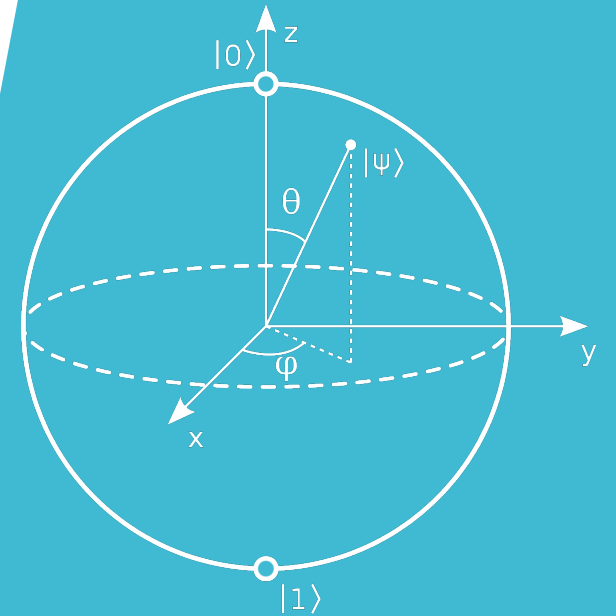


# Esperimenti su singolo qubit: implementazione e caratterizzazione di un quantum classifier



Relatore: Dr. Andrea Giachero

Correlatore: Dr. Stefano Carrazza

Candidato : Federico Galizzi

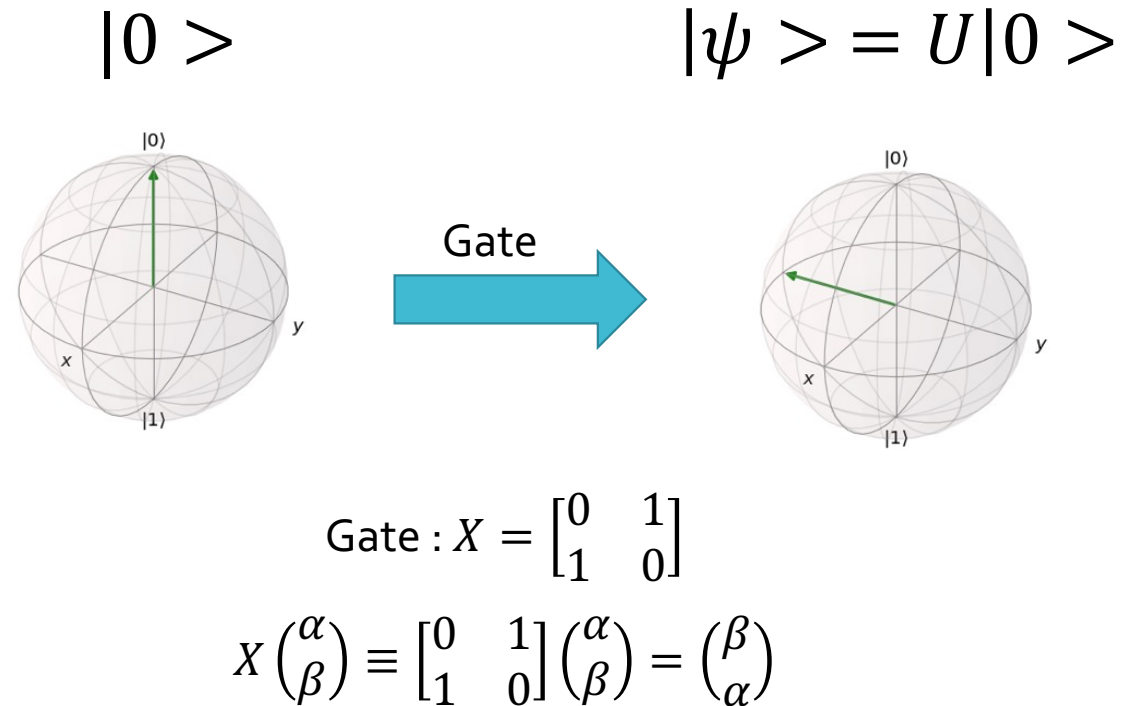
Matricola: 839936

# Sfera di Bloch

Rappresentazione grafica di uno stato  $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$

## Quantum Gates

Operatori unitari:  $U^\dagger U = \mathbb{I}$   
Gli analoghi delle porte logiche tradizionali.

