IDENTITIES

Enlightening
Interdisciplinarity
in STEM
for Teaching

Un approccio interdisciplinare alle tecnologie quantistiche: un modulo per studenti di scuola secondaria

Sara Satanassi, Elisa Ercolessi, Olivia Levrini
Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Bologna

Enlightening Interdisciplinarity in STEM for Teaching

Il progetto

Integrate Disciplines to Elaborate Novel Teaching approaches to InTerdisciplinarity and Innovate pre-service teacher Education for STEM challenges

Obiettivo: Costruzione di moduli interdisciplinari per studenti di scuola secondaria da utilizzare in contesti di formazione insegnanti.

I moduli hanno lo scopo di mettere in luce le peculiarità delle discipline e l'importanza del loro intreccio sia per temi STEM (computer quantistici, cambiamenti climatici, intelligenza artificiale) sia per temi curriculari (i.e. moto parabolico, crittografia, probabilità)

https://identitiesproject.eu/

IDENTITIES Enlightening Interdisciplinarity in STEM for Teaching

Il modulo sulle tecnologie quantistiche

Sperimentazione – 6 pomeriggi da 3 ore

22 studenti (17-18 anni)

Piano Lauree Scientifiche PLS

	Attività concettuali e epistemologiche	Attività di futuro
Giorno 1	- Storia del computer classico - Introduzione e storia del computer quantistico	“quantum computing &...”
Giorno 2	Introduzione dei concetti di base per la fisica dei computer quantistici (stato, principio di sovrapposizione, evoluzione dello stato e misura e sistemi ad 1 Qubit)	Consegna dell’attività “quantum computing &...”
Giorno 3	- Introduzione dei sistemi a 2 Qubit e entanglement - Crittografia quantistica (BB84)	La città di Eve
Giorno 4	Teletrasporto quantistico	La città di Eve
Giorno 5	Random walk classico e quantistico	La città di Eve

Obiettivo

Interdisciplinarità matematica – fisica – informatica

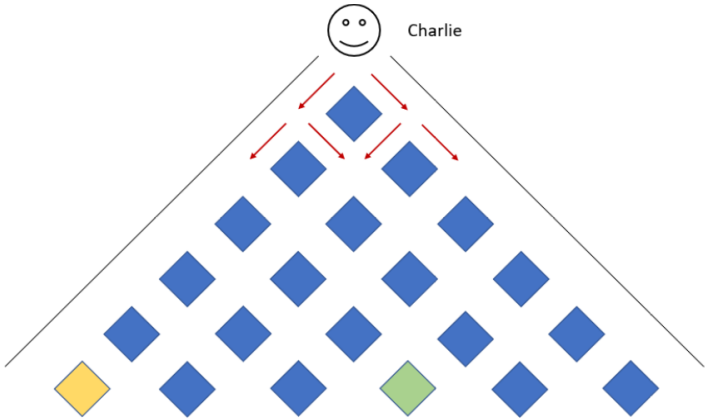
Logica classica – Logica quantistica

Sul concetto di probabilità

Che cosa può mettere in luce un approccio multi/interdisciplinare al random walk classico e quantistico? In che modo può evidenziare le differenze tra logica classica e quantistica? Che immagine di probabilità emerge?

Enlightening Interdisciplinarity in STEM for Teaching

Random walk



Il cammino dell'ubriaco

Ci sono un matematico, un fisico sperimentale ed un informatico in un caffè che dibattono sul modo migliore per risolvere il seguente problema: Charlie, dopo una lunga serata di vizi e stravizi fuori città, rientra, un po' barcollante, ad Eve. Appena varca le porte della città sorge un problema: Charlie non ricorda più né dove abita né la strada per tornare. Inizia dunque a camminare tra gli isolati, procedendo a caso e senza mai tornare indietro, sperando di ritrovare la giusta via.

- Quale è la probabilità che Charlie raggiunga casa sua (quadratino verde) muovendosi a caso?
- La probabilità che Charlie raggiunga, a caso, la casa del suo amico Bob (quadratino giallo) è la stessa?

