

Classificazione di Dispositivi Quantistici Tramite Reti Neurali Ibride

18 Settembre 2024

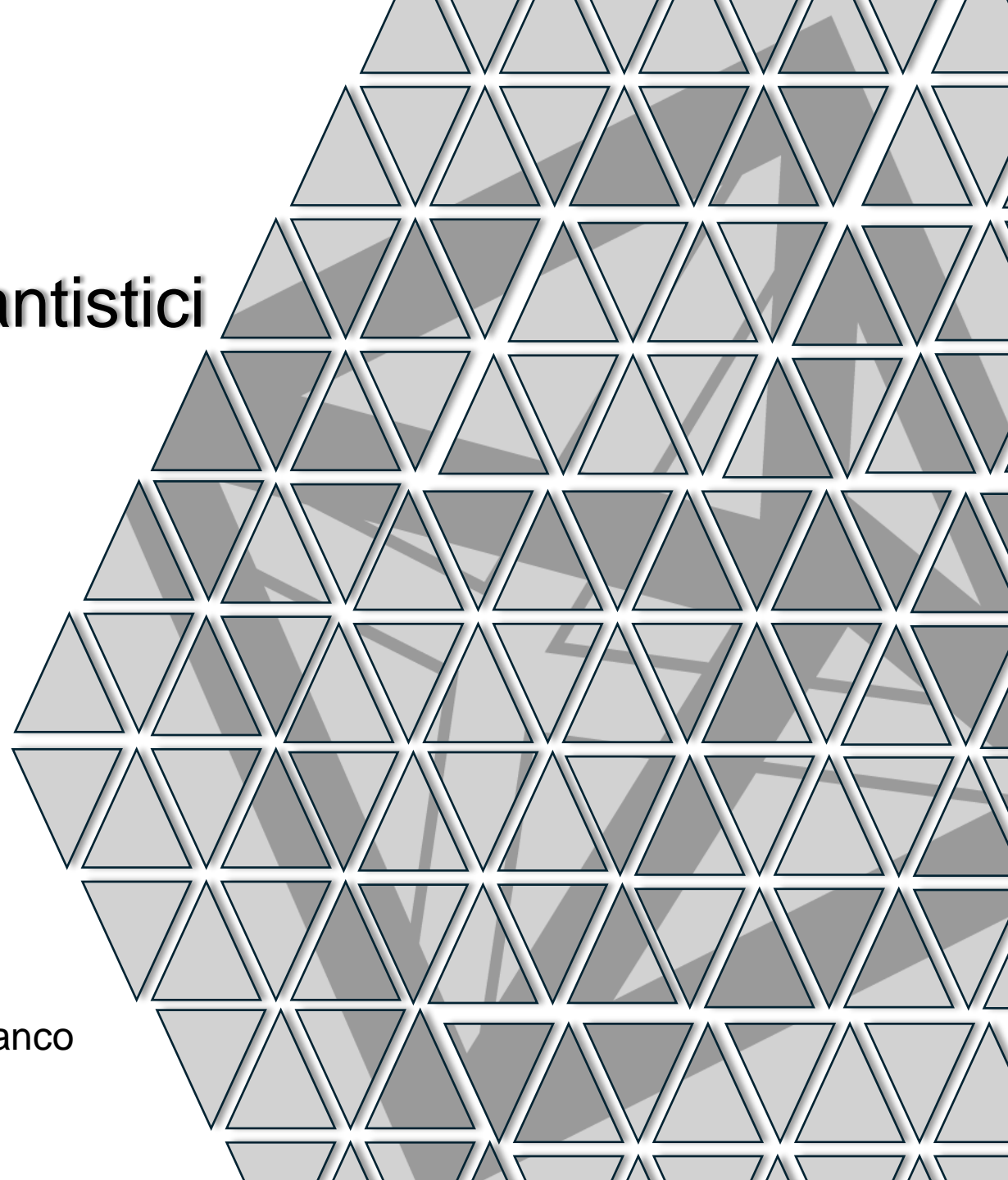
Relatore:

Prof. Andrea Giachero

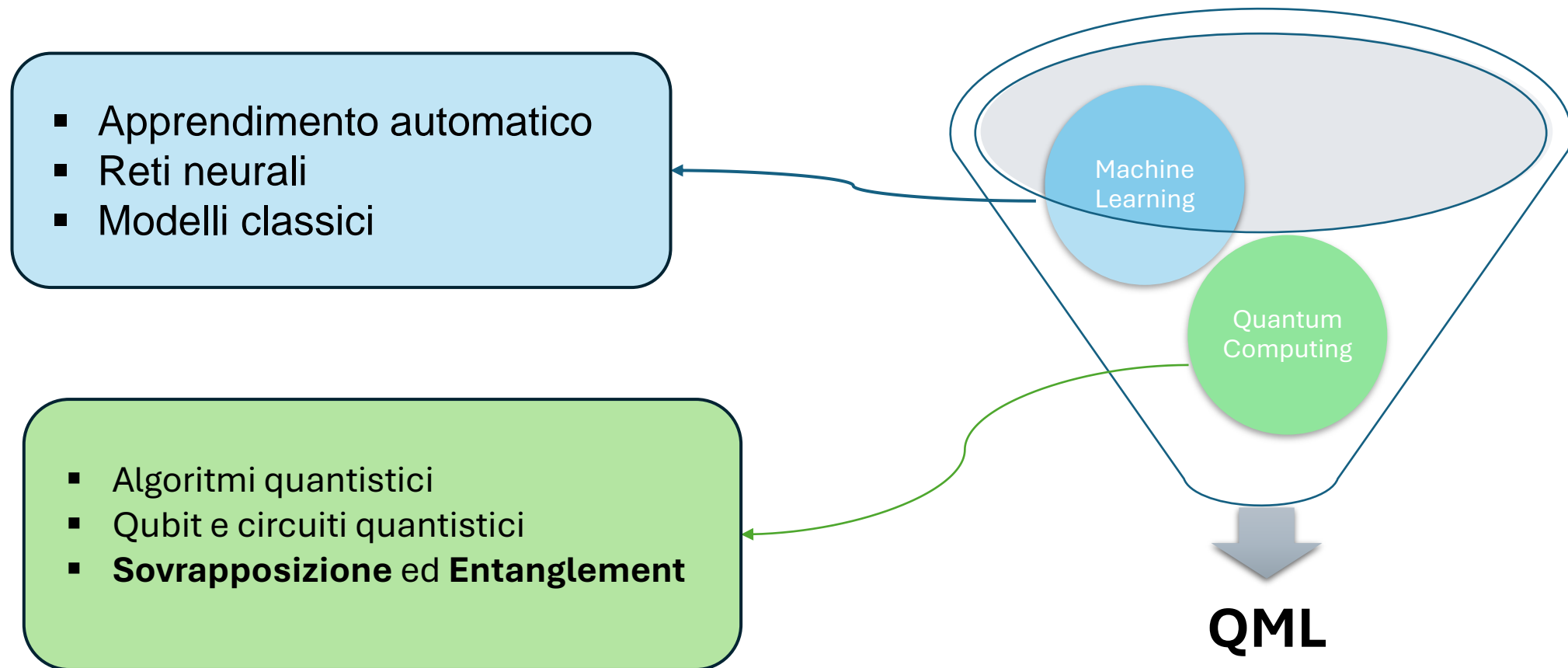
Correlatore:

Dr. Roberto Moretti

Federico Blanco

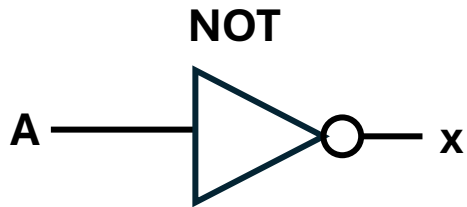


Quantum Machine Learning

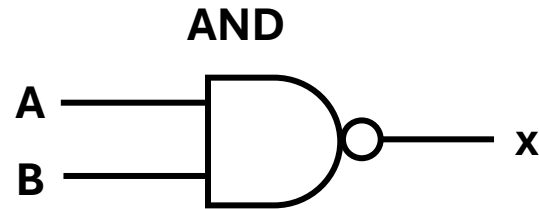


Differenze tra Bit classico...

