

Interferometro

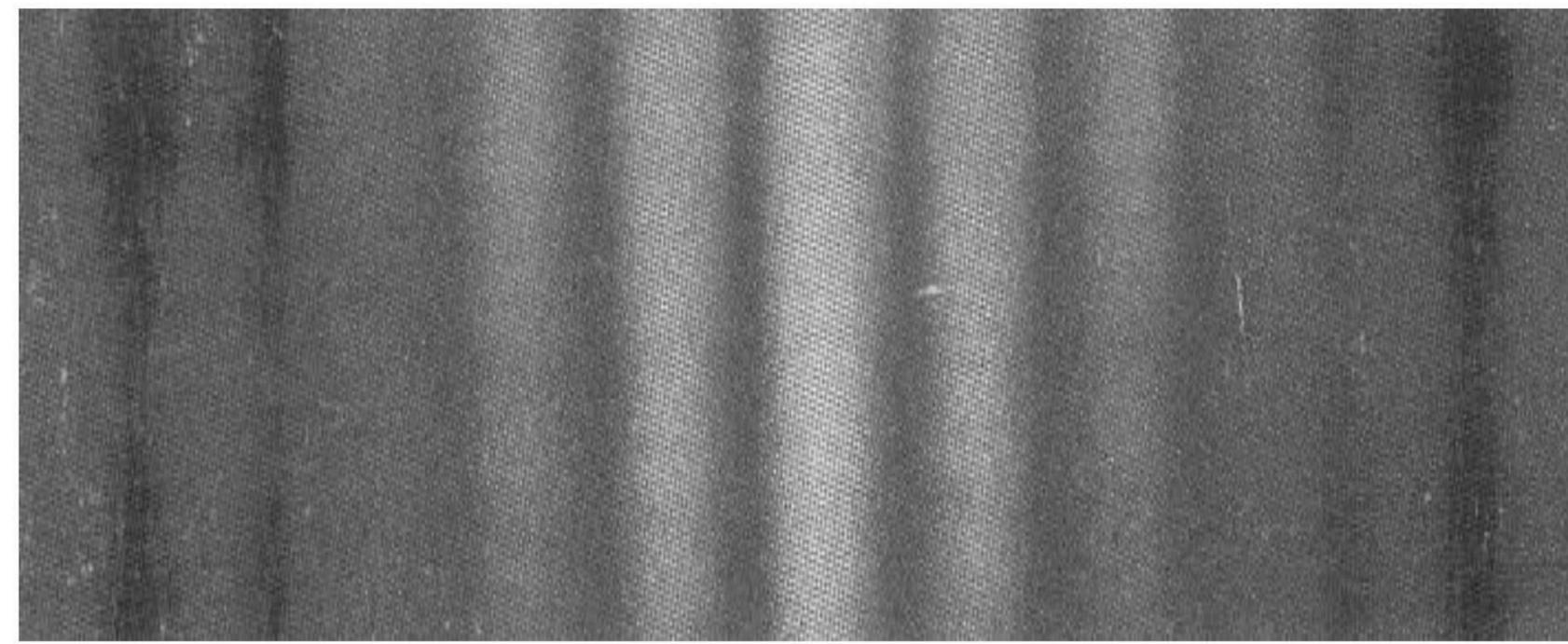
La calcite

La doppia fenditura

Gli esperimenti a **SINGOLO QUANTO**

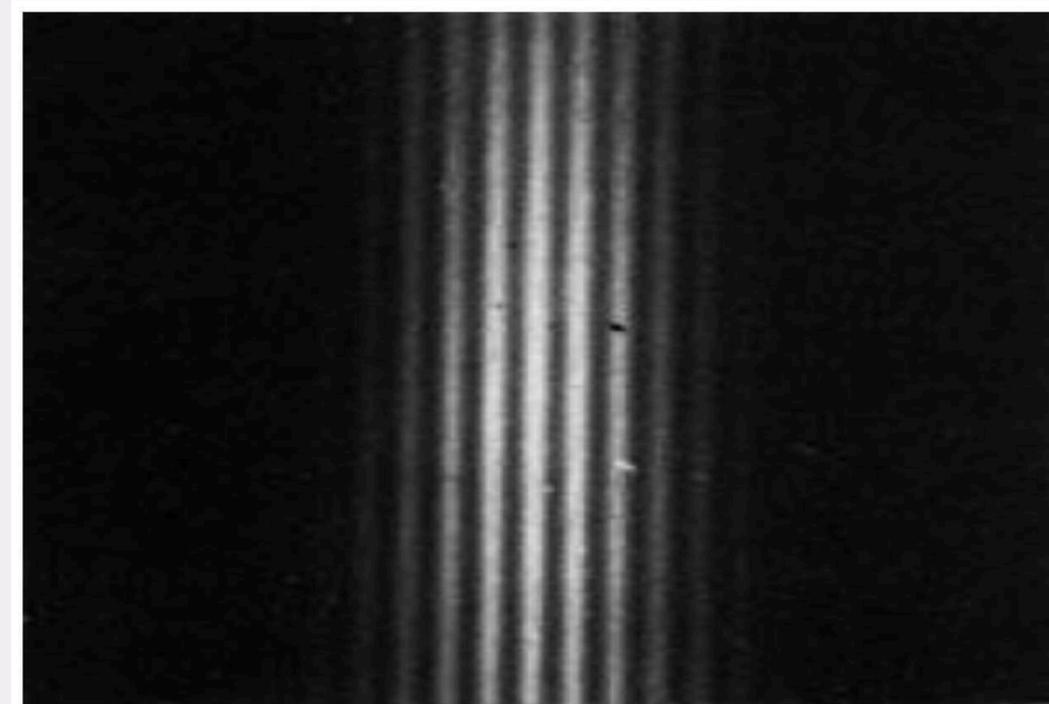


Ad alta intensità



Interferenza luce da doppia fenditura

Interferenza elettronica da doppia fenditura



Domanda:

Se effettuiamo l'esperimento della doppia fenditura **abbassando l'intensità della sorgente** e supponendo che all'interno dell'apparato ci sia **solo un quanto per volta**, che cosa vediamo sul rivelatore?



Domanda:

In che modo **otterremo** la figura di interferenza ad alta intensità?



Tonomura (1989)



La figura di interferenza risulta effettivamente essere il risultato della **somma** di un gran numero di eventi.

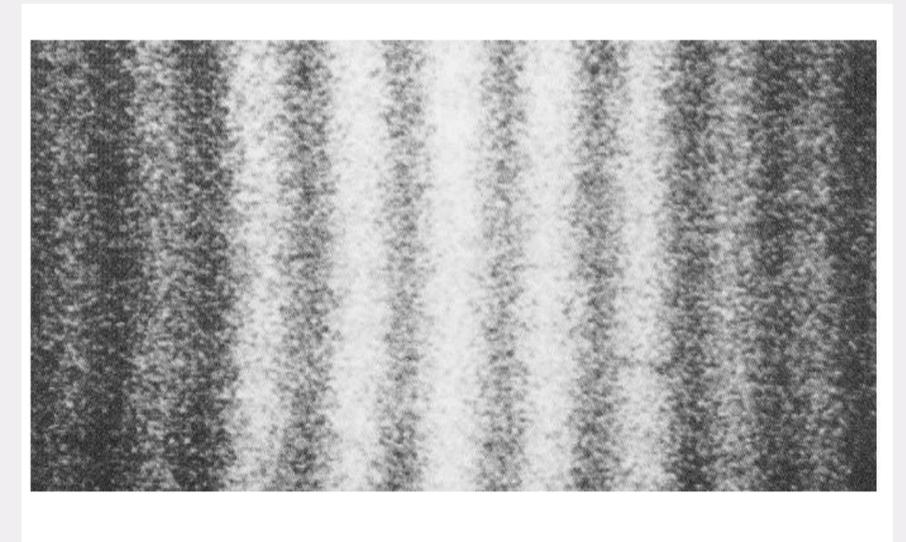
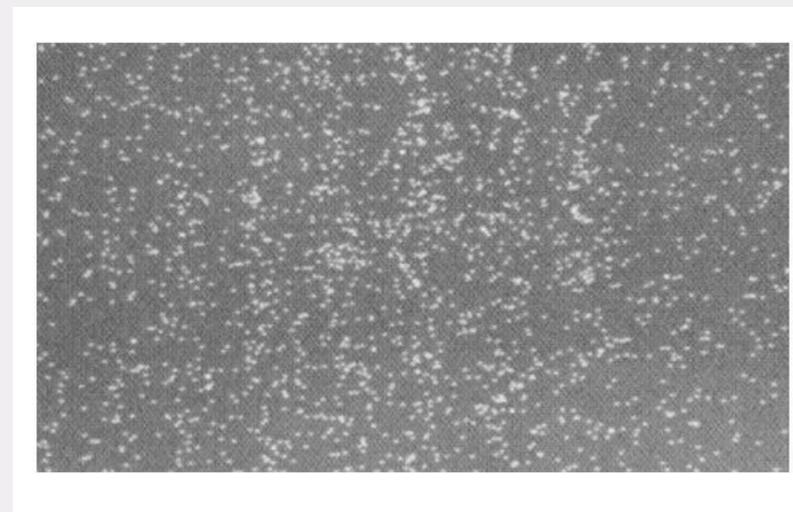
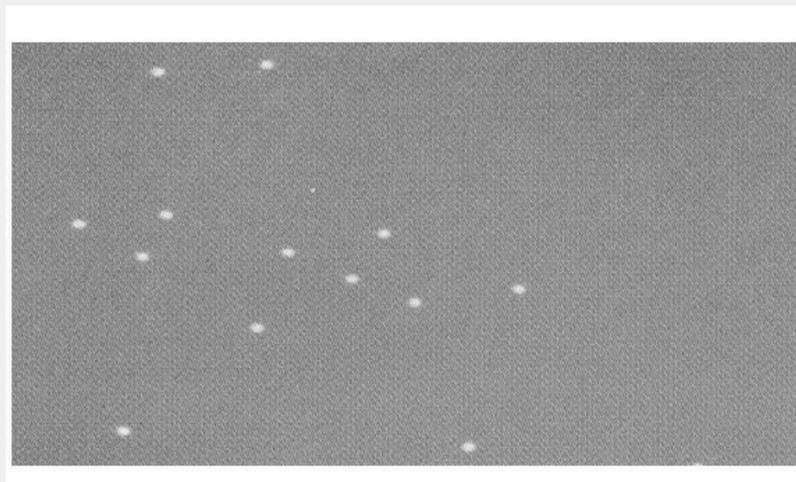
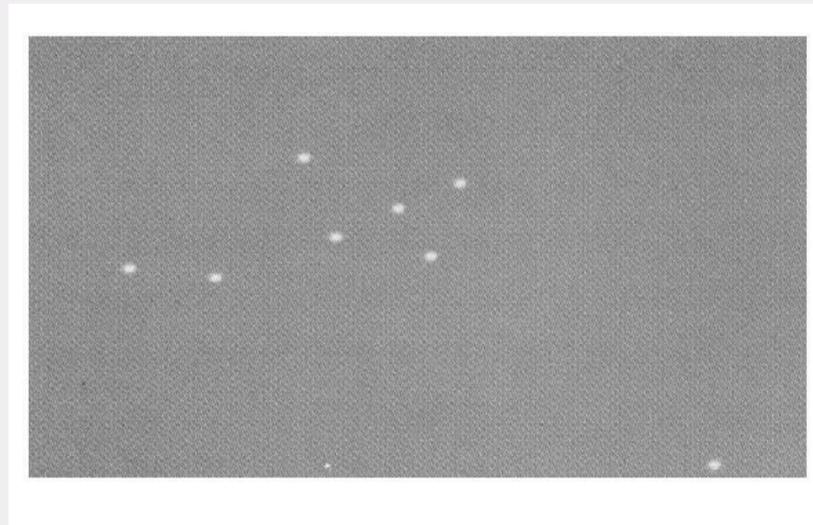
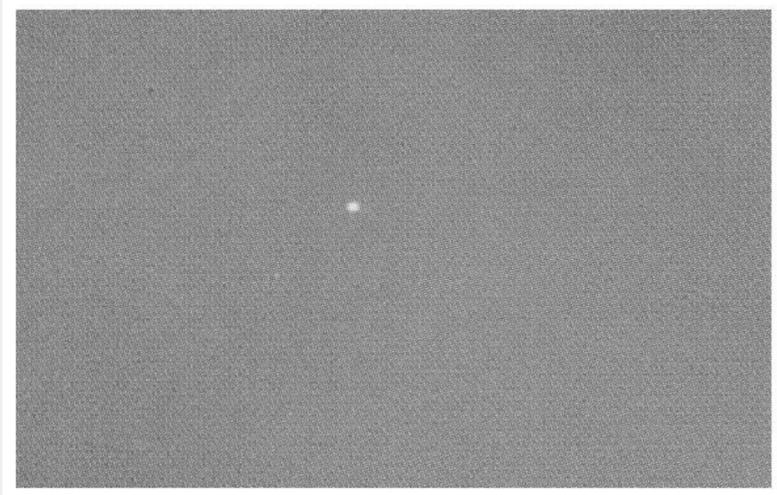
[Link video YouTube](#)

Domanda:

Ripetendo una seconda volta l'esperimento a singolo quanto, i singoli puntini si collocheranno **esattamente nella stessa posizione di prima?**



Tonomura (1989)

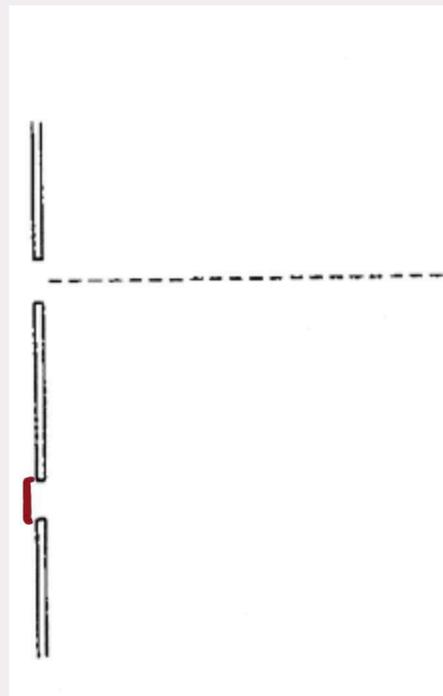


Distribuzione degli arrivi **ripetibile e prevedibile**

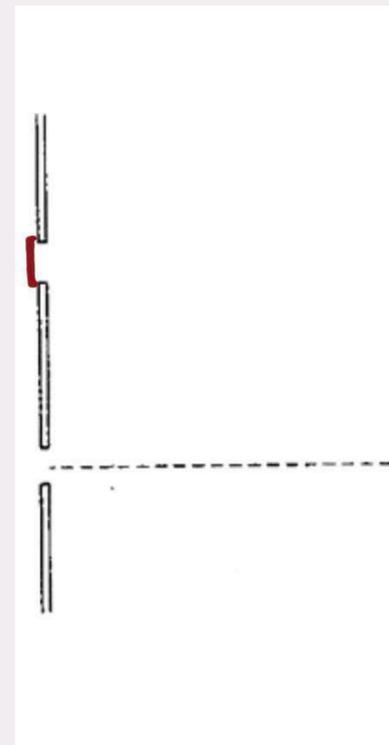
Non posso prevedere con precisione il punto in cui il quanto colpirà lo schermo, ma posso solo saperne la **probabilità**.

