

Un approccio generale al Metodo Scientifico

da parte di un addetto ai lavori (sperimentale)

@ Uso molto generalizzato della parola **SCIENZA**

:

- Scienze fisiche, Scienze biologiche, ecc.
- Scienze sociologiche, Scienze giuridiche, Scienze politiche...
- Scienze alberghiere,.....

.....sapere organizzato; conoscenza approfondita.....



Prescindendo dal diverso soggetto che queste discipline utilizzano, che cosa distingue queste diverse attività?



Qual'è il metodo con il quale queste diverse discipline progrediscono?



Qual'è il grado di affidabilità delle conclusioni alle quali queste discipline approdano?

2

Scienze della Natura (Scienze esatte)

11

Discernere volta a volta il **Vero** dal **Falso**
(contrariamente agli assertori del Relativismo);

11

Interrogare la Natura attraverso esperimenti:
rapporto molto stretto con l'esperienza e con il **reale**

11

Utilizzo di una logica i cui fondamenti possono essere fatti risalire ad Aristotele (formalizzati poi da Peano e altri)- vorrei ricordare che Einstein definì il “Die Dialectik der Nature” di Engels del tutto privo di valore scientifico”

Questi tre punti sono il fondamento stesso della Scienza

Ma come progrediscono queste scienze?

Il meccanismo che domina il lavoro scientifico in queste discipline è il cosiddetto:

Metodo Scientifico o Sperimentale

E' il meccanismo che automaticamente regge il lavoro del Fisico, del Chimico, del Biologo. E' una logica interna seguita dalla Scienza in assenza della quale queste Scienze non esisterebbero (ci riferiamo qui alla Scienza come conoscenza, e non alla Scienza Applicata, alla quale accennerò poi).

La persona che per prima ha asserito l'importanza del Metodo e' stato Galileo.

Per poter far capire di che cosa si tratti devo usare un esempio; e posso riferirmi, anche per simpatia con Galileo, alla caduta dei gravi almeno come inizio, ma senza seguire il processo storico, che alcune volte può essere tortuoso e non facile da schematizzare.

- 1--Supponiamo di studiare la caduta sulla Terra di corpi massivi. Lo possiamo fare dalla torre di Pisa o da qualunque altro luogo. Costatiamo che tutti i corpi massivi con i quali sperimentiamo cadono verticalmente con moto accelerato e l'accelerazione della quale sono dotati è uguale per tutti i gravi. Quindi possiamo elaborare una prima rappresentazione: *"i corpi massivi cadono verticalmente in moto accelerato in un'area che comprende i luoghi dove io ho sperimentato"*.
- 2- Usando una ipotesi che ci sembra logica possiamo estendere la stessa rappresentazione a tutta la Terra almeno a livello del mare: *"Tutti i gravi massivi a livello del mare cadono sulla Terra verticalmente con accelerazione uguale (la cosiddetta accelerazione di gravità)"*. Da qui deduciamo che se io vado nel Nord Africa e provo la stessa caduta dei gravi, dovrei trovare gli stessi fenomeni e lo stesso valore dell'accelerazione di gravità. Vado in Nord Africa, faccio gli stessi esperimenti, misuro l'accelerazione e osservo che è la stessa dell'accelerazione di gravità, entro gli errori di misura (parlerò in seguito di cosa sia una misura scientifica). Quindi la rappresentazione di cui sopra risulta validata.
- 3- Suppongo ora ipoteticamente che la rappresentazione di cui sopra sia valida anche per gravi non massivi. Progetto un controllo osservando la caduta di una piuma, svolgendo l'esperimento nelle stesse condizioni dei gravi massivi. Osservo che la caduta della piuma non ha una traiettoria rettilinea e che il moto di caduta è più lento. Se però eseguo lo stesso esperimento di caduta in un tubo a vuoto, ottengo una traiettoria rettilinea e un'accelerazione compatibile con quella che abbiamo chiamato accelerazione di gravità. Quindi modifichiamo la nostra rappresentazione dicendo che *"In assenza di attriti, tutti i corpi cadono sulla Terra con moto rettilineo e accelerazione costante, misurata a livello del mare"*.

NB. Questo non significa che le rappresentazioni precedenti siano false, ma che valgono quando è possibile trascurare l'attrito dell'aria: il suo effetto sulla caduta dei gravi massivi è trascurabile, o meglio la correzione che dovremmo apportare è inferiore alla incertezze della misura.

