

Così è... probabilmente

Ragionamento probabilistico in Fisica
illustrato mediante un “Esperimento Giocattolo”

Giulio D'Agostini

Università La Sapienza e INFN, Roma, Italy

“ Quando le leggi della matematica si riferiscono alla realtà, non sono certe;
e quando sono certe non si riferiscono alla realtà.”

(A. Einstein)

“È scientifico soltanto dire cosa è più probabile e cosa è meno probabile”

(R. Feynman)

“La teoria della probabilità in fondo non è che buon senso ridotto a calcolo.”

(S. Laplace)

“Quando le leggi della matematica si riferiscono alla realtà, non sono certe;
e quando sono certe non si riferiscono alla realtà.”

(A. Einstein)

“E’ scientifico soltanto dire cosa è più probabile
e cosa è meno probabile.”

(R. Feynman)

“La teoria della probabilità in fondo non è che buon senso ridotto a calcolo.”

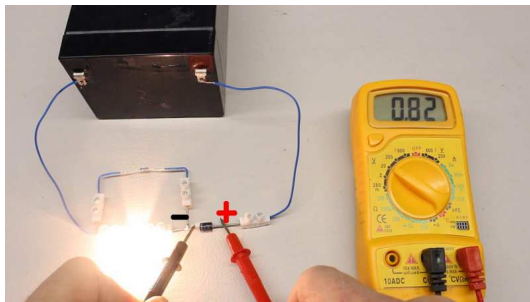
(S. Laplace)

Misurare



joyce@gohide-intl.com

Misurare



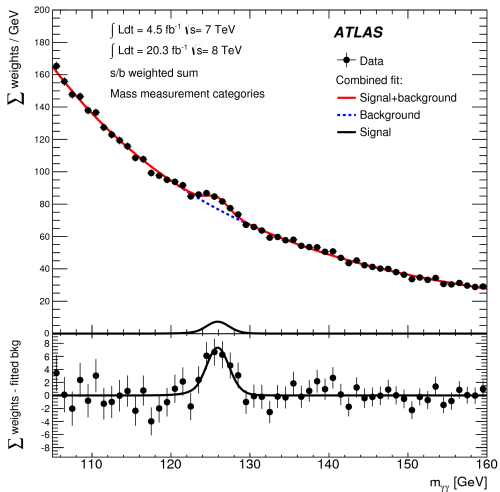
Misurare



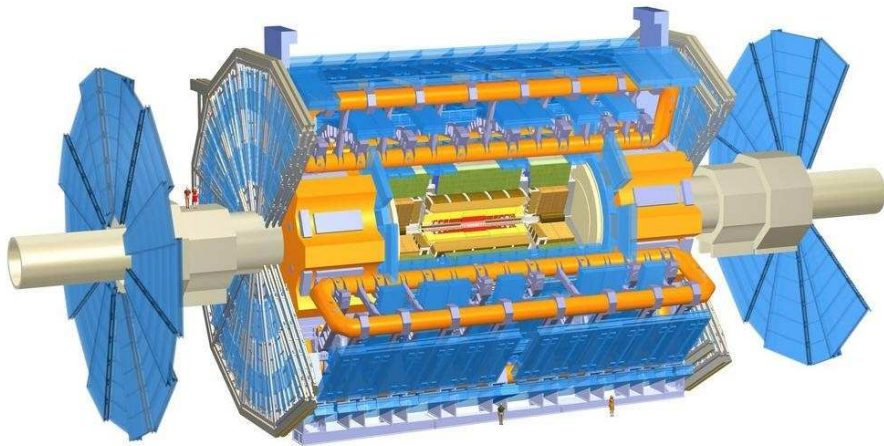
Misurare



Higgs $\rightarrow \gamma\gamma$

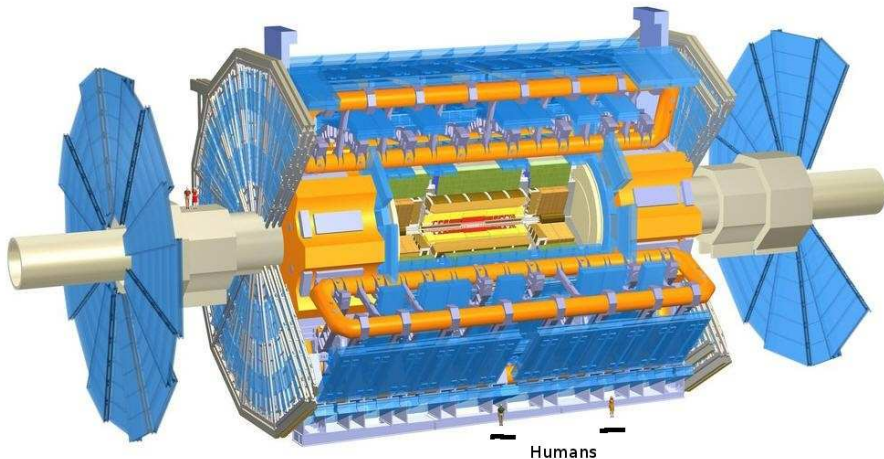


ATLAS Experiment at LHC



Misurare

Esperimento ATLAS a LHC [length: 46 m; $\varnothing$ 25 m]

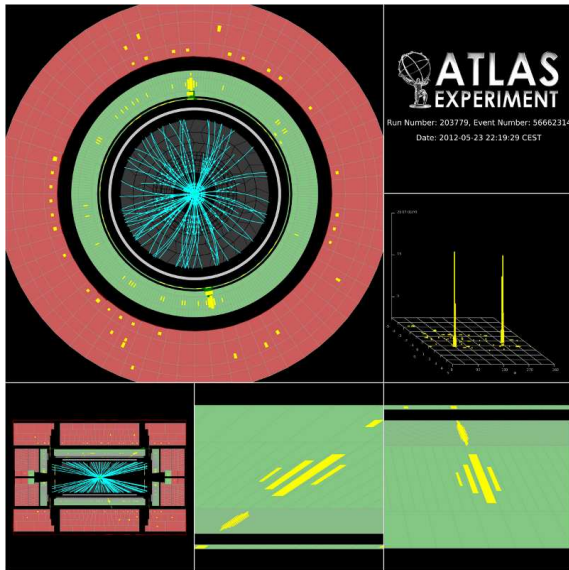


$\approx$ 3000 km di cavi

$\approx$ 7000 tonnellate

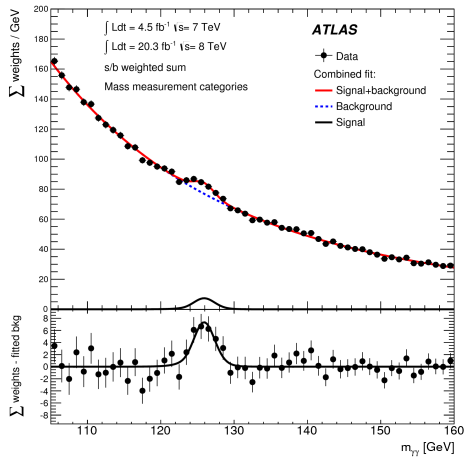
$\approx$ 100 milioni di canali di elettronica

Misurare



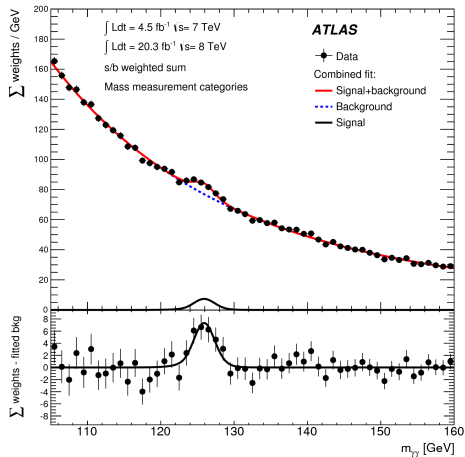
Higgs in $\gamma\gamma$?

Misurare



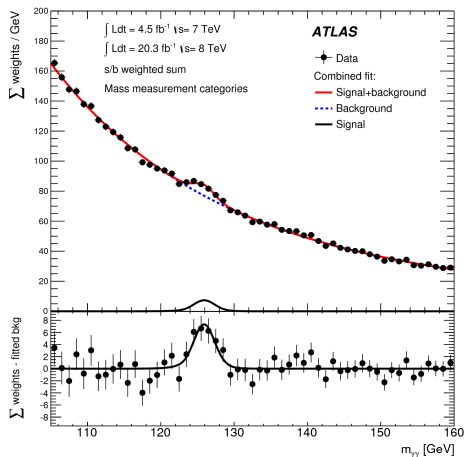
Probabilmente no...

Misurare



Probabilmente no... Eppure $\Rightarrow$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Massa} \\ \text{Tasso di produzione} \end{array} \right.$

Misurare



Probabilmente no... Eppure $\Rightarrow$ $\begin{cases} \text{Massa} \\ \text{Tasso di produzione} \end{cases}$

Misure alquanto indirette di qualcosa che non “vediamo”!

Possiamo 'vedere' grandezze fisiche?

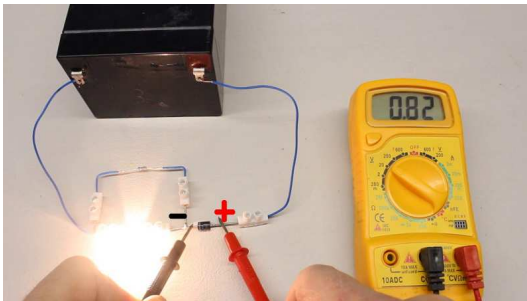
Ma, veramente vediamo la nostra massa?



joyce@gohide-intl.com

Possiamo 'vedere' grandezze fisiche?

... o una tensione?



Possiamo 'vedere' grandezze fisiche?

... o la pressione del sangue?



Possiamo 'vedere' grandezze fisiche?

Certamente no!

Possiamo 'vedere' grandezze fisiche?

Certamente no!

...sebbene di alcune grandezze possiamo avere

una 'impressione vivida' (nel senso di David Hume)

Misurare una massa con una bilancia



joyce@gohide-intl.com

Equilibrio fra forza peso e forza elastica:

$$mg - k\Delta x = 0$$

$$\Delta x \rightarrow \theta \rightarrow \text{lettura}$$

Dalla lettura al valore della massa:

$$\text{lettura} \xrightarrow{g, k, \text{"etc."} \dots} m$$

Misurare una massa con una bilancia

Lettura $\xrightarrow{\quad g, k, \text{"etc."} \dots \quad}$ m

Dipendenza da 'g': $g \stackrel{?}{=} \frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$

Misurare una massa con una bilancia

$$\text{Lettura} \xrightarrow{g, k, \text{"etc."} \dots} m$$

Dipendenza da 'g':

$$g \stackrel{?}{=} \frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$$

- ▶ La posizione non è alla distanza " $R_{\oplus}$ " dal centro della Terra;
- ▶ la Terra non è sferica...
- ▶ ...e nemmeno ellissoidale...
- ▶ ...né tanto meno perfettamente omogenea.
- ▶ Poi dobbiamo tener conto degli effetti centrifughi
- ▶ ...e anche dell'effetto della Luna...