Domanda:

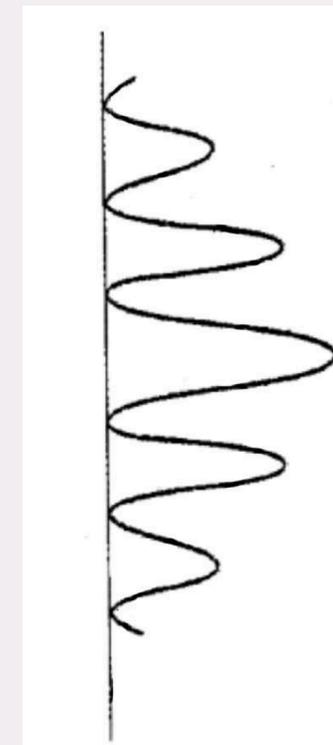
La figura che si crea tenendo aperte insieme le due fenditure è uguale alla **somma** delle figure che si creano se ne tengo aperta prima una e poi l'altra?

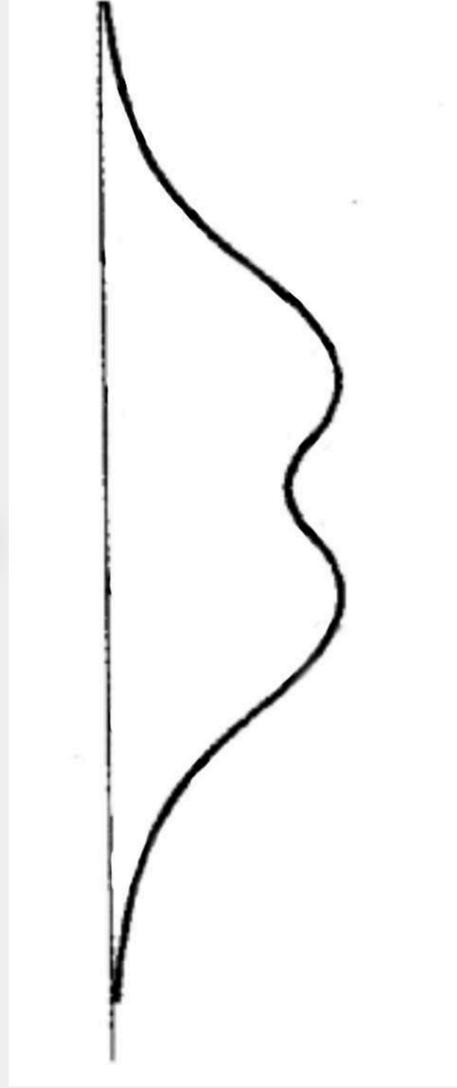
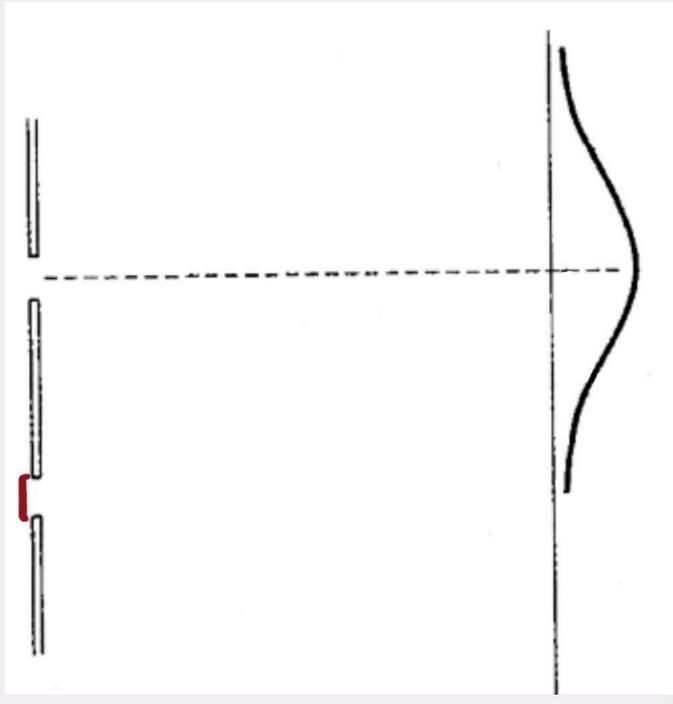
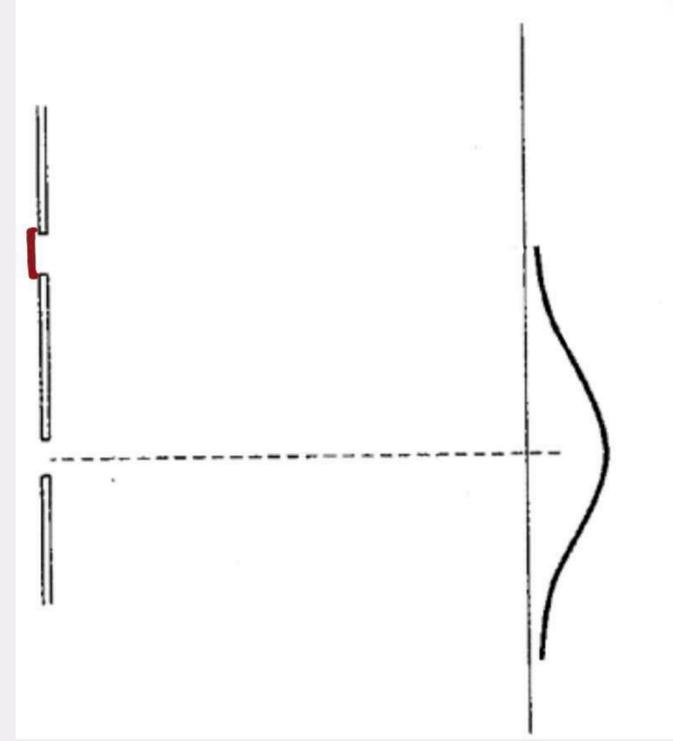