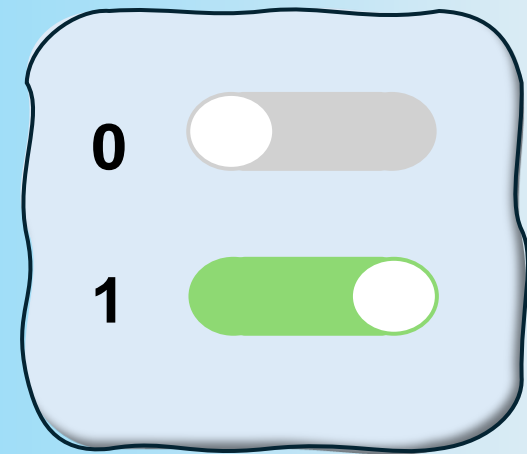
- Stato **Binario**
- Comportamento **Deterministico**
- **Porte logiche**



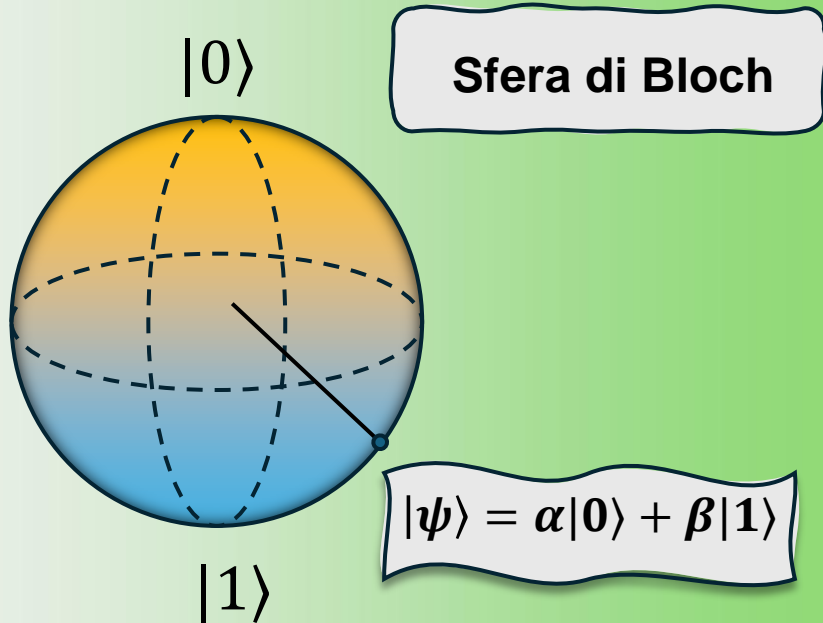
A	X
0	1
1	0



A	B	x
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

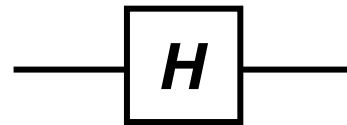


... e Quantum Bit (Qubit)



- **Sovrapposizione** degli stati
- Comportamento **probabilistico**
- Porte quantistiche (**Quantum Gates**)

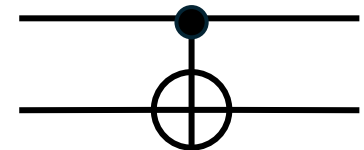
Hadamard gate



$$|0\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$$

$$|1\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$$

C-NOT gate

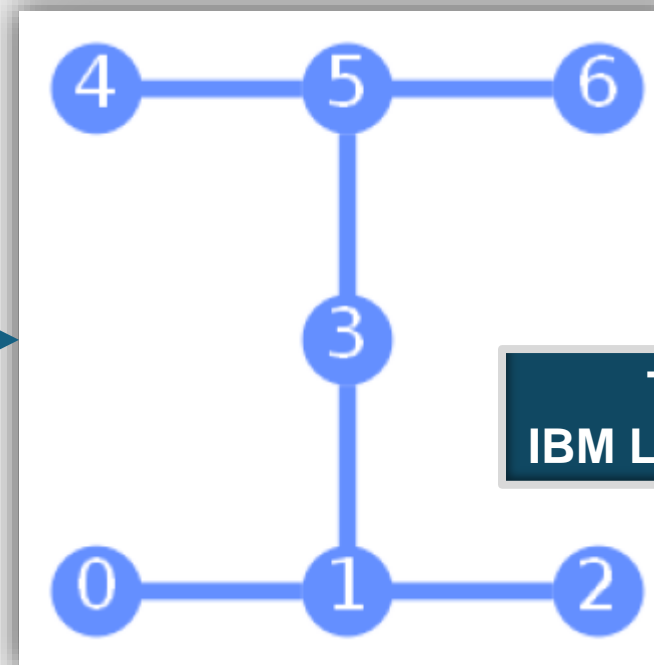


$$|00\rangle \rightarrow |00\rangle \quad |10\rangle \rightarrow |11\rangle$$

$$|01\rangle \rightarrow |01\rangle \quad |11\rangle \rightarrow |10\rangle$$

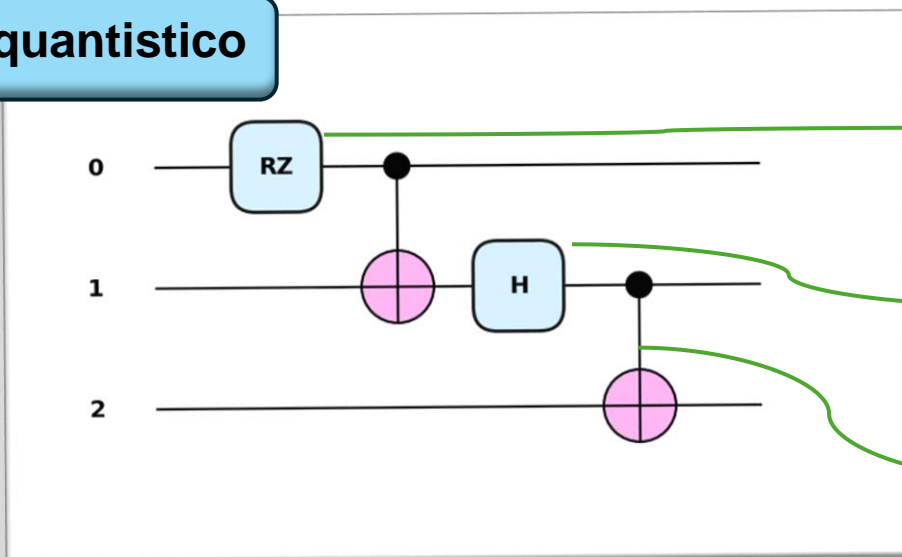
Dispositivi Quantistici

- Architettura di **qubit connessi**
- Manipolazione degli stati tramite i **quantum gates**
- Sensibilità al **rumore**