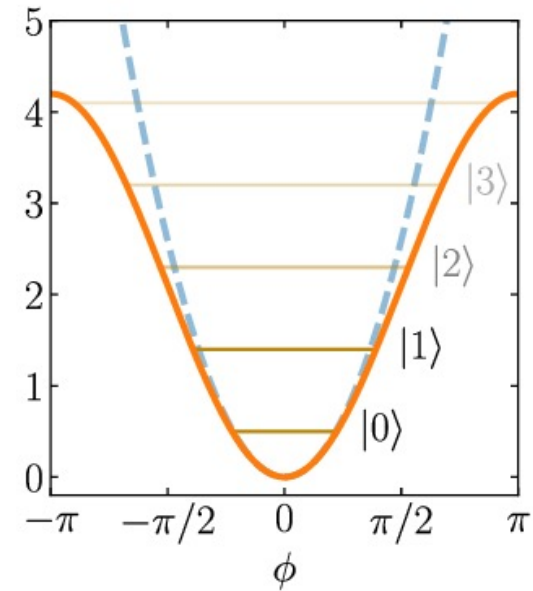
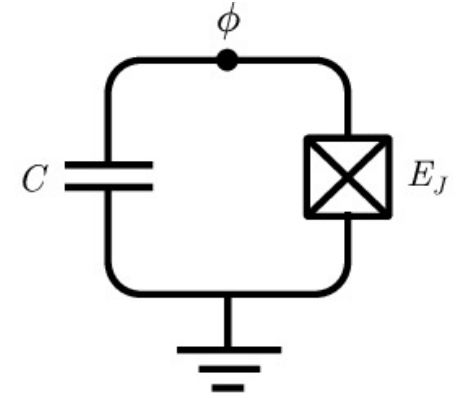
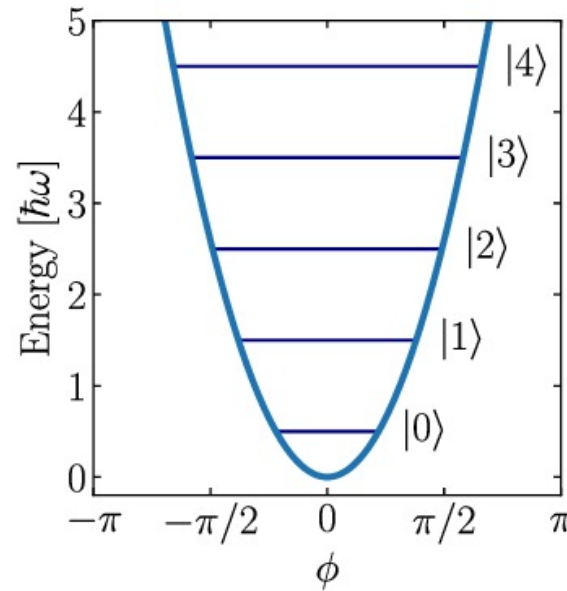
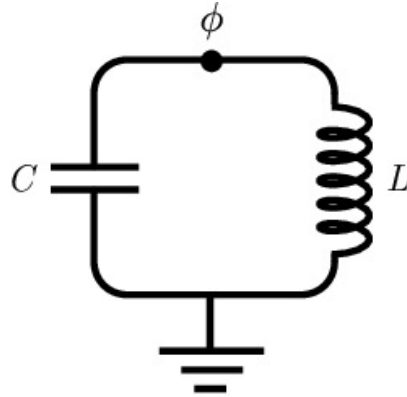


# Qubit di tipo Transmon

Qubit superconduttori: la tecnologia su cui si basano i computer quantistici di IBM.

