



UNIVERSITÀ  
DI TORINO

# Classificazione dei bosoni elettrodeboli con una rete neurale al Large Hadron Collider

6 Novembre 2024

Candidato:  
**Jacopo Lancione**

Relatore:  
**Prof. Emanuele Roberto Nocera**



# Sommario

- Introduzione
  - LHC
  - Machine Learning
- Dataset
  - Produzione dei bosoni
  - Preprocessing
- Reti Neurali
  - Architettura e principi
- Risultati
- Conclusioni



UNIVERSITÀ  
DI TORINO

# Introduzione

# Large Hadron Collider - CMS

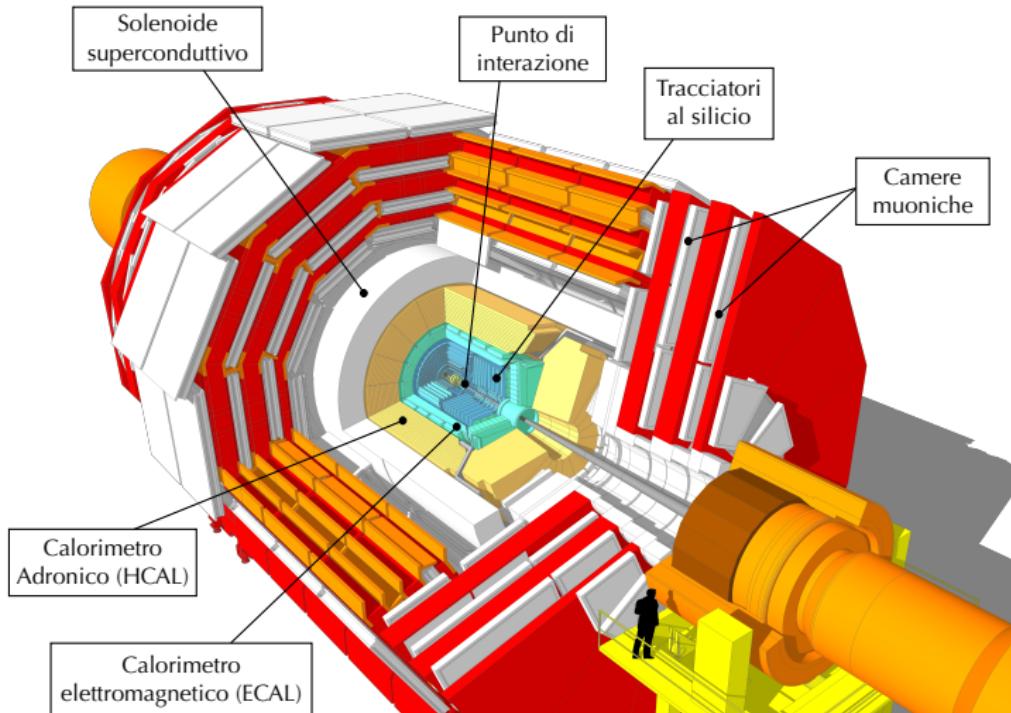
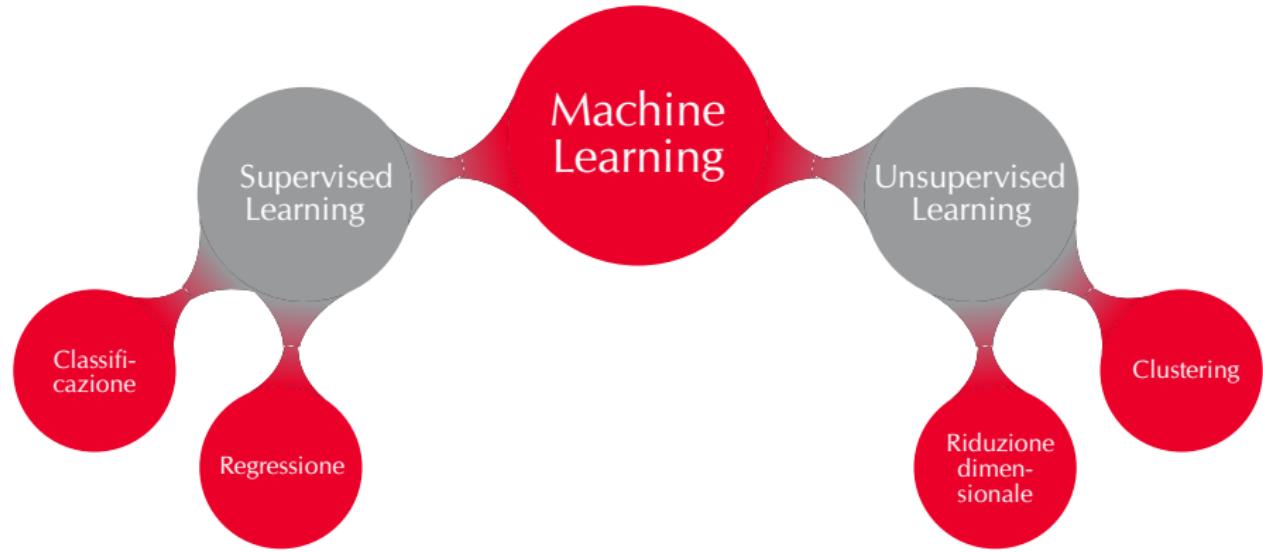
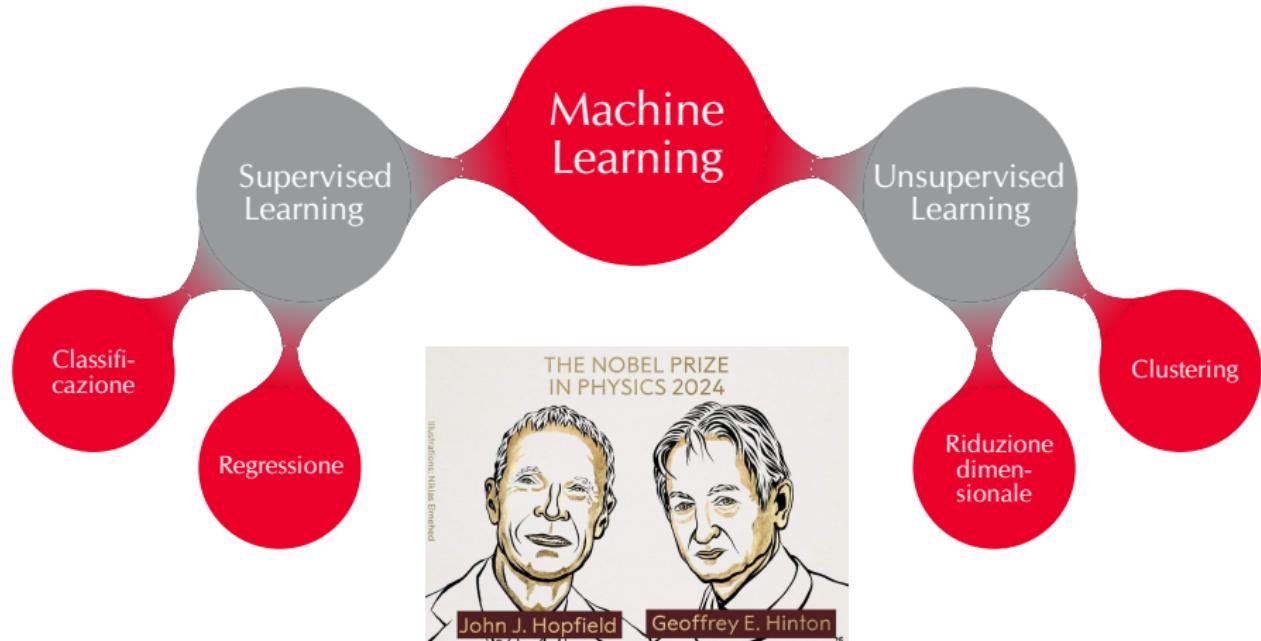