4. Vediamo fin dove possiamo estendere la nostra rappresentazione. Proviamo così a far cadere un grave massivo lungo un piano inclinato: scegliamo una pallina di ferro e un piano di materiale estremamente liscio in modo da ridurre l'attrito volvente cui è sottoposta la pallina ad essere trascurabile (nell'accezione precedente). Facciamo l'esperimento e troviamo che il moto non è uguale a quello dei gravi con i quali abbiamo sperimentato precedentemente, ma è rallentato. Dovremo quindi riprendere la nostra rappresentazione: "tutti i corpi in caduta libera sulla Terra, in assenza di attrito, seguono un moto rettilineo, la cui accelerazione è pari all'accelerazione dei gravità, misurata a livello del mare"
5. Applichiamo ora una procedura analoga alla precedente cambiando l'altitudine (N.B. L'accelerazione di gravità varia $\ll 1\%$ andando sull'Everest). Ma questa variazione è inferiore alla incertezza delle misure; quindi possiamo eliminare: "misurata a livello del mare"

A questo punto potremmo fermarci. Ma la Scienza cerca sempre di elaborare rappresentazioni, che conglobino sempre più fenomeni, in modo da connetterli fra loro.

Nel caso specifico l'osservazione del moto dei pianeti portò Newton ad una geniale intuizione e cioè alla legge di attrazione delle masse: $|F| = k \frac{m_1 m_2}{r^2}$

A questo punto la forza di gravitazione sulla Terra è semplicemente un caso particolare della legge di gravitazione: massa del grave e massa della Terra. Newton ebbe un'altra geniale intuizione: la seconda legge della dinamica, in base alla quale $\frac{F}{a} = m$. A questo punto la rappresentazione della caduta

dei gravi sulla Terra è una semplice conseguenza delle due leggi qui menzionate, che sono validate da numerosi esperimenti in diverse condizioni. Cosa accada quando un oggetto cade sulla Terra è semplicemente una delle infinite predizioni che si possono ricavare da queste leggi.

Campo di validità di una rappresentazione.

Riprendiamo in considerazione la II legge della Dinamica: il rapporto fra la **Forza** applicata a un corpo e l'**Accelerazione** da esso acquistata di conseguenza è una costante che dipende dalle caratteristiche del Corpo, cui si dà il nome di **Massa**.

Legge larghissimamente provata dagli esperimenti e che è la base di ogni predizione nel campo della Meccanica.....

Il progredire della sperimentazione ha reso possibile lo studio sperimentale delle particelle elementari; se si adotta un modello puramente meccanico, si tratta del moto di masse molto piccole con grandi velocità, non trascurabili rispetto a quella della luce ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

La predizione della rappresentazione corrispondente alla II legge della dinamica prevede masse costanti per il moto delle particelle, ma gli esperimenti danno una massa che dipende dalla velocità'

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Quindi la rappresentazione precedente $\frac{\vec{F}}{\vec{a}} = m$ deve essere

sostituita da: $\frac{\vec{F}}{\vec{a}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, ma alla velocità che i corpi di dimensioni

non infinitesime possono raggiungere, frazione estremamente piccola della velocità della luce, $m = m_0$, nel senso che le differenze non sono sperimentalmente apprezzabili essendo molto al disotto delle incertezze delle misure, anche utilizzando tecniche molto raffinate.

Quindi la $\frac{|\vec{F}|}{|\vec{a}|} = m$ non cade in difetto, ma rimane valida entro una fenomenologia caratterizzata da velocità trascurabili rispetto a quella della luce.



@ alla rappresentazione si può arrivare: direttamente da risultato sperimentale, per una intuizione da risultati sperimentali, da una teoria complessa (sviluppo mediante linguaggio matematico che porta a nuove predizioni)

Ma fondamentale:

@ le misure sperimentali devono essere ottenute da più sperimentatori ottenendo risultati fra loro compatibili . E così pure ogni deduzione o calcolo relativo (*criterio di oggettività*). Una sola misura o una sola osservazione non costituiscono un risultato scientifico.

Quindi il ciclo epistemologico e' continuamente percorso:

→ Controllo di un risultato sperimentale che viene assunto a rappresentazione. Il controllo deve essere fatto da vari sperimentatori e con metodi diversi (caduta dei gravi)

→ La rappresentazione viene estesa ad un campo di validità più vasto (dalla Torre di Pisa a tutta la Terra, dai gravi massivi a qualunque oggetto, dal livello del mare a qualunque altitudine)

→ Nuovi dati sperimentali ed una intuizione ipotetica fanno passare dal

modello ad una legge fisica ($|\vec{F}| = k \frac{m_1 m_2}{r^2}$) valida in generale, testata largamente.

