

# La visione del mondo della Relatività e della Meccanica Quantistica

Settimana 8

Lezione 8.3.1

Schrödinger – Heisenberg - Feynman

Carlo Cosmelli



## Schrödinger, Heisenberg e Feynman – i tre approcci

Schrödinger:

La funzione d'onda  $\psi(r, t)$  è una funzione complessa il cui modulo quadro dà la probabilità di trovare la particella in un certo intervallo se misurata.

Schrödinger parte dall'idea di de Broglie che ad una particella posso "associare" un'onda. Quindi scrive un'equazione che generalizza l'equazione delle onde applicandola alla funzione d'onda.

Questa è l'equazione di Schrödinger che determina l'evoluzione temporale deterministica della  $\psi(r, t)$

$$\hat{H}|\psi\rangle = E|\psi\rangle \quad \text{dove} \quad \hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V(r, t)$$

# Heisenberg

Heisenberg: le grandezze del mondo microscopico non possono essere descritte con le parole che utilizziamo nel mondo macroscopico. Contano solo le grandezze che posso misurare per inferire quello che succede a livello microscopico. 

Ad ogni osservabile fisica associo una matrice.

Esempio di matrice:  $\begin{bmatrix} E_{1,1} & E_{1,2} & E_{1,3} \\ E_{2,1} & E_{2,2} & E_{2,3} \\ E_{3,1} & E_{3,1} & E_{3,3} \end{bmatrix}$ .... Con queste matrici costruisco l'evoluzione

del sistema.

Schrödinger dimostrerà che i due approcci sono equivalenti, cioè portano agli stessi risultati ricavati dall'equazione di Schrödinger

# Gli spettri di emissione/assorbimento



Le sostanze, riscaldate, emettono luce di determinate frequenze (colori), sempre ed esattamente le stesse. Ogni frequenza corrisponde ad un salto fra due livelli energetici dell'atomo. E' una caratteristica misurabile dell'atomo.