Topologia di
IBM Lagos e IBM Perth

Circuito quantistico



Rotazione
(asse x,y,z)

Ruota lo stato di un qubit
sulla sfera di Bloch di un
angolo θ intorno ad uno
degli assi x,y,z

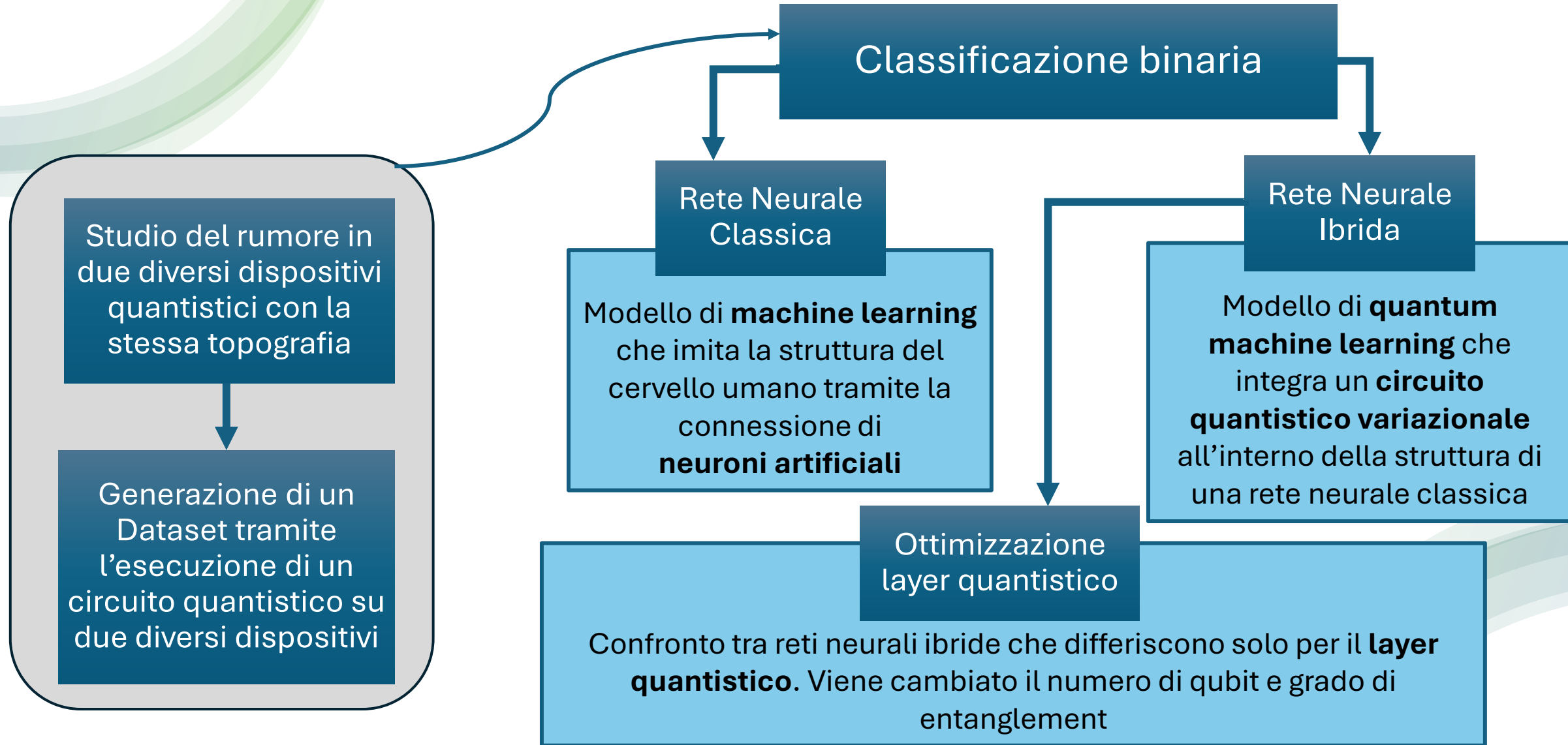
Hadamard
gate

Crea sovrapposizione tra gli
stati di un qubit

Controlled-Not
(CNOT)