+

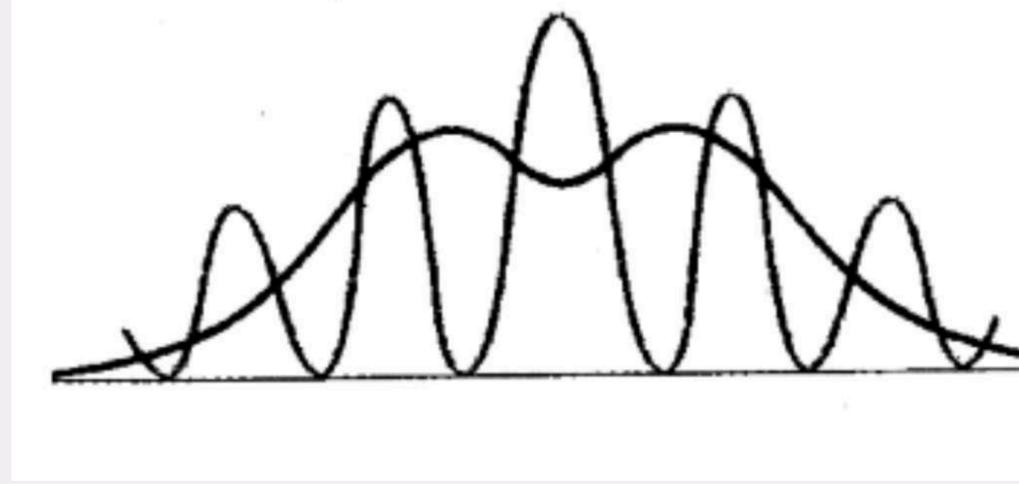


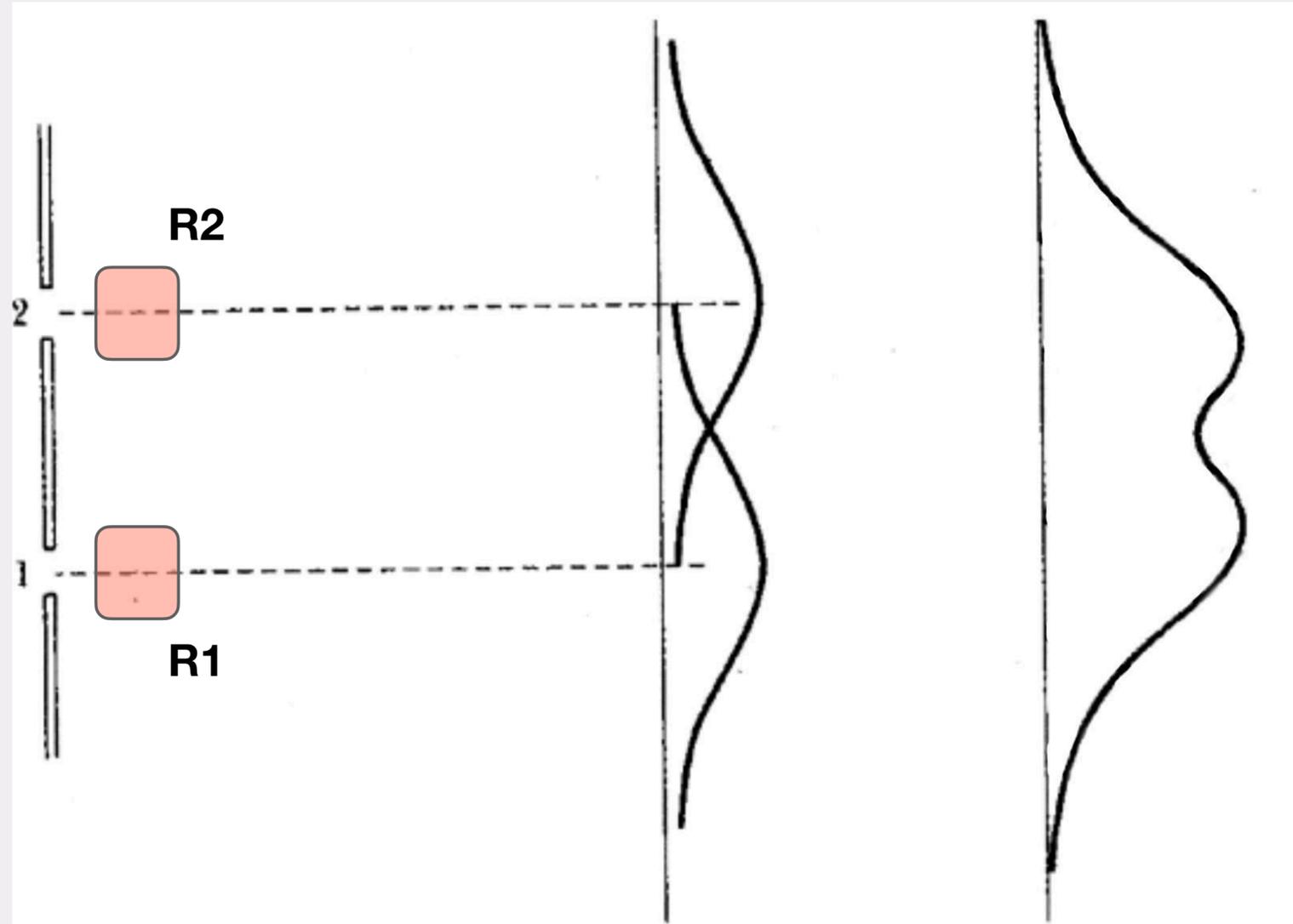
=



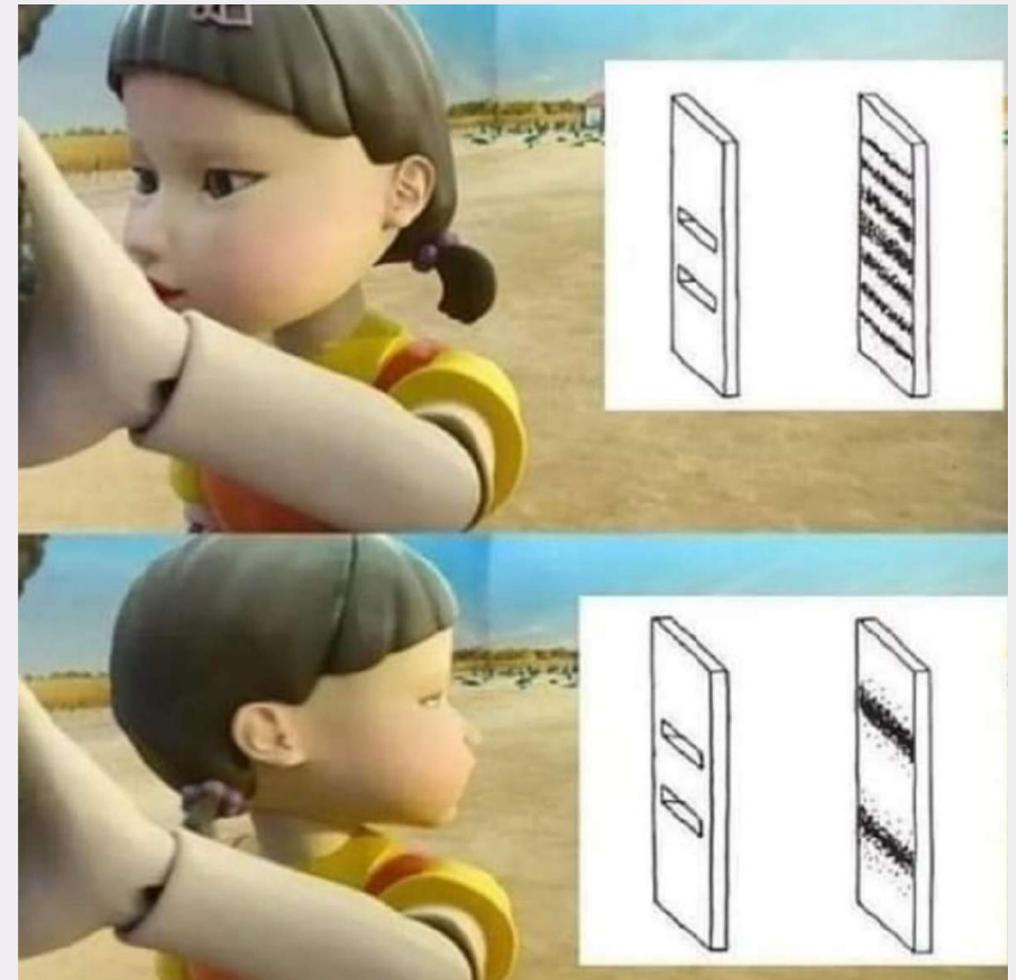


- Carattere **lineare** della teoria
- Perdita di traiettoria





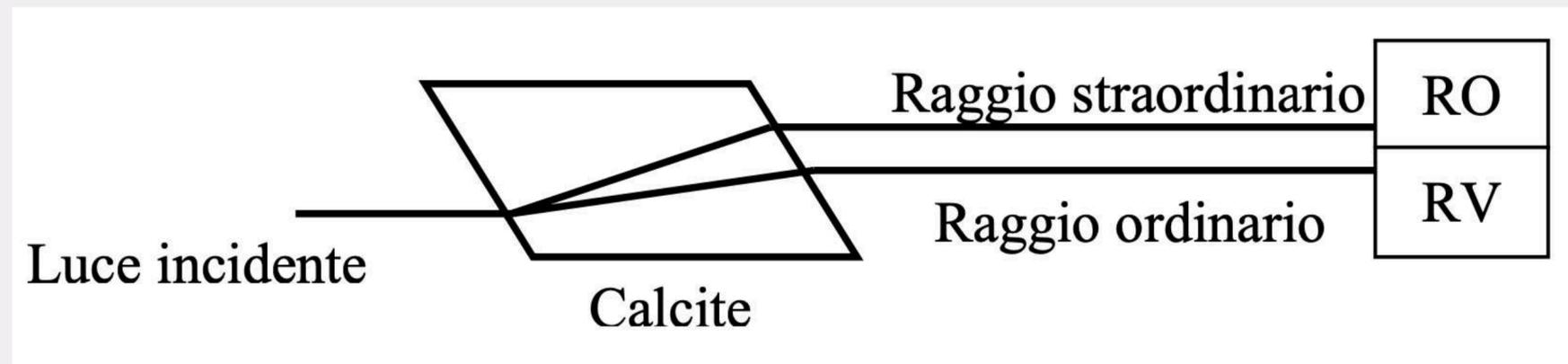
La figura d'interferenza **scompare** quando so con precisione da dove è passato il quanto.



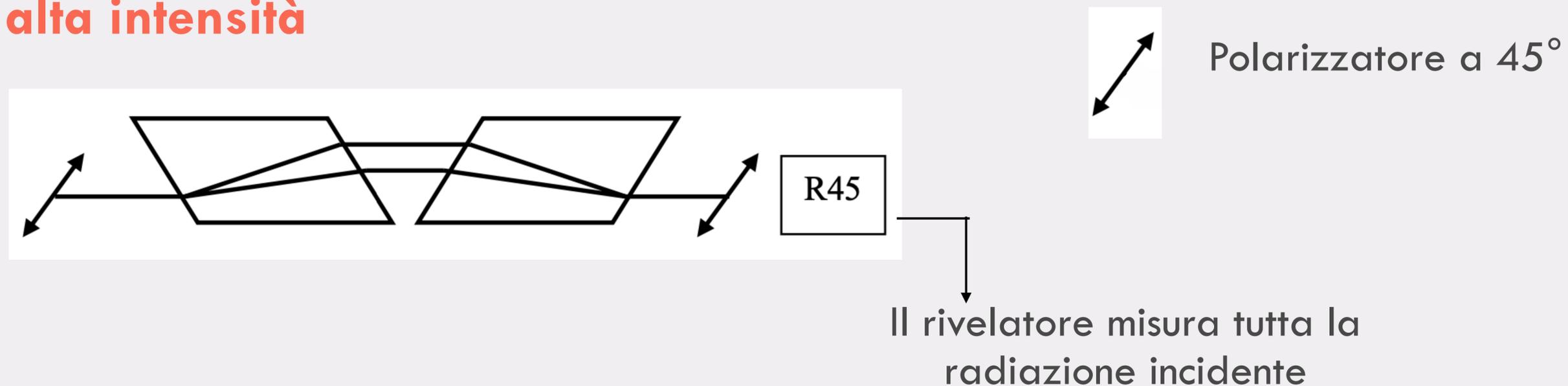


CALCITE

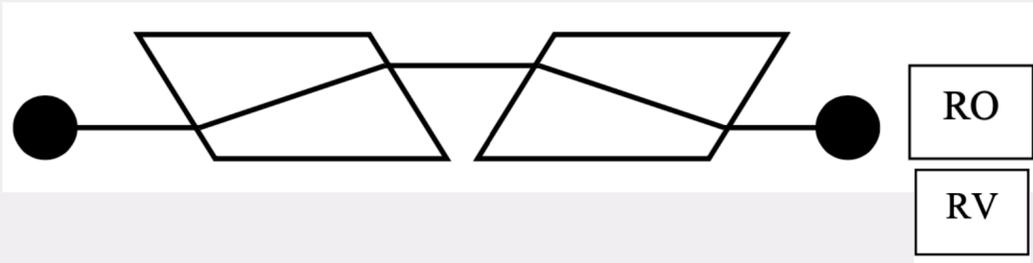
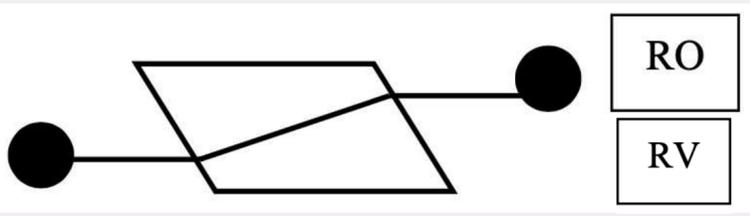
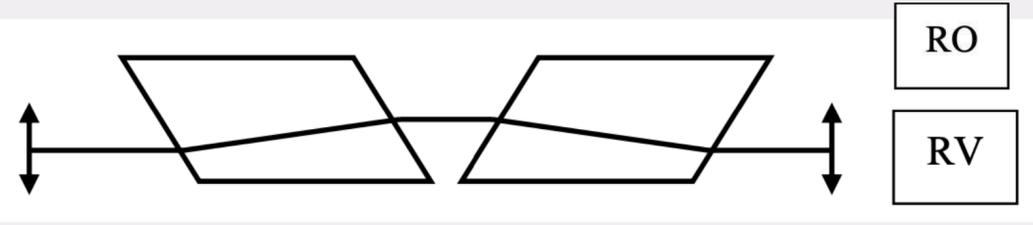
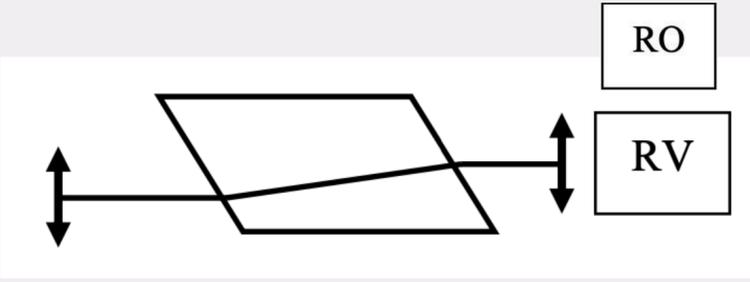
La calcite è un cristallo **birifrangente**, ossia in grado di scomposizione di un raggio di luce in due raggi.



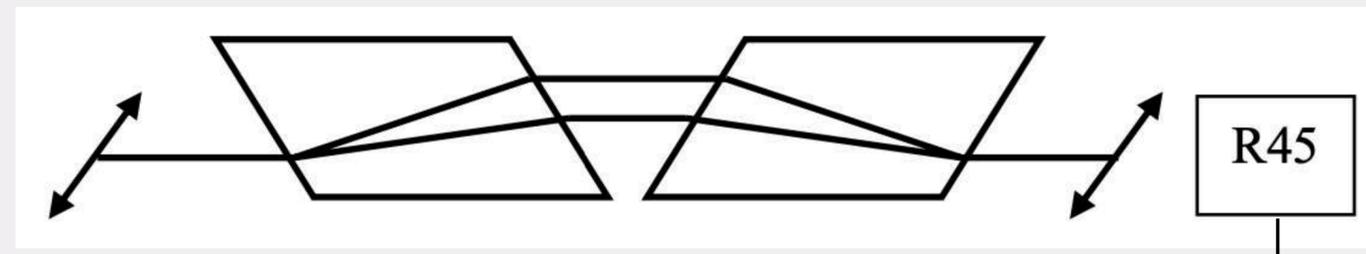
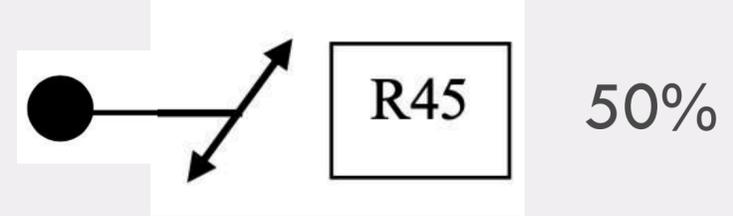
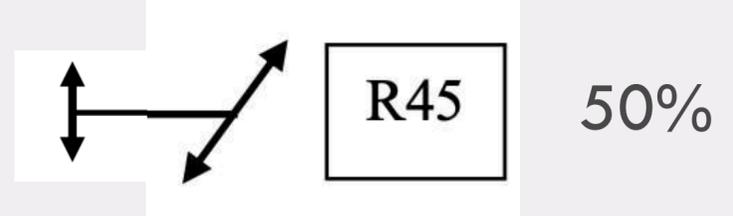
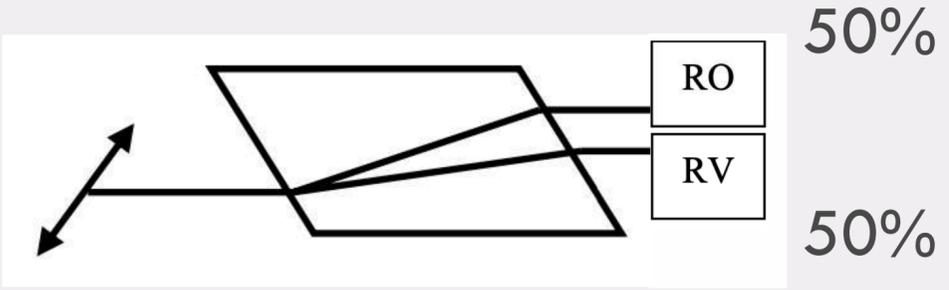
Ad alta intensità



A bassa intensità



Viene proprio voglia di pensare che i fotoni seguano un cammino: di sopra o di sotto.

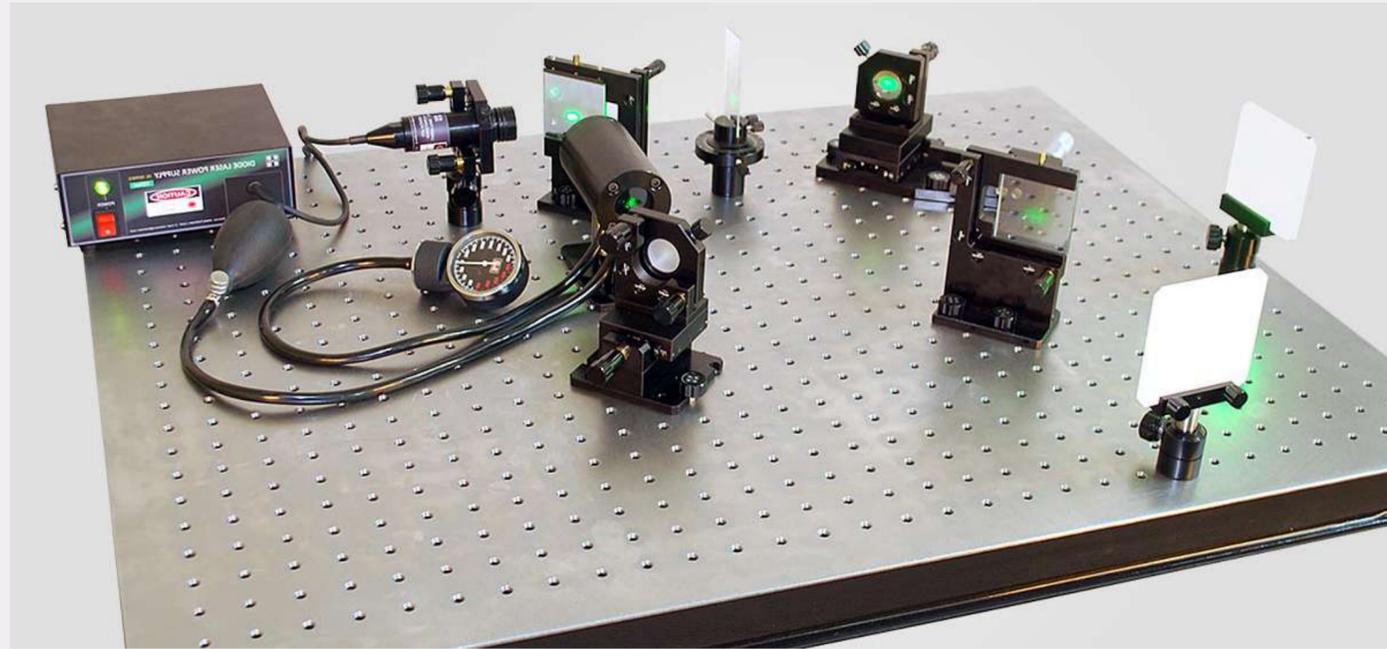


Il rivelatore **DOVREBBE** misurare metà dei fotoni incidenti

Come nel caso ad alta intensità, il rivelatore misura **tutti** i fotoni.