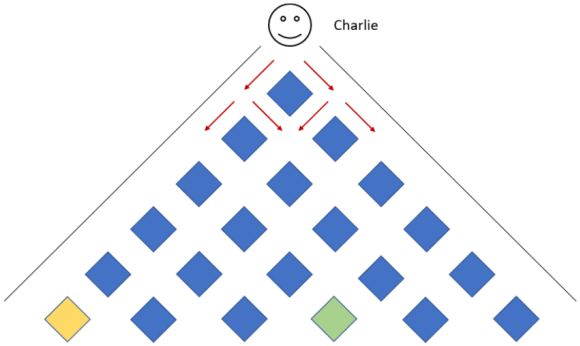
Il problema ha fatto discutere per ore i gli esperti. I temi che più di tutti suscitavano discussione riguardavano: cosa vuole dire modellizzare il "procedere a caso" per un fisico, un matematico e un informatico e quale sia il metodo migliore per ricavare l'informazione sulla probabilità finale (misurare, calcolare e computare).

Domande

Quali strumenti e quale forme di ragionamento usereste per modellizzare il problema e sostenere la vostra posizione nella discussione?

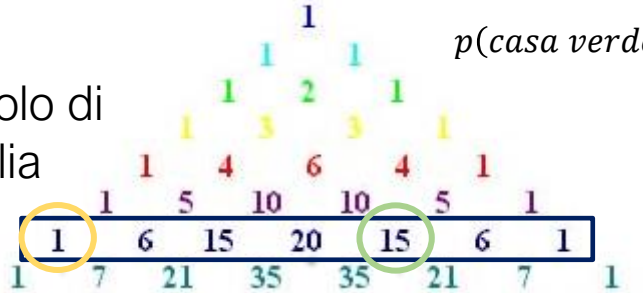
Come riformulereste il problema dalla vostra prospettiva (matematica, fisica ed informatica) per poter utilizzare i "vostri" strumenti concettuali, formali e metodologici? Come lo risolvereste?

Random walk



Gruppo di matematici

Triangolo di Tartaglia



$$p(casa\ verde) = \frac{15}{2^6}$$

Gruppo di fisici

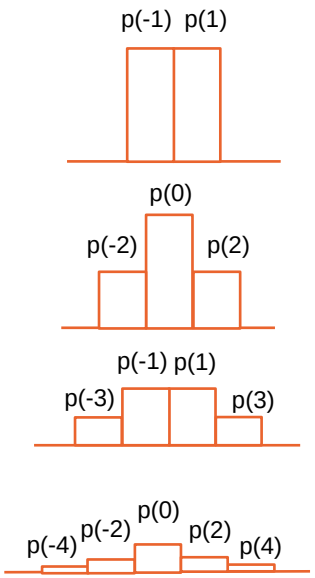
Macchina di Galton

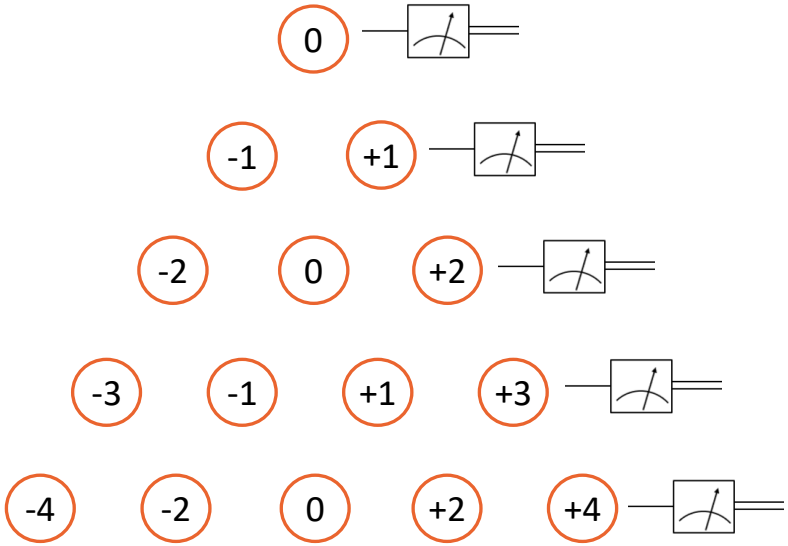
Gruppo di informatici

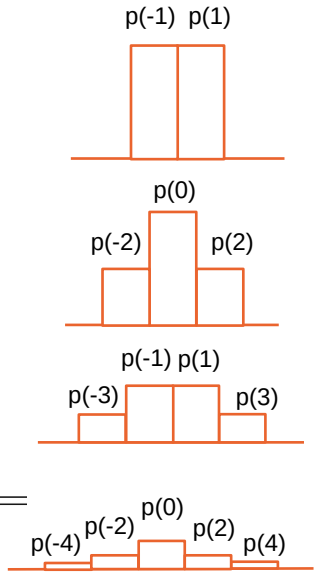
Implementazione, step dopo step, della formula che calcola la probabilità.