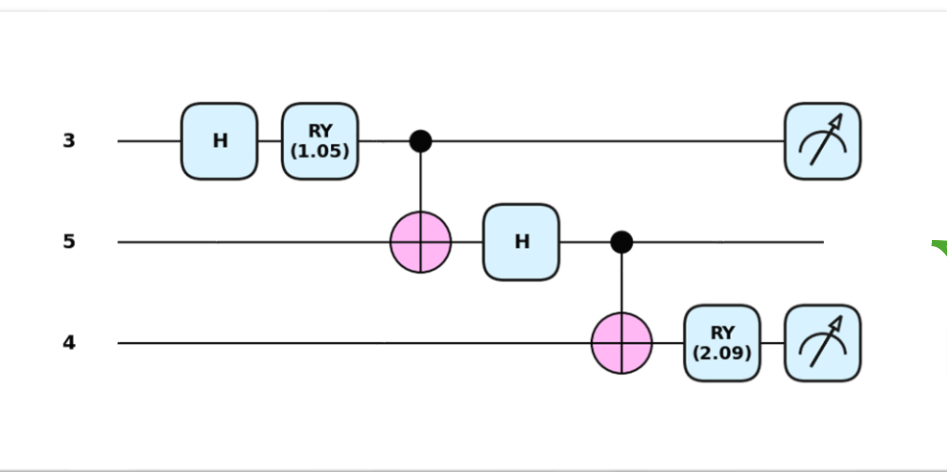
Introduce entanglement tra
due qubit

Obiettivi della Tesi

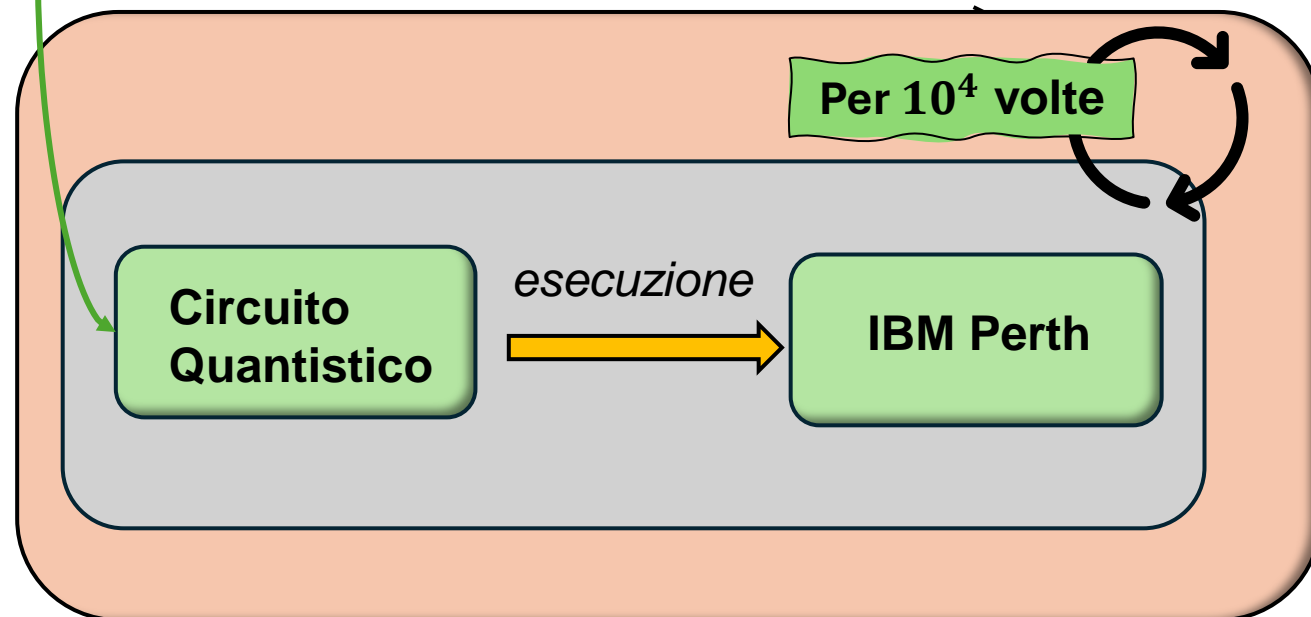
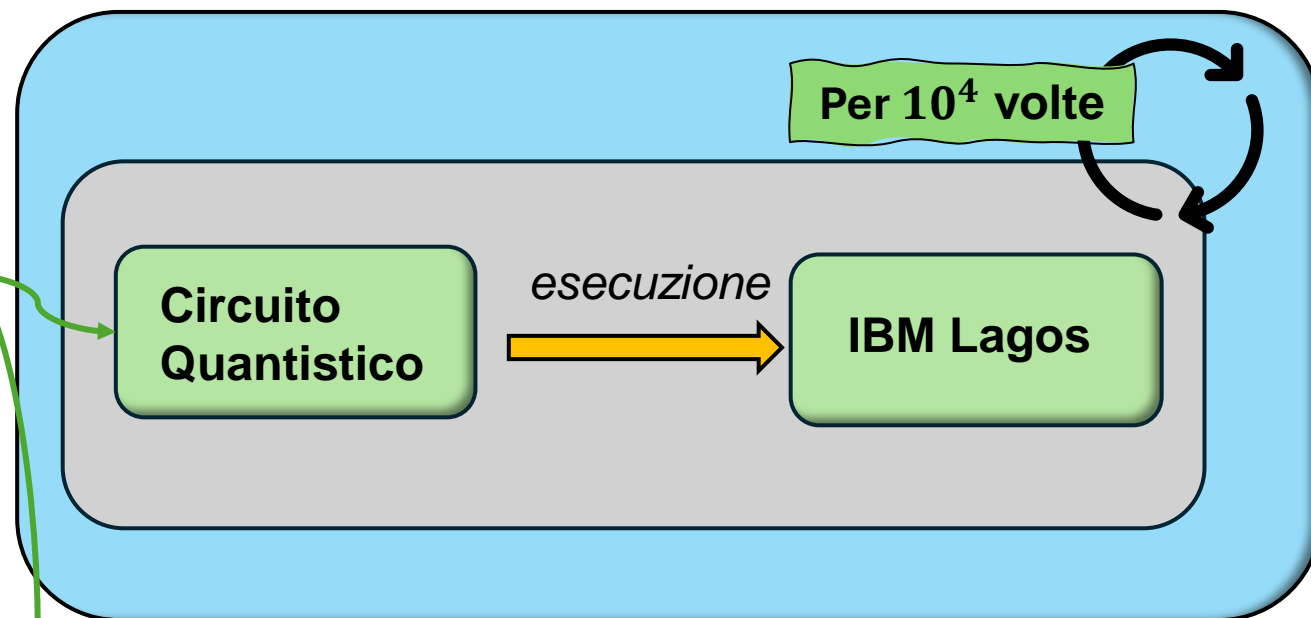
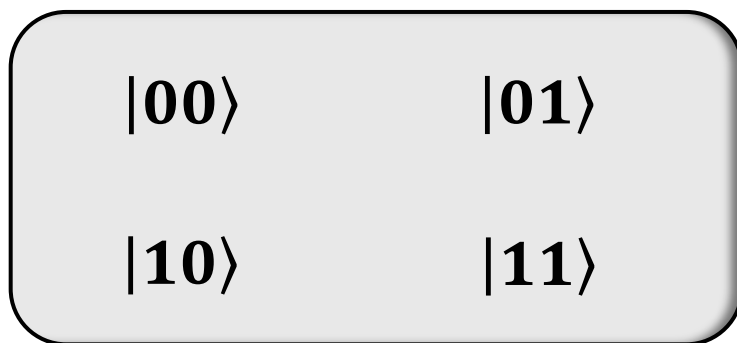




