



# **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



UNIVERSITÀ  
DI TORINO

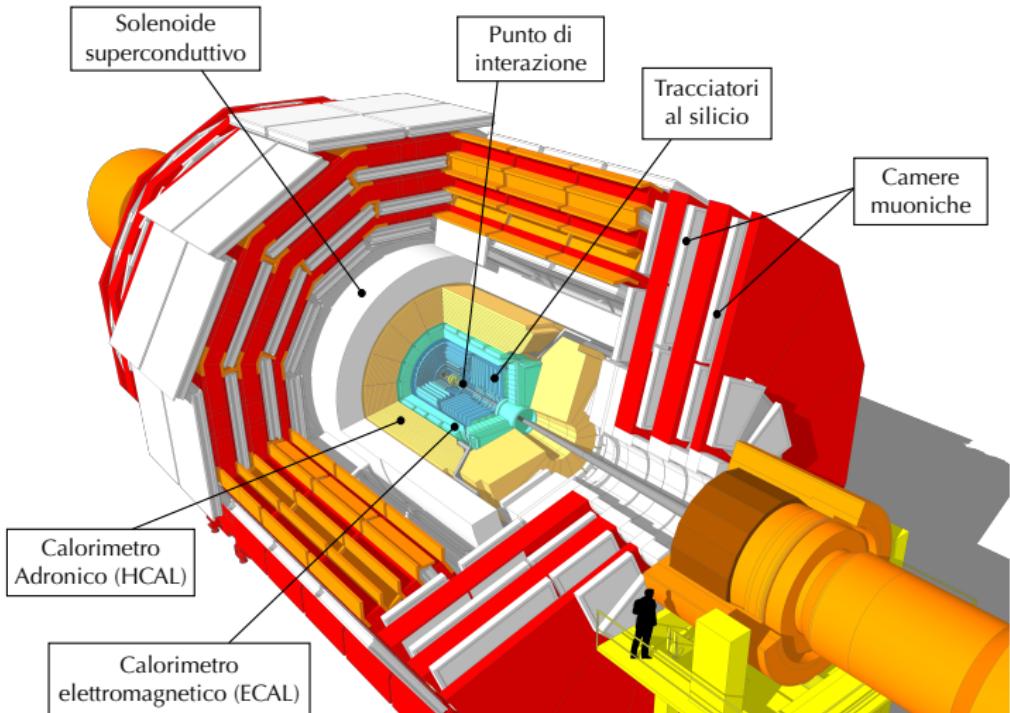
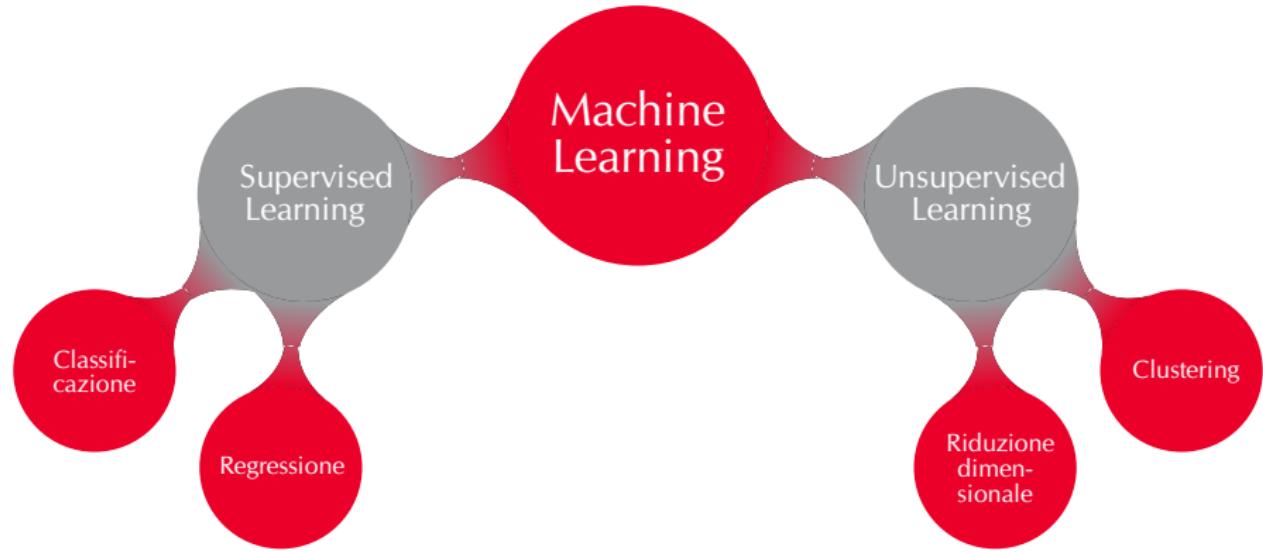
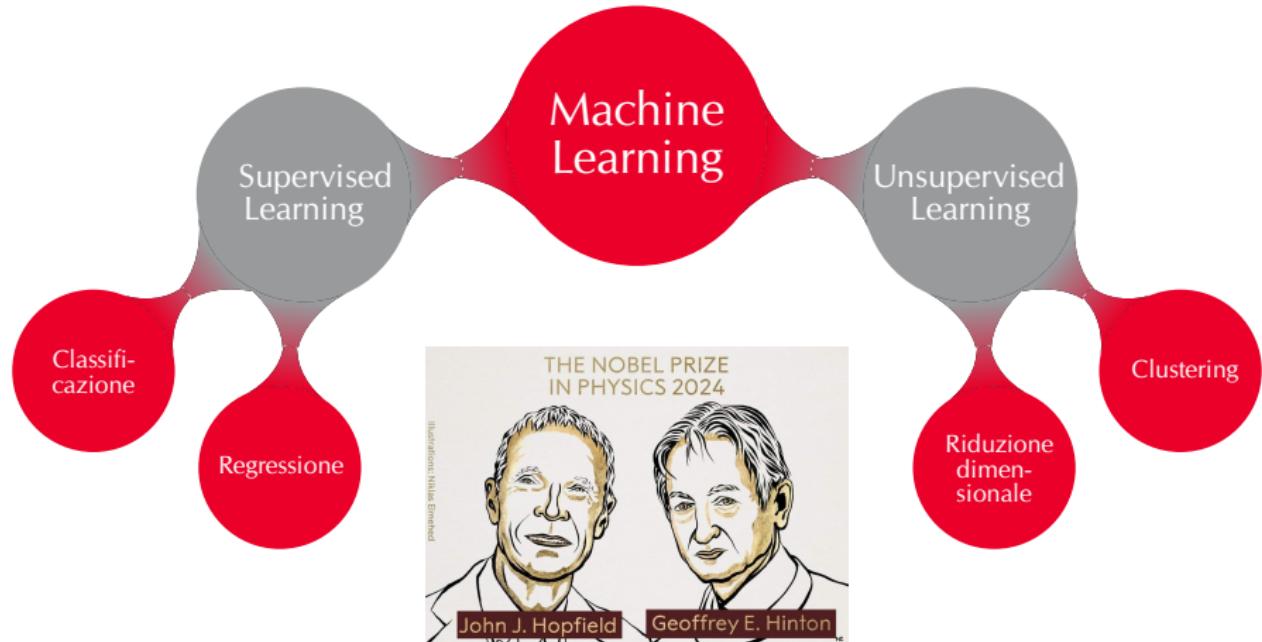