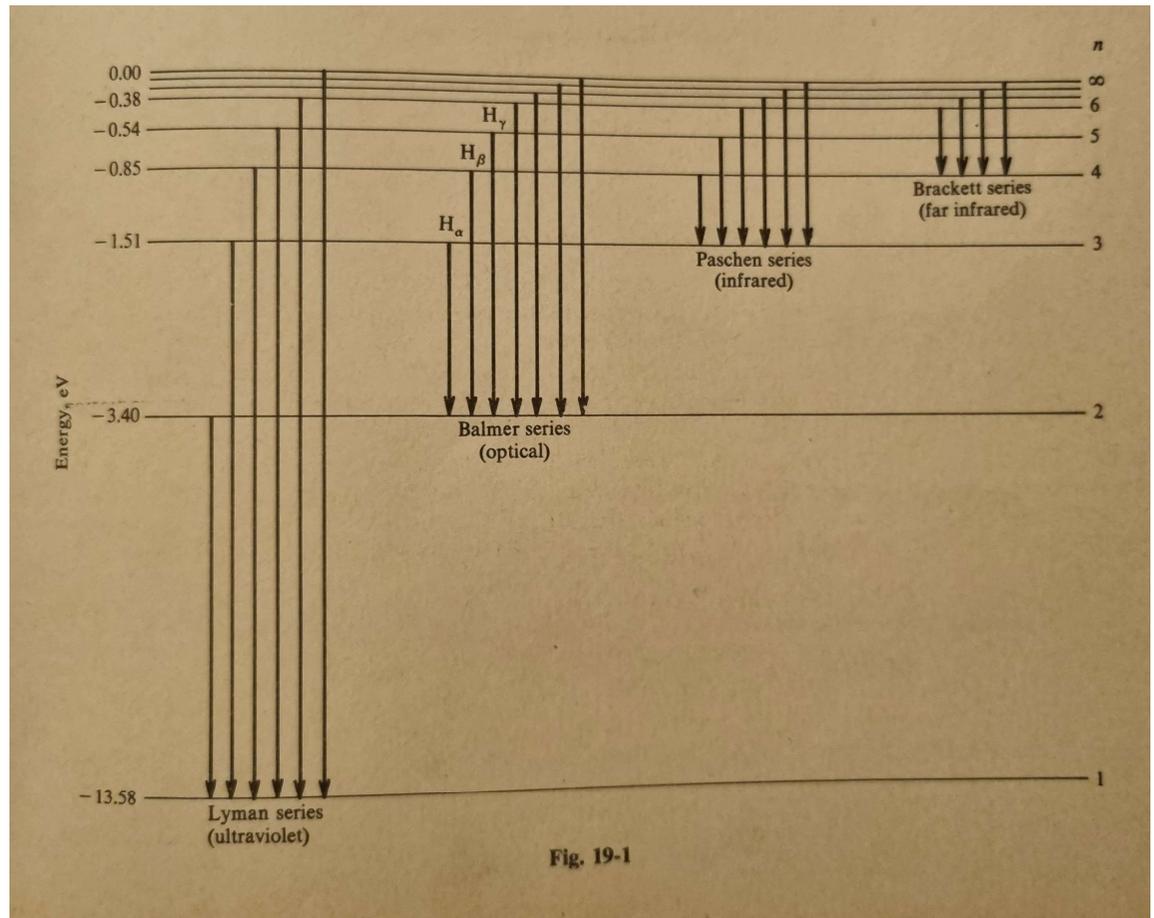
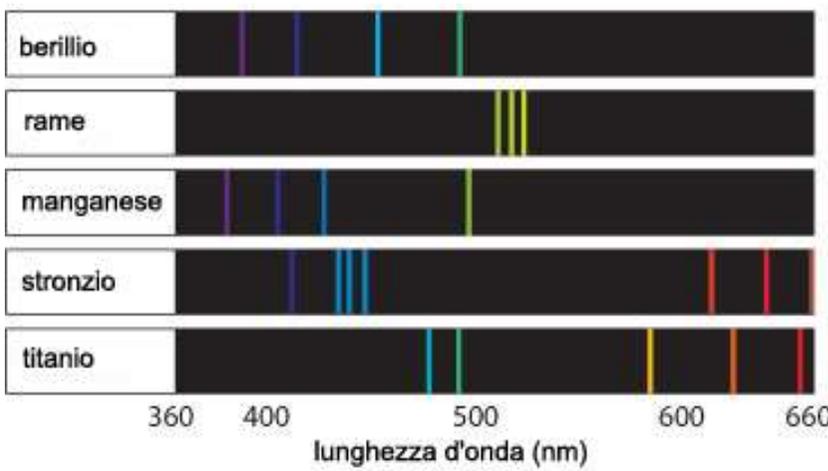
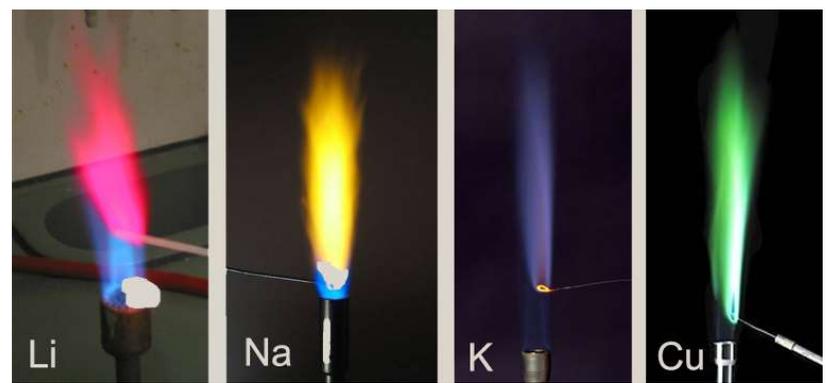