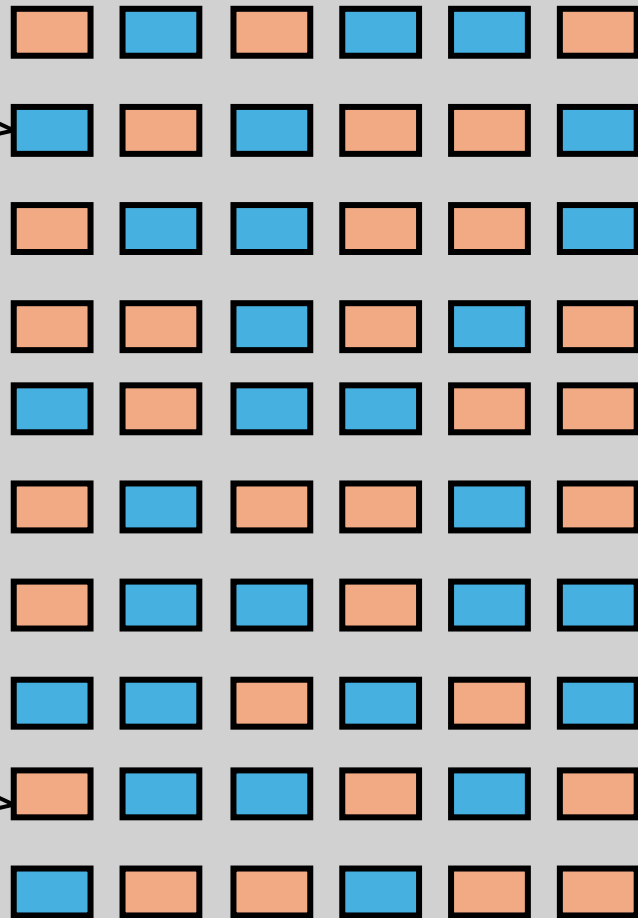
Generazione del Dataset



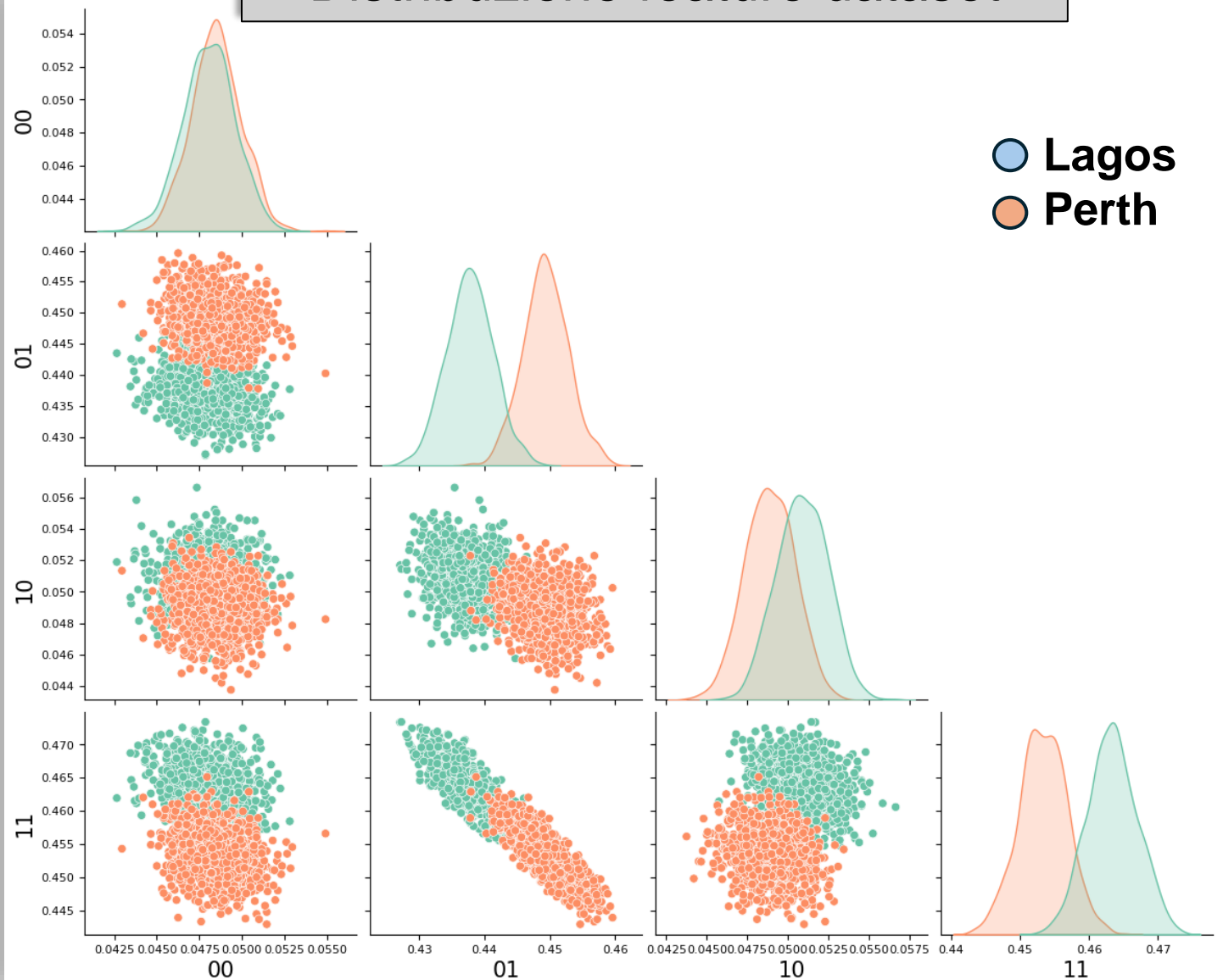
Possibili risultati



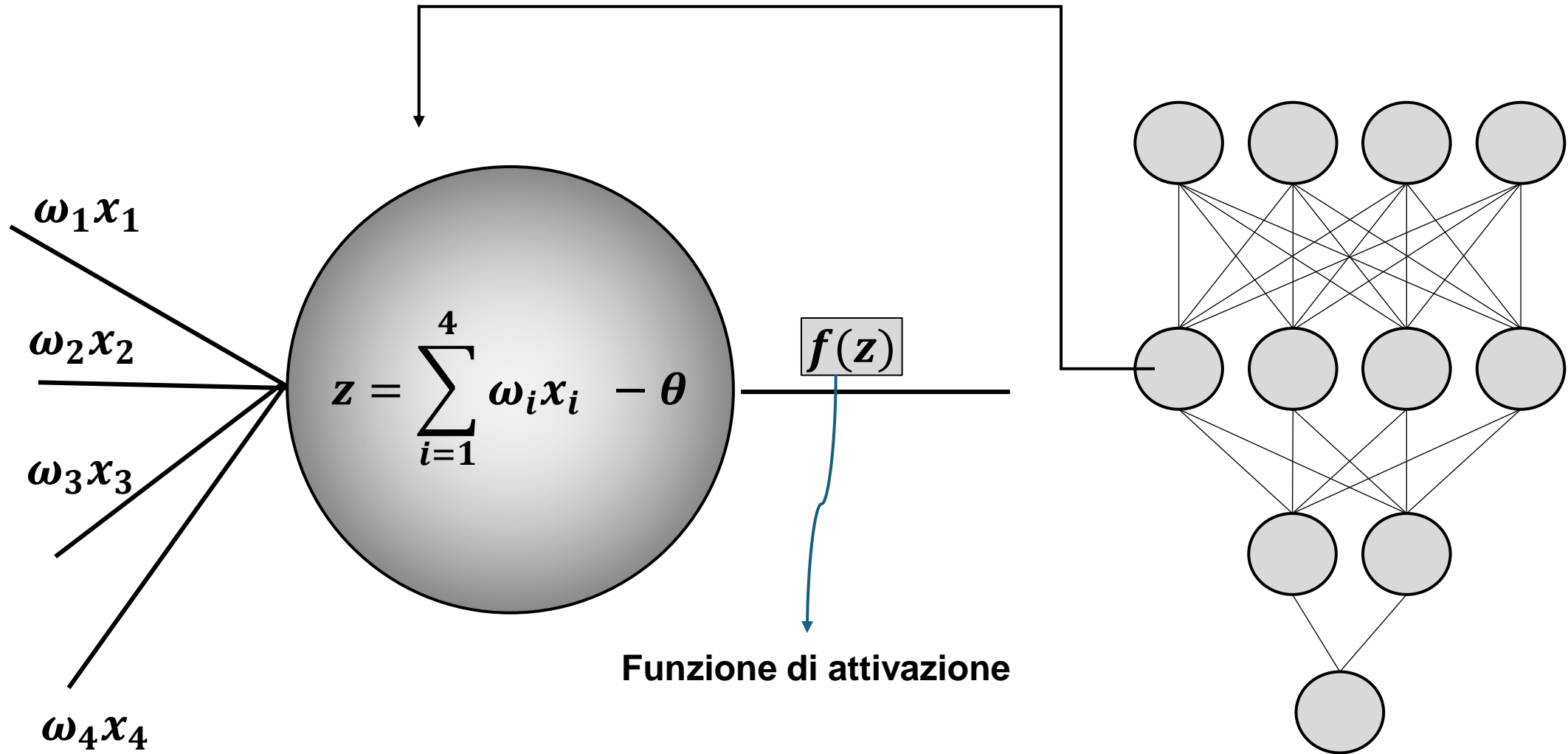
Dataset



Distribuzione feature dataset

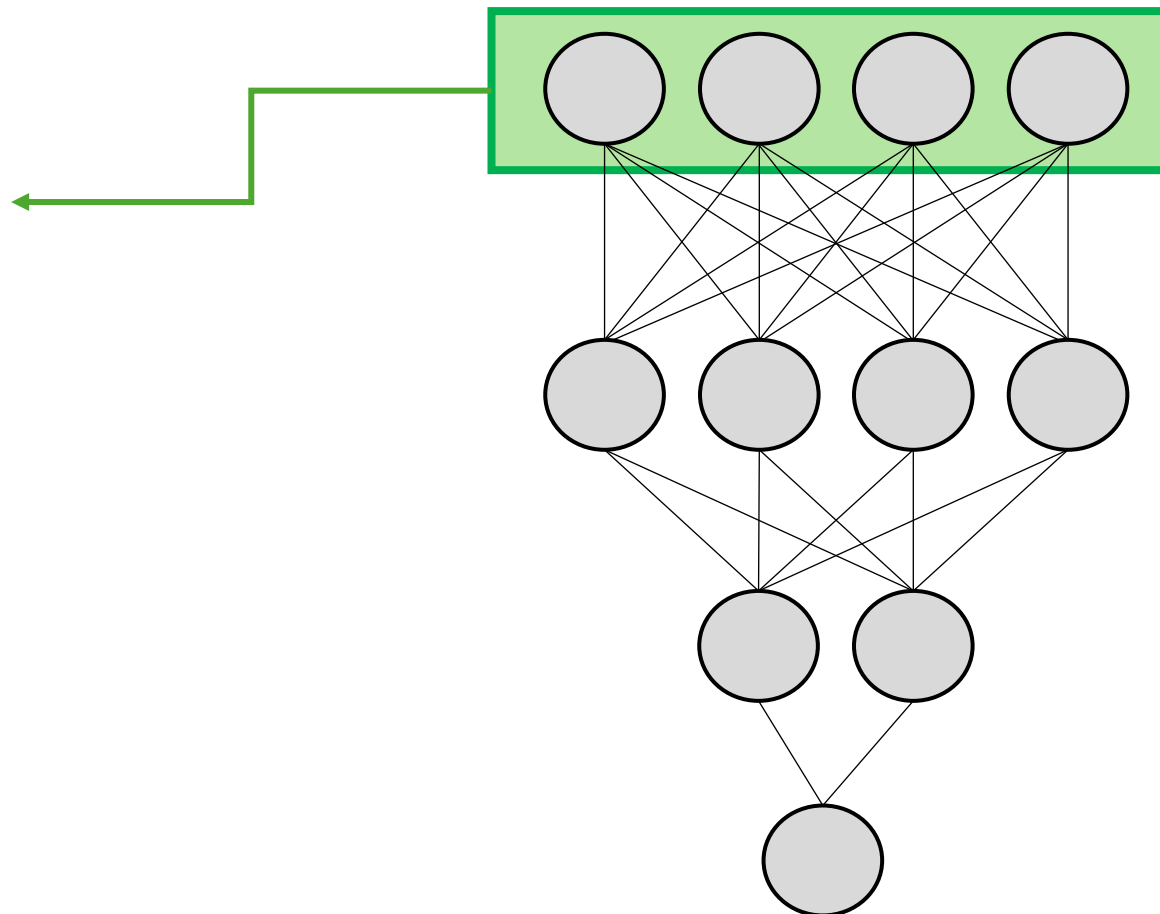


Machine learning e Rete Neurale Classica