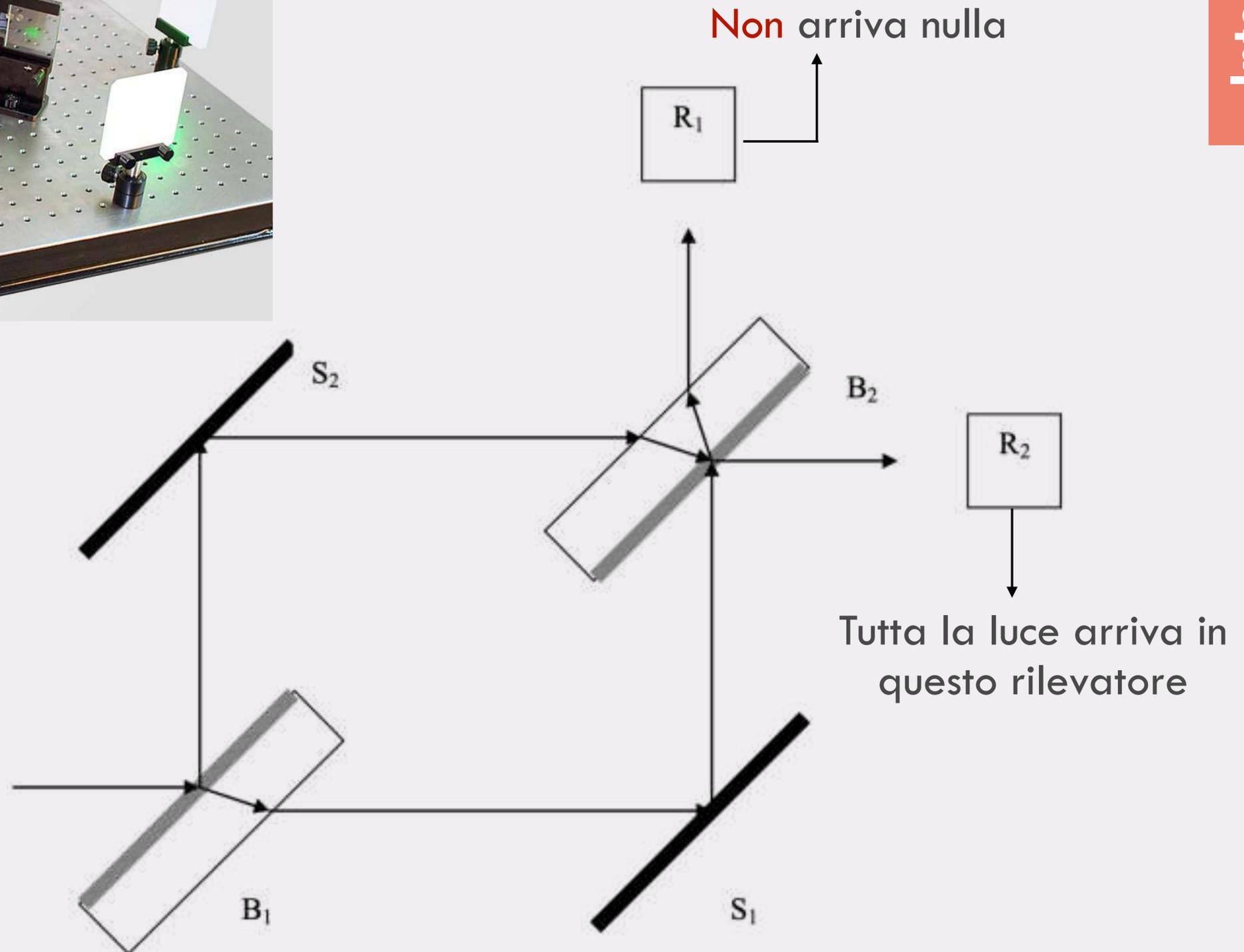
Il fotone sembra **NON** seguire una traiettoria definita

INTERFEROMETRO DI MACH ZENDER



- Due specchi
- Due BEAM SPLITTER

Ad alta intensità

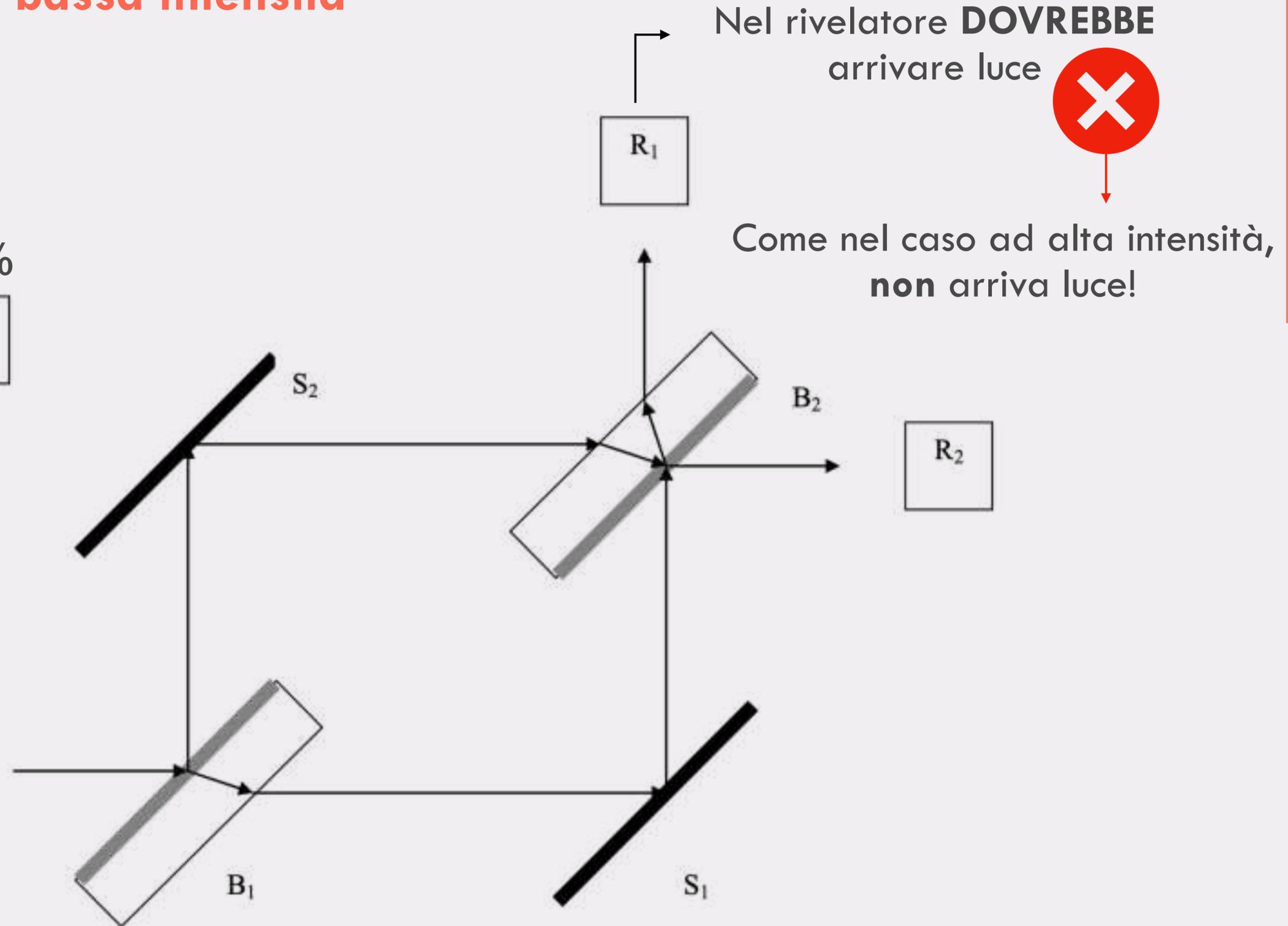
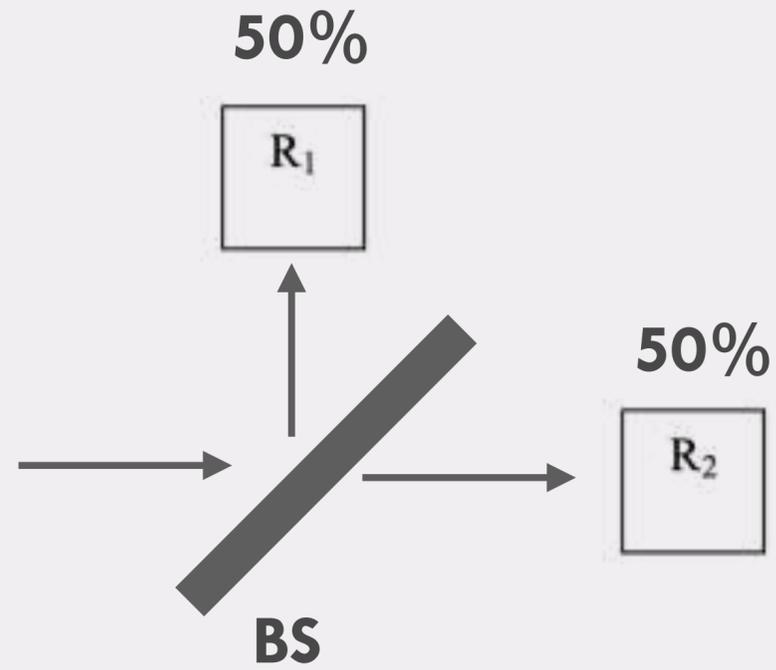


Interferometro

La calcite

La doppia fenditura

A bassa intensità

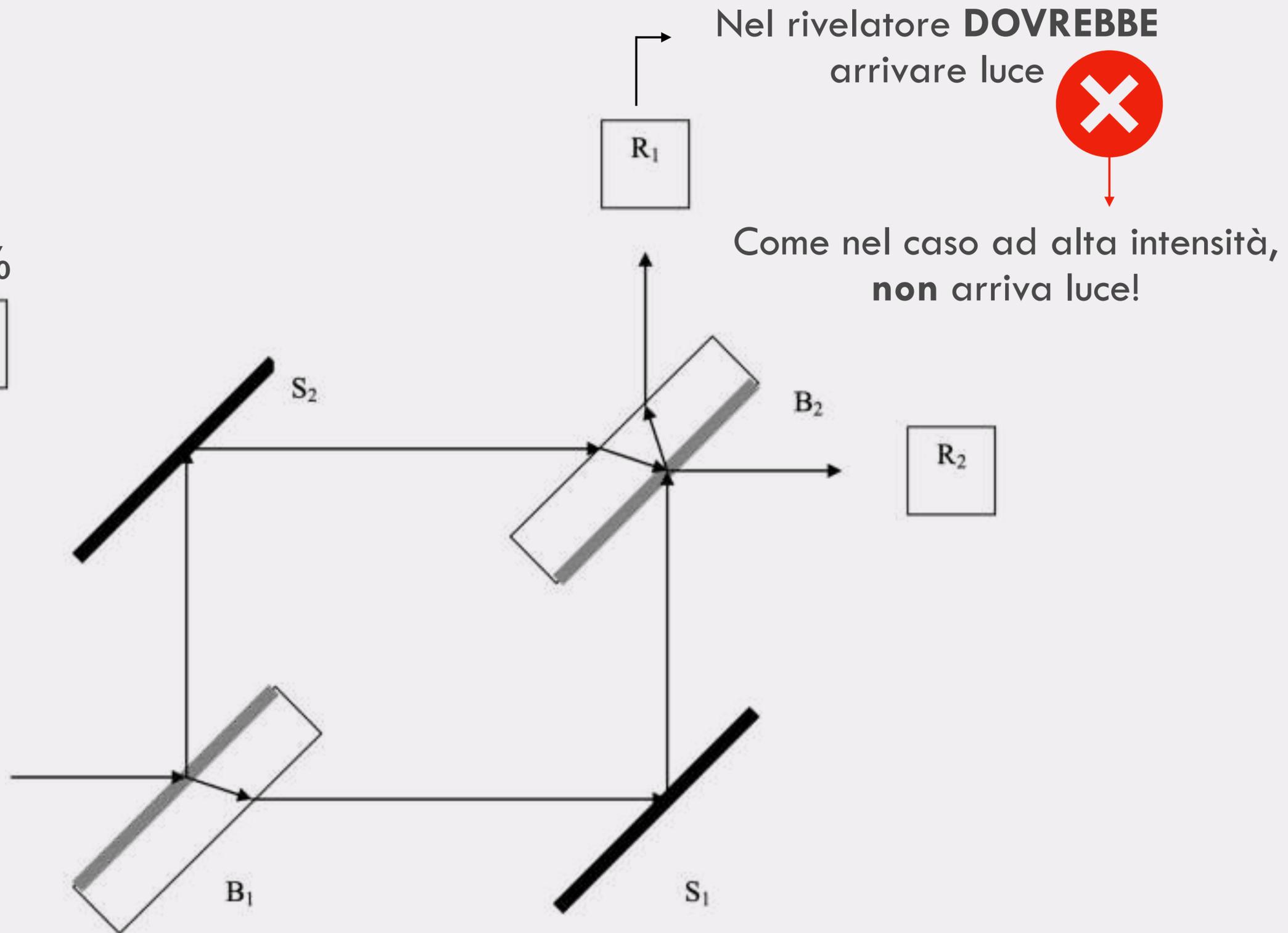
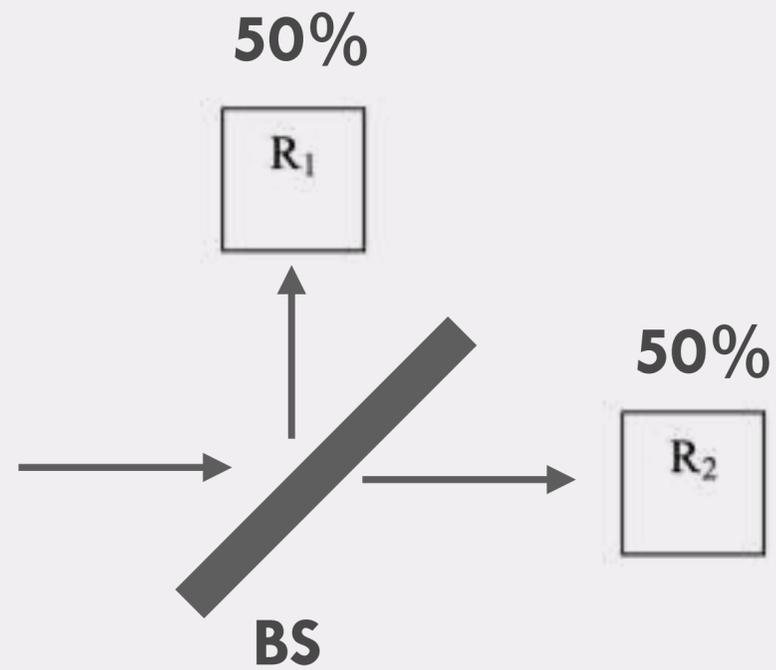