I due livelli si ottengono sostituendo l'induttore di un circuito LC con una giunzione Josephson.

Frequenza di risonanza tra  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$  tra i 4-5 GHz



# Lavoro di Caratterizzazione di un qubit

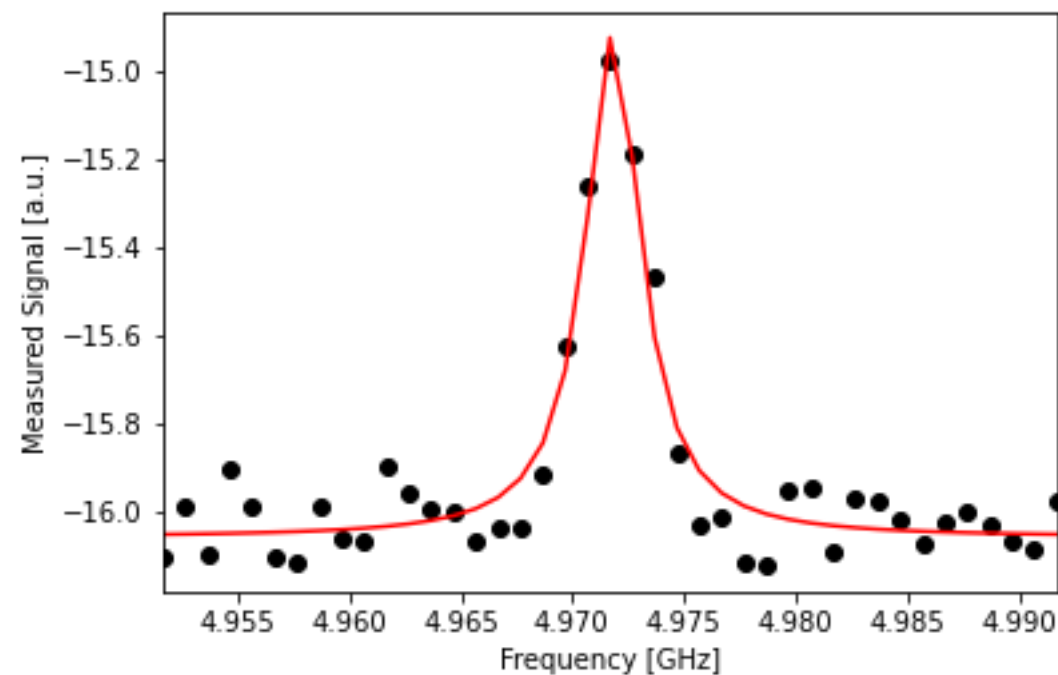
- Stima della frequenza di risonanza
- Implementazione X gate
- Discriminatore  $|0\rangle / |1\rangle$
- Stima dei tempi caratteristici  $T_1$  e  $T_2$

# Frequenza di risonanza

Per una prima stima è possibile utilizzare tecniche di spettroscopia.

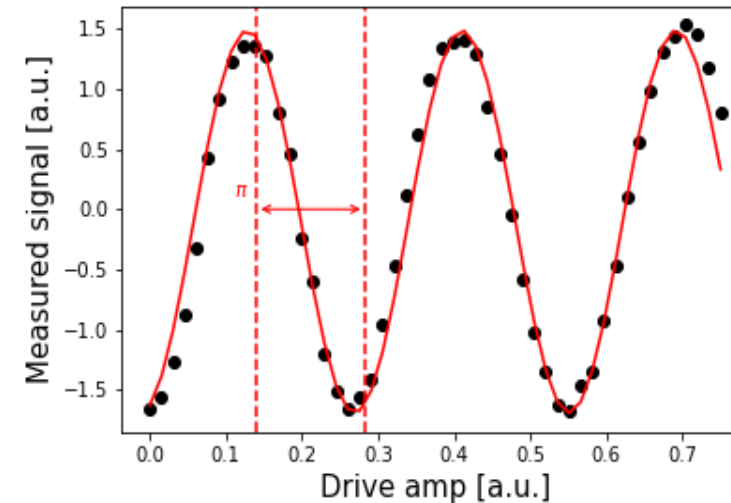
Fit dei dati effettuato con una distribuzione Lorentziana.

$$f_{approx} = 4,972 \text{ GHz}$$



# Calibrazione di impulsi

Gli impulsi inviati hanno frequenza pari a quella di risonanza (appena stimata) e sono di forma gaussiana in intensità nel dominio dei tempi.