Image adapted from <https://cds.cern.ch/record/2665537>

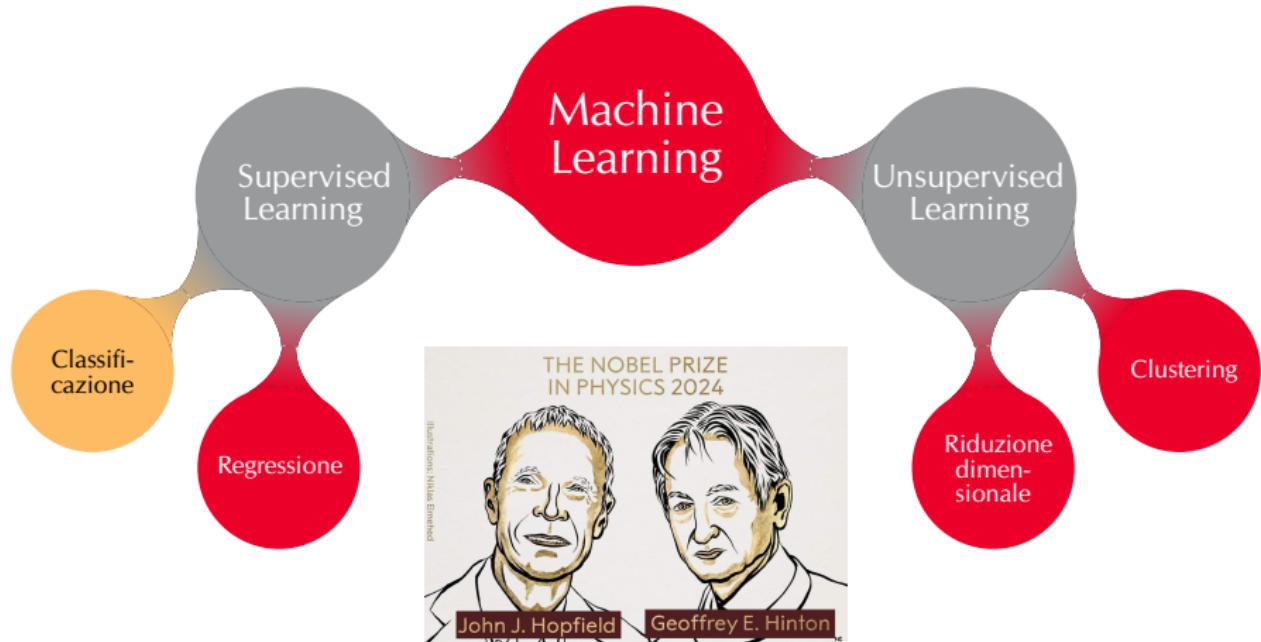
# Machine Learning: uno sguardo d'insieme



# Machine Learning: uno sguardo d'insieme



# Machine Learning: uno sguardo d'insieme



# Il Progetto di tesi

## Classificare

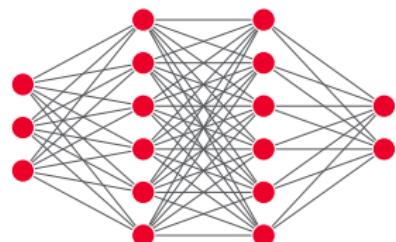
Bosoni elettrodeboli

con una

Rete neurale



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





UNIVERSITÀ  
DI TORINO

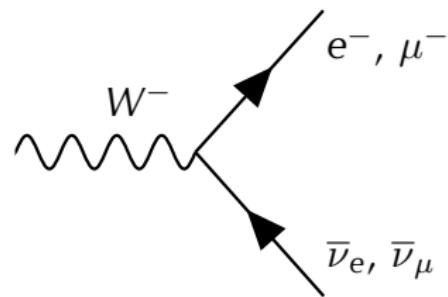
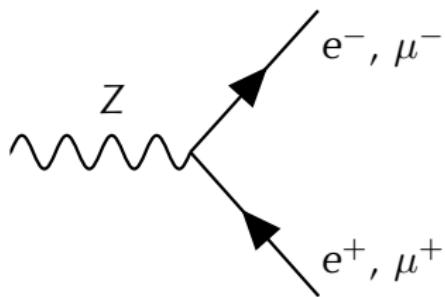
# Il Dataset