Il fotone **sembra** **NON** seguire una traiettoria definita

Interferometro

La calcite

La doppia fenditura

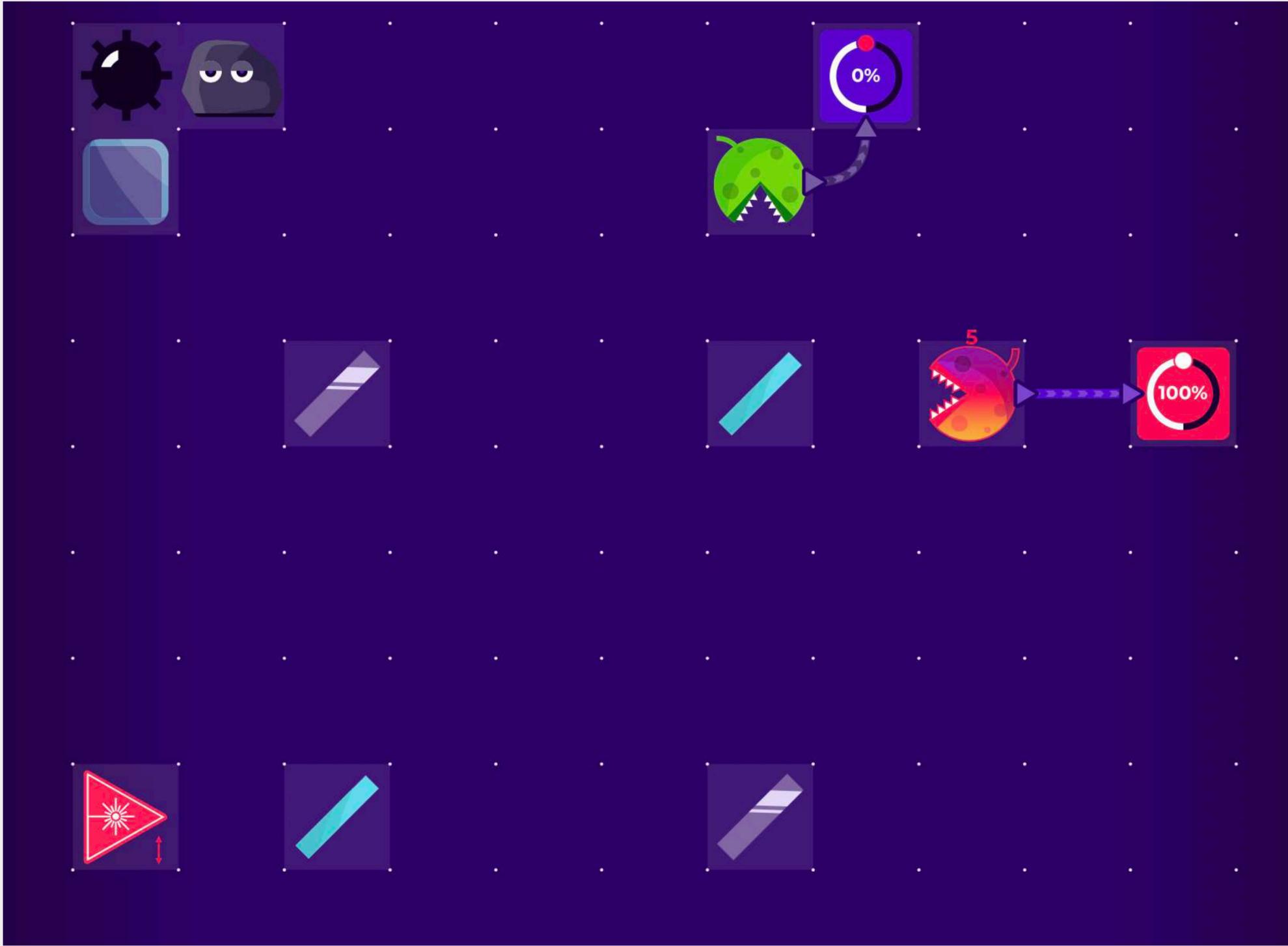


Interferometro

La calcite

La doppia fenditura

Il fotone **sembra NON** seguire una traiettoria definita



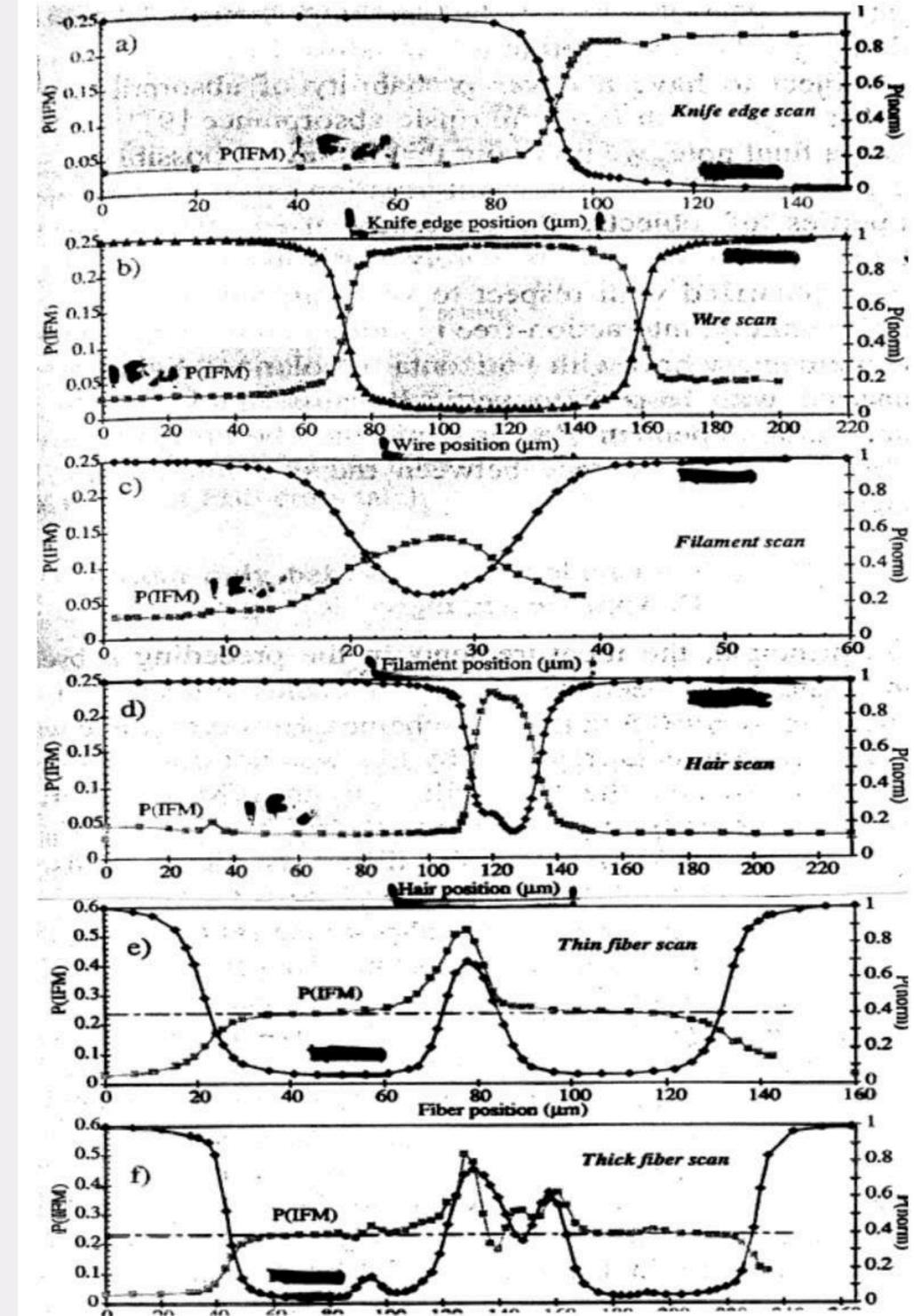
[Link della simulazione](#)

Interferometro

La calcite

La doppia fenditura

Misure senza interazione

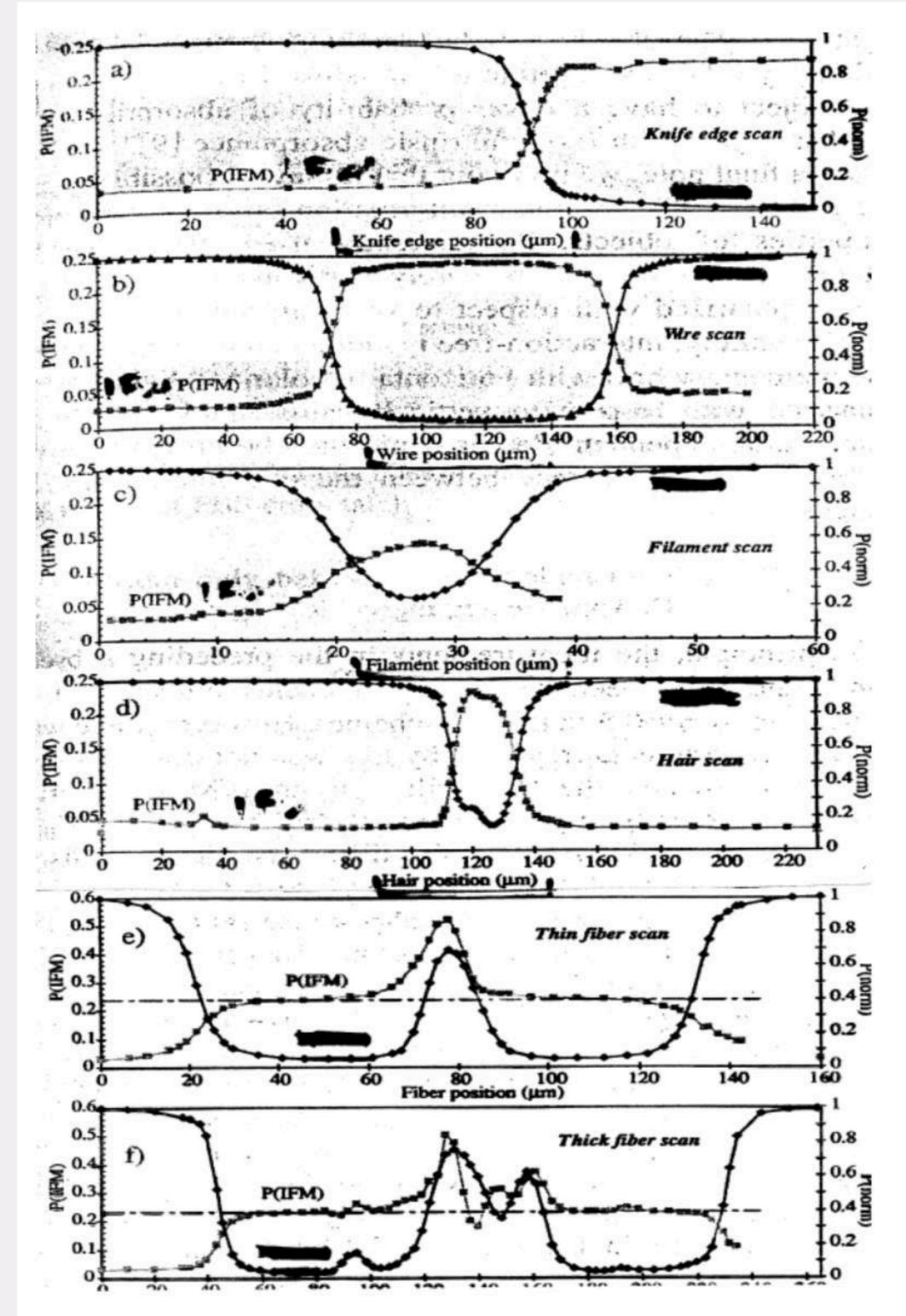


Interferometro

La calcite

La doppia fenditura

Misure senza interazione



Interferometro

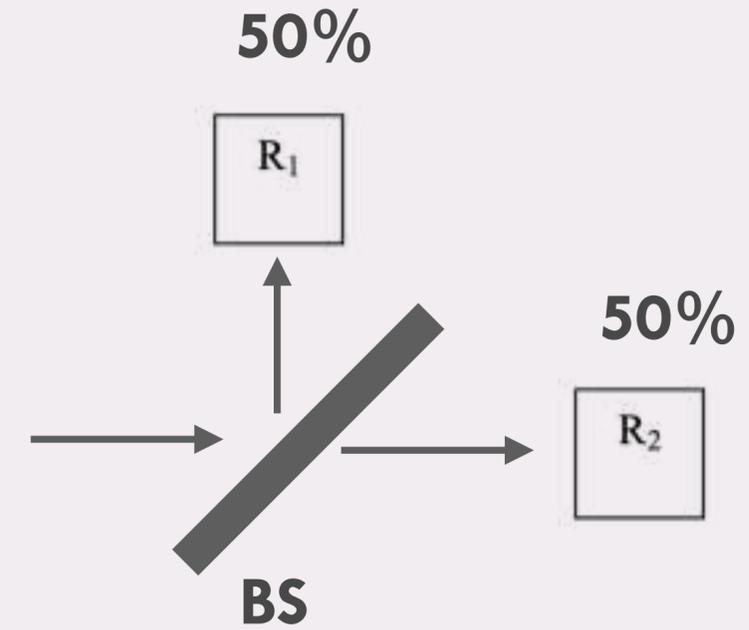
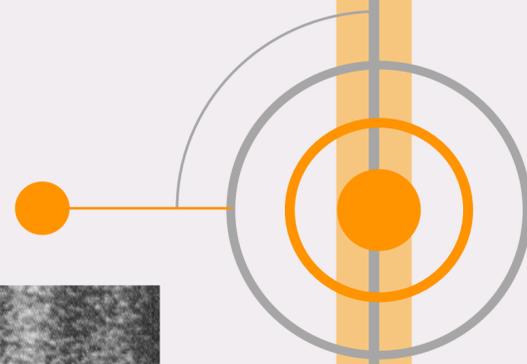
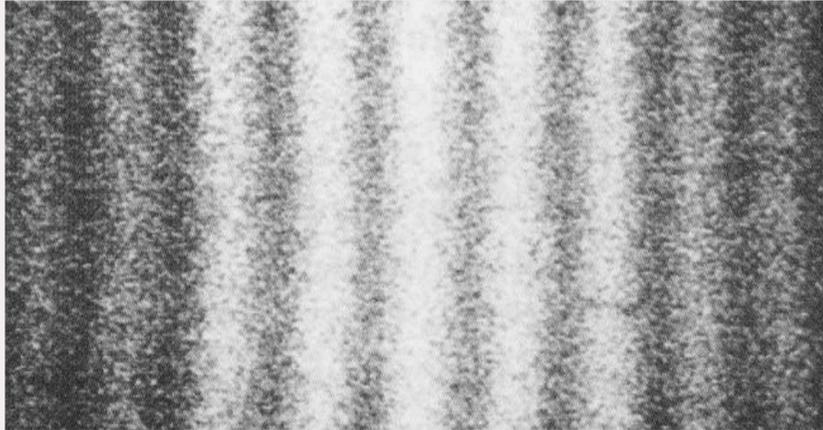
La calcite

La doppia fenditura

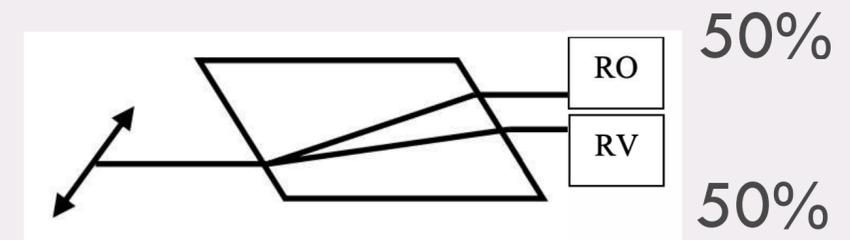
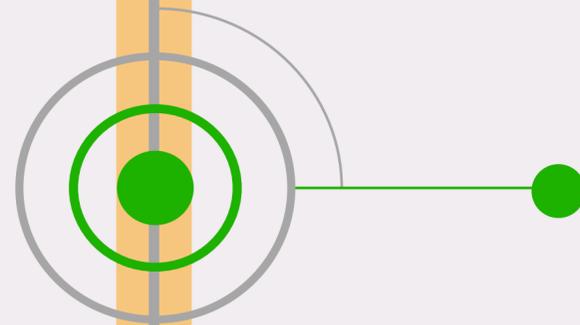
**Le CARATTERISTICHE della
NUOVA TEORIA**



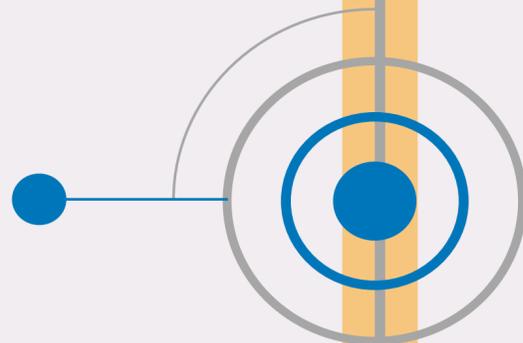
Lineare



Probabilistica



??????????