Misurare una massa con una bilancia

Lettura $\xrightarrow{\quad\quad\quad}$ m
 $g, k, \text{"etc."} \dots$

Dipendenza da 'g': $g \stackrel{?}{=} \frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$

- ▶ La posizione non è alla distanza " $R_{\oplus}$ " dal centro della Terra;
- ▶ la Terra non è sferica...
- ▶ ...e nemmeno ellissoidale...
- ▶ ...né tanto meno perfettamente omogenea.
- ▶ Poi dobbiamo tener conto degli effetti centrifighi
- ▶ ...e anche dell'effetto della Luna...

Certamente non per controllare il nostro peso



Misurare una massa con una bilancia

Lettura $\xrightarrow{g, k, \text{"etc."} \dots} m$

Dipendenza da 'g': $g \stackrel{?}{=} \frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$

- ▶ La posizione non è alla distanza " $R_{\oplus}$ " dal centro della Terra;
- ▶ la Terra non è sferica...
- ▶ ...e nemmeno ellissoidale...
- ▶ ...né tanto meno perfettamente omogenea.
- ▶ Poi dobbiamo tener conto degli effetti centrifighi
- ▶ ...e anche dell'effetto della Luna...

Certamente non per controllare il nostro peso 😊

Ma da non dimenticare!

Misurare una massa con una bilancia

Lettura $\xrightarrow{g, k, \text{"etc."} \dots}$ m

Dipendenza da 'g': $g \stackrel{?}{=} \frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$

- ▶ La posizione non è alla distanza " $R_{\oplus}$ " dal centro della Terra;
- ▶ la Terra non è sferica...
- ▶ ...e nemmeno ellissoidale...
- ▶ ...né tanto meno perfettamente omogenea.
- ▶ Poi dobbiamo tener conto degli effetti centrifighi
- ▶ ...e anche dell'effetto della Luna...

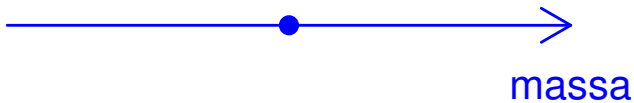
Certamente non per controllare il nostro peso



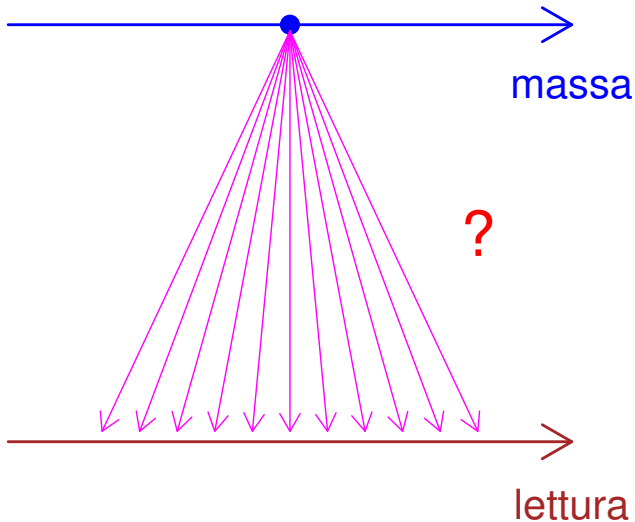
Ma da non dimenticare!

(+ effetti dovuti a k , etc.) $\rightarrow$ lasciati alla vostra immaginazione

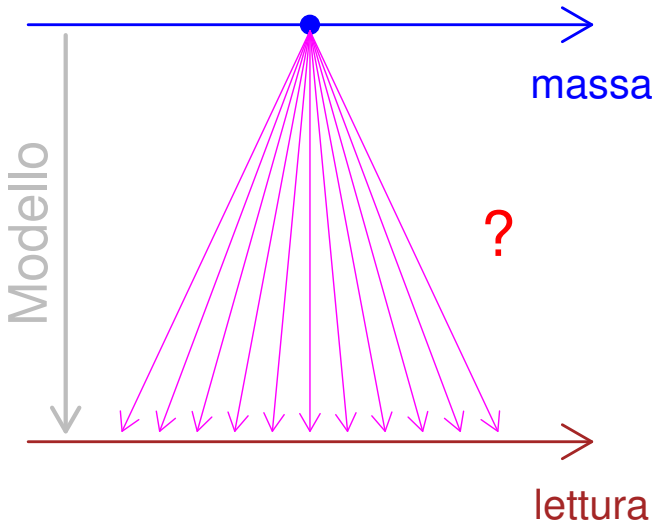
Massa $\longrightarrow$ lettura



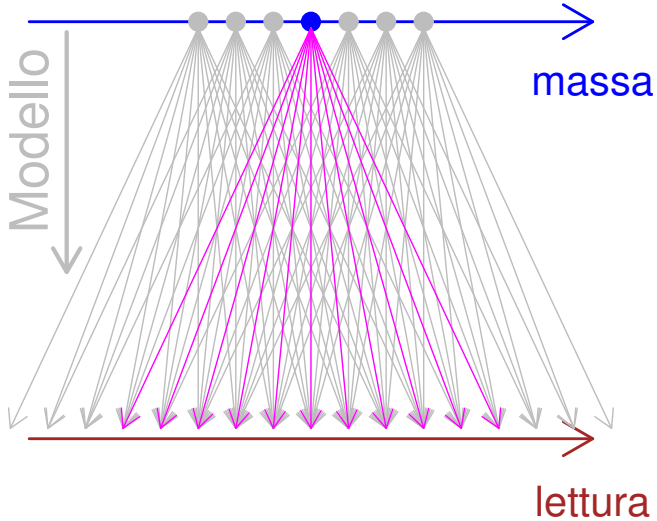
Massa $\longrightarrow$ lettura



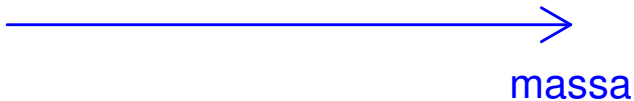
Massa $\longrightarrow$ lettura



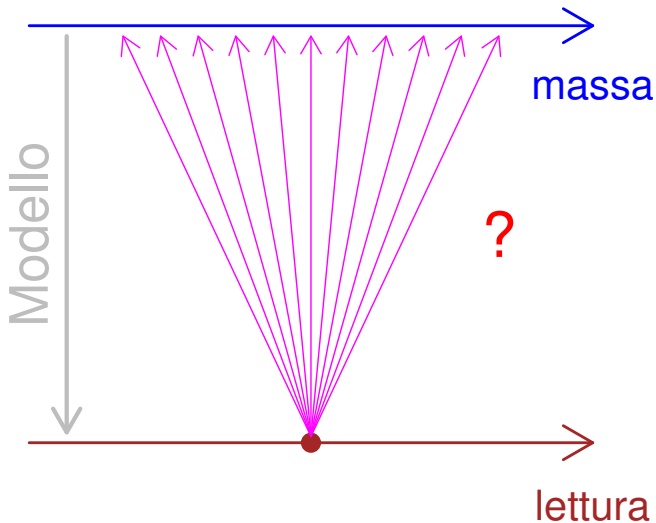
Massa → lettura



Lettura $\longrightarrow$ massa 'vera'



Lettura $\longrightarrow$ massa 'vera'



Osservazione → ipotesi

Il problema non si presenta soltanto nella
“determinazione” di valori di grandezze fisiche.

Osservazione → ipotesi

Il problema non si presenta soltanto nella “determinazione” di valori di grandezze fisiche.

- ▶ Osservazione sperimentale ('dato') → causa che l'ha prodotta.

Osservazione → ipotesi

Il problema non si presenta soltanto nella “determinazione” di valori di grandezze fisiche.

- ▶ Osservazione sperimentale (‘dato’) → causa che l’ha prodotta.

(Ma logicamente non c’è sostanziale differenza.)

Problema umano ancestrale



???

Problema umano ancestrale



???

→ Inseguire?

→ Fuggire?

Osservazione $\rightarrow$ ipotesi



Dipendenza dal contesto



Inseguire o fuggire?

Dipendenza dal contesto



Inseguire o fuggire?

...o semplicemente stare tranquilli

Dipendenza dal contesto



Inseguire o fuggire?

... o semplicemente stare tranquilli
se si tratta di un calco in un museo,
o di una impronta artificiale in un giardino di una scuola,
...

Dipendenza dal contesto



Inseguire o fuggire?

... o semplicemente stare tranquilli
se si tratta di un calco in un museo,
o di una impronta artificiale in un giardino di una scuola,
...

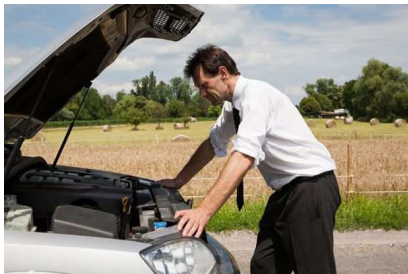
(... o siamo satolli turisti, senza interesse a cacciare
e ben protetti nel nostro veicolo 😊)

Antropologia (e tecnologia) contemporanea



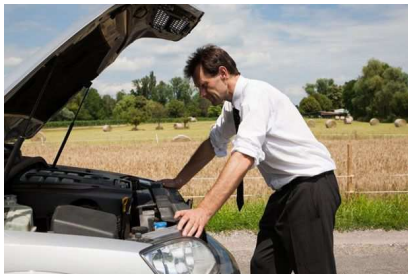
???

Effetto e possibili cause



Effetto: auto non va

Effetto e possibili cause

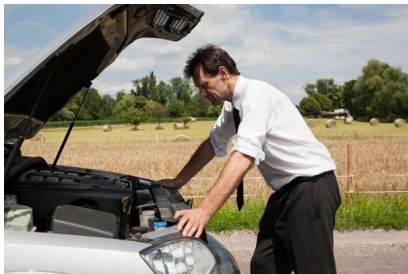


Effetto: auto non va

► Cause:

- no benzina
- pompa rotta
- guasto elettrico

Effetto e possibili cause

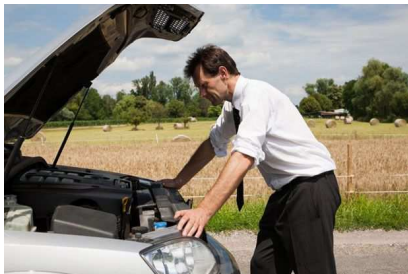


Effetto: auto non va

► Cause:

- no benzina
- pompa rotta
- guasto elettrico
- altro (non faccio il meccanico...)

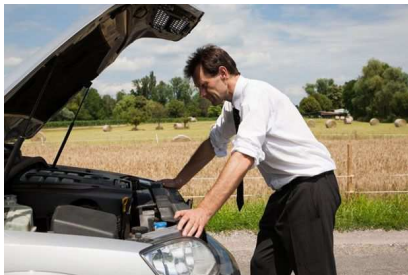
Effetto e possibili cause



Effetto: auto non va

- ▶ Cause:
 - ▶ no benzina
 - ▶ pompa rotta
 - ▶ guasto elettrico
 - ▶ altro (non faccio il meccanico...)
- ▶ Diagnosi dell'esperto:
 - ▶ cerca (o si informa su) **effetti collaterali** (rumori, ...)
 - ▶ ha una sua idea delle **cause più probabili**.