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

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

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

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



# La struttura del dataset

Energia nel centro di massa  
7 TeV

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

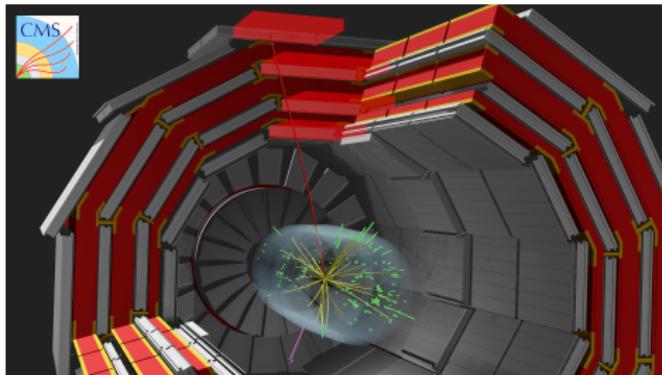


Image from: <https://cds.cern.ch/record/2909335?ln=en>

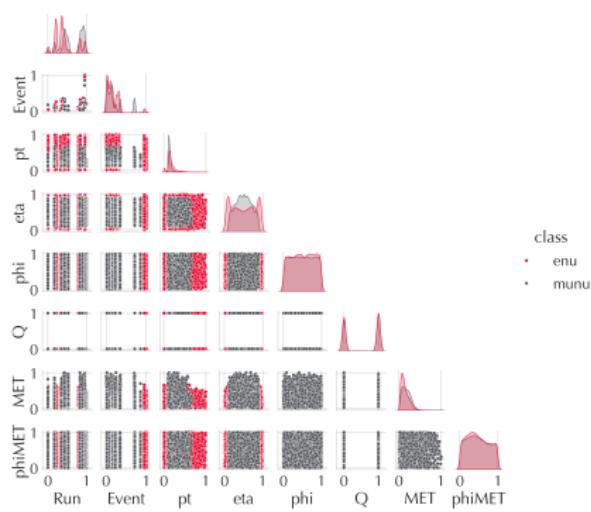
Datasets derived from the Run2011A:  
<https://opendata.cern.ch/record/545>

# Preprocessing

Trattamento degli outliers → Correlazioni → Normalizzazione



class  
• muumu  
• ee



class  
• enu  
• munu

## 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



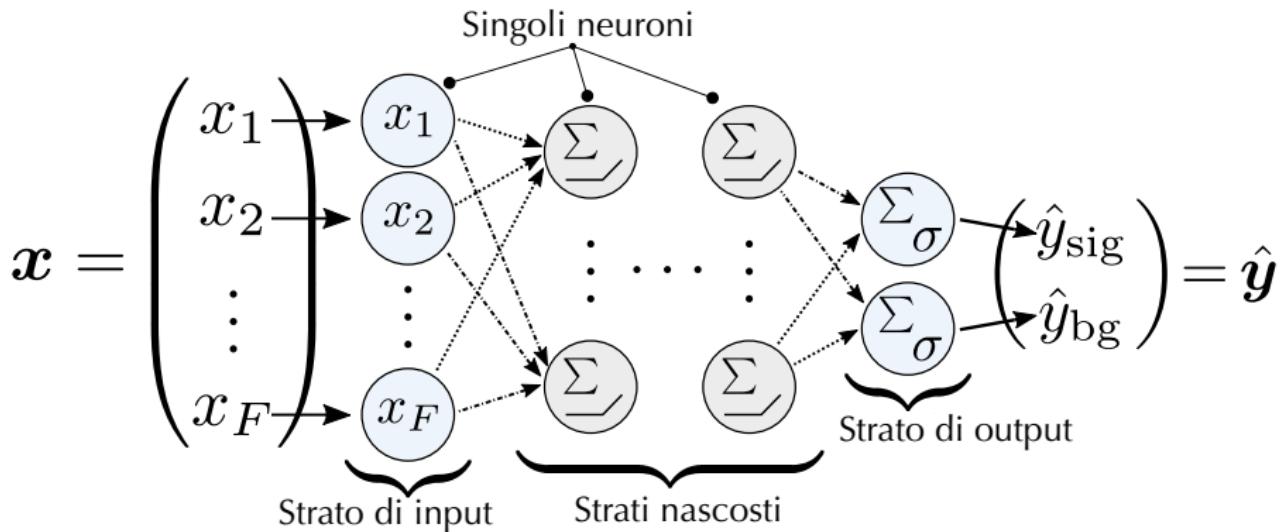
Bisogna evitare di insegnare alla rete il rumore statistico dei dati

