso dalla materia allora conosciuta, come a qualcosa di distinto dalla materia.

Inizia a delinarsi un dualismo tra le particelle e questo qualcosa di diverso.

Ci si potrebbe chiedere a questo punto perchè sia utile il concetto di campo e non sia invece più semplice continuare ad usare le forze per descrivere le interazioni.

Si può notare che le definizioni di campo elettrico, magnetico, gravitazionale sono date a partire dalle rispettive forze, concetti fisici preesistenti. Perché allora introdurre questo nuovo ente?

Vi sono almeno due buoni motivi: uno è che semplifica le teorie, l'altro è che il campo è reale, perlomeno nel senso che verrà in seguito illustrato.

Per quanto concerne la prima asserzione, potremmo obiettare che descrivere la dinamica di un sistema usando le forze può essere notevolmente vantaggioso grazie all'applicazione del principio di azione e reazione. Ogni coppia di forze può essere ridotta ad un'unica interazione grazie al terzo principio della dinamica.

In realtà, però, il principio di azione e reazione è una legge sottile ed approssimata: afferma che le due forze sono uguali nello stesso istante e per questo motivo non sempre è verificato.

Facciamo un esempio: se ho due cariche in quiete vale la legge di Coulomb a cui è perfettamente applicabile il principio di azione e reazione. Nella maggior parte dei casi, però, le cariche non sono in quiete. In questo caso la forza che tra loro interagisce è estremamente più complicata nella sua formulazione matematica, inoltre non vale la legge di azione e reazione, questo perchè la forza

elettrica si propaga con velocità finita e la legge di azione e reazione è vincolata alla simultaneità delle due forze agenti

Analizzando la questione in termini di campo la trattazione è più semplice.

Per quanto riguarda la seconda affermazione, cioè che il campo è reale e pertanto è inevitabile introdurlo come ente fisico, diamo questa definizione di realtà per un oggetto fisico:

- possiede una dinamica
- trasporta energia, quantità di moto e momento angolare.

Il trasporto di energia da parte delle onde elettromagnetiche è intuitivo, oltre che verificabile; meno noto è che le onde elettromagnetiche trasportino impulso.

A inizio novecento fu verificata sperimentalmente l'esistenza di una pressione di radiazione, cioè la capacità della luce di "colpire" gli oggetti spostandoli, come se fosse una massa in moto.

Negli anni '70 grazie alla tecnica laser, è stato possibile effettuare un esperimento spettacolare in cui un fascio di luce molto intenso e localizzato solleva un oggetto sufficientemente piccolo (mezzo micron).

Quindi il campo è utile per la descrizione matematica, ma non solo: è un ente fisico reale.

Einstein, nella relatività generale, afferma qualcosa di ancora più forte rispetto al campo gravitazionale. Il campo diventa la geometria stessa dello spazio-tempo. La grandezza matematica che descrive il campo gravitazionale è anche la metrica dello spazio-tempo, ne descrive la curvatura.

Qualcosa di analogo si verifica per il campo elettromagnetico: anch'esso modifica la struttura dello spazio.

Così come al campo elettromagnetico sono associate delle onde, si possono associare delle onde al campo gravitazionale. Masse accelerate producono onde gravitazionali che trasportano energia e quantità di moto: siamo bombardati da onde gravitazionali quotidianamente. Non ne risentiamo gli effetti perché queste onde interagiscono pochissimo con la materia.

La terra nel suo moto di rivoluzione perde energia a causa della produzione di onde gravitazionali ma tale perdita è bassissima tanto che la diminuzione dell'orbita della terra è così piccola che essa collaserebbe sul sole tra un milione di miliardi di miliardi di anni, tempo di molto superiore all'età stessa dell'universo.

Vi sono però oggetti celesti che producono onde gravitazionali con maggior perdita di energia: per esempio una pulsar che nel suo moto di rotazione vorticoso e di rivoluzione attorno alla compagna, a causa anche della massa molto densa, perde una quantità di energia riscontrabile. In pochi anni la variazione nel periodo di rivoluzione è apprezzabile e conferma con precisione quanto previsto dalla relatività generale. Quindi, anche se non vi è una evidenza diretta delle onde gravitazionali che per ora non sono mai state captate, vi è una loro evidenza indiretta.

Il dualismo tra materia e interazioni non piaceva ai fisici stessi che lo avevano introdotto. Einstein cercò invano di superarlo tentando di scrivere una teoria unificata delle forze. La strada per ritornare a descrivere il mondo tramite un solo ente fisico fu un'altra: il dualismo materia-campo venne abolito dalla fisica quantistica. Con Dirac, Pauli ed altri nasce l'idea di campo quantistico: le particelle sono eccitazioni quantistiche dei campi ad esse associati. L'unico oggetto fisico ora è il campo, quando era stata la materia a dominare per secoli lo scenario della fisica.

Ciò che Coulomb descriveva come forza tra particelle distinte, Maxwell come l'effetto del campo generato dalla prima particella sulla seconda e viceversa, oggi è descritto completamente in termini di campo. Ad esempio ciò che un diagramma di Feynman rappresenta in modo semplice dovrebbe essere espresso in questi termini:

l'eccitazione del campo di un elettrone crea l'eccitazione di un campo fotonico che si propaga in tempo finito e interagisce con l'eccitazione di un altro campo elettronico.

La fisica teorica attuale ha quindi realizzato quel monismo che Einstein per ragioni estetiche e di coerenza avrebbe tanto apprezzato.