Effetto e possibili cause



Effetto: auto non va

- ▶ Cause:
 - ▶ no benzina
 - ▶ pompa rotta
 - ▶ guasto elettrico
 - ▶ altro (non faccio il meccanico...)
- ▶ Diagnosi dell'esperto:
 - ▶ cerca (o si informa su) **effetti collaterali** (rumori, ...)
 - ▶ ha una sua idea delle **cause più probabili**.
- ▶ **Azione**: bilancio fra probabilità delle ipotesi, costi e tempi.

Dipendenza dal contesto

Scambio di whatsapp con [vecchio amico meccanico](#)
(24 aprile 2015)

"Sto per andare ai Laboratori di Frascati.

Dovevo stare lì alle 6, ma mi hanno mandato una mail dicendo che [hanno problemi con l'acceleratore](#) e posso arrivare alle 8."

Dipendenza dal contesto

Scambio di whatsapp con [vecchio amico meccanico](#)
(24 aprile 2015)

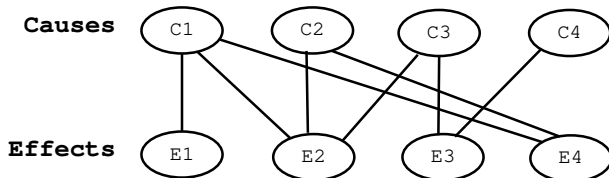
"Sto per andare ai Laboratori di Frascati.

Dovevo stare lì alle 6, ma mi hanno mandato una mail dicendo che [hanno problemi con l'acceleratore](#) e posso arrivare alle 8."

"Forse sarà [il filo che non scorre bene nella guaina.](#)"

Cause → effetti

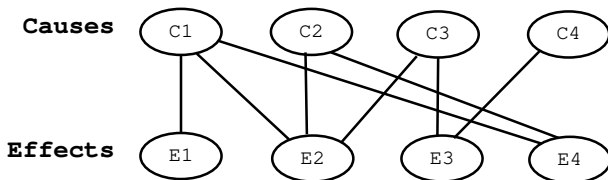
La stessa causa *apparente* può produrre differenti effetti



Dato un effetto osservato, non siamo sicuri della precisa causa che può averlo prodotto.

Cause → effetti

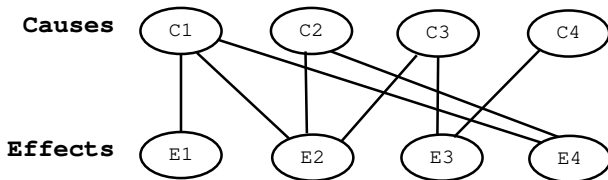
La stessa causa *apparente* può produrre differenti **effetti**



Dato un **effetto osservato**, non siamo sicuri della **precisa causa** che può averlo prodotto.

Cause → effetti

La stessa causa *apparente* può produrre differenti effetti



Dato un effetto osservato, non siamo sicuri della precisa causa che può averlo prodotto.

$$E_2 \Rightarrow \{C_1, C_2, C_3\}?$$

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come probabilità delle cause, e sono i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche.

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come **probabilità delle cause**, e sono **i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche**.”

Immaginate che io giochi a *écarté* con un signore che io reputi perfettamente onesto.

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come **probabilità delle cause**, e sono **i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche**.”

Immaginate che io giochi a *écarté* con un signore che io reputi perfettamente onesto. Qual'è la probabilità che estragga un Re?

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come **probabilità delle cause**, e sono **i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche**.”

Immaginate che io giochi a *écarté* con un signore che io reputi perfettamente onesto. Qual'è la probabilità che estragga un Re? E' $1/8$.

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come **probabilità delle cause**, e sono **i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche**.

Immaginate che io giochi a *écarté* con un signore che io reputi perfettamente onesto. Qual'è la probabilità che estragga un Re? E' $1/8$. Questa è un problema di **probabilità degli effetti**.

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come **probabilità delle cause**, e sono **i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche**.

Immaginate che io giochi a *écarté* con un signore che io reputi perfettamente onesto. Qual'è la probabilità che estragga un Re? E' $1/8$. Questa è un problema di **probabilità degli effetti**.

Immaginate che io giochi con un signore che non conosco. Lui ha estratto una carta dieci volte e per sei volte gli è venuto un Re.

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come **probabilità delle cause**, e sono **i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche**.

Immaginate che io giochi a *écarté* con un signore che io reputi perfettamente onesto. Qual'è la probabilità che estragga un Re? E' $1/8$. Questa è un problema di **probabilità degli effetti**.

Immaginate che io giochi con un signore che non conosco. Lui ha estratto una carta dieci volte e per sei volte gli è venuto un Re. Qual'è la probabilità che sia un baro?

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come **probabilità delle cause**, e sono **i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche**.

Immaginate che io giochi a *écarté* con un signore che io reputi perfettamente onesto. Qual'è la probabilità che estragga un Re? E' $1/8$. Questa è un problema di **probabilità degli effetti**.

Immaginate che io giochi con un signore che non conosco. Lui ha estratto una carta dieci volte e per sei volte gli è venuto un Re. Qual'è la probabilità che sia un baro? Questo è un problema di **probabilità delle cause**.

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come **probabilità delle cause**, e sono **i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche**.

Immaginate che io giochi a *écarté* con un signore che io reputi perfettamente onesto. Qual'è la probabilità che estragga un Re? E' $1/8$. Questa è un problema di **probabilità degli effetti**.

Immaginate che io giochi con un signore che non conosco. Lui ha estratto una carta dieci volte e per sei volte gli è venuto un Re. Qual'è la probabilità che sia un baro? Questo è un problema di **probabilità delle cause**. Si può dire che questo sia **il problema essenziale del metodo sperimentale.**”

(H. Poincaré – *Scienza e Ipotesi*)

Il “problema essenziale” del metodo sperimentale

“Ora questi sono classificati come **probabilità delle cause**, e sono **i più interessanti di tutti per le applicazioni scientifiche**.

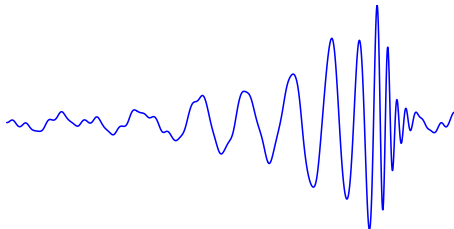
Immaginate che io giochi a *écarté* con un signore che io reputi perfettamente onesto. Qual'è la probabilità che estragga un Re? E' $1/8$. Questa è un problema di **probabilità degli effetti**.

Immaginate che io giochi con un signore che non conosco. Lui ha estratto una carta dieci volte e per sei volte gli è venuto un Re. Qual'è la probabilità che sia un baro? Questo è un problema di **probabilità delle cause**. Si può dire che questo sia **il problema essenziale del metodo sperimentale.**”

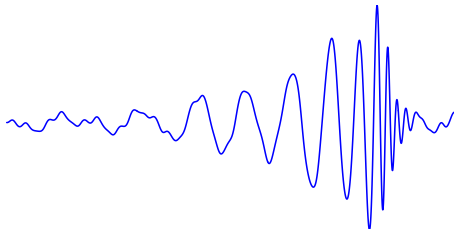
(H. Poincaré – *Scienza e Ipotesi*)

Perché (almeno alla maggior parte di noi) non ci è stato insegnato ad affrontare questo tipo di problemi?

Chi ha fatto questo 'scarabocchio' ?

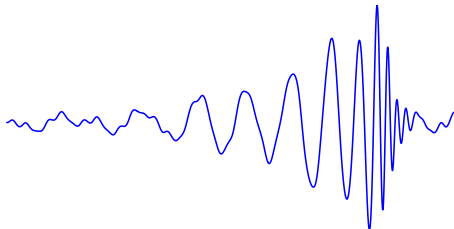


Chi ha fatto questo 'scarabocchio' ?

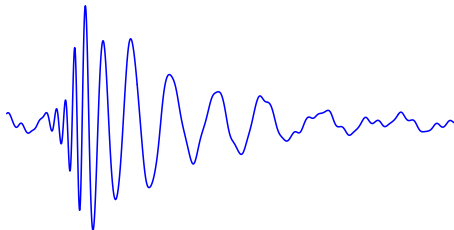


???

Chi ha fatto questo 'scarabocchio' ?

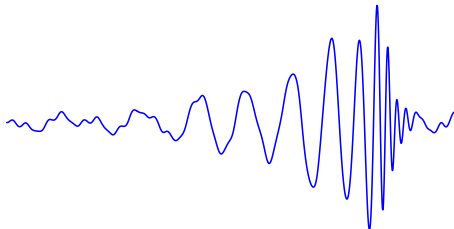


???

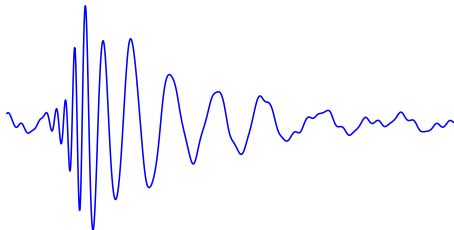


???

Chi ha fatto questo 'scarabocchio' ?



???

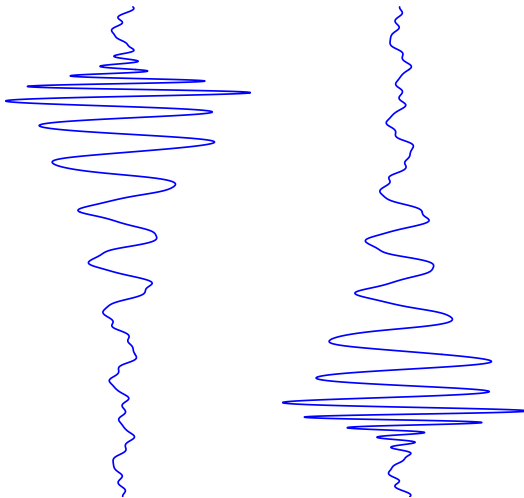


???

- ▶ Cardiogramma?
- ▶ Firma?
- ▶ Suono?
- ▶ Sisma?

Cambiamo orientazione

(pura disperazione...)



???

Contestualizzazione

Una informazione del genere, priva di dettagli

- ▶ con precise indicazione di **cosa rappresentano i punti**;

Contestualizzazione

Una informazione del genere, priva di dettagli

- ▶ con precise indicazione di **cosa rappresentano i punti**;
- ▶ su **come** è stata ottenuta;

Contestualizzazione

Una informazione del genere, priva di dettagli

- ▶ con precise indicazione di **cosa rappresentano i punti**;
- ▶ su **come** è stata ottenuta;
- ▶ con quale **strumento**;

Contestualizzazione

Una informazione del genere, priva di dettagli

- ▶ con precise indicazione di **cosa rappresentano i punti**;
- ▶ su **come** è stata ottenuta;
- ▶ con quale **strumento**;
- ▶ da **chi**;

Contestualizzazione

Una informazione del genere, priva di dettagli

- ▶ con precise indicazione di **cosa rappresentano i punti**;
- ▶ su **come** è stata ottenuta;
- ▶ con quale **strumento**;
- ▶ da **chi**;
- ▶ etc. etc.

non rappresenta conoscenza scientifica!