Le onde di materia

La onde EM

Le onde meccaniche

ONDE di MATERIA



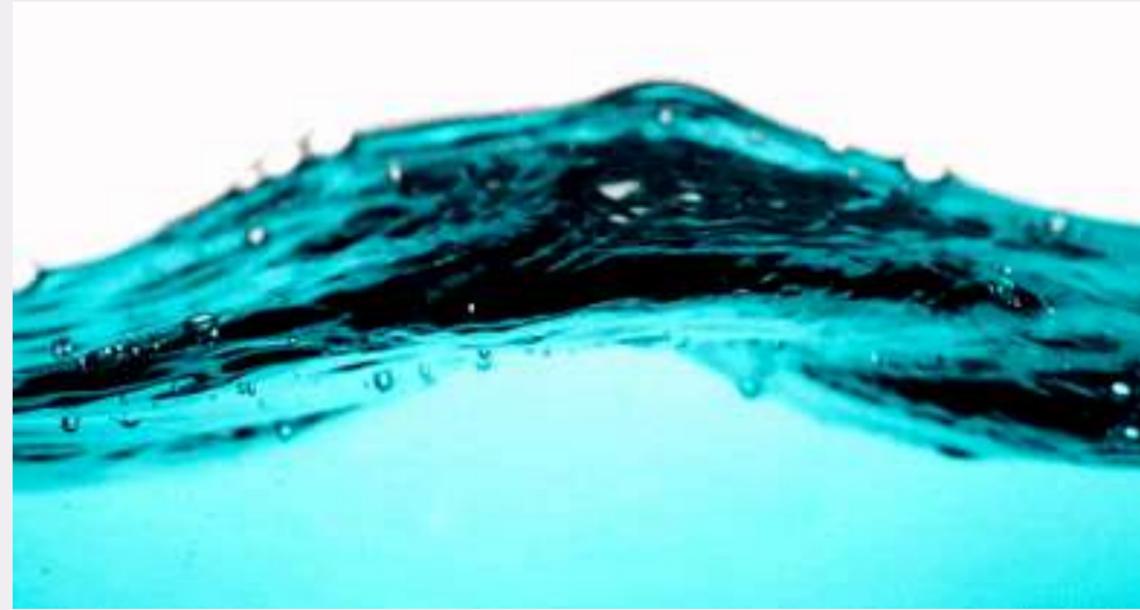
Cosa oscilla nelle onde meccaniche??



Onde in una corda

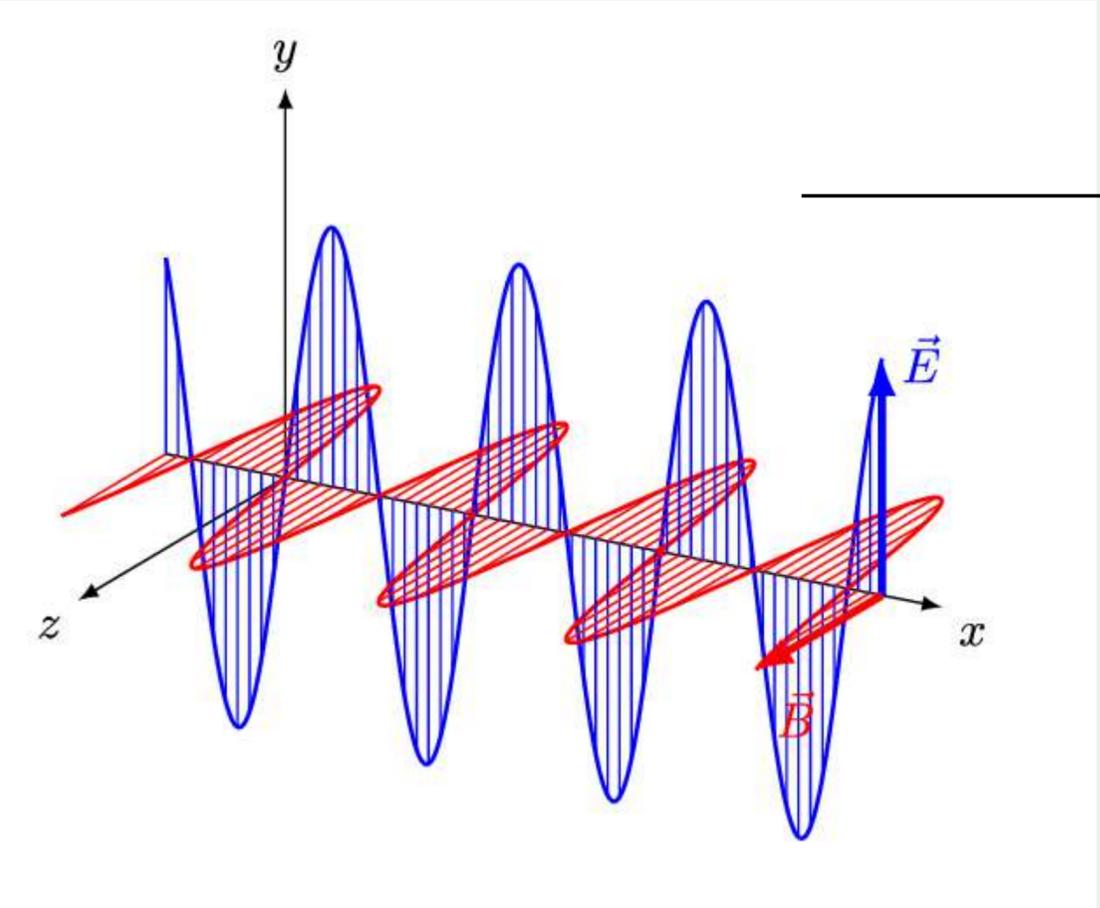


Suono



Onde nell'acqua

Cosa oscilla nelle onde elettromagnetiche??



Oscillazione del **campo elettrico** e del **campo magnetico**

ANTENNA



Il campo elettrico oscillante genera corrente

$E = E_0 \cos(\omega t)$

La densità di energia

$u \propto E^2$

└───┬───> L' intensità

$I \propto u \propto E^2$

Cosa oscilla nelle onde di materia??

La densità di carica?
La densità di materia? **NO**

Mi serve una teoria simile a quella delle onde, perché vediamo gli aspetti ondulatori, ma dove nulla sembra oscillare!

Teoria complessa

$$f(x, t) = Ae^{i(kx - \omega t)}$$

Onda complessa!

- Rappresentano qualcosa che **oscilla**
- Il modulo quadro è **costante**

Onda complessa! $f(x, t) = Ae^{i(kx - \omega t)}$

- Rappresentano qualcosa che **oscilla**

$e^{i\theta} = \cos(\theta) + i \sin(\theta)$ **FORMULA DI EULERO**

$\rightarrow f(x, t) = Ae^{i(kx - \omega t)} = A \left[\cos(kx - \omega t) + i \sin(kx - \omega t) \right]$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \omega = \frac{2\pi}{T}$$

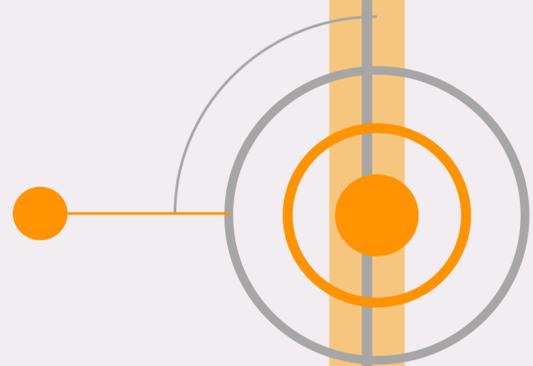
- Il modulo quadro è **costante**

$$|z|^2 = z \cdot z^* \longrightarrow |f(x, t)|^2 = |Ae^{i(kx - \omega t)}|^2 = A^2$$

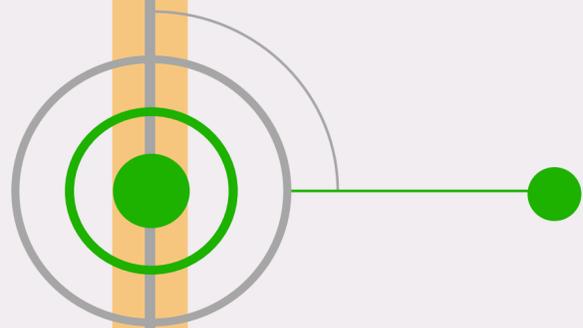
**Le CARATTERISTICHE della
NUOVA TEORIA**



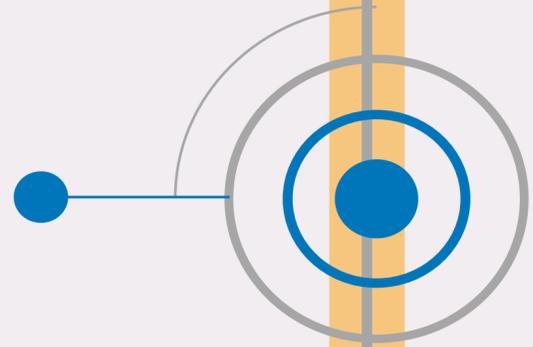
Lineare



Probabilistica



Complessa



Che cosa vuol dire **creare** una teoria?

Formulare in modo **coerente** un insieme di principi e leggi che servono a

- descrivere
 - spiegare
 - **interpretare**
 - fare delle previsioni
-
- fenomeni già noti
 - fenomeni nuovi

Che teoria **voglio** creare?

Teoria meccanica del quanto

- descrivere il moto

Meccanica quantistica

La meccanica
CLASSICA

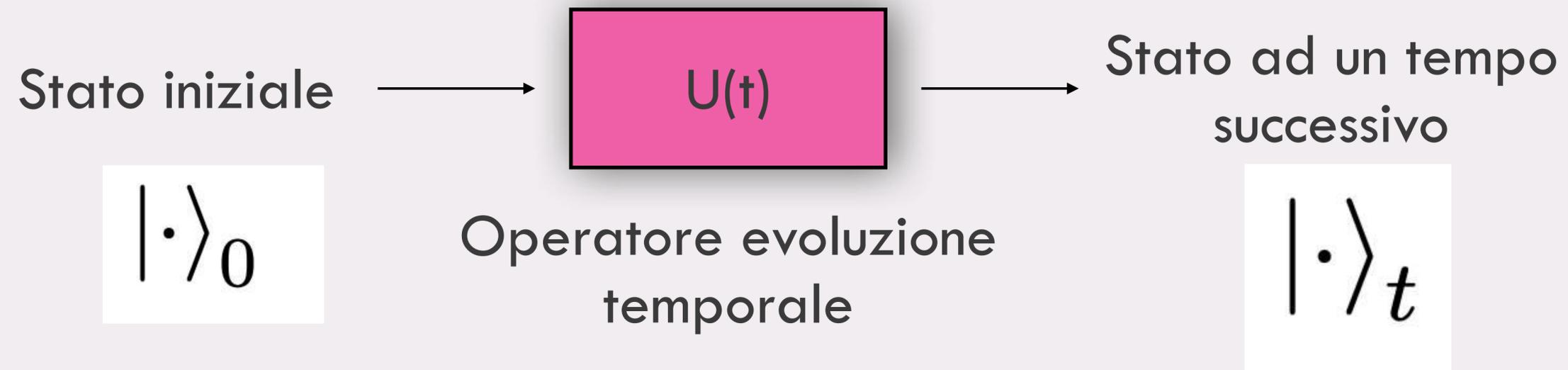


● Che cosa descrive?

Attraverso le leggi e le equazioni della meccanica classica
descriviamo il moto di un oggetto.