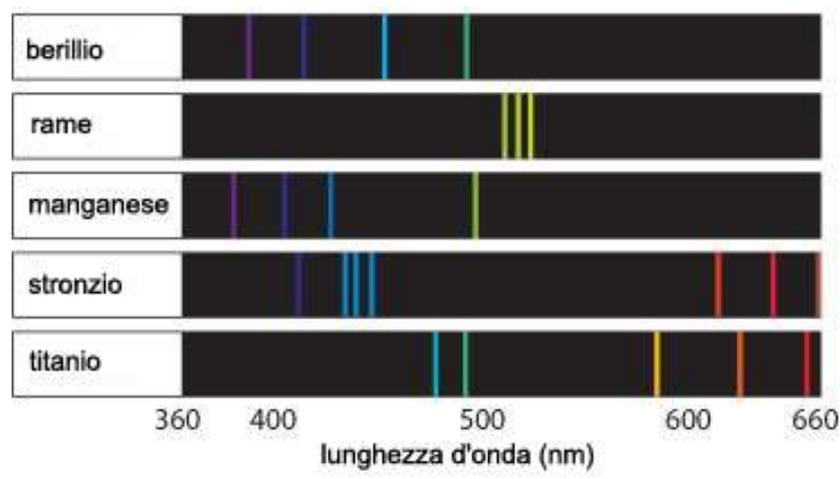
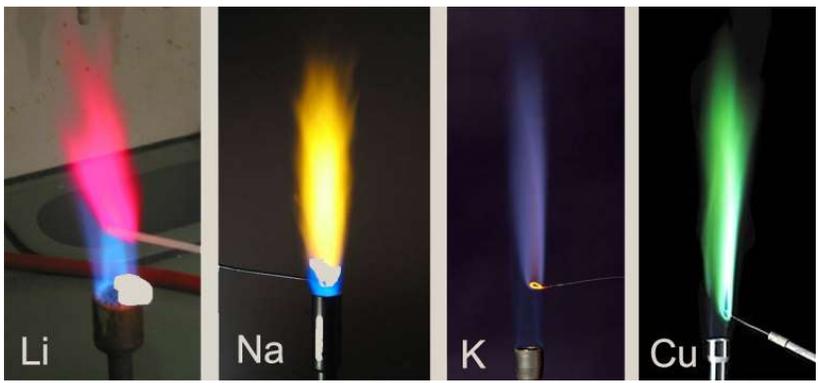