Input Layer

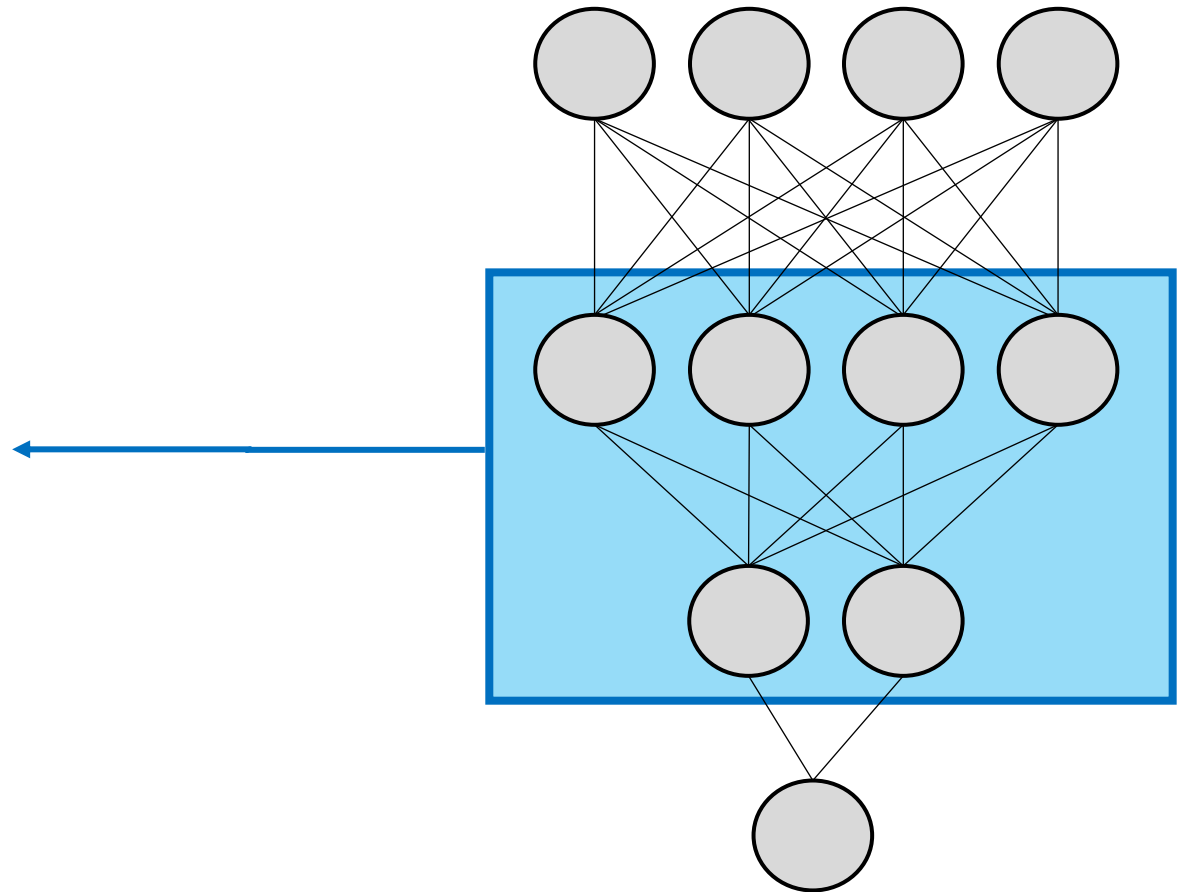
Le feature di un elemento del dataset vengono elaborate dai neuroni del layer di input



Hidden Layers

I valori di output del layer di input vengono successivamente passati ad uno o più layer nascosti.