Contestualizzazione

Una informazione del genere, priva di dettagli

- ▶ con precise indicazione di **cosa rappresentano i punti**;
- ▶ su **come** è stata ottenuta;
- ▶ con quale **strumento**;
- ▶ da **chi**;
- ▶ etc. etc.

non rappresenta conoscenza scientifica!

Solo uno scarabocchio!

Contestualizzazione

Una informazione del genere, priva di dettagli

- ▶ con precise indicazione di **cosa rappresentano i punti**;
- ▶ su **come** è stata ottenuta;
- ▶ con quale **strumento**;
- ▶ da **chi**;
- ▶ etc. etc.

non rappresenta conoscenza scientifica!

Solo uno scarabocchio!

Diffidate del

Dogma dell'Immacolata Osservazione

Contestualizzazione + informazioni ulteriori

La cosa cambia completamente quando veniamo a sapere che

- ▶ viene da un **interferometro per onde gravitazionali**;

Contestualizzazione + informazioni ulteriori

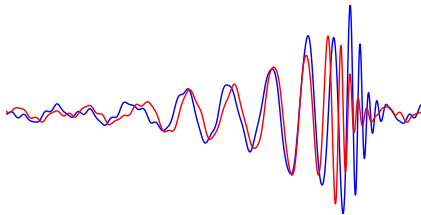
La cosa cambia completamente quando veniamo a sapere che

- ▶ viene da un **interferometro per onde gravitazionali**;
[Ottimi microsismografi!!]

Contestualizzazione + informazioni ulteriori

La cosa cambia completamente quando veniamo a sapere che

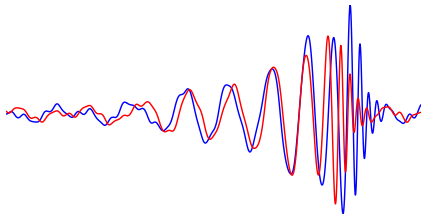
- ▶ viene da un **interferometro per onde gravitazionali**;
[Ottimi microsismografi!!]
- ▶ **una seconda 'firma'**, praticamente identica, rivelata pressoché simultaneamente da un **altro interferometro** a c.a 3000 km di distanza!



Contestualizzazione + informazioni ulteriori

La cosa cambia completamente quando veniamo a sapere che

- ▶ viene da un **interferometro per onde gravitazionali**;
[Ottimi microsismografi!!]
- ▶ **una seconda 'firma'**, praticamente identica, rivelata pressoché simultaneamente da un **altro interferometro** a c.a 3000 km di distanza!

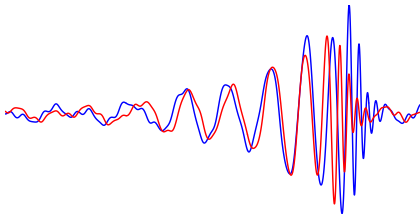


- ▶ Il **firmatario** è 'qualcuno' **ben noto** agli esperti del settore.

Contestualizzazione + informazioni ulteriori

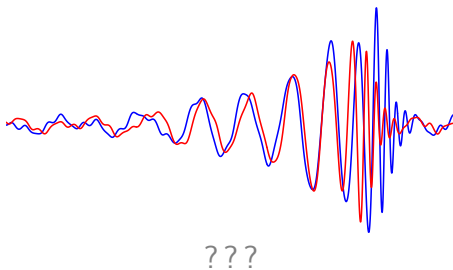
La cosa cambia completamente quando veniamo a sapere che

- ▶ viene da un **interferometro per onde gravitazionali**;
[Ottimi microsismografi!!]
- ▶ una seconda 'firma', praticamente identica, rivelata pressoché simultaneamente da un **altro interferometro** a c.a 3000 km di distanza!

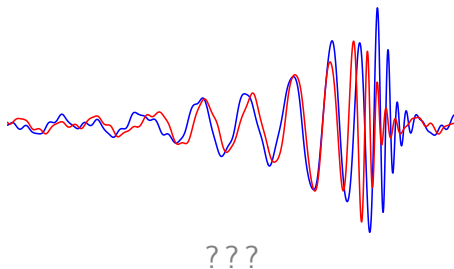


- ▶ Il **firmatario** è 'qualcuno' **ben noto** agli esperti del settore.
[Tendiamo a credere a quanto credono coloro nei quali abbiamo fiducia]

Effetto → causa

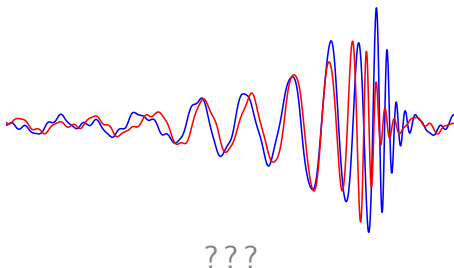


Effetto $\rightarrow$ causa



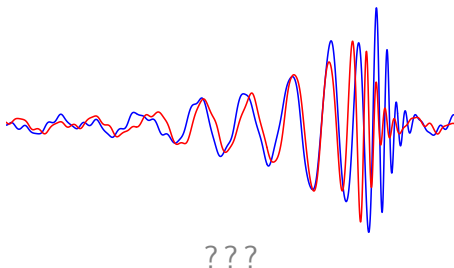
► Il 'firmatario' atteso?

Effetto → causa



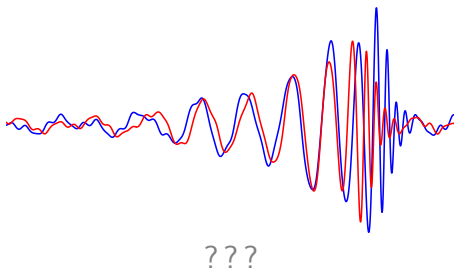
- ▶ Il 'firmatario' atteso?
- ▶ Microsisma coerente? (a 3000 km?)

Effetto → causa



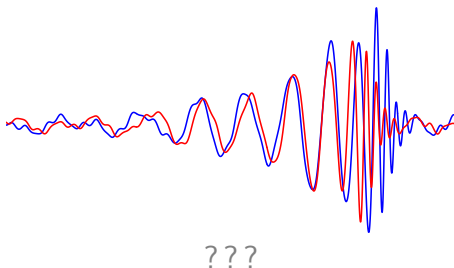
- ▶ Il 'firmatario' atteso?
- ▶ Microsisma coerente? (a 3000 km?)
- ▶ Pura coincidenza fra tremolii locali?

Effetto → causa



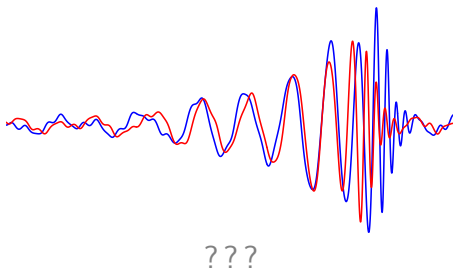
- ▶ Il 'firmatario' atteso?
- ▶ Microsisma coerente? (a 3000 km?)
- ▶ Pura coincidenza fra tremolii locali?
- ▶ Una 'firma' falsa per controllo?

Effetto → causa



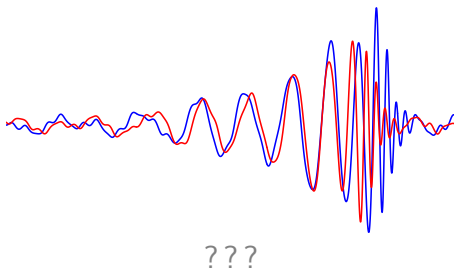
- ▶ Il 'firmatario' atteso?
- ▶ Microsisma coerente? (a 3000 km?)
- ▶ Pura coincidenza fra tremolii locali?
- ▶ Una 'firma' falsa per controllo?
- ▶ Un 'sabotaggio' per screditare la collaborazione?

Effetto → causa



- ▶ Il 'firmatario' atteso?
- ▶ Microsisma coerente? (a 3000 km?)
- ▶ Pura coincidenza fra tremolii locali?
- ▶ Una 'firma' falsa per controllo?
- ▶ Un 'sabotaggio' per screditare la collaborazione?
- ▶ Una manomissione per favorire il teorico del 'firmatario'?

Effetto → causa

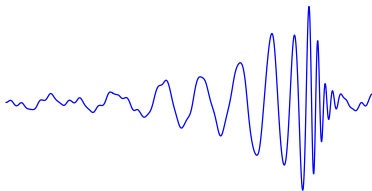


- ▶ Il 'firmatario' atteso?
- ▶ Microsisma coerente? (a 3000 km?)
- ▶ Pura coincidenza fra tremolii locali?
- ▶ Una 'firma' falsa per controllo?
- ▶ Un 'sabotaggio' per screditare la collaborazione?
- ▶ Una manomissione per favorire il teorico del 'firmatario'?

(Le ultime due cause non sono una amenità!)

Effetto $\rightarrow$ causa

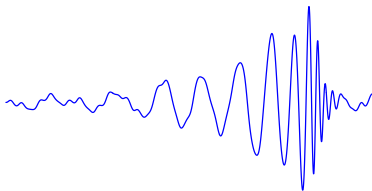
In base a tutte le conoscenze su tutte le cause possibili



$\Rightarrow$ Onde gravitazionali

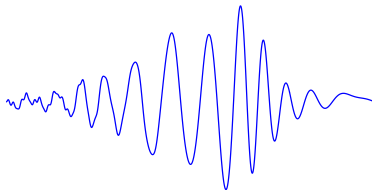
Effetto → causa

In base a tutte le conoscenze su tutte le cause possibili



⇒ Onde gravitazionali

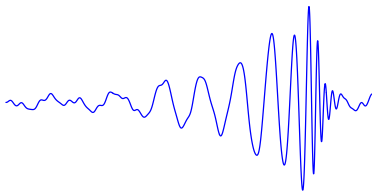
Ma se fosse stato quest'altro 'scarabocchio'



???

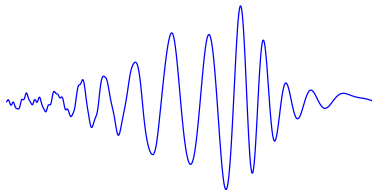
Effetto → causa

In base a tutte le conoscenze su tutte le cause possibili



⇒ Onde gravitazionali

Ma se fosse stato quest'altro 'scarabocchio'



???

Forse più probabilmente un tremolio casuale...

{Effetto $\rightarrow$ causa} $\rightarrow$ 'concause' $\rightarrow$ corroborazione

Le nostre credenze sono rafforzate dal fatto che dalla forma del segnale si possono estrarre un certo numero di **parametri** sul 'firmatario' (masse, distanza da noi, e altro).

{Effetto $\rightarrow$ causa} $\rightarrow$ 'concause' $\rightarrow$ corroborazione

Le nostre credenze sono rafforzate dal fatto che dalla forma del segnale si possono estrarre un certo numero di **parametri** sul 'firmatario' (masse, distanza da noi, e altro).