Fig. 19-1



# Gli spettri di emissione/assorbimento



Prendiamo un elemento: le «righe» delle frequenze emesse corrispondono ai possibili salti fra le orbite degli elettroni.

Per ogni riga emessa ho due valori: la frequenza **f** e l'intensità **I**.

Quindi ad ogni riga associo una grandezza **E** con due indici: **f e I**.

$E_{f,I}$  è una matrice.



Il caso del bagnino, la velocità sulla spiaggia è maggiore di quelle nell'acqua

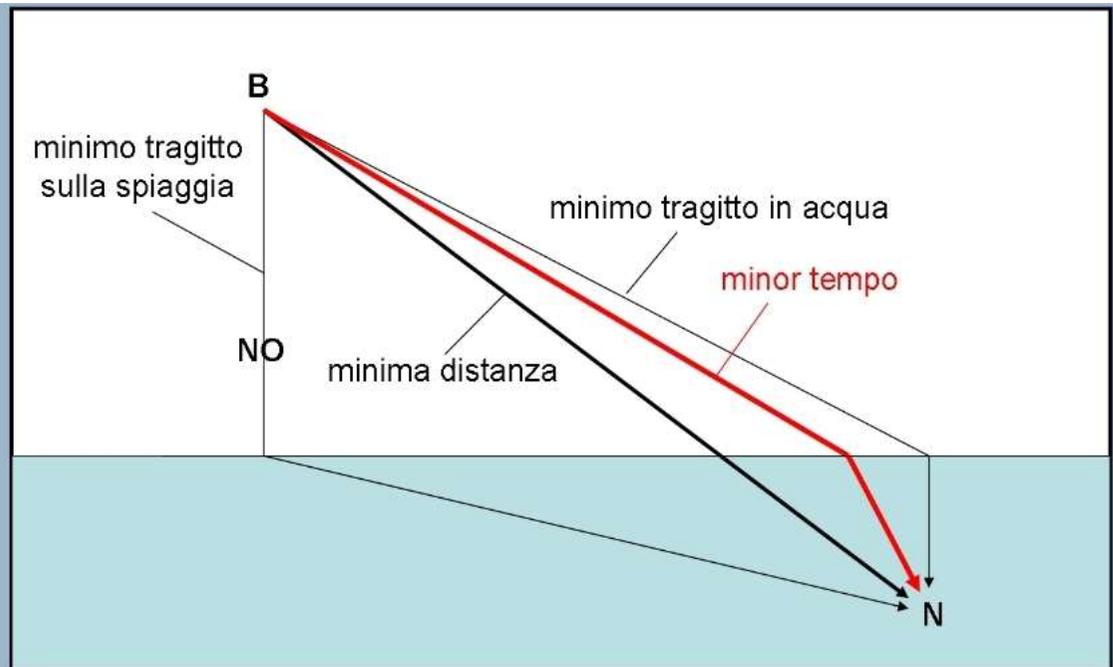


Figura 28

Il percorso più veloce è quello indicato in rosso.

