

Riduzionismo nella scienza

G. Co'

Dipartimento di Fisica

Università di Lecce

Uno dei problemi principali delle discussioni tra persone di diversa formazione culturale è l'accordo sul significato di termini che vengono utilizzati in contesti diversi. Per questo motivo, sfidando la pedanteria, inizierò il mio intervento definendo cosa intendo per **Riduzionismo** ovvero la

comprensione di una fenomenologia complicata utilizzando un ristretto numero di variabili.

E' necessario precisare ulteriormente cosa intendo con *comprensione* e *ristretto numero di variabili*:

- *ristretto numero di variabili*: un numero di variabili molto più piccolo del numero di fenomeni che si vogliono descrivere.
- *comprensione*: saper descrivere il comportamento passato e prevedere quello futuro del fenomeno in esame.

Non penso che questa definizione soddisfi i criteri di un linguaggio formalizzato ma spero sia sufficientemente chiara da permettere di discutere il tema senza grosse ambiguità.

Ho volutamente utilizzato una definizione di Riduzionismo molto ampia per poter inglobare la maggior parte delle definizioni che conosco. Mi rendo conto che definire in modo così ampio il Riduzionismo significa assestare un colpo basso ai sedicenti anti-riduzionisti. Pochi scienziati potrebbero affermare di essere contrari a questo tipo di Riduzionismo. Negarne la validità significa negare la validità della stessa impresa scientifica. Ogni tipo di attività conoscitiva della realtà è limitata nello spazio e nel tempo. Tutti gli scienziati ritengono che le conoscenze acquisite in questi limiti spazio-temporali possano essere di validità più generale. Non penso esista nessuna prova logico deduttiva di questo credo, che è quindi un atto di fede nell'impresa scientifica, fede comunque corroborata dai molti successi ottenuti.

Per quanto riguarda gli scienziati, i problemi riguardanti il Riduzionismo non sono tanto concernenti la sua validità teoretica e assoluta, ma sono piuttosto legati ai limiti dell'applicabilità degli schemi riduzionisti a qualsiasi fenomeno e disciplina scientifica. Il mio intervento vuole cercare di chiarire quali siano questi limiti e cercare di identificarne le possibili cause.

La natura si presenta aggregata in diverse forme che riusciamo a distinguere utilizzando diversi strumenti. Un fisico riformulerebbe questa affermazione dicendo che l'aggregazione dei fenomeni della natura dipende dalla lunghezza d'onda della sonda utilizzata per investigarla. L'occhio umano ci permette di vedere oggetti che vanno dalle dimensioni del millimetro a parecchi chilometri. D'altra parte il microscopio ottico permette di vedere il mondo sub millimetrico fino a distanze dell'ordine del micron. In questo caso la materia ci appare organizzata in termini di cellule, macromolecole, grosse strutture cristalline ecc. . Con il microscopio elettronico si cominciano a *vedere* gli atomi. La capacità risolutiva può aumentare ulteriormente utilizzando acceleratori che permettono di *vedere* nuclei atomici, leptoni e quark. La natura risulta quindi gerarchicamente stratificata in agglomerati che mostrano la loro esistenza se illuminati con *luce* di appropriata lunghezza d'onda.

Anche le nostre scienze sono di fatto stratificate seguendo questa struttura della natura. La fisica nucleare si preoccupa di quei fenomeni che possono essere osservati alle distanze dell'ordine di 10^{-15} m. La scienza che si occupa di fenomeni che avvengono a distanze inferiori è la fisica delle alte energie, mentre le scienze che si occupano di fenomeni che appaiono a distanze superiori sono la fisica atomica, molecolare, la fisica della materia condensata, la chimica ecc. .

E' evidente la tentazione di ridurre la disciplina scientifica che tratta i fenomeni che avvengono ad una certa scala di lunghezze alla scienza che descrive i fenomeni a distanze inferiori. Sono famose le esternazioni di alcuni scienziati che affermano che la biologia sia chimica e che la chimica sia fisica. Molto spesso queste affermazioni sono fatte in contesti polemici sulla superiorità di una scienza sull'altra. Penso che queste discussioni siano sterili dal punto di vista culturale. Indipendentemente dal fatto di giudicare inferiore una scienza riducibile rispetto a quella riducente, penso sia comunque interessante analizzare la validità di questo tipo di riduzionismo, che io chiamo **verticale**. Utilizzo questo aggettivo perché immaginando una stratificazione delle discipline scientifiche su diversi livelli sovrapposti questo tipo di riduzionismo si riferisce alla possibilità di passare dal livello di una disciplina scientifica a quello, superiore o inferiore, di un'altra.

Per poter chiarire i criteri di validità del riduzionismo verticale, validità negata da alcuni scienziati, penso sia necessario distinguere tra riduzionismo *discendente*, verso il microscopico, e riduzionismo *ascendente*, dal piccolo al grande. Il riduzionismo *discendente* è quello che permette di individuare le componenti del sistema studiato. Il nucleo è composto da nucleoni (protoni e neutroni), e questi da quark. Il riduzionismo *ascendente* cerca di spiegare le proprietà del sistema composito (il nucleone) in termini delle sue componenti (i quark).