Random walk classico

Random walk quantistico

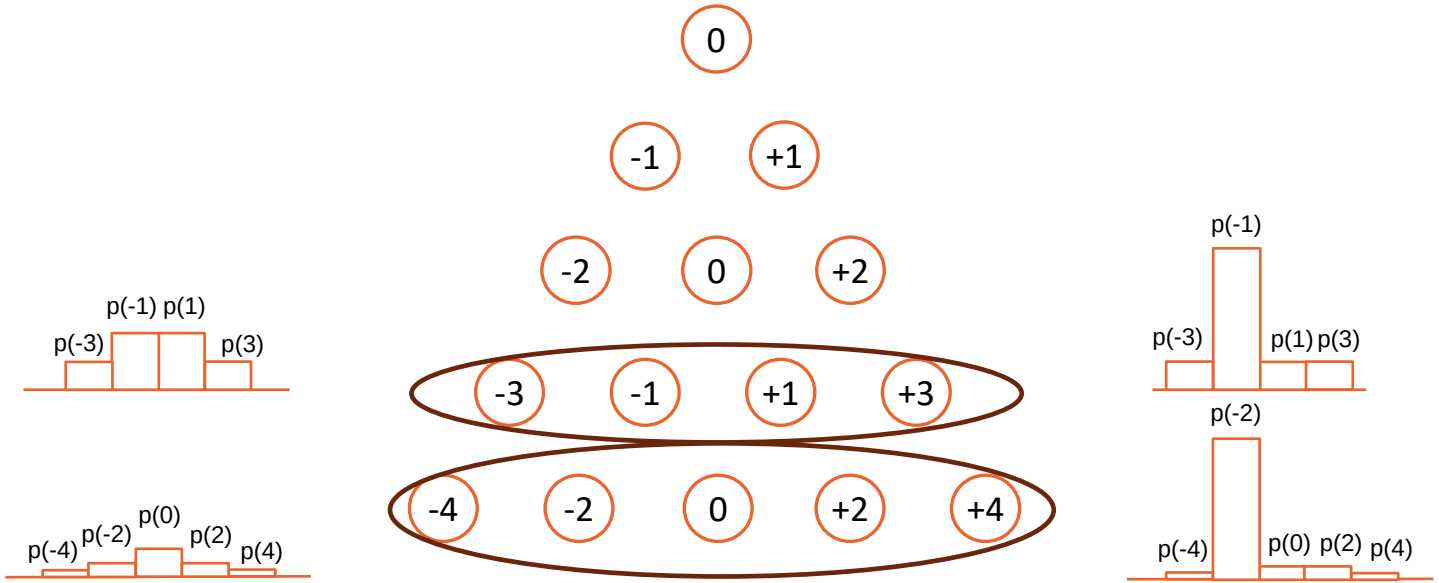






Random walk classico

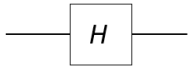
Random walk quantistico



Random walk quantistico

Flip coin H

HADAMARD GATE



Prima	Dopo
$\lvert 0\rangle$	$\frac{\lvert 0\rangle + \lvert 1\rangle}{\sqrt{2}}$
$\lvert 1\rangle$	$\frac{\lvert 0\rangle - \lvert 1\rangle}{\sqrt{2}}$

$$S = |\uparrow\rangle\langle\uparrow| \otimes \sum_i |i+1\rangle\langle i| + |\downarrow\rangle\langle\downarrow| \otimes \sum_i |i-1\rangle\langle i|$$

$$|\varphi_0\rangle = |\downarrow\rangle \otimes |0\rangle$$

$$|\varphi_0\rangle \xrightarrow{C} |\varphi_1\rangle_C = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle - |\downarrow\rangle) \otimes |0\rangle \xrightarrow{S} |\varphi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle \otimes |1\rangle - |\downarrow\rangle \otimes |-1\rangle$$