E' lo stesso percorso che farebbe un raggio di luce, o un fotone per andare da B a N.

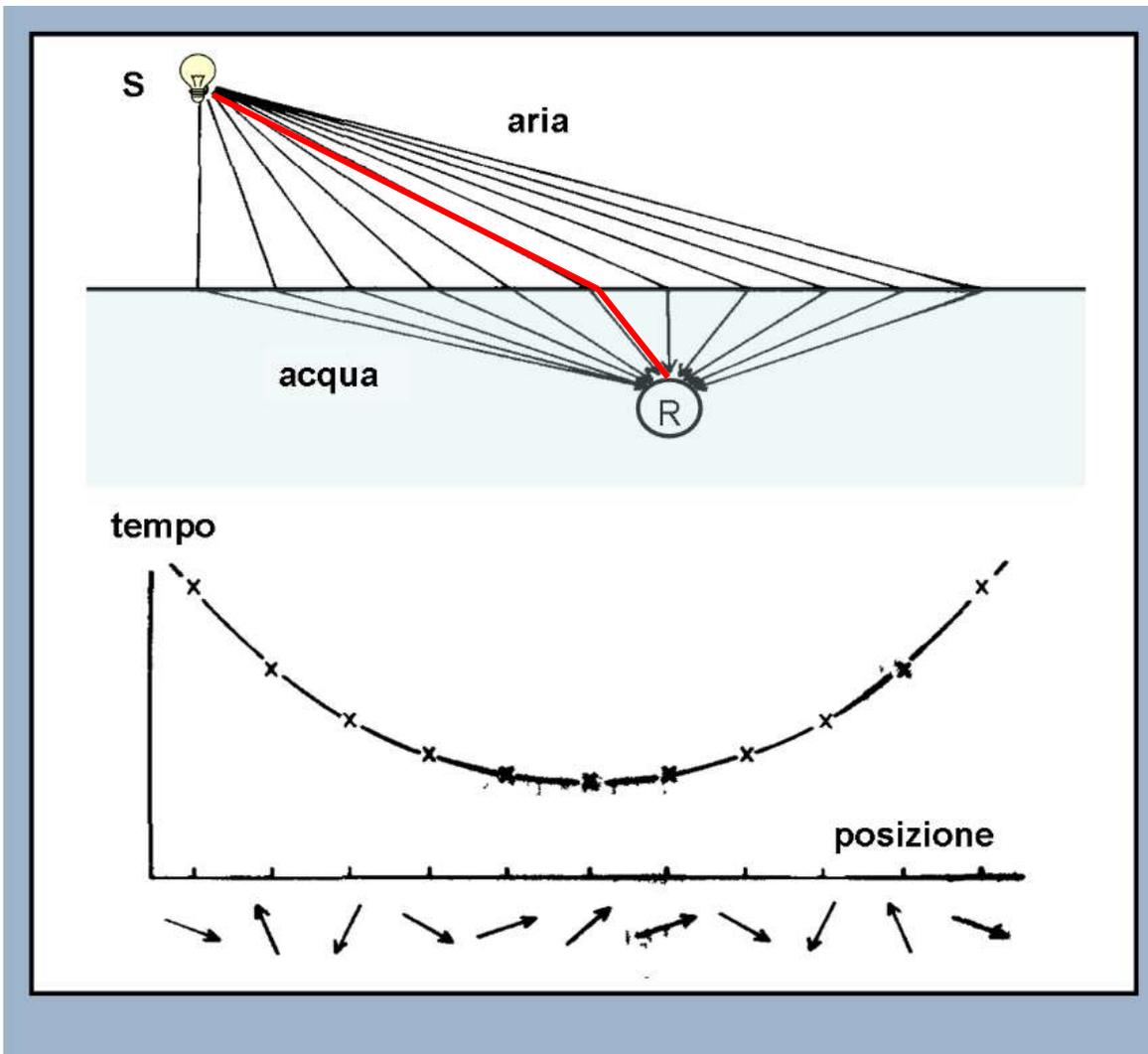
**Perché?**

**La natura "sceglie" il percorso per cui impiega meno tempo o, generalizzando, per cui l'azione S è la minima possibile**