Struttura

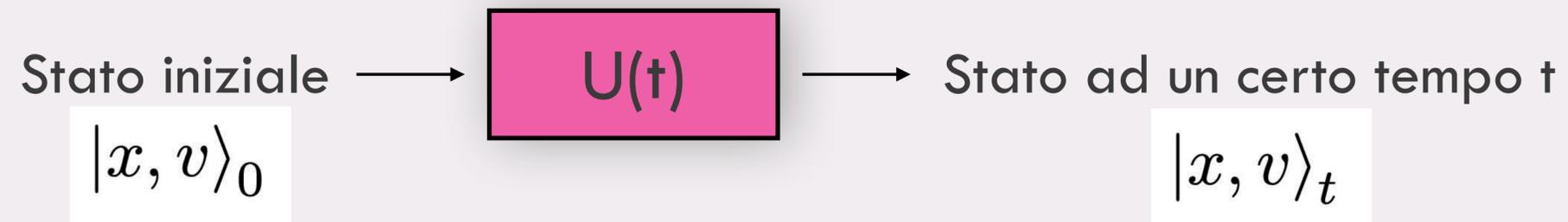
Considero un sistema fisico che voglio studiare



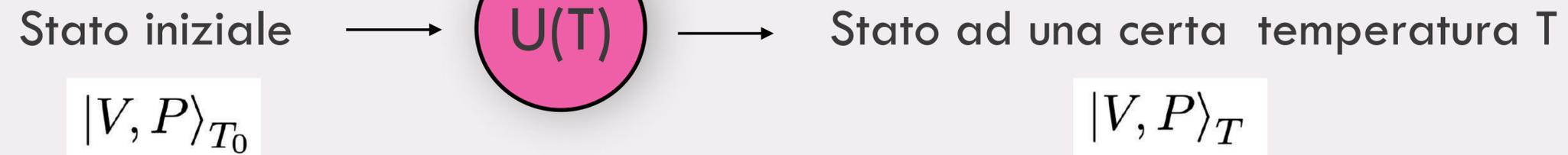
Esempi:

1

- Mela che cade
- Gittata di un proiettile

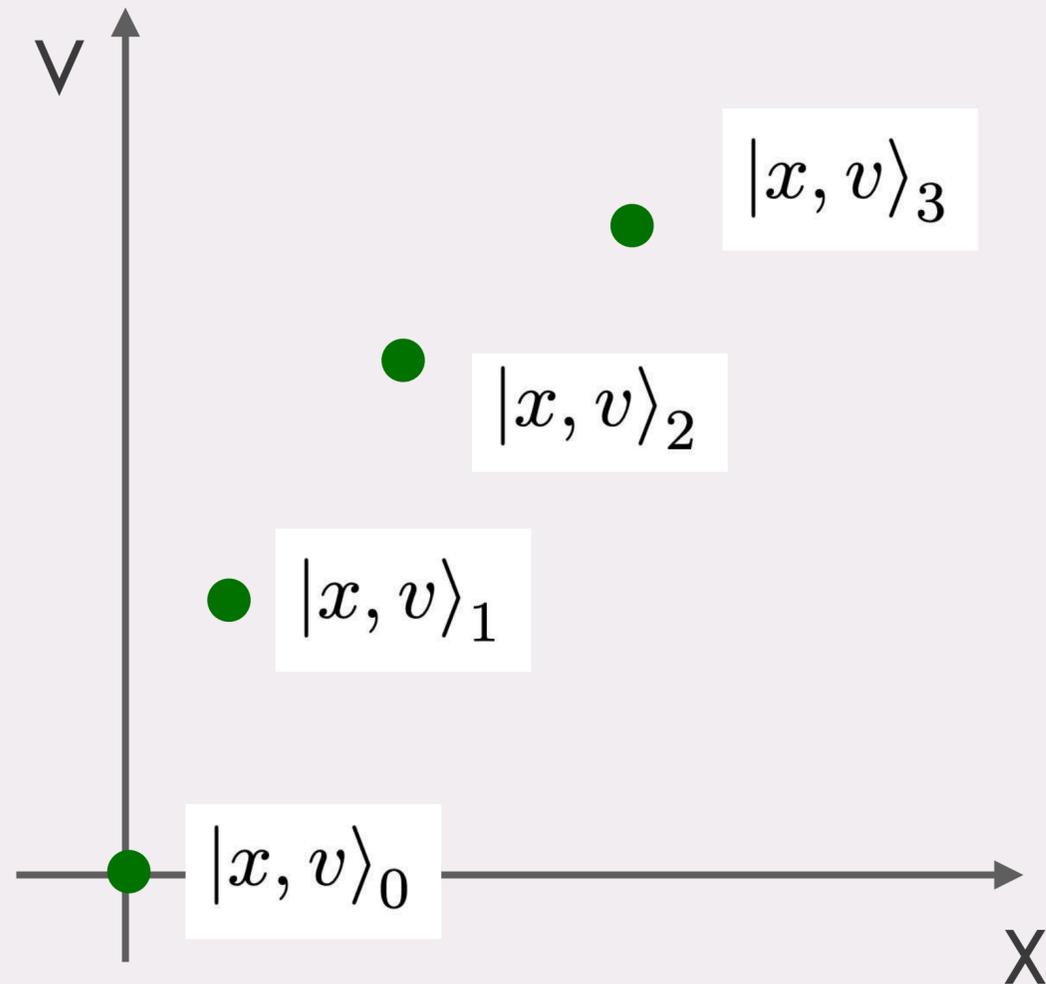


2

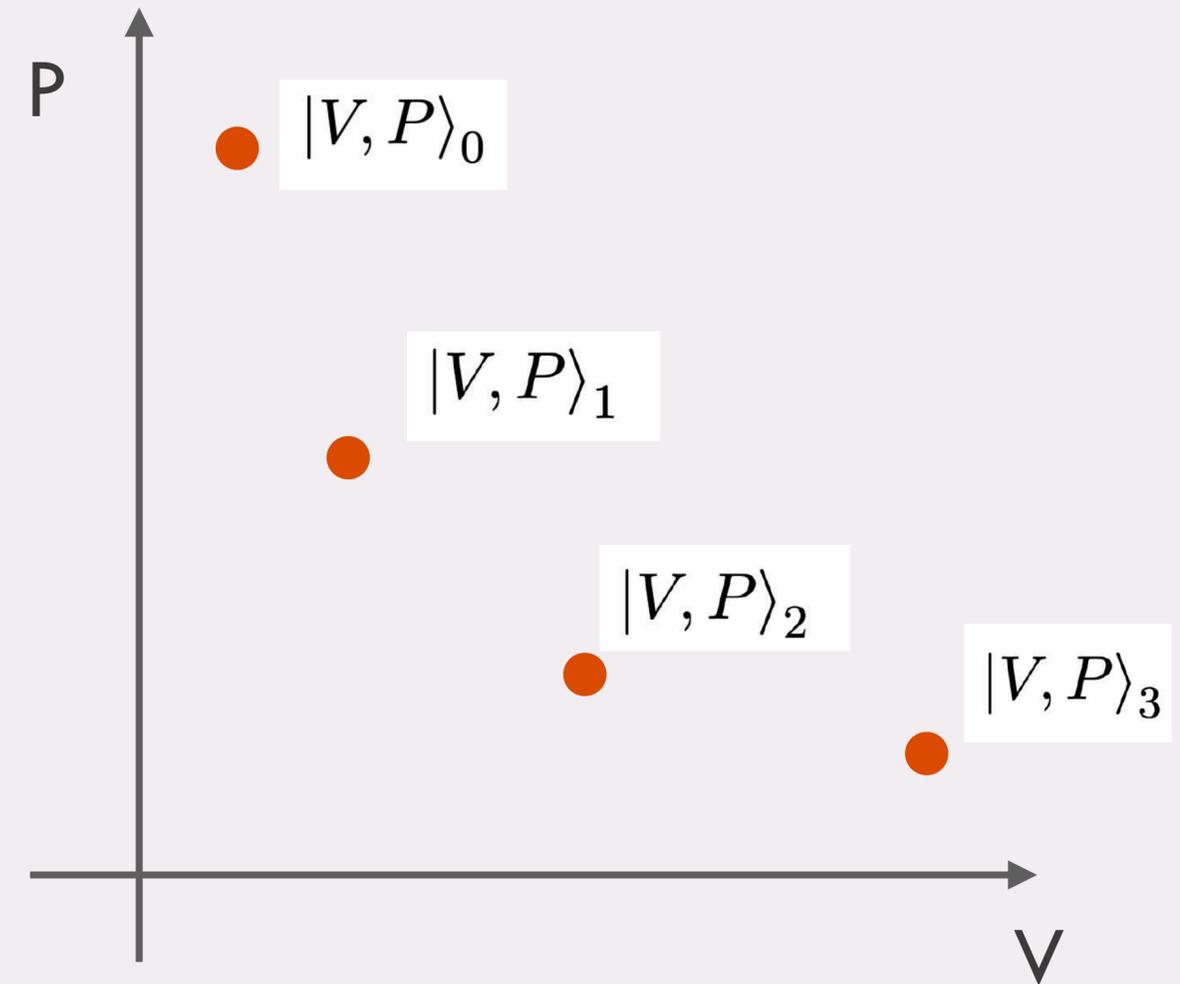


● **Spazio degli stati** = spazio che ci consente di seguire l'evoluzione

Esempio meccanica classica



Esempio termodinamica



La MECCANICA
QUANTISTICA



● Stato e spazio in MQ

Dobbiamo definire:

- lo **stato** del quanto
- opportuno **spazio** per poterne seguire l'evoluzione



● Che cosa vuol dire avere uno **spazio lineare**?

↓

La linearità dello spazio implica che se io considero una **combinazione lineare** dei possibili stati del sistema, allora il risultato che ottengo è ancora un possibile stato del sistema.

● Confronto tra MC e MQ

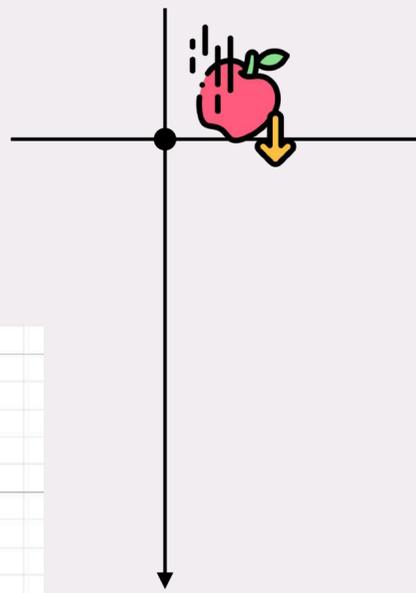
Domanda:

Gli spazi degli stati che abbiamo visto come esempio per la meccanica classica (x,p) e la termodinamica (P,V) , sono spazi lineari?