Il riduzionismo discendente è molto più semplice di quello ascendente. I sistemi più microscopici godono di simmetrie più ampie rispetto ai sistemi compositi. Passare da sistemi di simmetrie limitate a sistemi di simmetrie più ampie è più semplice che fare il contrario.

Prendendo un esempio dalla fisica posso affermare che esiste un'ampia fenomenologia che indica come il protone sia costituito da sottostrutture che chiamiamo quark. Il processo inverso, ovvero la formazione del protone partendo da un plasma di quark liberi è un processo assolutamente sconosciuto, non solo dal punto di vista sperimentale data

l'enorme difficoltà di produrre plasma di quark liberi, ma anche in termini di speculazione teorica, anche se condotta con le più sofisticate teorie fisiche oggi disponibili.

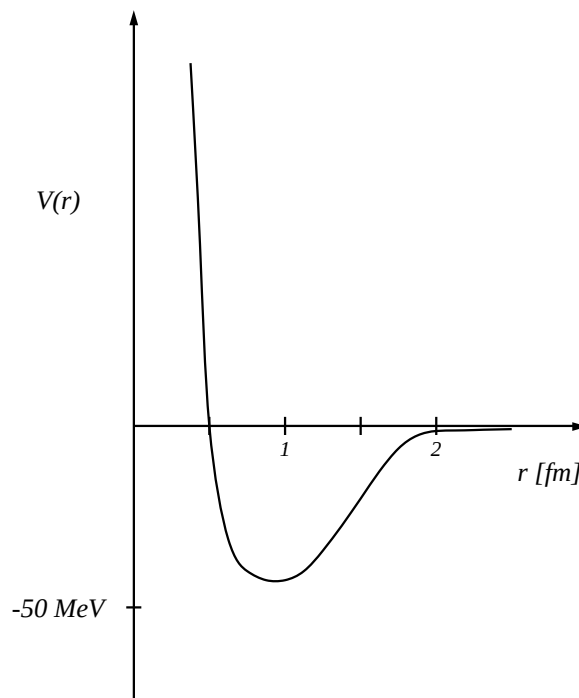
Viste le difficoltà del riduzionismo ascendente tra i due livelli più microscopici della materia oggi noti, mi aspetto che le difficoltà aumentino salendo nella scala delle distanze e della rottura delle simmetrie. L'aumento delle difficoltà nell'applicazione del riduzionismo ascendente agli organismi viventi ha spinto a formulare opinioni che negano la validità del riduzionismo in assoluto e a fare affermazioni di impossibilità immanente della sua applicazione.

Nonostante le grosse difficoltà del riduzionismo ascendente esiste un esempio di successo. Si tratta della riduzione della termodinamica alla meccanica statistica, meglio detto si tratta della formulazione statistica della termodinamica. La meccanica statistica mostra come sia possibile ottenere irreversibilità per alcuni processi termodinamici partendo da leggi simmetriche nella direzione del tempo, quindi totalmente reversibili.

Dopo aver presentato le difficoltà nell'applicazione del riduzionismo verticale vorrei discutere quello che definisco riduzionismo **orizzontale**, ovvero il riduzionismo applicato all'interno di una disciplina scientifica. Osservando l'evoluzione storica delle discipline in cui si suddivide tradizionalmente la fisica, penso che il consolidamento di una scienza avvenga in varie fasi. Una prima fase è quella in cui si osservano e si catalogano i fenomeni. Ottenuta una certa familiarità con la fenomenologia si cercano correlazioni tra i vari fenomeni, normalmente sviluppando modelli. La fase successiva consiste nella descrizione del sistema per mezzo dei sottosistemi che lo compongono utilizzando, o formulando, teorie e leggi riguardanti questi sottosistemi. Quest'ultima fase, che definisco riduzionismo orizzontale, ha ricevuto molte critiche, non solo da parte dei biologi ma anche da molti fisici. Per discutere i limiti del riduzionismo orizzontale userò un esempio tratto dal mio lavoro di ricerca sperando di non diventare troppo tecnico.

La fisica dei multicorpi è basata sul riduzionismo orizzontale. Si studiano sistemi complessi in termini delle loro componenti elementari. In questo ambito il nucleo atomico è descritto come un insieme di nucleoni interagenti. Un altro sistema molto studiato è l'elio liquido descritto in termini di atomi di elio che interagiscono fra loro. Se si considera il fluido di elio formato da atomi il cui nucleo è l'isotopo ^3He , cioè formato da due protoni e un neutrone, i due sistemi a multicorpi presentano caratteristiche molto simili. Entrambi sono formati da fermioni, ovvero particelle soggette al principio di esclusione di Pauli. Anche l'interazione tra due atomi di elio è molto simile all'interazione tra due nucleoni, almeno nella parte che dipende esclusivamente dalla distanza dei due nucleoni. L'andamento di questa parte dell'interazione tra nucleoni è mostrato in figura. C'è una forte repulsione a corte distanze seguita da una zona di attrazione per poi tendere rapidamente a zero. Ovviamente nel caso dell'elio liquido le distanze non sono dell'ordine di 10^{-15} m ma di 10^{-10} m.