$\Rightarrow$ Un numero di **parametri** impressionante

{Effetto $\rightarrow$ causa} $\rightarrow$ 'concause' $\rightarrow$ corroborazione

Le nostre credenze sono rafforzate dal fatto che dalla forma del segnale si possono estrarre un certo numero di **parametri** sul 'firmatario' (masse, distanza da noi, e altro).

$\Rightarrow$ **Un numero di parametri impressionante** anche se con inevitabili incertezze

{Effetto $\rightarrow$ causa} $\rightarrow$ 'concause' $\rightarrow$ corroborazione

Le nostre credenze sono rafforzate dal fatto che dalla forma del segnale si possono estrarre un certo numero di **parametri** sul 'firmatario' (masse, distanza da noi, e altro).

$\Rightarrow$ **Un numero di parametri impressionante** anche se con inevitabili incertezze

... **la cui ragionevolezza rafforza la nostra credenza nel fenomeno ipotizzato**

{Effetto $\rightarrow$ causa} $\rightarrow$ 'concause' $\rightarrow$ corroborazione

Le nostre credenze sono rafforzate dal fatto che dalla forma del segnale si possono estrarre un certo numero di **parametri** sul 'firmatario' (masse, distanza da noi, e altro).

$\Rightarrow$ **Un numero di parametri impressionante** anche se con inevitabili incertezze

... **la cui ragionevolezza rafforza la nostra credenza nel fenomeno ipotizzato**

Notare il *filo logico*:

- **Non** possiamo dire di aver osservato onde gravitazionali, e poi cerchiamo il fenomeno che le ha prodotte.

{Effetto $\rightarrow$ causa} $\rightarrow$ 'concause' $\rightarrow$ corroborazione

Le nostre credenze sono rafforzate dal fatto che dalla forma del segnale si possono estrarre un certo numero di **parametri** sul 'firmatario' (masse, distanza da noi, e altro).

$\Rightarrow$ **Un numero di parametri impressionante** anche se con inevitabili incertezze

... **la cui ragionevolezza rafforza la nostra credenza nel fenomeno ipotizzato**

Notare il *filo logico*:

- **Non** possiamo dire di aver osservato onde gravitazionali, e poi cerchiamo il fenomeno che le ha prodotte.

Al contrario, **crediamo che siano onde gravitazionali** per la **consistenza complessiva dello scenario**.

{Effetto $\rightarrow$ causa} $\rightarrow$ 'concause' $\rightarrow$ corroborazione

Le nostre credenze sono rafforzate dal fatto che dalla forma del segnale si possono estrarre un certo numero di **parametri** sul 'firmatario' (masse, distanza da noi, e altro).

$\Rightarrow$ **Un numero di parametri impressionante** anche se con inevitabili incertezze

... **la cui ragionevolezza rafforza la nostra credenza nel fenomeno ipotizzato**

Notare il *filo logico*:

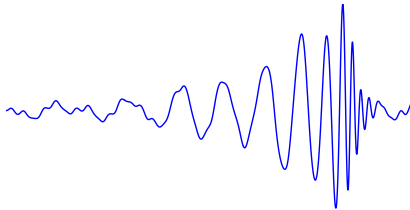
- **Non** possiamo dire di aver osservato onde gravitazionali, e poi cerchiamo il fenomeno che le ha prodotte.

Al contrario, **crediamo che siano onde gravitazionali** per la **consistenza complessiva dello scenario**.

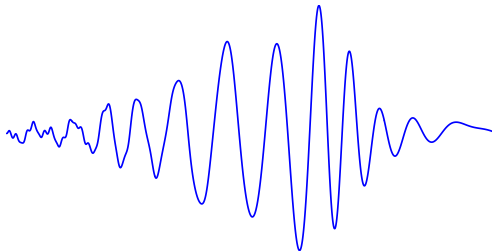
[Alla faccia delle 'sigma'...]

In cosa differiscono questi “scarabocchi”?

A)

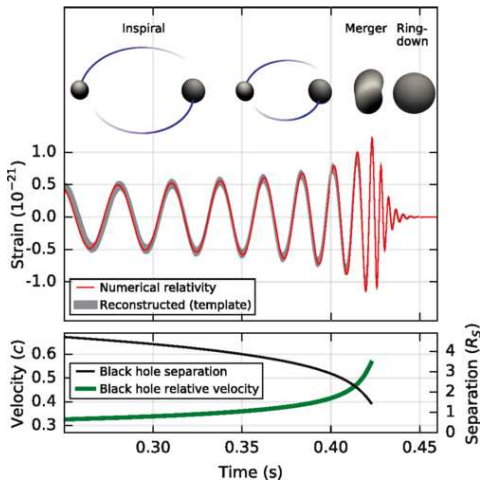


B)



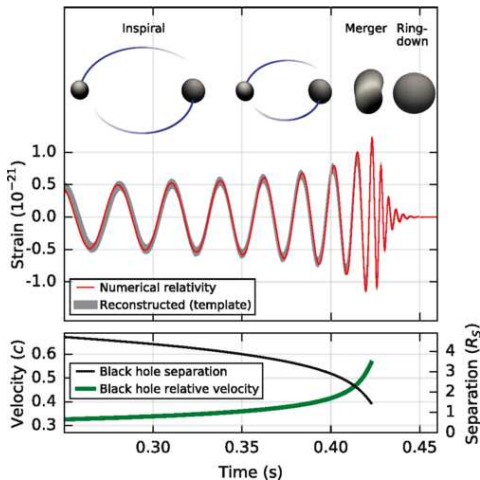
In cosa differiscono gli “scarabocchi”?

A)



In cosa differiscono gli “scarabocchi”?

A)



B)

NIENTE (almeno al momento. . .)

Dallo spazio cosmico ai problemi dei mortali

Un esempio facilmente comprensibile:

- ▶ due cause;
- ▶ due effetti;

Dallo spazio cosmico ai problemi dei mortali

Un esempio facilmente comprensibile:

- ▶ due cause;
- ▶ due effetti;
- ▶ diagnostica medica:
 - ▶ è più facile avere delle intuizioni

Dallo spazio cosmico ai problemi dei mortali

Un esempio facilmente comprensibile:

- ▶ due cause;
- ▶ due effetti;
- ▶ diagnostica medica:
 - ▶ è più facile avere delle intuizioni
 - ▶ ... anche se qualcuno può avere **intuizioni fallaci**

Dallo spazio cosmico ai problemi dei mortali

Un esempio facilmente comprensibile:

- ▶ due cause;
- ▶ due effetti;
- ▶ diagnostica medica:
 - ▶ è più facile avere delle intuizioni
 - ▶ ...anche se qualcuno può avere **intuizioni fallaci**
 - ⇒ **una guida formale** fa evitare errori
 - ⇒ **logica dell'incerto** (teoria delle probabilità)

Test dell'AIDS

Italiano scelto a caso viene sottoposto al test dell'AIDS.

Test non perfetto, come succede in pratica.

Modello semplificato:

$$P(\text{Pos} \mid \text{HIV}) = 100\%$$

$$P(\text{Pos} \mid \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$$

$$P(\text{Neg} \mid \overline{\text{HIV}}) = 99.8\%$$

$H_1 = \text{'HIV'}$ (Infetto)

$E_1 = \text{Positivo}$

$H_2 = \overline{\text{'HIV'}}$ (Non infetto)

$E_2 = \text{Negativo}$

Test dell'AIDS

Italiano scelto a caso viene sottoposto al test dell'AIDS.

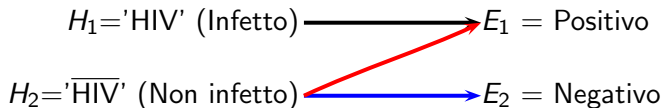
Test non perfetto, come succede in pratica.

Modello semplificato:

$$P(\text{Pos} \mid \text{HIV}) = 100\%$$

$$P(\text{Pos} \mid \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$$

$$P(\text{Neg} \mid \overline{\text{HIV}}) = 99.8\%$$



Test dell'AIDS

Italiano scelto a caso viene sottoposto al test dell'AIDS.

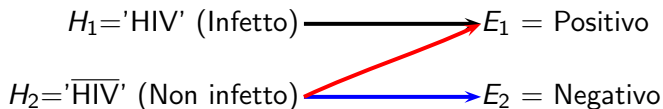
Test non perfetto, come succede in pratica.

Modello semplificato:

$$P(\text{Pos} \mid \text{HIV}) = 100\%$$

$$P(\text{Pos} \mid \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$$

$$P(\text{Neg} \mid \overline{\text{HIV}}) = 99.8\%$$



Risultato: $\Rightarrow$ Positivo

Test dell'AIDS

Italiano scelto a caso viene sottoposto al test dell'AIDS.

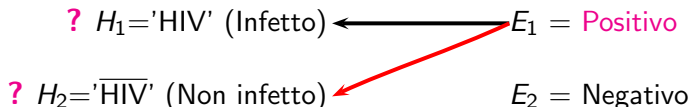
Test non perfetto, come succede in pratica.

Modello semplificato:

$$P(\text{Pos} \mid \text{HIV}) = 100\%$$

$$P(\text{Pos} \mid \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$$

$$P(\text{Neg} \mid \overline{\text{HIV}}) = 99.8\%$$



Risultato: $\Rightarrow$ Positivo

Infetto o Non infetto?

Cosa ne concludiamo?

Data $P(\text{Pos} | \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$ e avendo osservato 'Positivo', possiamo affermare:

- ▶ "Praticamente impossibile che la persona sia infetta, in quanto era 'praticamente impossibile' che chi non ha il virus risulti positivo"?

Cosa ne concludiamo?

Data $P(\text{Pos} | \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$ e avendo osservato 'Positivo', possiamo affermare:

- ▶ "Praticamente impossibile che la persona sia infetta, in quanto era 'praticamente impossibile' che chi non ha il virus risulti positivo"
- ▶ "C'è solo lo 0.2% di probabilità che la persona non abbia l'HIV"?

Cosa ne concludiamo?

Data $P(\text{Pos} | \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$ e avendo osservato 'Positivo', possiamo affermare:

- ▶ "Praticamente impossibile che la persona sia infetta, in quanto era 'praticamente impossibile' che chi non ha il virus risulti positivo"
- ▶ "C'è solo lo 0.2% di probabilità che la persona non abbia l'HIV"
- ▶ "Siamo confidenti al 99.8% che la persona sia infetta"?

Cosa ne concludiamo?

Data $P(\text{Pos} | \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$ e avendo osservato 'Positivo', possiamo affermare:

- ▶ "Praticamente impossibile che la persona sia infetta, in quanto era 'praticamente impossibile' che chi non ha il virus risulti positivo"
- ▶ "C'è solo lo 0.2% di probabilità che la persona non abbia l'HIV"
- ▶ "Siamo confidenti al 99.8% che la persona sia infetta"
- ▶ "L'ipotesi $H_1 = \text{Non_HIV}$ è scartata al 99.8% C.L."

?

Cosa ne concludiamo?