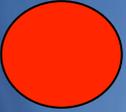
→ Miglioramenti tecnologici: test della legge di gravitazione in satellite, sulla Luna

→ Una nuova legge connette in modo più generale le grandezze

interessate

$$\frac{p}{g} = m$$

Gianpaolo Bellini I. N. F. N.
Universita' di Milano



E' chiaro che una rappresentazione, quando e' sufficientemente provata ha delle facoltà predittive: es. se lancio un grave sulla Terra, conoscendo le condizioni iniziali, so esattamente dove e quando cadrà.



Le rappresentazioni hanno diversi gradi di generalità: probabilità statistica, modello, legge, teoria. Il linguaggio è in tutti i casi un linguaggio matematico. Nel caso di teorie che si sviluppano con linguaggi matematici anche complessi la stessa logica matematica può portare a sviluppi anche molto lontani dai presupposti: es. la teoria dei quarks, che naturalmente devono essere poi confermati sperimentalmente. .



Quando accettiamo una rappresentazione? quando approssima sufficientemente i fenomeni; cioè li riproduce entro gli errori della misura sperimentale.

Misura

Misura di una grandezza: tempo, contenuto di una soluzione, temperatura di un paziente; si tratta del confronto fra due grandezze della stessa specie, una delle quali viene assunta come unità di misura.

Numerazione: numero dei malati guariti dalla stessa malattia avendo somministrato loro un certo farmaco.

Concetto di errore (o incertezza) di misura :

Errore statistico- misure di una stessa grandezza, distribuzione casuale, concetto di errore statistico

Errore sistematico- aspetti strumentali o di interpretazione

Una misura scientifica, per poter essere accettata, deve poter essere eseguita da sperimentatori diversi ottenendo lo stesso risultato: risultati fra loro compatibili entro l'errore di misura.

NB: ad esempio in fisica un risultato è accettato solo se la probabilità che sia errato può essere rigettata con probabilità $>99.9\%$

Attenzione: non esiste misura con errore nullo

Condizioni necessarie al Metodo Scientifico :

- ➔ Possibilita' di progettare ed eseguire un esperimento o fare una osservazione ad hoc
 - ➔ Risultati riproducibili (entro gli errori di misura) ogni volta che l'esperimento o l'osservazione viene ripetuto nelle stesse condizioni, e da chiunque
- oggettivita'

Il ciclo : rappresentazione-esperimento-confronto viene continuamente ripercorso per:

*elaborare la rappresentazione (frequenza statistica, modello, legge, teoria) fino a che essa rappresenti sufficientemente (entro le incertezze delle misure) bene il reale

Ma anche per.



miglioramenti tecnologici che permettono misure in condizioni prima impossibili o una migliore precisione di misura
sviluppo di teorie sempre piu' omnicomprensive come e' tendenza generale della Fisica, della Biologia, dell'Astrofisica, e piu' o meno di tutte le Scienze di questo tipo. tipo.

Nella Fisica lo sviluppo di esperimenti ad hoc e quindi la riproducibilita' sono una caratteristica abbastanza acquisita, anche perche' in molti casi sono possibili semplificazioni del sistema in studio.

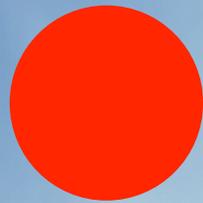
In altre discipline puo' sopperire la ripetibilita' dell'osservazione (es. in Astronomia e in Astrofisica, anche se non sempre)

Nelle Scienze della vita i sistemi in studio sono molto complessi, e in alcuni casi e' difficile congelare per lungo tempo le caratteristiche del sistema in studio.

...oppure ancora in certe altre si utilizza la frequenza statistica (come in certi aspetti della Medicina o in studi sul comportamento ad es. di popolazioni).

**Alla riproducibilita' e quindi all'oggettivita' e' legata la maggiore o minore AFFIDABILITA' delle rappresentazioni, cioe' dei modelli, delle teorie, ecc delle varie discipline
FACOLTA' PREDITTIVA**

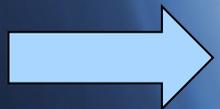
Poniamoci ora un altro quesito:



qual'e' il campo nel quale la Scienza puo' operare?
su cosa opera la Scienza? O meglio quali sono le
grandezze sulle quali la Scienza puo' operare?