Sia nel caso dell'elio liquido che nel caso del nucleo atomico la descrizione del sistema si riduce a cercare soluzione dell'equazione di Schrödinger. Questa è un'equazione differenziale che si suppone descriva, in ambito non relativistico, qualsiasi sistema microscopico.



Nell'ambito della teoria a multicorpi il sistema complesso, nucleo o elio liquido, sono descritti da questa equazione in termini dei loro componenti elementari che interagiscono a coppie.

I risultati che si ottengono per l'elio liquido sono in ottimo accordo con l'esperimento. Il valore sperimentale dell'energia di legame per atomo è di **2.473 K** da confrontarsi con il valore calcolato di **2.477 K = 21.42 10^{-5} eV**.

I risultati che si ottengono per i nuclei atomici sono invece tutt'altro che soddisfacenti, come mostrato nella tabella dal confronto tra i valori sperimentali e quelli della colonna contrassegnata con la sigla 2N.

La differenza non è spiegata dalla maggiore complessità dell'interazione tra nucleoni rispetto a quella tra atomi di elio. Mentre quest'ultima dipende solo dalla distanza tra gli atomi, l'interazione nucleare dipende anche da molte altre variabili caratterizzanti lo stato dei nucleoni, come lo spin, la loro orientazione relativa ecc. . L'utilizzazione di diverse parametrizzazioni dell'interazione che riproducono i dati sperimentali dei sistemi a due nucleoni non cambia i risultati in modo significativo.

La differenza con i valori sperimentali è dovuta al fallimento dell'idea riduzionista di poter descrivere il nucleo in termini di nucleoni interagenti a coppie. Il nucleone ha una struttura interna che può essere modificata alla soglia di 300 MeV quando il nucleone può trasformarsi in una nuova entità, la risonanza Δ . Un nucleone che interagisce con un altro può quindi trasformarsi in Δ e, in questo stato, interagire con gli altri nucleoni. Questo tipo di effetto non può essere descritto utilizzando l'interazione tra due nucleoni, ma introducendo nella teoria un nuovo ingrediente fisico, l'interazione a multicorpi, la cui versione più semplice è quella a tre corpi. L'utilizzazione dell'interazione a tre corpi migliora enormemente l'accordo con i dati sperimentali come è mostrato dai numeri della

	Exp	2N	2N + 3N
^3H	8.48	7.61	8.46
^4He	28.30	24.07	28.33
^6He	29.27	23.90	28.10
^6Li	31.99	26.90	31.10
^7Li	39.24	31.60	37.80
^8Be	56.50	45.60	54.40

colonna 2N+3N della tabella.

Perché le interazioni a tre corpi sono importanti nel nucleo e trascurabili nell'elio liquido? In fondo l'atomo di elio è un sistema più fragile del nucleone. E' pur vero che per eccitare l'atomo di elio bastano pochi eV, contro i 300 MeV necessari per trasformare un nucleone in una Δ , ma questa energia è 100.000 più grande dell'energia di legame di ogni atomo nel liquido. Nella visione riduzionista l'atomo di elio è veramente un elemento di base del liquido, e la sua struttura interna può essere trascurata.

Nel nucleo le energie di legame per nucleone sono solo 30 volte più piccole della soglia di eccitazione del nucleone. Risulta relativamente semplice trovare nucleoni trasformati in Δ nel sistema nucleare. Il fallimento della procedura riduzionista a coppie è legato al fatto che la sottostruttura del nucleone non è trascurabile nella fenomenologia nucleare.

Dopo aver messo in evidenza due possibili cause del fallimento dell'applicazione del riduzionismo sia verticale sia orizzontale, come l'ho definito, vorrei concludere con alcune osservazioni personali. Questo fallimento dell'uso ingenuo del riduzionismo non scuote minimamente la mia Weltanschauung. Non mi sono mai posto il problema di quanto il mio lavoro quotidiano fosse coerente con una visione più o meno rigorosa del riduzionismo. Questo atteggiamento, forse filosoficamente poco sofisticato, è comunque condiviso dalla stragrande maggioranza dei miei colleghi manybodysti (il neologismo è pessimo ma forse migliore di multicorpisti). Il lavoro di noi scienziati da bancone è fare scienza, comprendere le caratteristiche e la natura del sistema studiato. Noi non lavoriamo per difendere una posizione filosofica o epistemologica che sia. La validità o meno del riduzionismo come categoria assoluta per noi è un falso problema. Qualsiasi affermazione positiva o negativa in questo senso è un atto di fede.

Ciò che interessa noi scienziati da prima linea è fare della buona scienza. Da questo punto di vista la mia esperienza indica che un atteggiamento di tipo riduzionista stimola la curiosità, la speculazione intellettuale e aiuta a porsi delle domande ben formulate nei confronti della natura. E quest'ultimo è forse compito più difficile del fare scienza.