Image adapted from <https://cds.cern.ch/record/2665537>

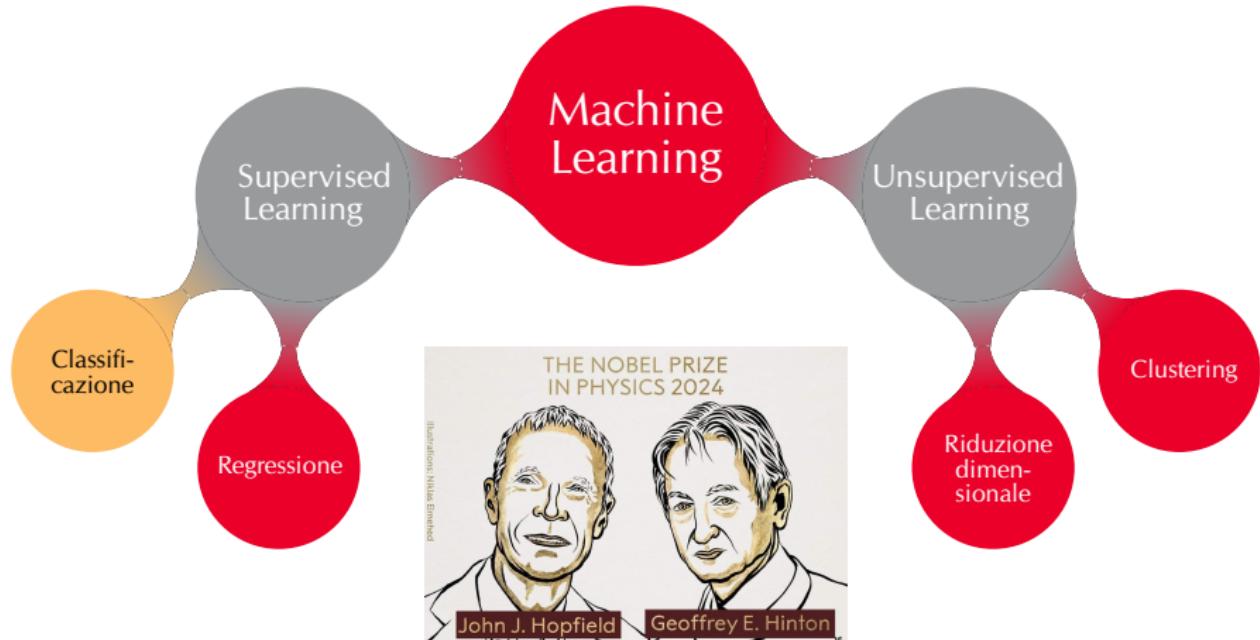
# Machine Learning: uno sguardo d'insieme



# Machine Learning: uno sguardo d'insieme



# Machine Learning: uno sguardo d'insieme



# Il Progetto di tesi

## Classificare

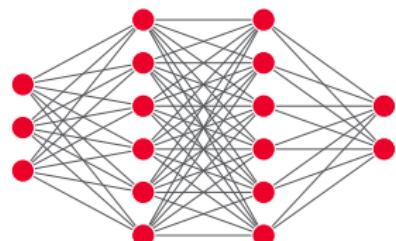
Bosoni elettrodeboli

con una

Rete neurale



Adapted from: [https://it.wikipedia.org/wiki/Modello\\_std](https://it.wikipedia.org/wiki/Modello_std)





UNIVERSITÀ  
DI TORINO

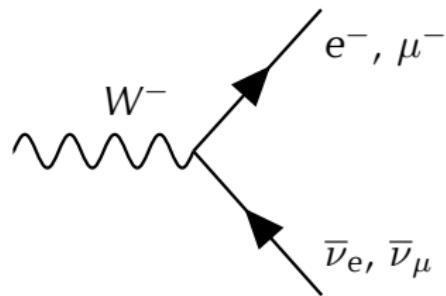
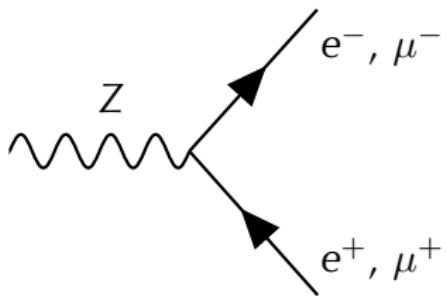
# Il Dataset