Data $P(\text{Pos} | \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$ e avendo osservato 'Positivo', possiamo affermare:

- ▶ "Praticamente impossibile che la persona sia infetta, in quanto era 'praticamente impossibile' che chi non ha il virus risulti positivo"
- ▶ "C'è solo lo 0.2% di probabilità che la persona non abbia l'HIV"
- ▶ "Siamo confidenti al 99.8% che la persona sia infetta"
- ▶ "l'ipotesi $H_1 = \text{Non_HIV}$ è scartata al 99.8% C.L."

?

NO

Invece, $P(\text{HIV} | \text{Pos, italiano a caso}) \approx 45\%$

(Lo lasciamo come esercizio – per la cui soluzione manca un dato! – con soluzione in fondo.)

Cosa ne concludiamo?

Data $P(\text{Pos} | \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$ e avendo osservato 'Positivo', possiamo affermare:

- ▶ "Praticamente impossibile che la persona sia infetta, in quanto era 'praticamente impossibile' che chi non ha il virus risulti positivo"
- ▶ "C'è solo lo 0.2% di probabilità che la persona non abbia l'HIV"
- ▶ "Siamo confidenti al 99.8% che la persona sia infetta"
- ▶ "l'ipotesi $H_1 = \text{Non_HIV}$ è scartata al 99.8% C.L."

?

NO

Invece, $P(\text{HIV} | \text{Pos, italiano a caso}) \approx 45\%$
 $\Rightarrow$ **Errore serio!** (non banalmente 99.8% invece di 98.3%)

Cosa ne concludiamo?

Data $P(\text{Pos} | \overline{\text{HIV}}) = 0.2\%$ e avendo osservato 'Positivo', possiamo affermare:

- ▶ "Praticamente impossibile che la persona sia infetta, in quanto era 'praticamente impossibile' che chi non ha il virus risulti positivo"
- ▶ "C'è solo lo 0.2% di probabilità che la persona non abbia l'HIV"
- ▶ "Siamo confidenti al 99.8% che la persona sia infetta"
- ▶ "L'ipotesi $H_1 = \text{Non_HIV}$ è scartata al 99.8% C.L."

?

NO

Invece, $P(\text{HIV} | \text{Pos, italiano a caso}) \approx 45\%$
 $\Rightarrow$ **Errore serio!** (non banalmente 99.8% invece di 98.3%)

... da cui possono scaturire decisioni errate!

$$P(A | B) \leftrightarrow P(B | A)$$

Attenzione al 'ribaltamento' arbitrario delle probabilità condizionate:

In generale $P(A | B) \neq P(B | A)$

$$P(A | B) \leftrightarrow P(B | A)$$

Attenzione al 'ribaltamento' arbitrario delle probabilità condizionate:

$$\text{In generale } P(A | B) \neq P(B | A)$$

► $P(\text{Positivo} | \overline{HIV}) \neq P(\overline{HIV} | \text{Positivo})$

$$P(A | B) \leftrightarrow P(B | A)$$

Attenzione al 'ribaltamento' arbitrario delle probabilità condizionate:

In generale $P(A | B) \neq P(B | A)$

- ▶ $P(\text{Positivo} | \overline{HIV}) \neq P(\overline{HIV} | \text{Positivo})$
- ▶ $P(\text{Vincere} | \text{Giocare}) \neq P(\text{Giocare} | \text{Vincere})$ [es. Lotto]

$$P(A | B) \leftrightarrow P(B | A)$$

Attenzione al 'ribaltamento' arbitrario delle probabilità condizionate:

In generale $P(A | B) \neq P(B | A)$

- ▶ $P(\text{Positivo} | \overline{HIV}) \neq P(\overline{HIV} | \text{Positivo})$
- ▶ $P(\text{Vincere} | \text{Giocare}) \neq P(\text{Giocare} | \text{Vincere})$ [es. Lotto]
- ▶ $P(\text{Pregnant} | \text{Woman}) \neq P(\text{Woman} | \text{Pregnant})$

$$P(A | B) \leftrightarrow P(B | A)$$

Attenzione al 'ribaltamento' arbitrario delle probabilità condizionate:

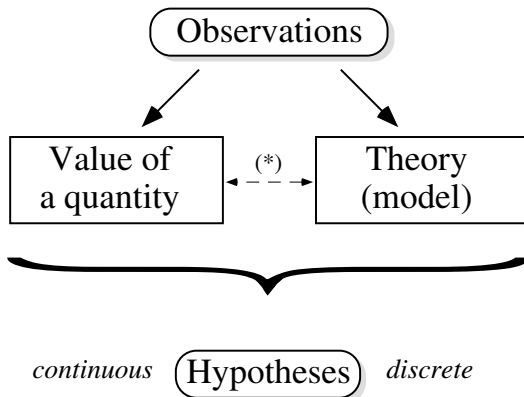
In generale $P(A | B) \neq P(B | A)$

- ▶ $P(\text{Positivo} | \overline{HIV}) \neq P(\overline{HIV} | \text{Positivo})$
- ▶ $P(\text{Vincere} | \text{Giocare}) \neq P(\text{Giocare} | \text{Vincere})$ [es. Lotto]
- ▶ $P(\text{Pregnant} | \text{Woman}) \neq P(\text{Woman} | \text{Pregnant})$

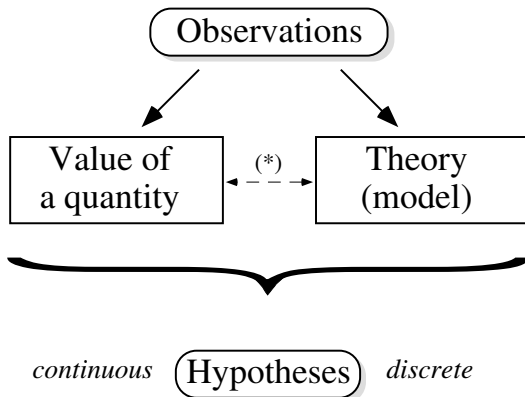
In particolare

- ▶ Una causa può produrre un certo effetto con bassissima probabilità, pur essendo tale causa la più probabile fra quelle che possono aver prodotto tale effetto, e talvolta la sola causa possibile!

Learning from data

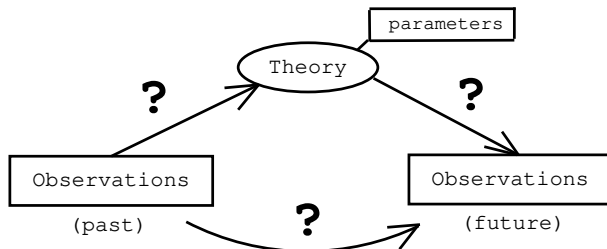


Learning from data



(*) A quantity might be meaningful only within a theory/model

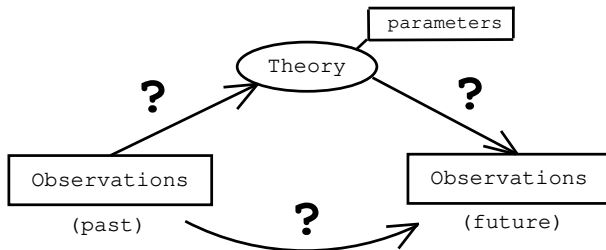
From past to future



Our task:

- ▶ Describe/understand the 'physical world'
 - ⇒ **inference** of laws ('models') and their parameters $[\Theta]$
 - ⇒ $[\Theta | X_{past}]$
- ▶ Predict observations $[X]$
 - ⇒ **forecasting**
 - ⇒ $[X_{future} | \Theta] \rightarrow [X_{future} | X_{past}]$

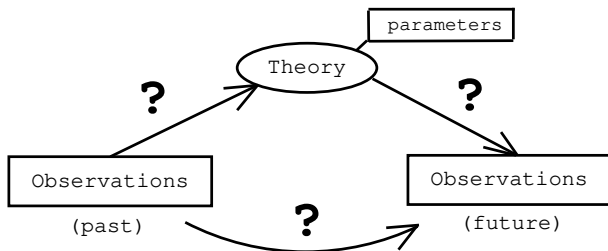
From past to future



Process

- ▶ neither automatic
- ▶ nor purely contemplative
 - 'scientific method'
 - planned experiments ('actions') ⇒ **decision**.

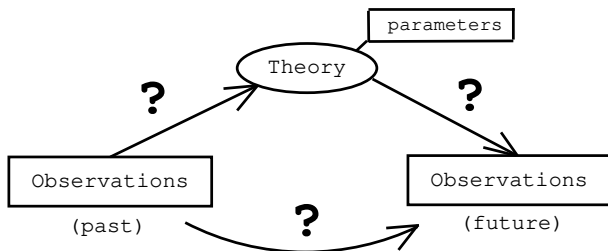
From past to future



⇒ The role of theories/models

- ▶ a theory and its parameters are the 'distillate' of all our knowledge about the 'universe' of interest;
- ▶ empirical analogical thinking is in most cases not usable:
 - ▶ A theory can predict effects never observed before
 - ▶ Example: shooting a bullet

From past to future



⇒ The role of theories/models

- ▶ a theory and its parameters are the 'distillate' of all our knowledge about the 'universe' of interest;
- ▶ empirical analogical thinking is in most cases not usable:

"La cognizione d'un solo effetto acquistata per le sue cause ci apre l'intelletto a 'ntendere ed assicurarci d'altri effetti senza bisogno di ricorrere alle esperienze" (Galileo)

Model thinking

“The scientific method is based on repeated experiments”
(or some like that)

Model thinking

“The scientific method is based on repeated experiments”
(or some like that)

- ▶ Are then astrophysics, cosmology etc. Science?

Model thinking

“The scientific method is based on repeated experiments”
(or some like that)

- ▶ Are then astrophysics, cosmology etc. Science?
- ▶ Who told so?

Model thinking

“The scientific method is based on repeated experiments”
(or some like that)

- ▶ Are then astrophysics, cosmology etc. Science?
- ▶ Who told so?
... Galileo...

Model thinking

“The scientific method is based on repeated experiments”
(or some like that)

► Are then astrophysics, cosmology etc. Science?

► Who told so?

... Galileo...

*“The knowledge of a single effect acquired by its causes
open our mind to understand and ensure us of other effects
without the need of making experiments”*

(Galileo)

Model thinking

“The scientific method is based on repeated experiments”
(or some like that)

- ▶ Are then astrophysics, cosmology etc. Science?
- ▶ Who told so?
... Galileo...

*“The knowledge of a single effect acquired by its causes
open our mind to understand and ensure us of other effects
without the need of making experiments”
(Galileo)*

What really matters is to have a **Model** which links **parameters** to **observations**

Model thinking

“The scientific method is based on repeated experiments”
(or some like that)

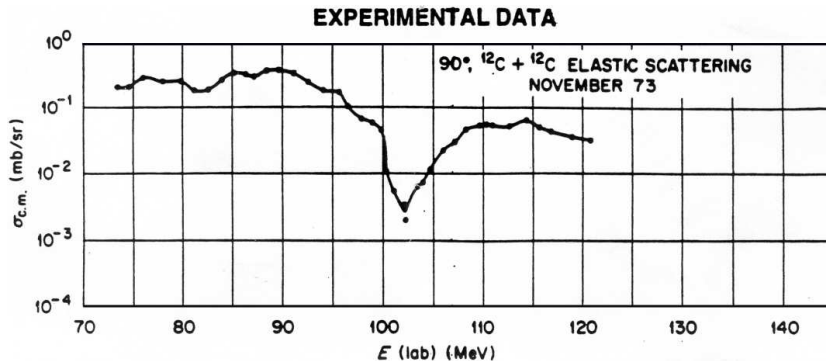
- ▶ Are then astrophysics, cosmology etc. Science?
- ▶ Who told so?
... Galileo...