$$|\varphi_1\rangle \xrightarrow{C} |\varphi_2\rangle_c = \frac{1}{2}[(|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle) \otimes |1\rangle - (|\uparrow\rangle - |\downarrow\rangle) \otimes |-1\rangle] \xrightarrow{S} |\varphi_2\rangle$$

$$= \frac{1}{2}(|\uparrow\rangle \otimes |2\rangle + |\downarrow\rangle \otimes |0\rangle - |\uparrow\rangle \otimes |0\rangle + |\downarrow\rangle \otimes |-2\rangle)$$

...

$$p(|1\rangle) = \frac{1}{2}$$

$$p(|-1\rangle) = \frac{1}{2}$$

$$p(|2\rangle) = \frac{1}{4}$$

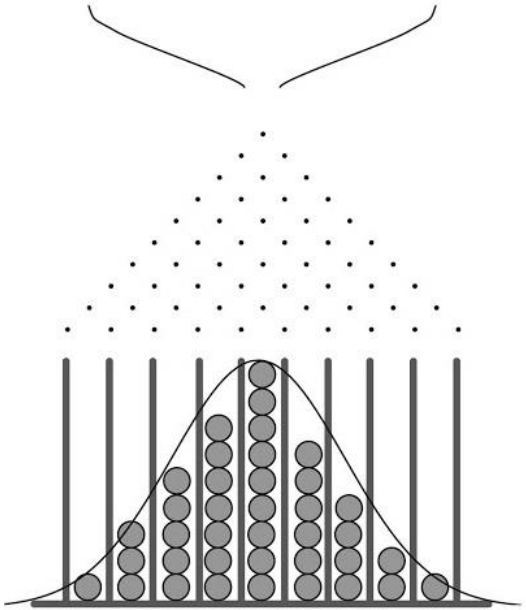
$$p(|0\rangle) = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$$