$$pp \rightarrow Z \rightarrow \ell \bar{\ell}$$

$$pp \rightarrow W \rightarrow \ell \bar{\nu}, \nu \bar{\ell}$$

$(91.188 \pm 0.002) \text{ GeV}/c^2$

$(80.369 \pm 0.013) \text{ GeV}/c^2$



# La struttura del dataset

Energia nel centro di massa  
7 TeV

- Run
- Event
- Parametri dei leptoni ( $Q$ ,  $p_t$ ,  $\eta$ ,  $\phi$ )
- Parametri del detector

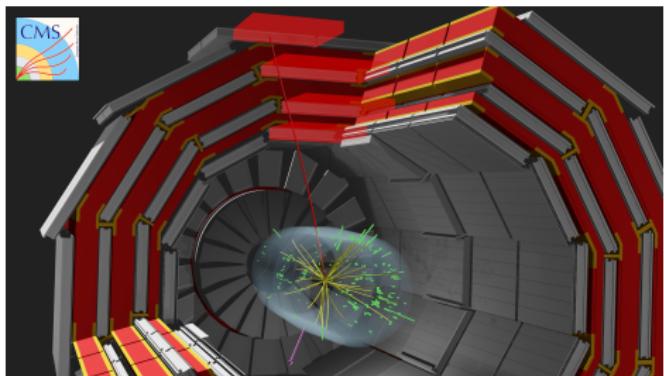


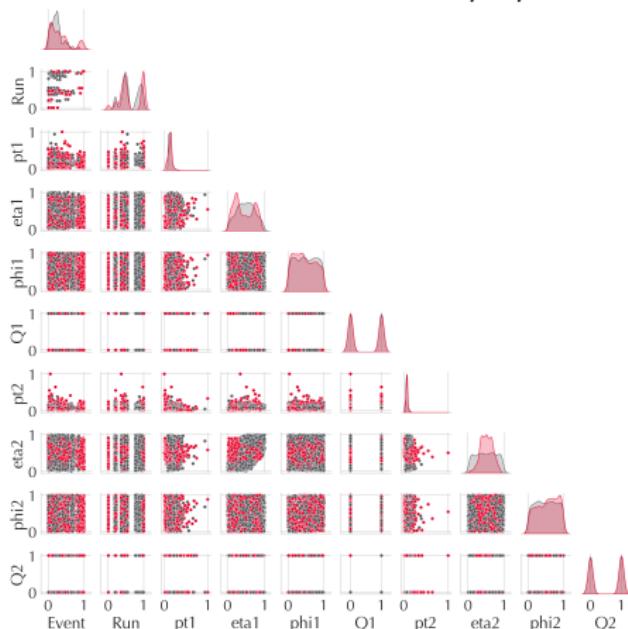
Image from: <https://cds.cern.ch/record/2909335?ln=en>

Datasets derived from the Run2011A:  
<https://opendata.cern.ch/record/545>

# Preprocessing

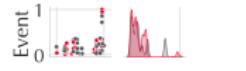
Trattamento degli outliers → Correlazioni → Normalizzazione