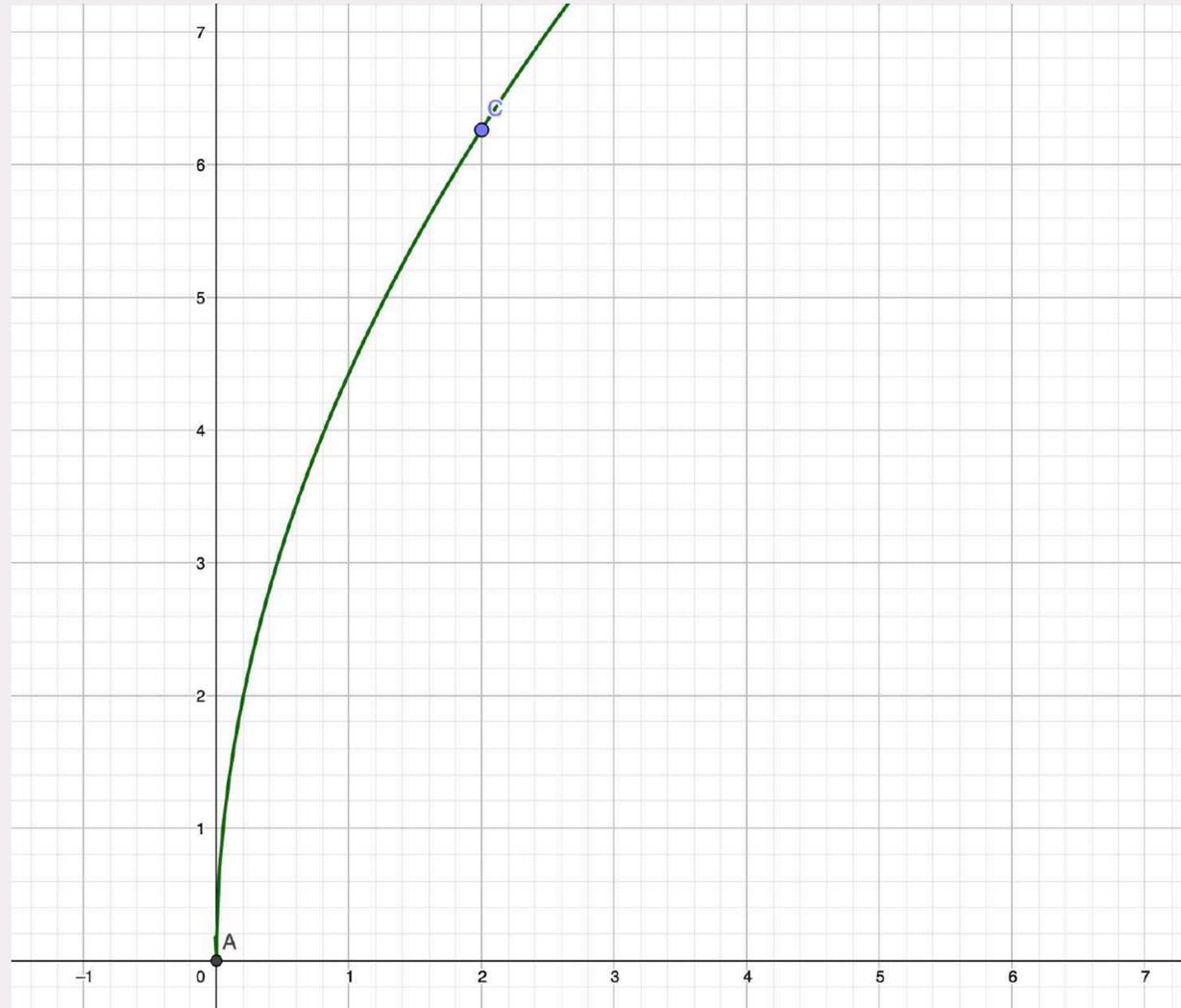
!!! NO

Caduta di una mela

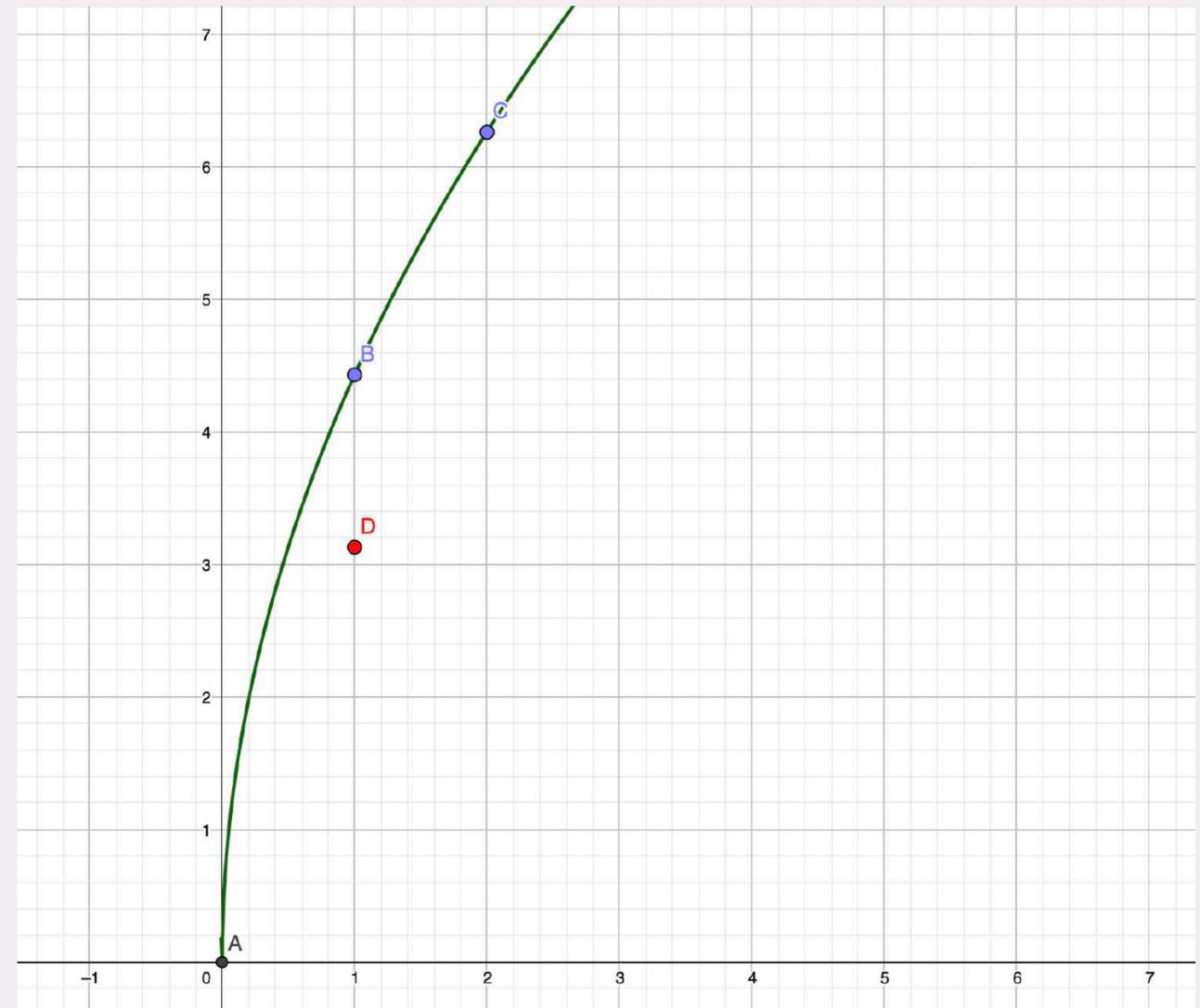


$$x = \frac{1}{2}gt^2$$

$$v = \sqrt{2xg}$$

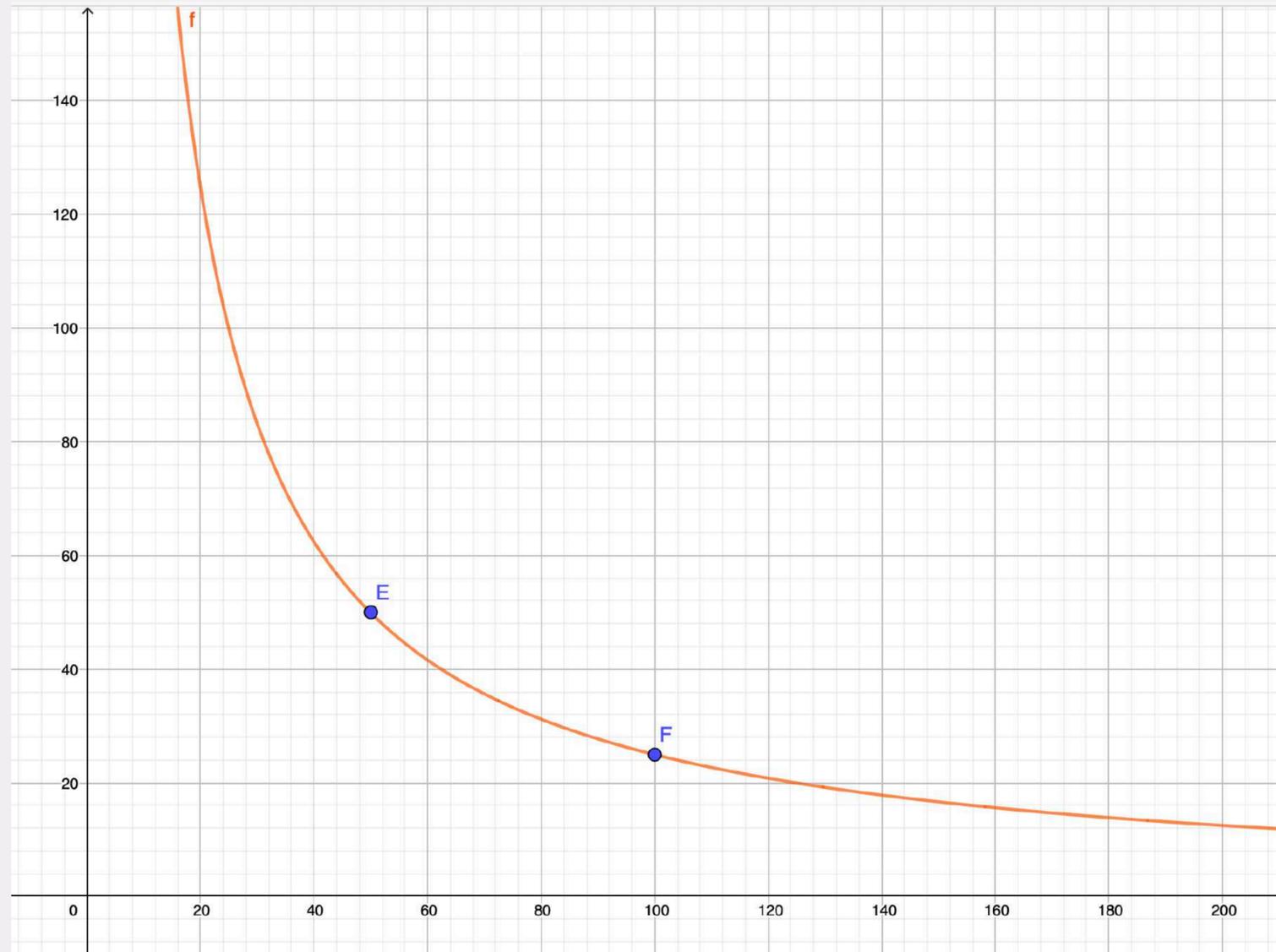


●	A = Intersezione(asseX, asseY)
●	C = (2, 6.26)
●	B = (1, 4.43)
●	D = (1, 3.13)



$$\frac{A + B}{2}$$

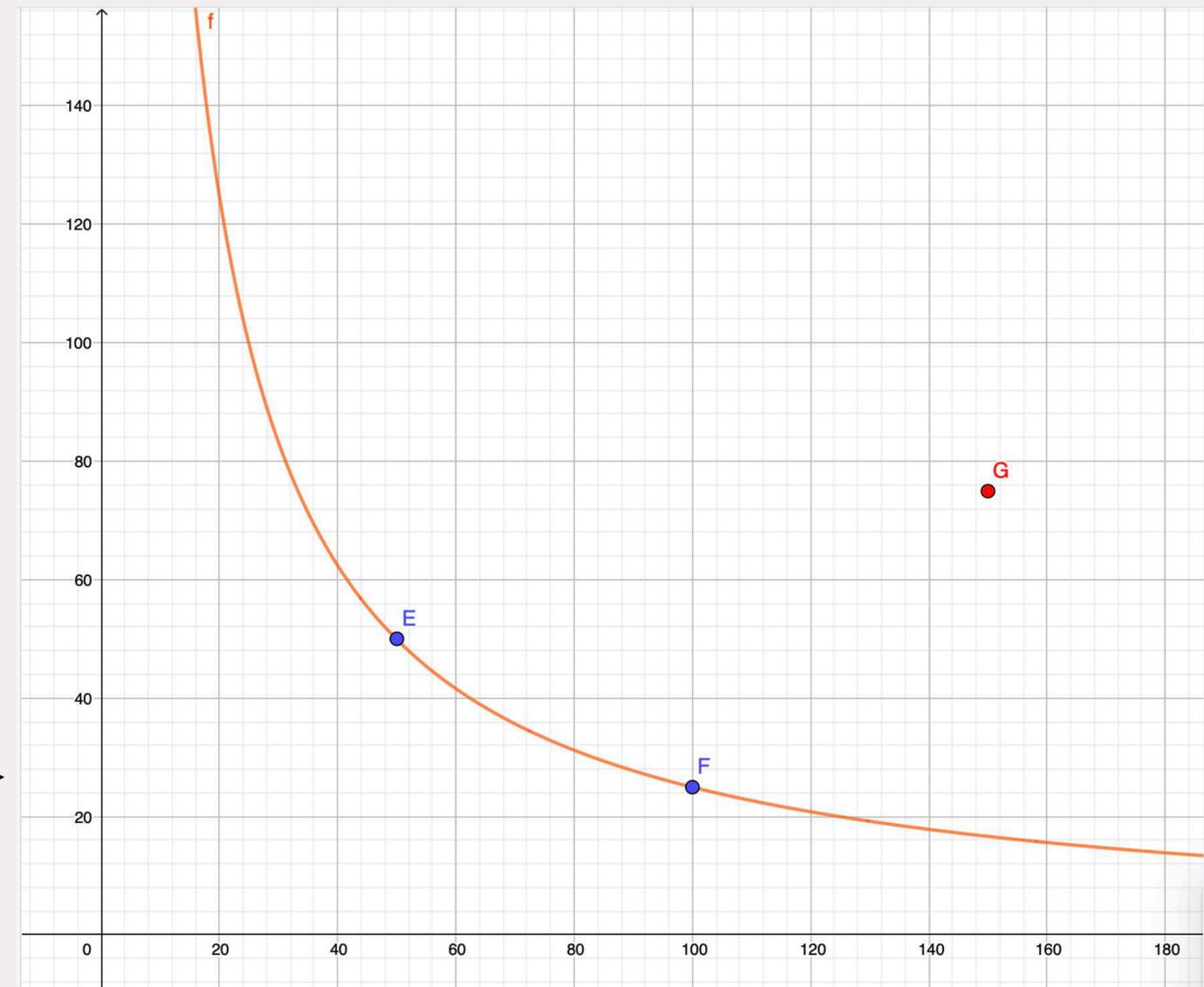
Sistema termodinamico



$$P = \frac{nRT}{V}$$

	$f(x) = 2494.2 / x$
	$E = (50, 50)$
	$F = (100, 24.94)$
	$G = (150, 74.94)$

$E + F \longrightarrow$

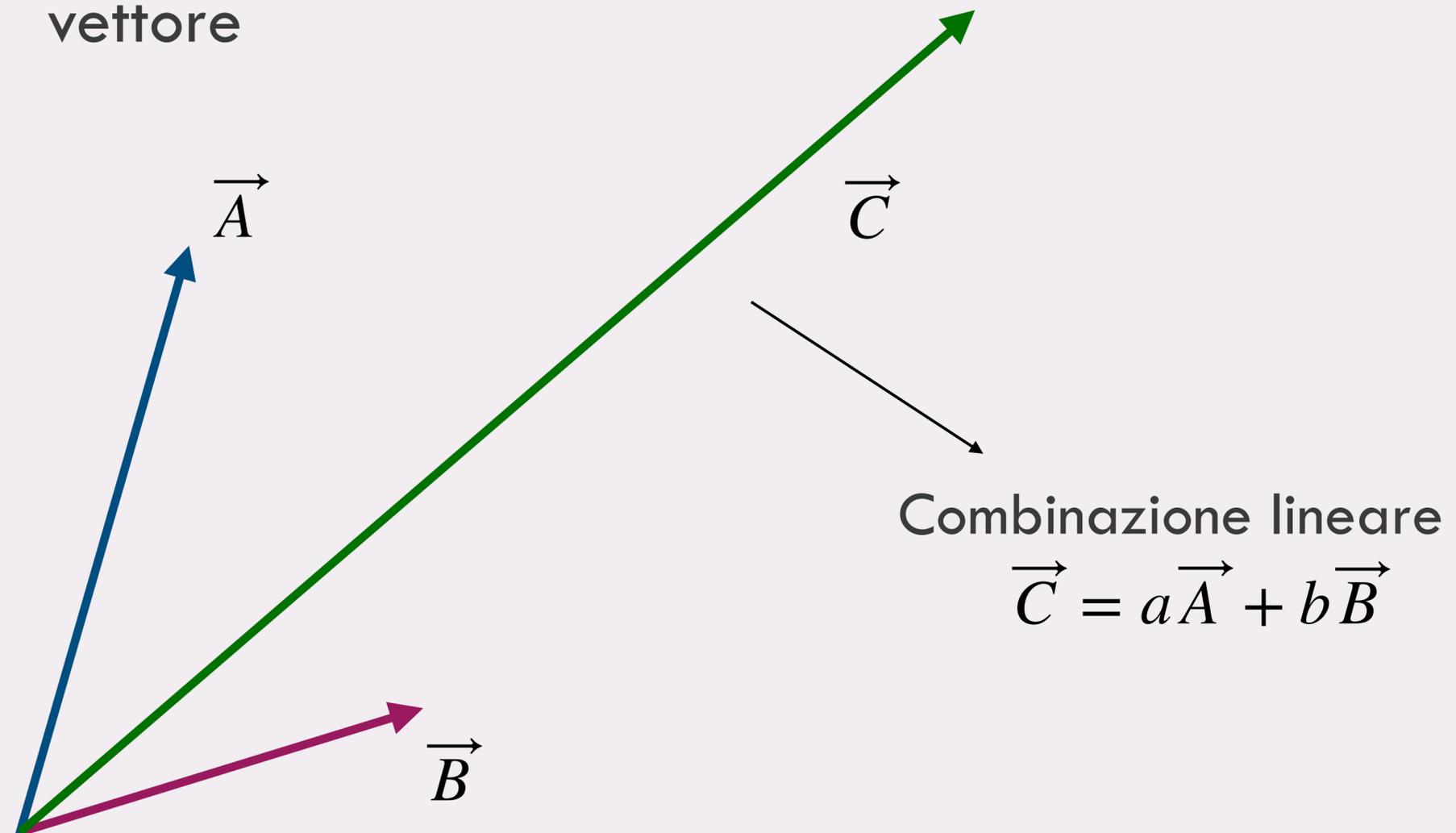


● I vettori

Il vettore è l'ente **matematico** che ci interessa per rappresentare lo stato!



Se io considero una **combinazione lineare** di vettori, allora il risultato che ottengo è ancora vettore



● Stato e spazio in MQ

- Spazio \longrightarrow Spazio lineare e **complesso**
- Stato \longrightarrow Vettore che appartiene a questo spazio



Che **dimensioni** ha lo spazio?
Come definire gli **assi**?
Come definire le **componenti** del vettore?