$$p(|-2\rangle) = \frac{1}{4}$$

Enlightening Interdisciplinarity in STEM for Teaching

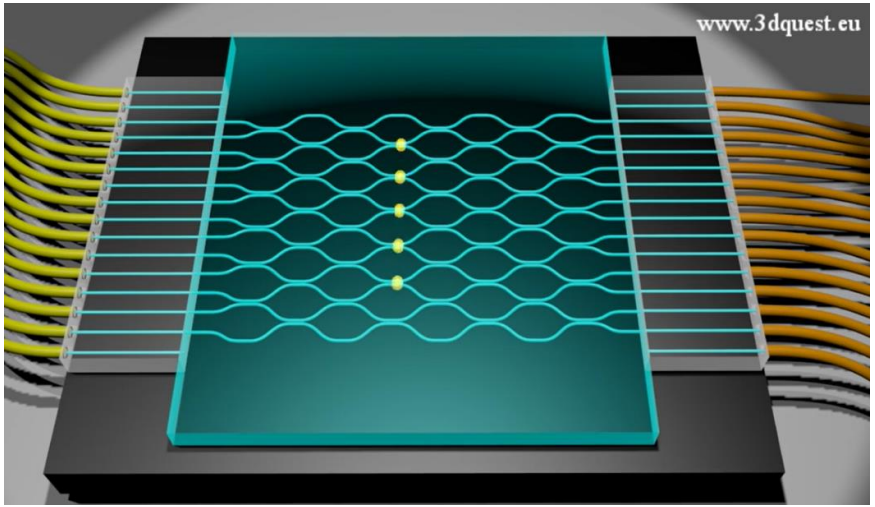
Fisica | Random walk

Random walk classico



https://www.youtube.com/watch?v=4HpvBZnHOVI

Random walk quantistico



https://www.youtube.com/watch?v=jiodj5b8Z1E

Enlightening Interdisciplinarity in STEM for Teaching

Informatica

Random walk

Random walk classico

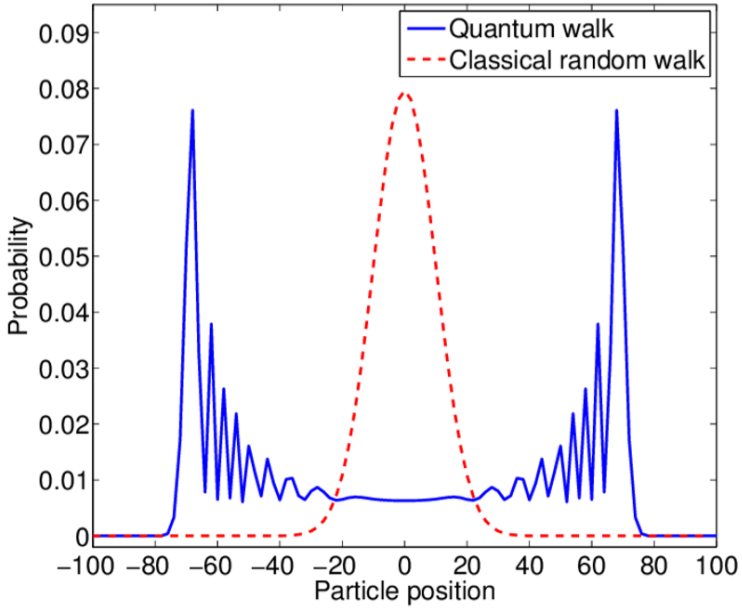
```python
# Python code for 1-D random walk.
import random
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Probability to move up or down
prob = [0.05, 0.95]

# statically defining the starting position
start = 2
positions = [start]

# creating the random points
rr = np.random.random(1000)
downp = rr < prob[0]
upp = rr > prob[1]


for idownp, iupp in zip(downp, upp):
    down = idownp and positions[-1] > 1
    up = iupp and positions[-1] < 4
    positions.append(positions[-1] - down + up)

# plotting down the graph of the random walk in 1D
plt.plot(positions)
plt.show()
```

Random walk quantistico

```python
# Numero di siti
L = 1000
# Crea stato iniziale
# Il vettore di stato è una matrice Lx2 (gdl spaziali x gdl spin)
Psi = np.zeros( (L,2), dtype=complex )
Psi[np.int(L/2),0] = 1.0  / math.sqrt(2)
Psi[np.int(L/2),1] = 1.0j / math.sqrt(2)
InitState = Psi.copy() # salva lo stato iniziale che non si sa mai

# Porta di Hadamard
H = np.array( [[1,1], [1,-1]], dtype=complex ) * math.sqrt(0.5)
# Operatori di shift
Splus  = np.zeros( (L,L), dtype=complex )
Sminus = np.zeros( (L,L), dtype=complex )
for k in range(L-1):
    Splus[k,k+1]  = 1
    Sminus[k+1,k] = 1

# Esegue il walk di 1 step
def Walk(State):
    # Coin flip
    for k in range(L):
        State[k,:] = H @ State[k,:]
    # Shift
    State[:,0] = Splus  @ State[:,0]
    State[:,1] = Sminus @ State[:,1]
    return State

# Calcola l'ampiezza di probabilità
def Prob(State):
    return np.sqrt( abs(State[:,0])**2 + abs(State[:,1])**2)

```

https://www.geeksforgeeks.org/random-walk-implementation-python/

Logica classica – Logica quantistica



- Il random walk quantistico ‘’campiona’’ più velocemente lo ‘’spazio delle posizioni’’ della particella
- La particella nel caso quantistico può assumere molte più posizioni rispetto al caso classico.

Sul concetto di probabilità

Il random walk come contesto in cui ragionare sulla ''natura'' della probabilità

Caso classico → Aleatorietà non è intrinseca

Caso quantistico → La probabilità è di natura ontologica

Reazioni

"... le tre discipline si completano a vicenda in quanto la matematica fornisce delle formule che vengono applicate e sfruttate dalla fisica per formulare delle leggi che a loro volta vengono trasportate in una dimensione informatica dove vengono verificate con facilità "

"La fusione delle materie con la finalità di arrivare ad una migliore comprensione della realtà, integrando le parti più efficaci delle stesse "

"Questo tipo di approccio mi ha aiutato ad avere un confronto delle varie discipline su uno stesso argomento e quindi a completarlo sotto tutti gli aspetti. La matematica si basa sull'elaborazione dei numeri e su procedimenti certi, la fisica sulle misurazioni e sugli esperimenti, l'informatica sui procedimenti logici"

Grazie per l'attenzione