- $Z \rightarrow e^+ e^-$

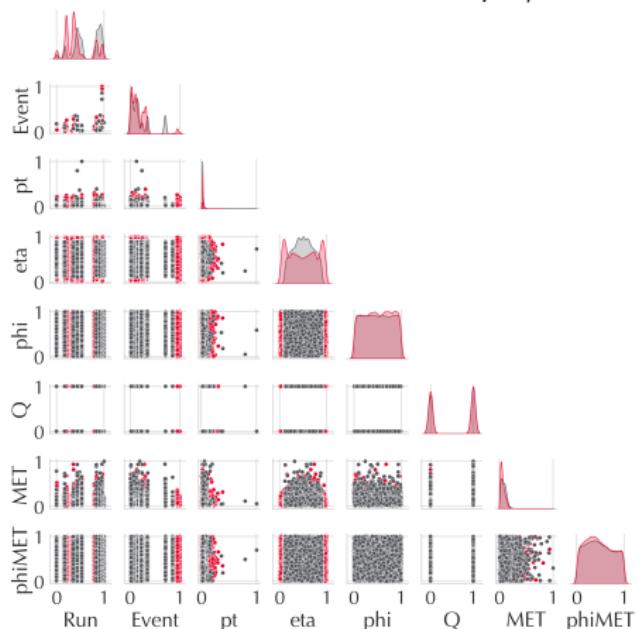


- $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$

- $W \rightarrow e \nu_e$



- $W \rightarrow \mu \nu_\mu$



# Suddivisione del dataset

## Dataset

Bisogna evitare di insegnare alla rete il rumore statistico dei dati

- Test: per verificare che la rete generalizzi
- Train: per allenare la rete
- Validation: per valutare l'allenamento della rete

# Suddivisione del dataset

T  
e  
s  
t

Bisogna evitare di insegnare alla rete il rumore statistico dei dati

- Test: per verificare che la rete generalizzi
- Train: per allenare la rete
- Validation: per valutare l'allenamento della rete

# Suddivisione del dataset



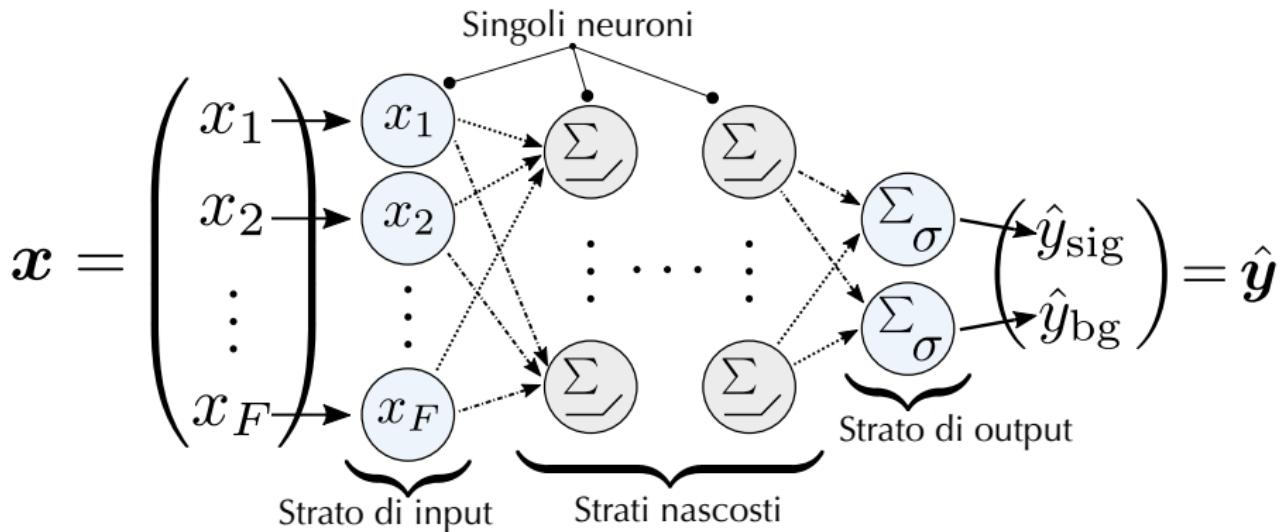
Bisogna evitare di insegnare alla rete il rumore statistico dei dati

- Test: per verificare che la rete generalizzi
- Train: per allenare la rete
- Validation: per valutare l'allenamento della rete



# Reti Neurali

# L'architettura



Adapted from: <https://github.com/ejmastnak/fmf-seminar/blob/main/media/vector/fcn-architecture-simple.pdf>