**Maggior numero di layer e
neuroni
=
Maggior capacità di
apprendimento**

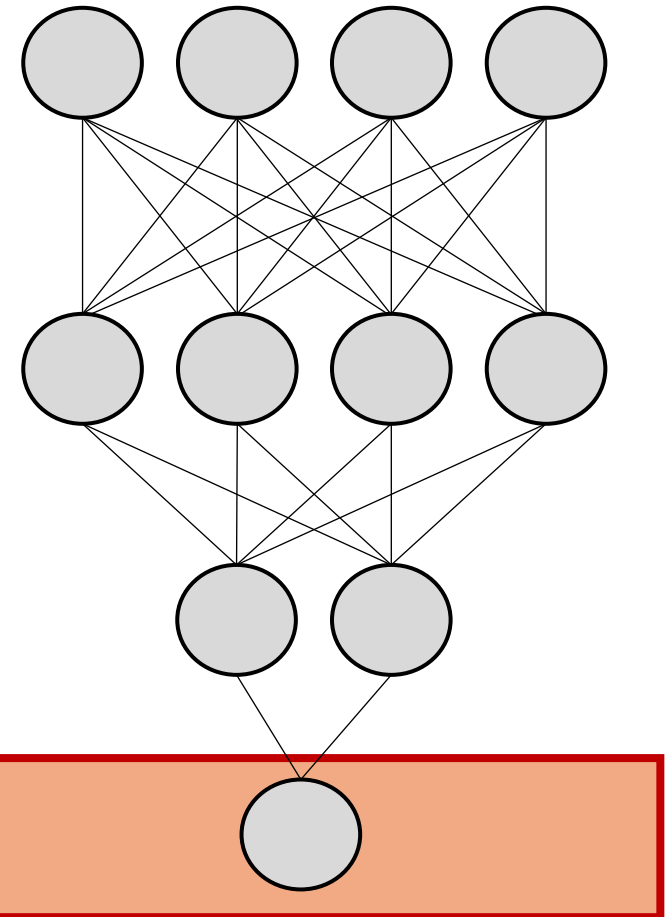


Output Layer

Il layer finale della rete è composto da un singolo neurone.

L'output della rete è un numero reale **compreso nell'intervallo $[0,1]$**

Il **valore di output** viene interpretato come la **probabilità** che l'elemento del dataset **appartenga alla classe 0 o 1**



Algoritmo di Addestramento

I parametri della rete vengono **aggiornati** Tramite l'algoritmo di **backpropagation**

Elemento del dataset

Output della rete

Aggiornamento parametri

Funzione di costo

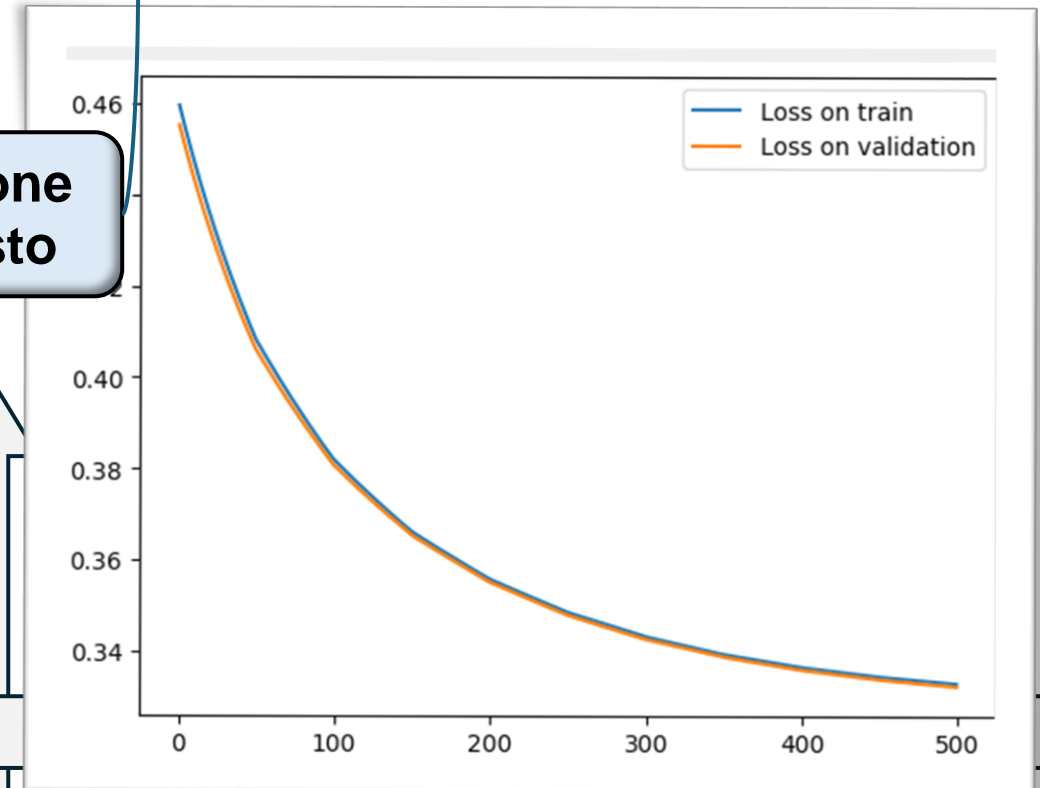
Calcolo gradienti

Vengono calcolati i **gradienti** della funzione costo rispetto i parametri

Binary Cross Entropy

Calcola l'errore tra le **predizioni (z)** del modello e i **valori target (y)**.