Feynman

<https://www.youtube.com/watch?v=ar5LWwNVztU>

La natura "sceglie" il **percorso** per cui il fotone impiega meno tempo o, generalizzando, per cui l'azione  $S$  è la minima possibile. Ma il fotone come fa a sapere quale sarà il percorso migliore?



E' come se il fotone esplorasse con la sua funzione d'onda tutti i possibili cammini...

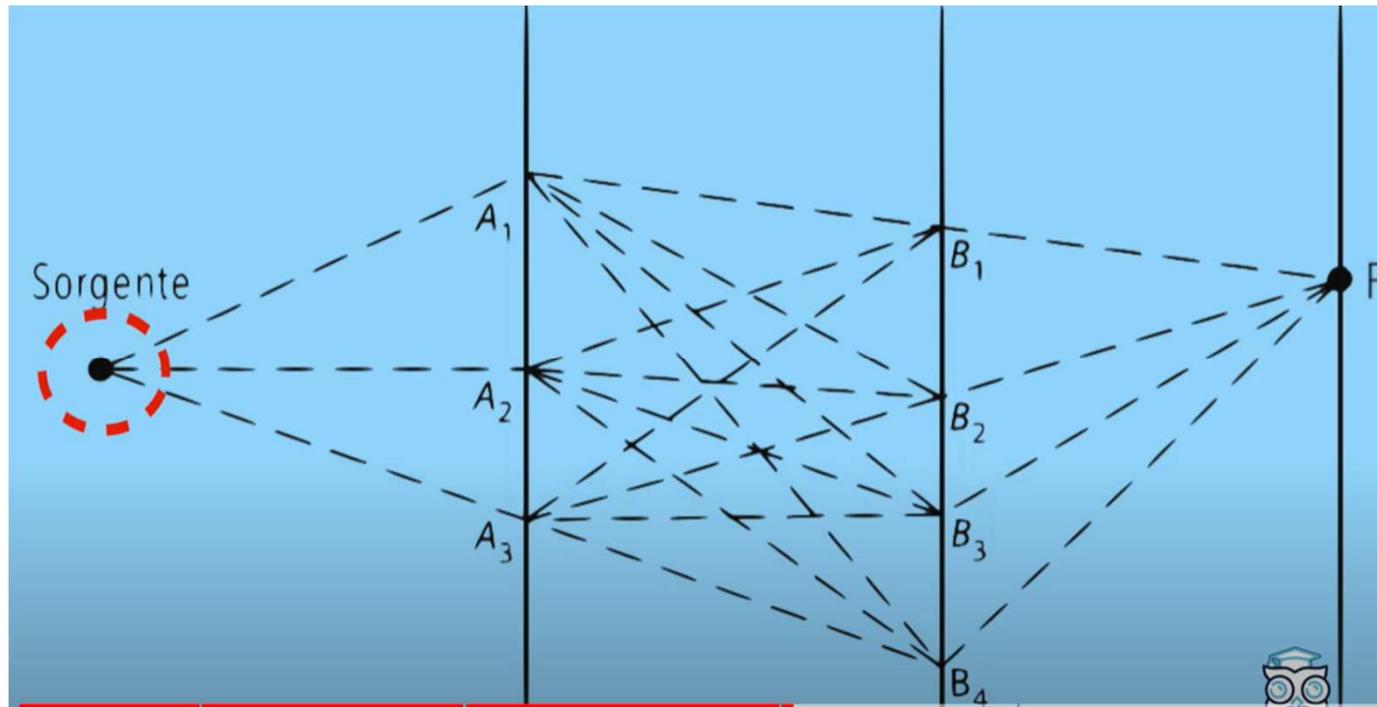
# Feynman

<https://www.youtube.com/watch?v=ar5LWwNVztU>

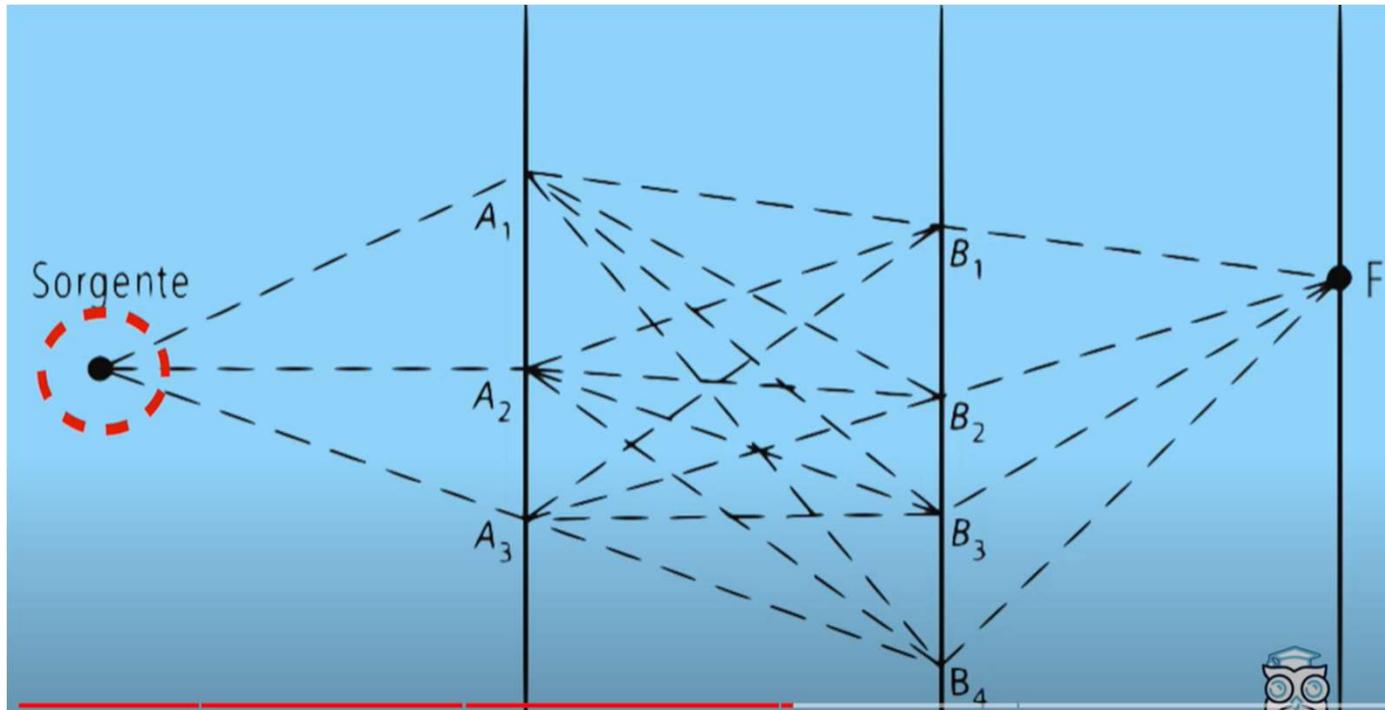
Se ho due fenditure e voglio calcolare quello che succede al di là dello schermo la funzione d'onda risultante sarà la somma delle 2 funzioni d'onda che passano attraverso le due fenditure.

Se ho tre fenditure devo sommare le 3 funzioni d'onda che passano attraverso le due fenditure.

Se metto due schermi, uno con 3 e uno con 4 fenditure, devo sommare tutte le funzioni d'onda che possono fare i vari cammini per arrivare in F.



# Feynman



v=ar5LWwNVztU

Se ho infinite fenditure è come se togliessi gli schermi... E dovrò calcolare tutti gli infiniti cammini possibili che può fare la funzione d'onda per arrivare in F.