# Loss function

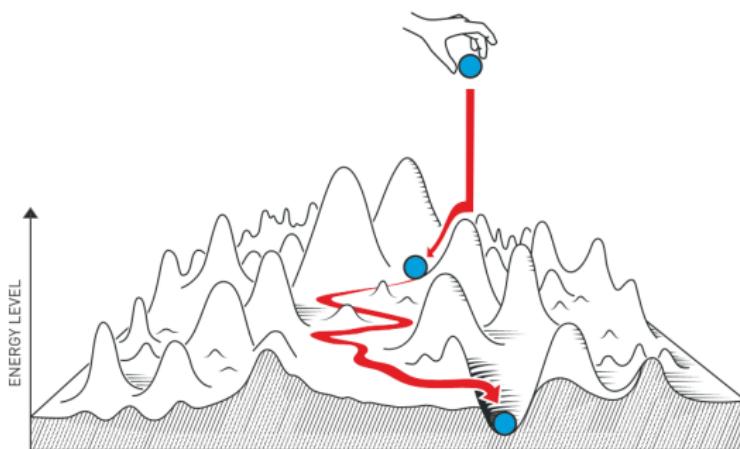
## Algoritmi di ottimizzazione



UNIVERSITÀ  
DI TORINO

$$P(\mathcal{D}|\mathbf{w}) = \prod_{i=1}^n q(x_i|\mathbf{w})^{p(x_i)} (1 - q(x_i|\mathbf{w}))^{1-p(x_i)}$$

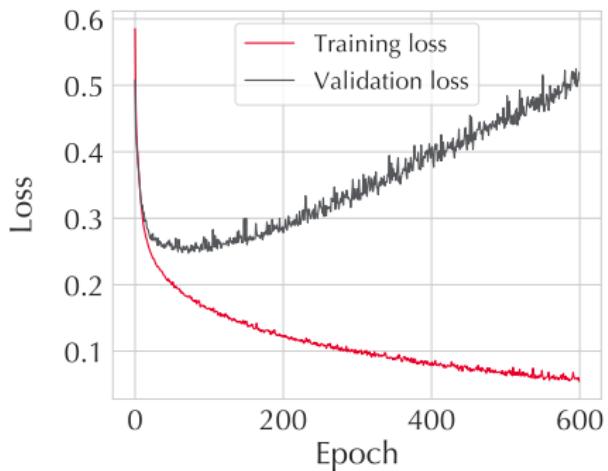
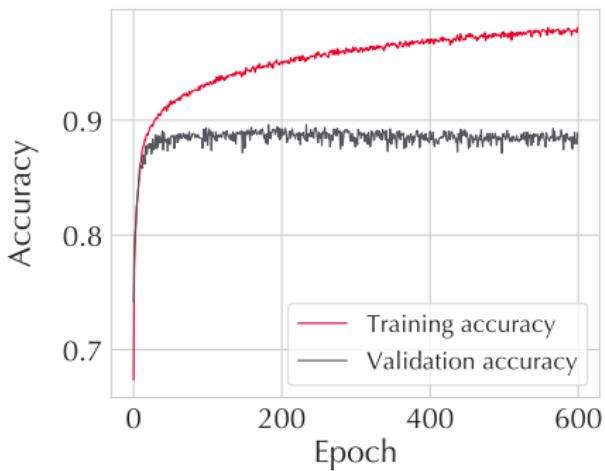
$$\rightsquigarrow H(p, q) = - \sum_{i=1}^n p(x) \log q(x)$$



©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

- Gradient Descent
- RMS
- Adam
- Nadam
- ...