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



UNIVERSITÀ  
DI TORINO

# Reti Neurali



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

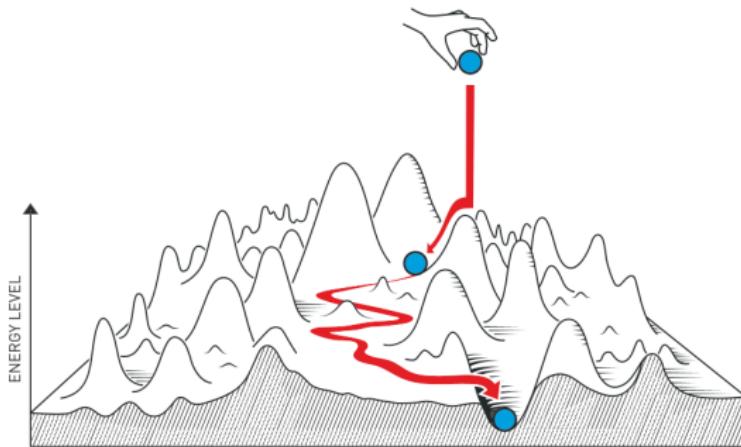
# Loss function

## Algoritmi di ottimizzazione



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

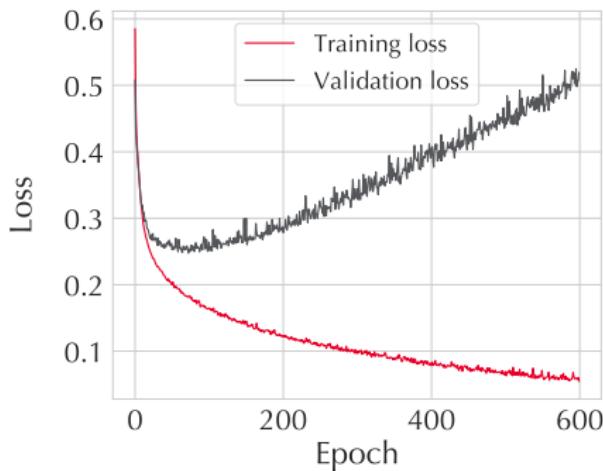
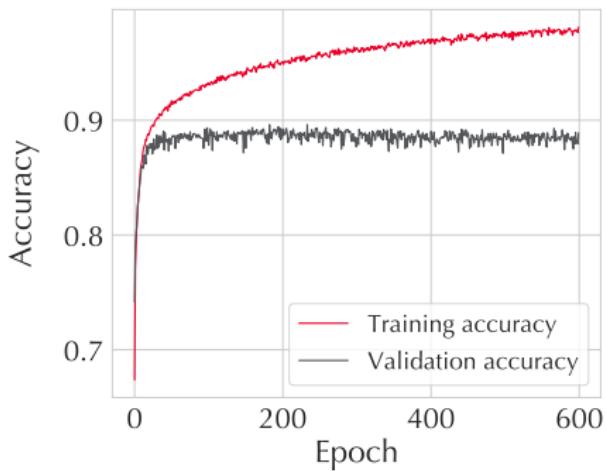
$$\rightsquigarrow H(p, q) = - \sum_{i=1}^n p(x) \log q(x)$$



©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

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

# Overfitting



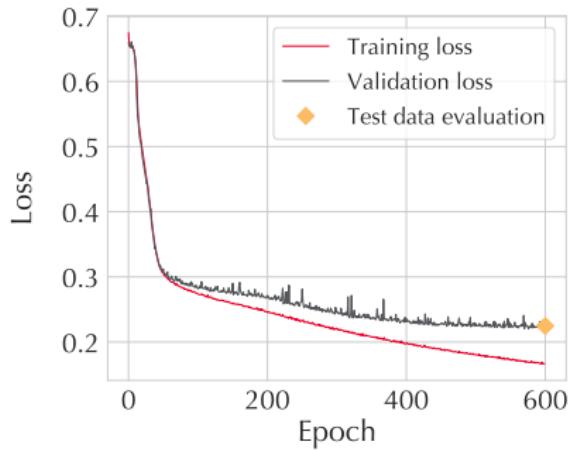
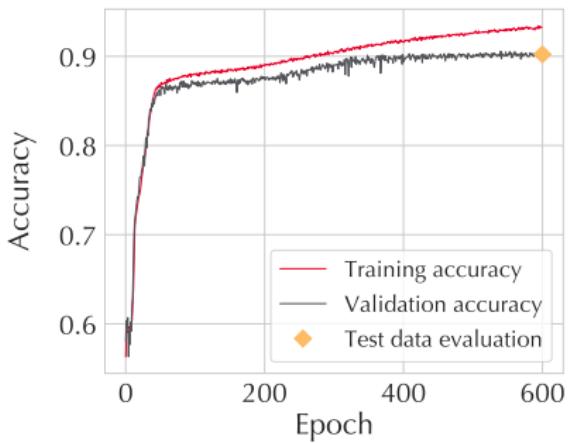