Quello che succede è che la maggior parte delle funzioni d'onda avrà un'interferenza distruttiva... Alla fine rimarrà solo quella del cammino reale percorso dall'onda... E il risultato sarà giusto. Quindi in realtà il fotone fa veramente tutti i cammini.

## Feynman – processi più complicati

Se ho un processo (per esempio un elettrone in un campo magnetico) dovrò sommare tutte le probabilità relative a tutte le modalità con cui può avvenire quel processo. In molti casi avrò centinaia di possibilità...

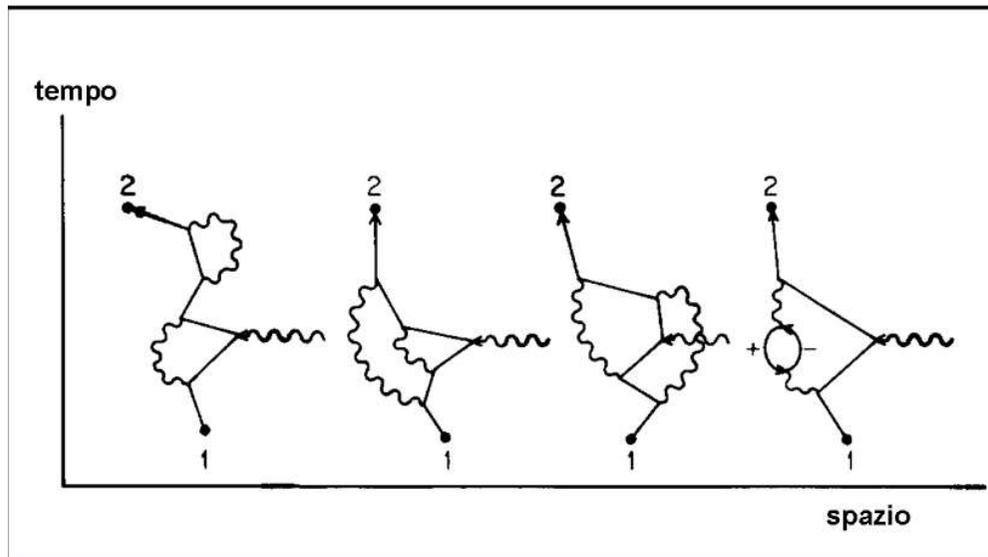


Figura 74

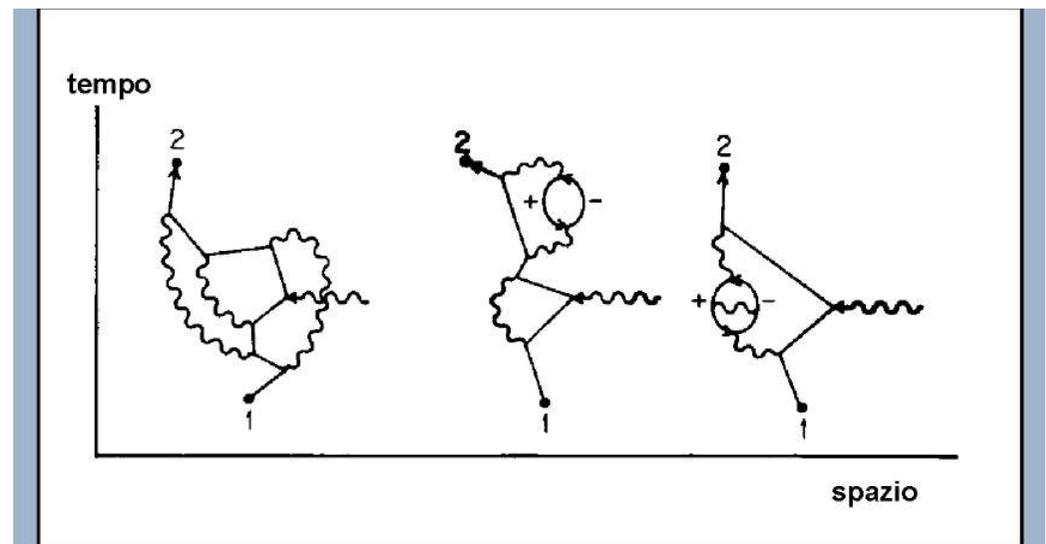


Figura 75