# Overfitting





UNIVERSITÀ  
DI TORINO

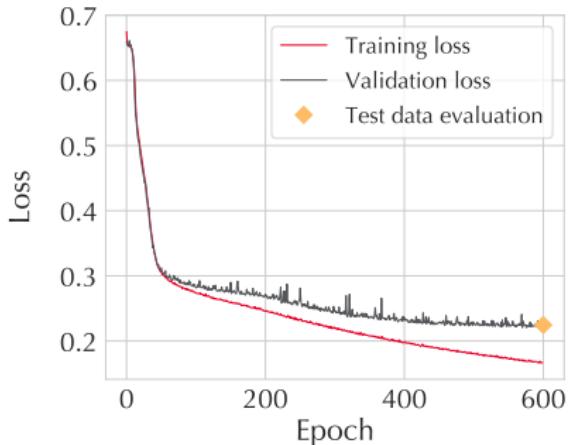
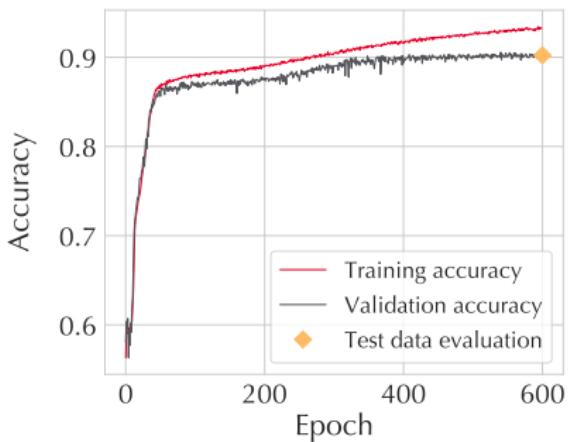
# Risultati

# Risultati - Dataset Z

architettura: (64,64)

algoritmo: Adam

attivazione: sigmoide



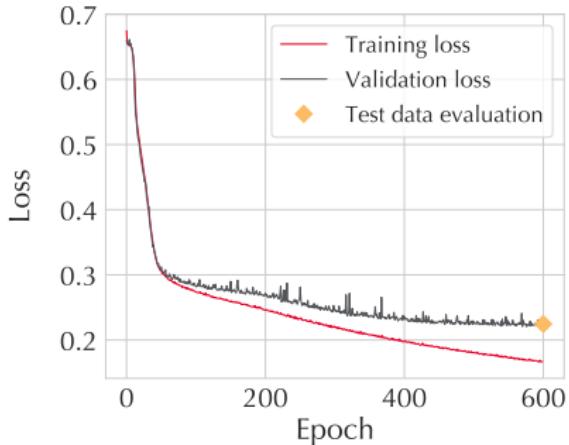
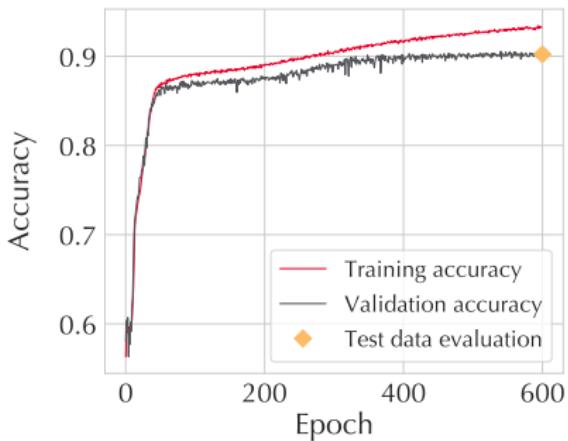
[ [https://github.com/jlancione/thesis\\_notebooks](https://github.com/jlancione/thesis_notebooks) ]

## Risultati - Dataset Z

architettura: (64,64)