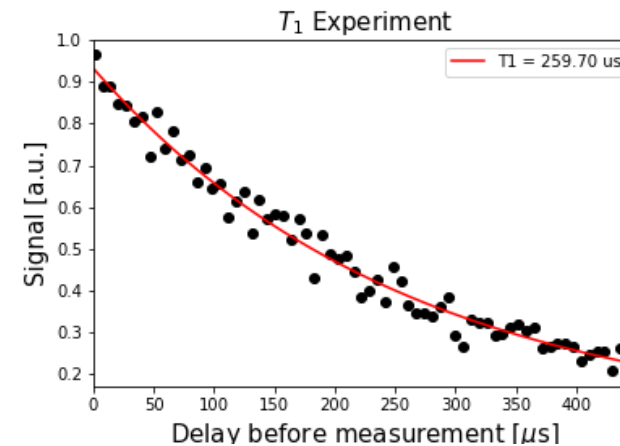
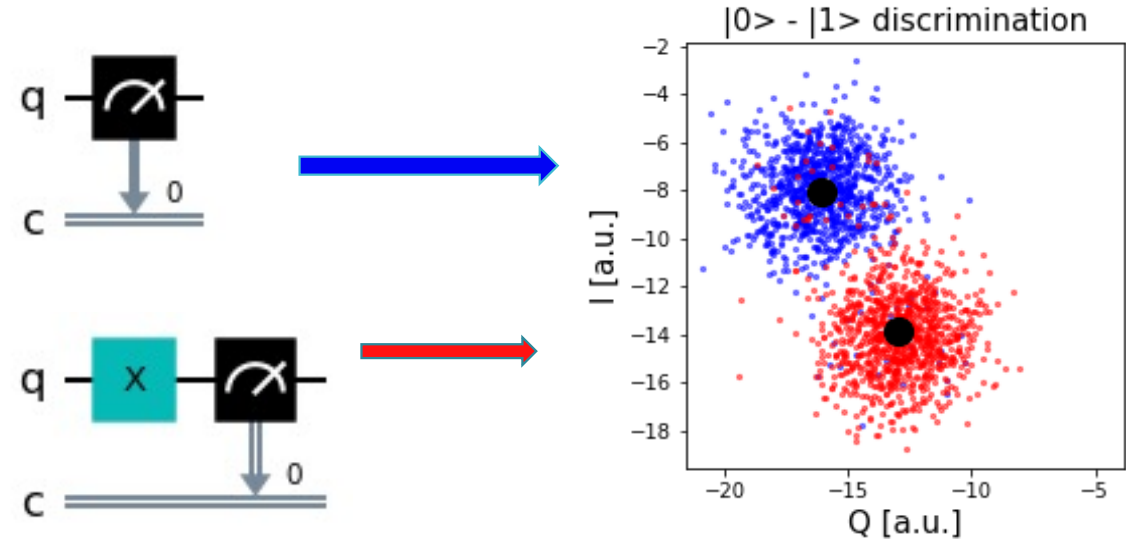
Stima dell'ampiezza ottimale per implementare un X gate ottenuta fittando i dati delle oscillazioni di Rabi

# Discriminatore $|0\rangle$ e $|1\rangle$

Dai dati ottenuti misurando uno stato inizializzato a  $|0\rangle$  (blu) e da uno ottenuto con un X gate (rosso) si discriminano stato fondamentale e eccitato.