Sia che si tratti semplicemente di conteggi fino a misure molto sofisticate: **grandezze operativamente misurabili**



Grandezze misurabili- ripetibilita' del risultato

Cio' limita la scelta delle grandezze sulla quale la Scienza puo' operare: sono ammissibili quelle e solo quelle che ammettono una definizione operativa di misura (il risultato non dipende dallo sperimentatore-varie misure eseguite da sperimentatori diversi devono dare risultati uguali [compatibili entro l'errore di misura])

Quindi:

Tempo, temperatura, contenuto di una soluzione, pressione, numero di individui, ecc sono grandezze sulle quali opera la Scienza

Coraggio, paura, bellezza, altruismo, ecc.. NON sono grandezze sulle quali la Scienza puo' operare.



Le rappresentazioni scientifiche necessitano quindi:

- Definizione operativa e rigorosa delle grandezze
- Definizione rigorosa del campo di validita'
- Prove sperimentali e/o osservazioni ripetute piu' e piu' volte da soggetti diversi con risultati fra loro compatibili

Possiamo discriminare fra le varie discipline alle quali viene dato il nome di Scienza, se connettiamo alla parola Scienza le due proprietà seguenti, proprie delle Scienze che applicano Il Metodo Sperimentale:

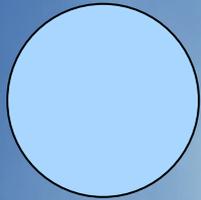


Affidabilità delle conclusioni e
facoltà **predittiva**



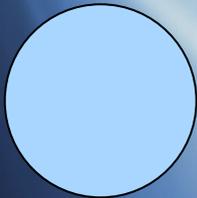
e' **tanto piu' Scienza**, quanto piu' riesce ad applicare il **metodo sperimentale** sia per quanto riguarda le **Grandezze** sulle quali opera sia per la possibilità di percorrere continuamente il ciclo: **rappresentazione-Intervento-confronto**

Questo e' un evidente punto di discriminazione



Estrapolazioni al di fuori dello stretto campo di validita' non hanno **nessun valore scientifico.**

Es. Relativismo-relativita'/ Evoluzionismo-Teoria dell'evoluzione
Il metodo scientifico esercita un vaglio continuo, ma non con spirito scettico, bensì con spirito costruttivo, per discernere il vero dal falso.



Il metodo scientifico puo' essere utilizzato anche fuori delle scienze cosiddette 'esatte'?

Ovviamente no. Ma puo' insegnare un metodo: quello di vagliare con spirito critico, e con ragionevolezza, quanto viene proposto.



Rapporto attento e continuo con la **realta'**. Fuori della Scienza: contro le ideologie e i pregiudizi: teoremi che pretendono di prescindere dalla realta'

Come dobbiamo considerare le teorie, anche complesse, matematicamente compatte, inclusive di diverse classi di fenomeni, che però non possono avere riscontri sperimentali ? come ad esempio la Teoria delle Stringhe in Fisica o quella dei “Multiuni” in Astrofisica?

La risposta mi sembra univoca: sono delle belle teorie matematiche, dei poderosi esercizi della mente, ma non sono teorie scientifiche (almeno nel significato che si da loro nelle Scienze della Natura)

Non esiste Scienza senza un riscontro con il Reale

La ricerca scientifica **fondamentale** progredisce attraverso il metodo scientifico e seguendo una logica interna: il continuo ripercorrere il ciclo epistemologico è spinto da necessità di chiarificazione, espansione dei modelli e delle Teorie.

La ricerca **applicata** segue anch'essa il metodo Sperimentale nel singolo step, ma la decisione di proseguire in una direzione o un'altra, di fermarsi o proseguire dipende da criteri estranei alla Scienza; decisioni e criteri: politici, economici, umanitari, etici, ecc.c.

Lettera di Galileo all'amico Marco Wesler:

“Perché, o noi vogliamo specolando tentar di penetrar l'essenza vera ed intrinseca delle sostanze naturali: o noi vogliamo contentarci di venir in notizia di alcune loro affezioni. Il tentar l'essenza, l'ho per impresa non meno impossibile, e per fatica non meno vana, nelle prossime sostanze elementari che nelle remotissime celesti. Ma se vorremo fermarci nell'apprensione di alcune affezioni, non mi par che sia da desperar di poter conseguirle anco nei corpi lontanissimi da noi, non meno che nei prossimi .”

Cioè; il metodo scientifico, per esprimere tutta la sua potenzialità veritativa deve limitarsi ad analizzare e descrivere “ *alcune affezioni*”, ossia le relazioni causali che intercorrono tra fenomeni misurabili.