*“The knowledge of a single effect acquired by its causes
open our mind to understand and ensure us of other effects
without the need of making experiments”
(Galileo)*

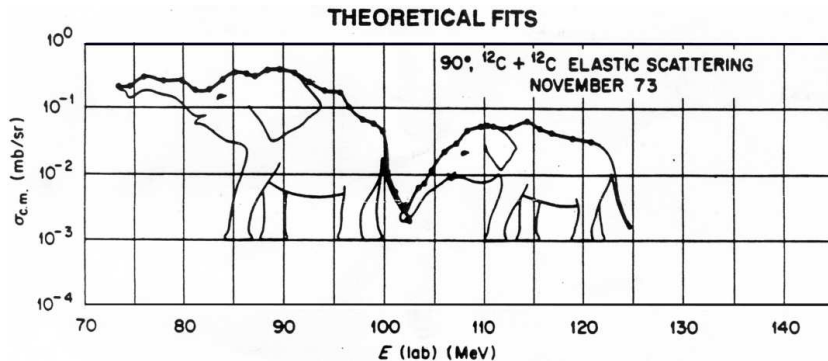
What really matters is to have a **Model** which links **parameters** to **observations**

But remind that “all models are wrong, some are useful” ...

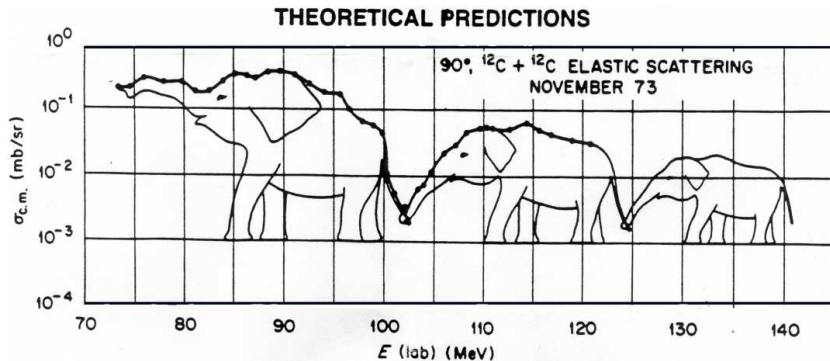
Inferential-predictive process



Inferential-predictive process

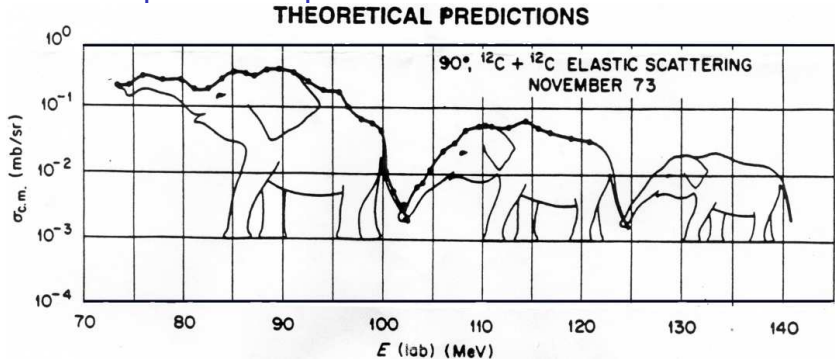


Inferential-predictive process



(S. Raman, *Science with a smile*)

Inferential-predictive process



(S. Raman, *Science with a smile*)

Even if the (*ad hoc*) model fits perfectly the data,
we do not believe the predictions
because we don't trust the model!

[Many 'good' models are *ad hoc* models!]

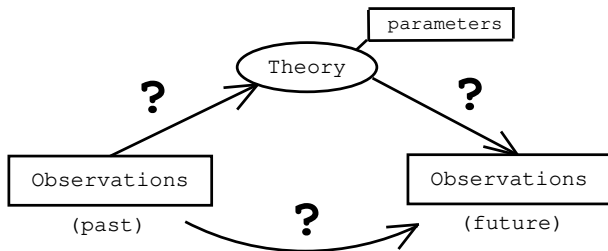
2011 IgNobel prize in Mathematics

- ▶ D. Martin of USA (who predicted the world would end in 1954)
- ▶ P. Robertson of USA (who predicted the world would end in 1982)
- ▶ E. Clare Prophet of the USA (who predicted the world would end in 1990)
- ▶ L.J. Rim of KOREA (who predicted the world would end in 1992)
- ▶ C. Mwerinde of UGANDA (who predicted the world would end in 1999)
- ▶ H. Camping of the USA (who predicted the world would end on September 6, 1994 and later predicted that the world will end on **October 21, 2011**)

2011 IgNobel prize in Mathematics

“For teaching the world to be careful when making mathematical assumptions and calculations”

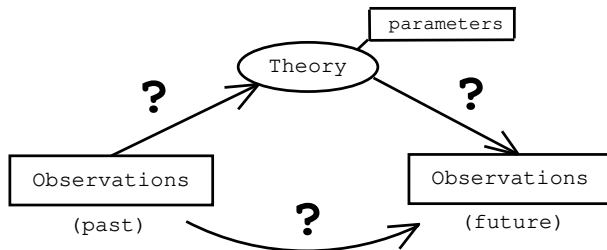
Uncertainty



⇒ **Uncertainty:**

1. Given the past observations, in general we are not sure about the parameters of the model (and/or the model itself)
2. Even if we were sure about theory and parameters, there could be internal ("noise", variables out of our control) or external effects (initial/boundary conditions, 'errors', etc) that make the forecasting uncertain.

Uncertainty



⇒ Uncertainty:

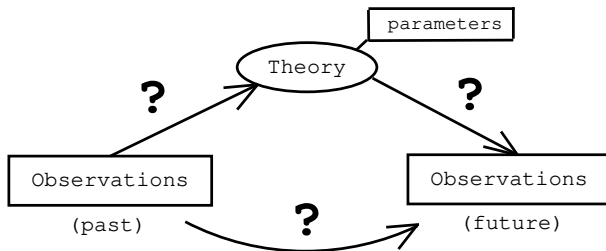
► No certainties, only probabilities

► $P(\Theta \mid X_{past})$

► $P(X_{future} \mid \Theta)$

► $P(X_{future} \mid X_{past})$

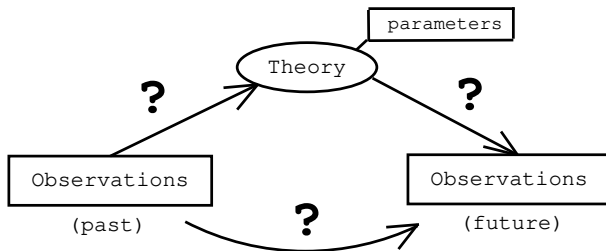
Deep source of uncertainty



Uncertainty:

Theory	— ? —>	Future observations
Past observations	— ? —>	Theory
Theory	— ? —>	Future observations

Deep source of uncertainty

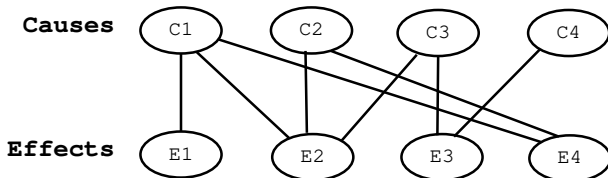


Uncertainty:

Theory — ? → Future observations
Past observations — ? → Theory
Theory — ? → Future observations
⇒ **Uncertainty about causal connections**
CAUSE ⇔ EFFECT

Causes → effects

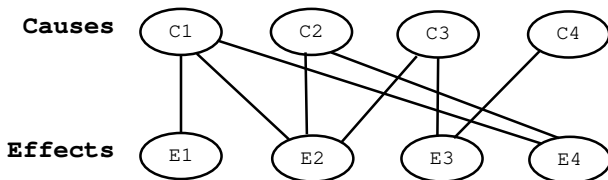
The same *apparent* cause might produce several, different effects



Given an observed effect, we are not sure about the exact cause that has produced it.

Causes → effects

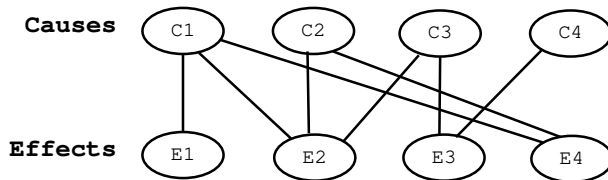
The same *apparent* cause might produce several, different **effects**



Given an **observed effect**, we are not sure about the **exact cause** that has produced it.

Causes → effects

The same *apparent* cause might produce several, different effects



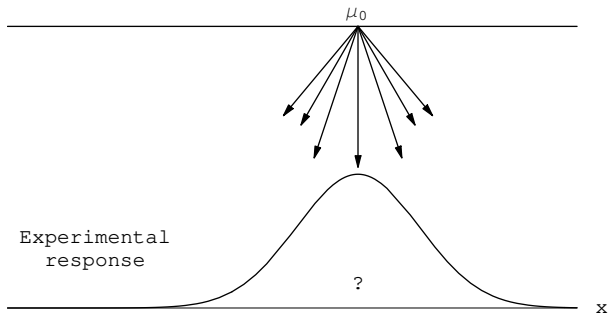
Given an observed effect, we are not sure about the exact cause that has produced it.

$$E_2 \Rightarrow \{C_1, C_2, C_3\}?$$

→ Probability of causes

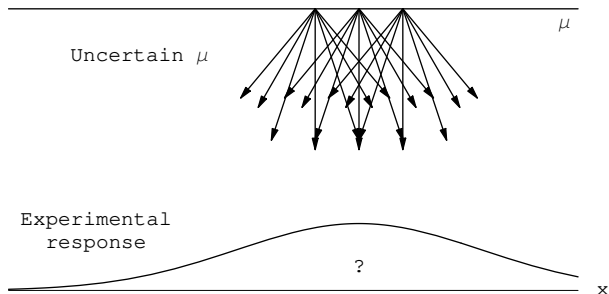
“the essential problem of the experimental method”

From 'true value' to observations



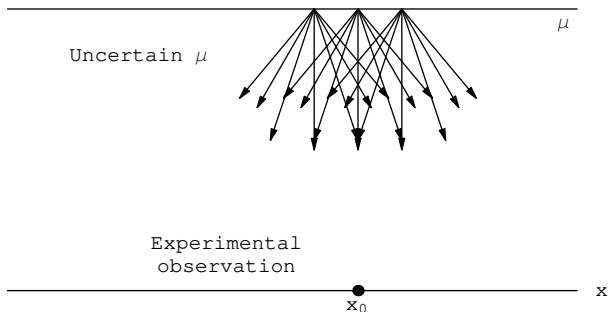
Given μ (exactly known) we are uncertain about x

From 'true value' to observations



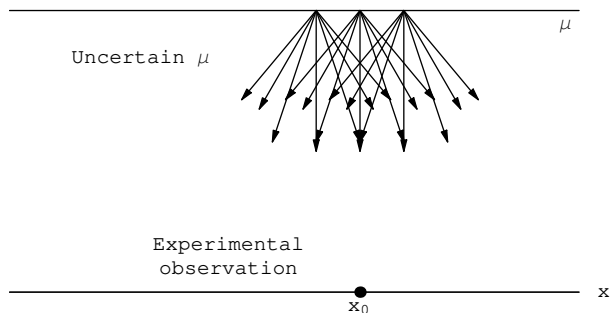
Uncertainty about μ makes us more uncertain about x

...and back: Inferring a true value



The observed data is certain: $\rightarrow$ 'true value' uncertain.