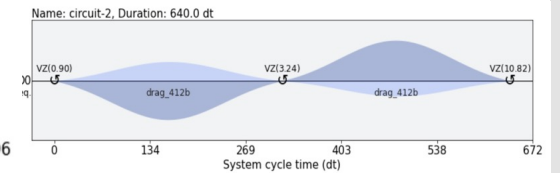
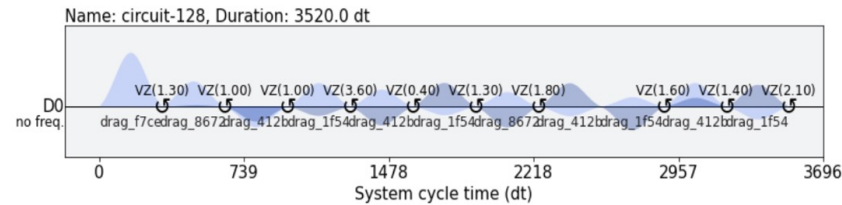
## $T_1$

Parametro stimato fittando con un esponenziale la frazione di volte in cui si ottiene  $|1\rangle$  in funzione del ritardo inserito tra X gate e misura.



# Lavoro di ottimizzazione

- Riduzione del numero di gate



- Schedulazione As Late As Possible

Per evitare di andare incontro a fenomeni di decoerenza, si lascia il qubit nello stato fondamentale per il maggior tempo possibile

- Riduzione di tempo di singolo gate

Ripercorrendo la procedura di implementazione di un X gate si è ottenuta una riduzione del tempo di esecuzione dell'80%

Durata sigma ( $\mu$ s)	Accuratezza percentuale
0,075 (preimpostato)	88,6 $\pm$ 0,2 %
0,075 (calibrato)	88,5 $\pm$ 0,2 %
0,030	88,5 $\pm$ 0,3 %
0,015	88,7 $\pm$ 0,2 %

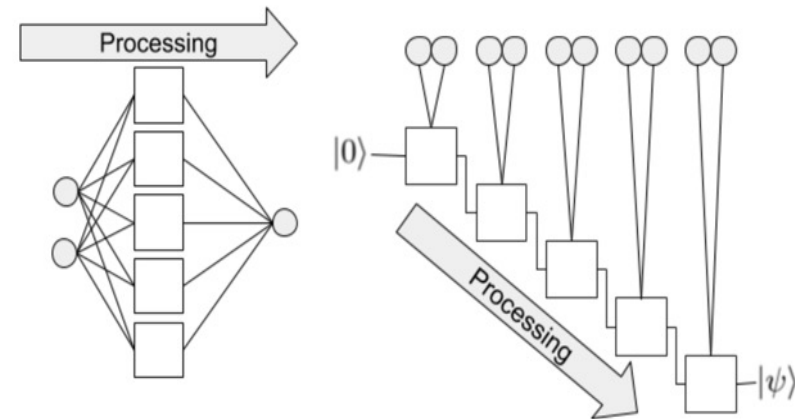


# Quantum Classifier

È possibile utilizzare un singolo qubit come classificatore universale di dati.

## Data Reuploading

Approccio utilizzato per imitare il funzionamento delle reti neurali.



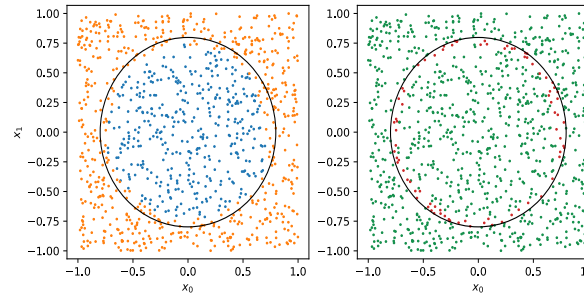
Confronto tra lo schema di una rete neurale classica e la procedura di *Data Re-Uploading*

L'esempio è stato preso da Qibo :  
[https://github.com/qiboteam/qibo/tree/master/examples/reuploading\\_classifier](https://github.com/qiboteam/qibo/tree/master/examples/reuploading_classifier)