algoritmo: Adam

attivazione: sigmoide



Il modello generalizza al test set

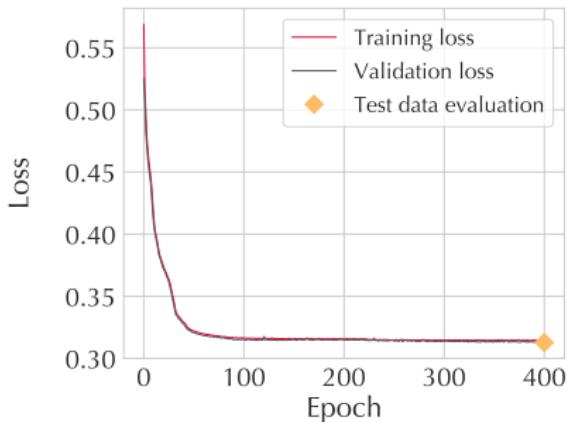
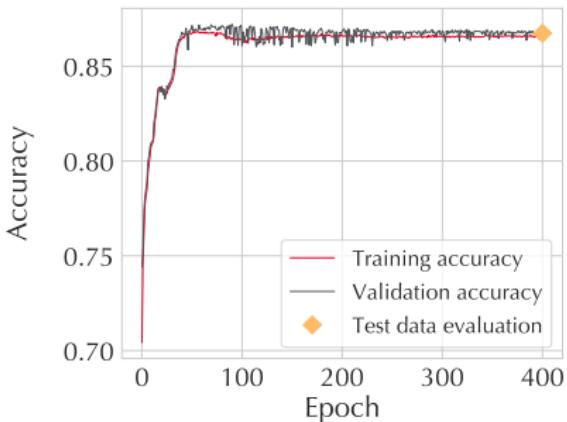
[ [https://github.com/jlancione/thesis\\_notebooks](https://github.com/jlancione/thesis_notebooks) ]

## Risultati - Dataset W

architettura: (6,6)

algoritmo: Adam

attivazione: relu



Il modello generalizza al test set

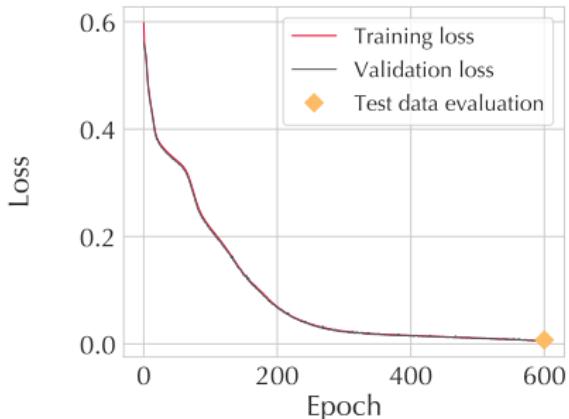
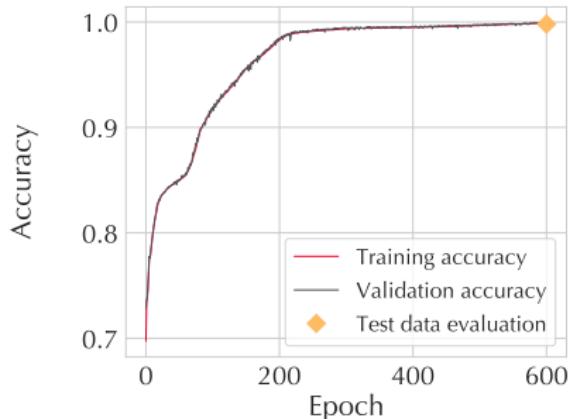
[ [https://github.com/jlancione/thesis\\_notebooks](https://github.com/jlancione/thesis_notebooks) ]

## Risultati - Dataset W

architettura: (24,12,24)

algoritmo: Adam

attivazione: sigmoide



Il modello generalizza al test set

[ [https://github.com/jlancione/thesis\\_notebooks](https://github.com/jlancione/thesis_notebooks) ]



UNIVERSITÀ  
DI TORINO

---

# Conclusioni

# Conclusioni

- Le reti neurali si prestano molto bene all'identificazione di particelle
- L'allenamento è efficace perché **generalizza** al test set
- Ho identificato una classe di **modelli equivalenti**

Ulteriori sviluppi:

- Combinare i dataset rimuovendo le labels per allenare una rete a distinguere i bosoni tra loro
- Utilizzare una di queste reti come modello generativo per simulare decadimenti

# Conclusioni

- Le reti neurali si prestano molto bene all'identificazione di particelle
- L'allenamento è efficace perché **generalizza** al test set
- Ho identificato una classe di **modelli equivalenti**

Ulteriori sviluppi:

- Combinare i dataset rimuovendo le labels per allenare una rete a distinguere i bosoni tra loro
- Utilizzare una di queste reti come modello generativo per simulare decadimenti

Grazie