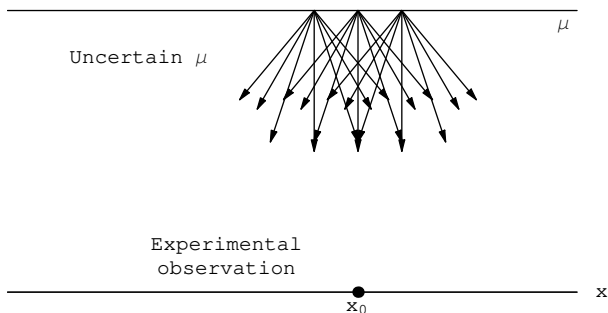
...and back: Inferring a true value



The observed data is certain: $\rightarrow$ 'true value' uncertain.

"data uncertainty" ?

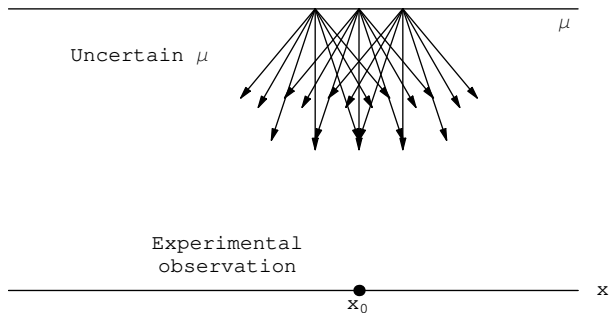
...and back: Inferring a true value



The observed data is certain: $\rightarrow$ 'true value' uncertain.

"data uncertainty" ? Data corrupted?

...and back: Inferring a true value

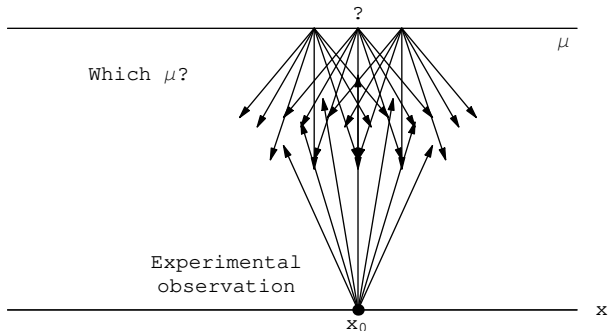


The observed data is certain: $\rightarrow$ 'true value' uncertain.

"data uncertainty" ? Data corrupted?

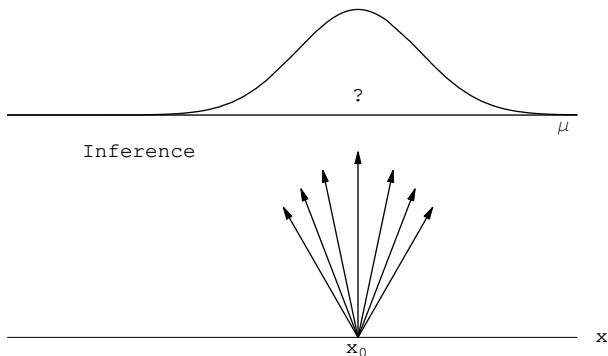
Even if the data were corrupted, the data were the corrupted data!!...

...and back: Inferring a true value



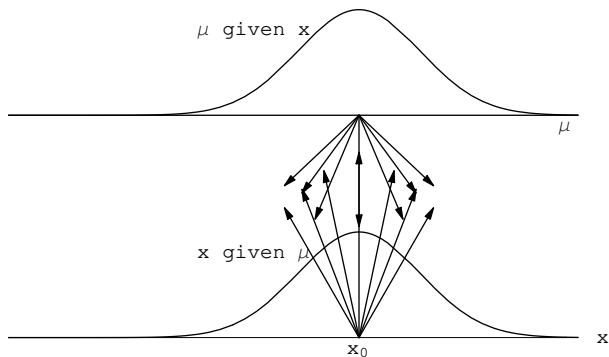
Where does the observed value of x comes from?

...and back: Inferring a true value



We are now uncertain about μ , given x .

...and back: Inferring a true value



Note the symmetry in reasoning.

Un 'esperimento' molto semplice

Facciamo un esperimento

Un 'esperimento' molto semplice

Facciamo un esperimento

- ▶ Qui
- ▶ Ora

Un 'esperimento' molto semplice

Facciamo un esperimento

- ▶ Qui
- ▶ Ora

Per semplicità

- ▶ Solo **sei ipotesi possibili** ($\leftrightarrow$ “possibili valori della grandezza fisica”):

0, 1, ..., 5

- ▶ Solo **due effetti** (“possibili valori della lettura”):

0, 1

[(1, 2); Bianco/Nero; Sì/No; ...]

Un 'esperimento' molto semplice

Facciamo un esperimento

- ▶ Qui
- ▶ Ora

Per semplicità

- ▶ Solo **sei ipotesi possibili** ($\leftrightarrow$ "possibili valori della grandezza fisica"):

$$0, 1, \dots, 5$$

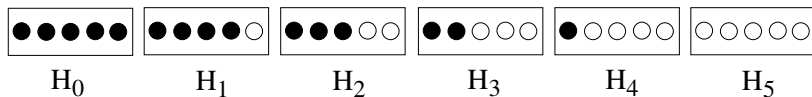
- ▶ Solo **due effetti** ("possibili valori della lettura"):

$$0, 1$$

$$[(1, 2); \text{Bianco/Nero}; \text{Sì/No}; \dots]$$

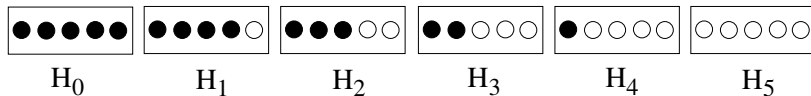
$\Rightarrow$ Poi si potrà passare (almeno virtualmente) a una continuità di ipotesi possibili e di osservazioni possibili, ma concettualmente abbiamo già tutti gli ingredienti.

Quale scatola? Quale pallina?



Scegliamo una scatola a caso.

Quale scatola? Quale pallina?

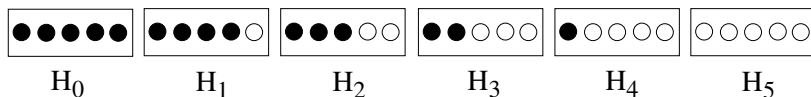


Scegliamo una scatola a caso.

Siamo in stato di incertezza su

- (a) Quale scatola abbiamo preso, $H_0, H_1, \dots, H_5$?
- (b) Se estraiamo a caso una pallina dalla scatola osserveremo Bianco o Nero?

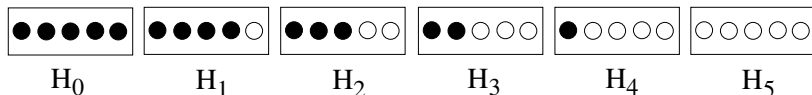
Quale scatola? Quale pallina?



Scegliamo una scatola a caso.

- Cosa succede dopo aver **estratto una pallina**, averne **osservato il colore** e averla **reinserita nella scatola**?
 - Intuitivamente possiamo farci delle idee *su come cambiare* le probabilità
 - della scatola, (vista come **causa** degli effetti osservati);
 - del risultato di estrazioni future (**effetti**).

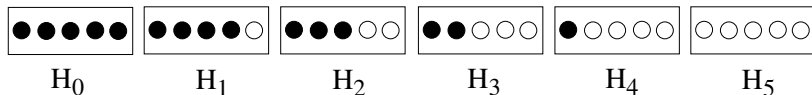
Quale scatola? Quale pallina?



Scegliamo una scatola a caso.

- Cosa succede dopo aver **estratto una pallina**, averne **osservato il colore** e averla **reinserita nella scatola**?
 - Intuitivamente possiamo farci delle idee *su come cambiare* le probabilità
 - della scatola, (vista come **causa** degli effetti osservati);
 - del risultato di estrazioni future (**effetti**).
 - Siamo in grado **di farlo quantitativamente**, in 'modo oggettivo'?

Quale scatola? Quale pallina?



Scegliamo una scatola a caso.

- ▶ Cosa succede dopo aver **estratto una pallina**, averne **osservato il colore** e averla **reinserita nella scatola**?
 - ▶ Intuitivamente possiamo farci delle idee *su come cambiare* le probabilità
 - ▶ della scatola, (vista come **causa** degli effetti osservati);
 - ▶ del risultato di estrazioni future (**effetti**).
 - ▶ Siamo in grado **di farlo quantitativamente**, in 'modo oggettivo'?
- ▶ E dopo una **sequenza** di estrazioni? (ad es. NNNNN).

Un esperimento “giocattolo” istruttivo

Lo scopo dell'esperimento è quello di **indovinare** il contenuto della scatola (**le possibili cause**) **senza poterci guardare dentro**, soltanto osservandone gli **effetti prodotti**

Un esperimento “giocattolo” istruttivo

Lo scopo dell'esperimento è quello di **indovinare** il contenuto della scatola (**le possibili cause**) **senza poterci guardare dentro**, soltanto osservandone gli **effetti prodotti**

Questo **Toy Experiment** è concettualmente molto vicino a quello che facciamo nelle scienze pure e applicate

- ⇒ cercare di inferire quello che non vediamo (carica dell'elettrone, massa di un buco nero, etc.)
... da quello che è (in qualche modo) accessibile ai nostri sensi.

Un esperimento “giocattolo” istruttivo

Lo scopo dell'esperimento è quello di **indovinare** il contenuto della scatola (**le possibili cause**) **senza poterci guardare dentro**, soltanto osservandone gli **effetti prodotti**

Questo **Toy Experiment** è concettualmente molto vicino a quello che facciamo nelle scienze pure e applicate

⇒ cercare di inferire quello che non vediamo (carica dell'elettrone, massa di un buco nero, etc.)
... da quello che è (in qualche modo) accessibile ai nostri sensi.

La regola del gioco è che non ci sarà consentito guardare dentro la scatola! (Esattamente come **non possiamo “aprire un elettrone” e ‘leggerne’ le proprietà in una targhetta posta al suo interno**)

The End

FINE