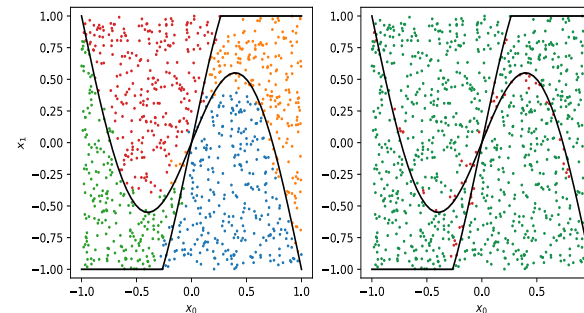
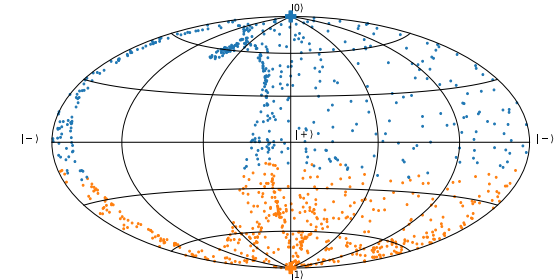
# Risultati Statevector

Risultati ottenuti da  
simulatori *ideali*.

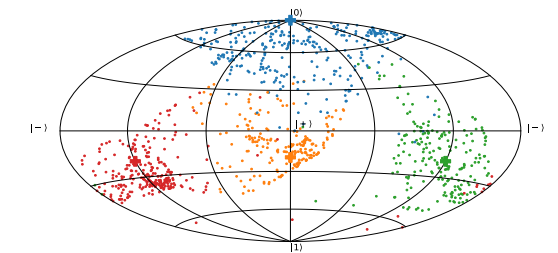
Ottimo livello di accuratezza  
nella classificazione.



Classificazione del cerchio. Accuratezza 91,2%.



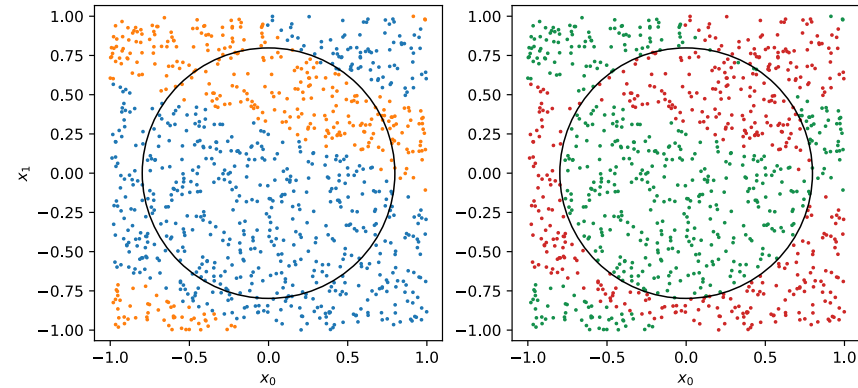
Classificazione *Wavy Lines*. Accuratezza 88,9%.



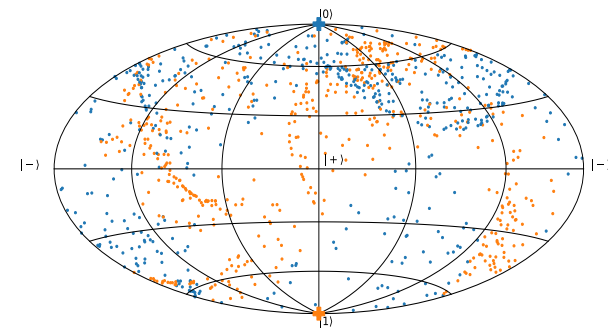
# Risultati Backend

Risultati ottenuti con simulatori di device quantistici *reali*.

Livello di accuratezza insoddisfacente.



Classificazione del cerchio. Accuratezza 56,2%.



## Sviluppi futuri

- Lavoro di ottimizzazione di tutti i gate
- Quantum Classifier su vero backend quantistico
- Tecniche di decoerenza

Grazie per l'attenzione