$$-y \log z - (1 - y) \log(1 - z)$$



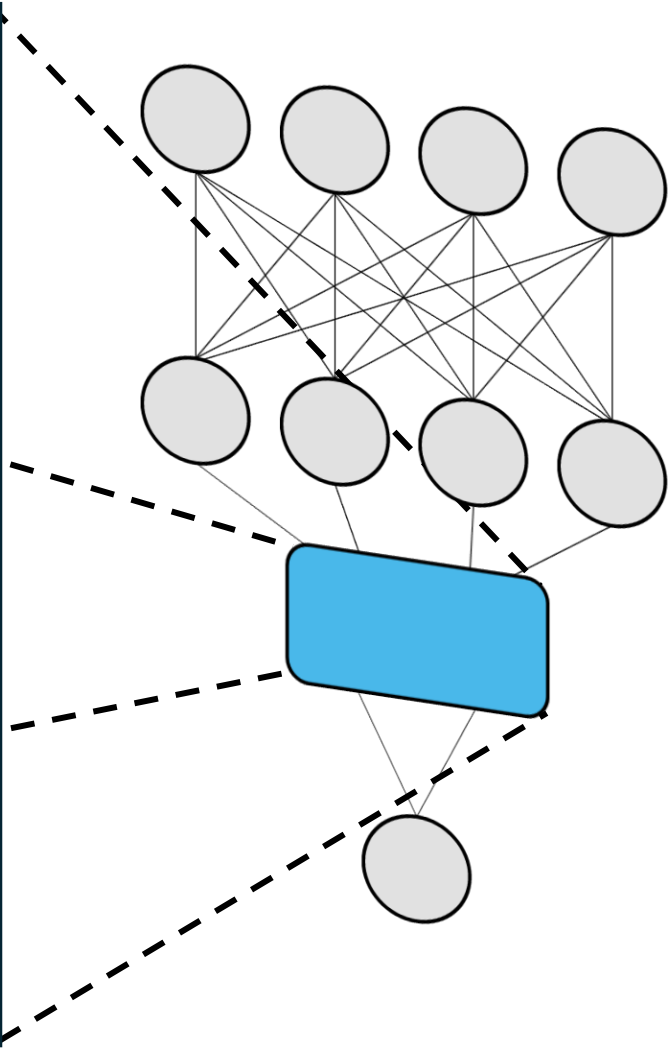
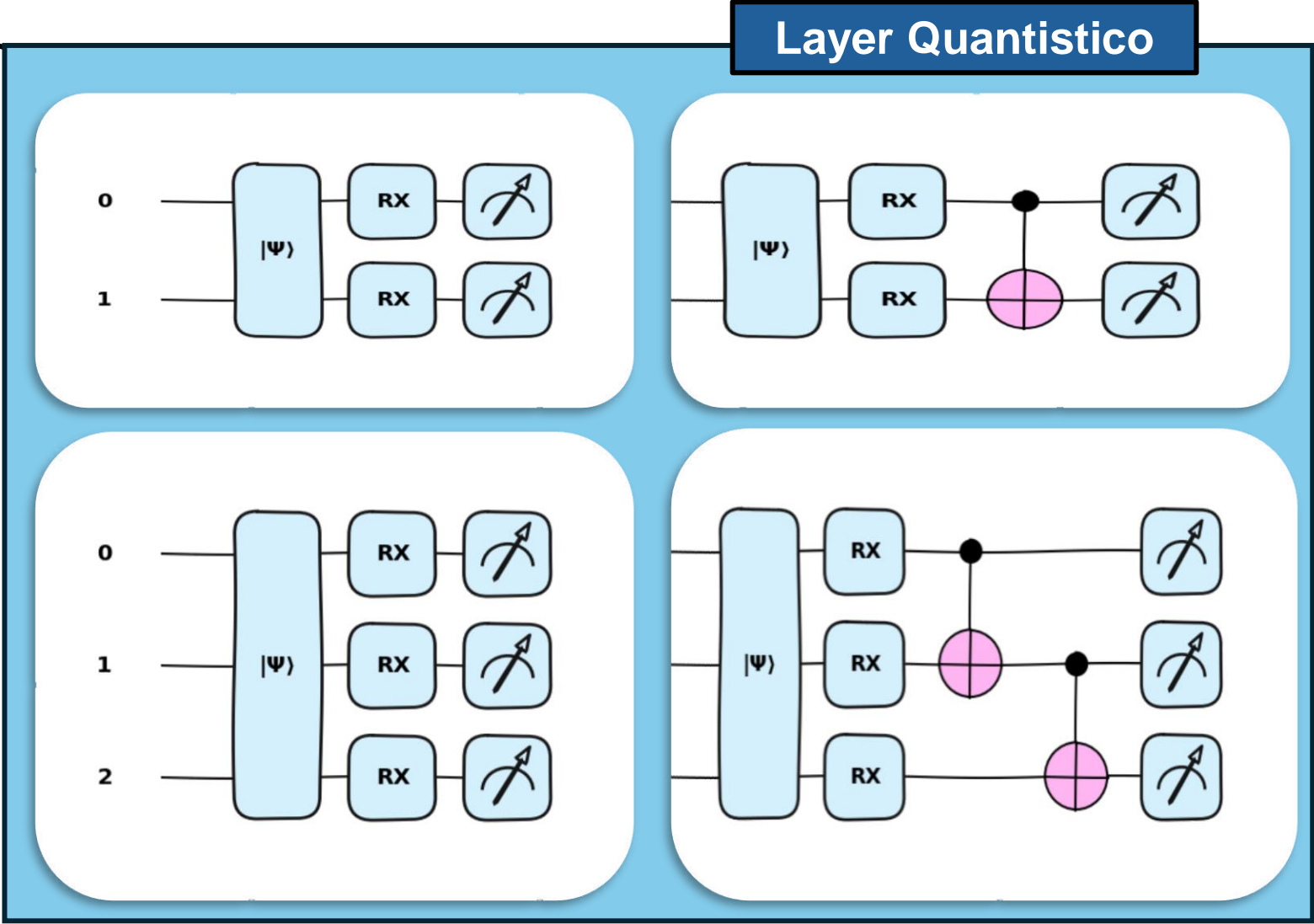
epoche

loss

Rete Neurale Ibrida

2 qubit

3 qubit

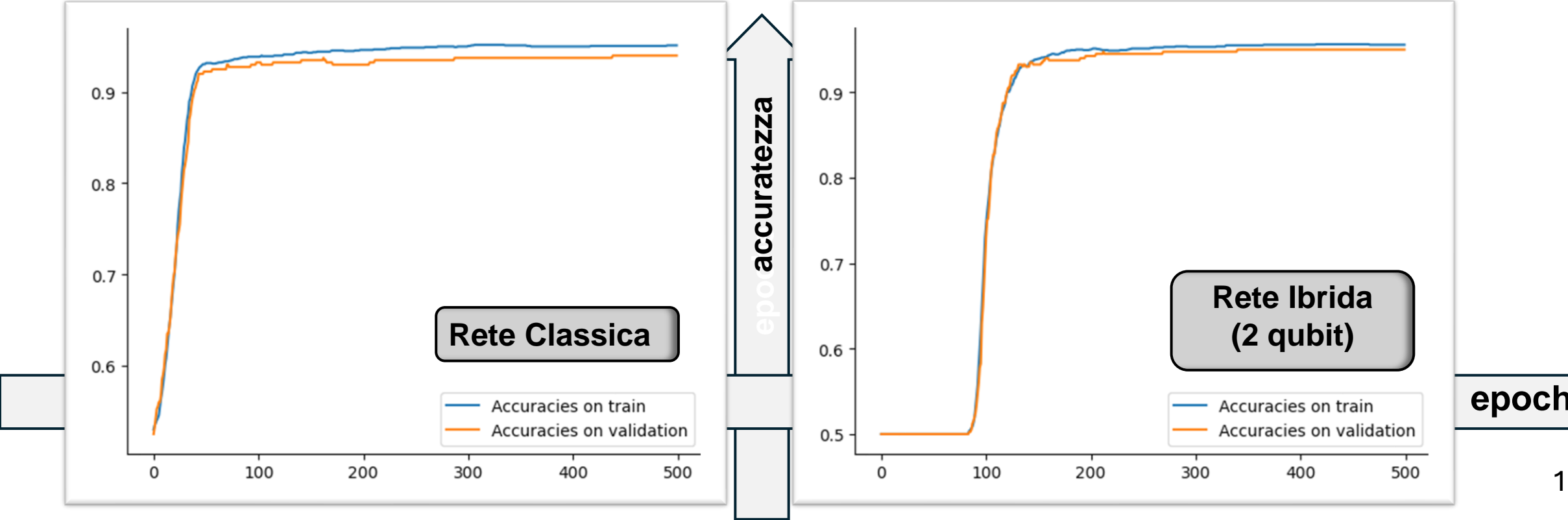


Senza
Entanglement

Con
Entanglement

Risultati

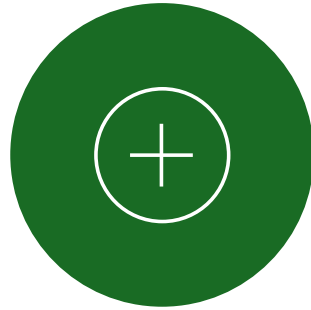
Rete neurale					
	Classica	Ibrida			
		2 qubit	2 qubit entangled	3 qubit	3 qubit entangled
Accuratezza	94.00%	95.00%	95.00%	95.75%	95.75%



Miglioramenti e prospettive future



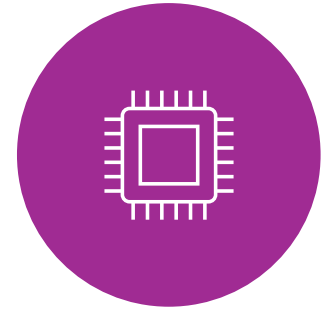
AUMENTARE LA
DIMENSIONE DEL
DATASET



AUMENTARE IL NUMERO
DI QUBIT NEL LAYER
QUANTISTICO



TESTARE LE RETI SU
DATASET PIÙ
COMPLESSI



TESTARE DISPOSITIVI
QUANTISTICI REALI

Grazie per l'attenzione