UNIVERSITÀ  
DI TORINO

# Risultati

# Risultati

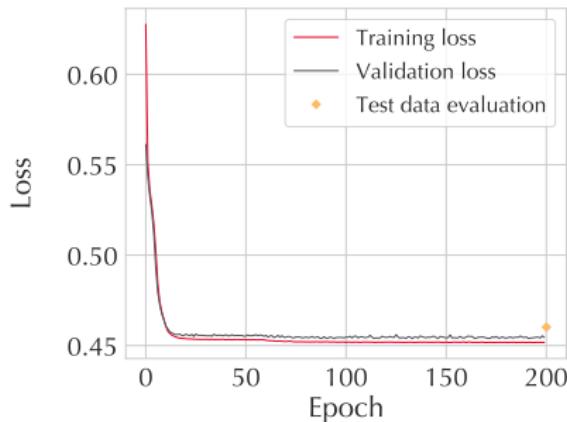
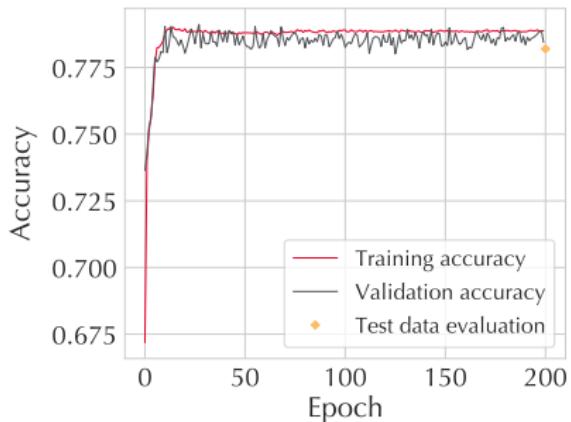
Z: (64,64), algoritmo: Adam, attivazione: sigmoide



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

# Risultati

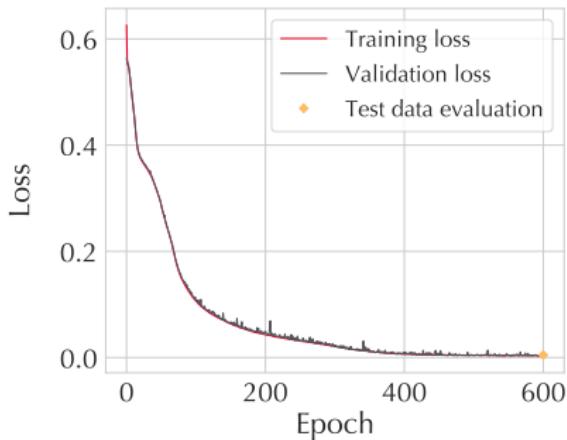
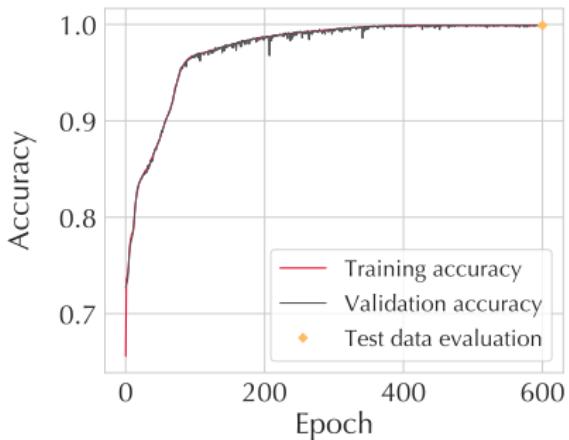
W: (3,3), algoritmo: Adam, attivazione: relu



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

# Risultati

W: (24,12,24), algoritmo: Adam, attivazione: sigmoide



[ [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