



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

Dipartimento  
di Ingegneria Gestionale,  
dell'Informazione e della Produzione

# Tecniche per il monitoraggio, tramite una rete neurale artificiale, della respirazione durante la ventilazione meccanica

## CANDIDATO

Piffari Michele  
Matricola: 1040658

Corso di laurea in  
Ingegneria Informatica

## RELATORE

Prof. Angelo Gargantini

## DATA

30.03.2021

# Sommario

- MVM: Milano Ventilatore Meccanico
- MVM: la ventilazione
- MVM: la ventilazione adattiva
- CNN: workflow
- Dataset
  - Labelling
  - Pre-processing
- Model design
  - UNET
  - Single Output Model
- Risultati
- Predizioni



# MVM: Milano Ventilatore Meccanico

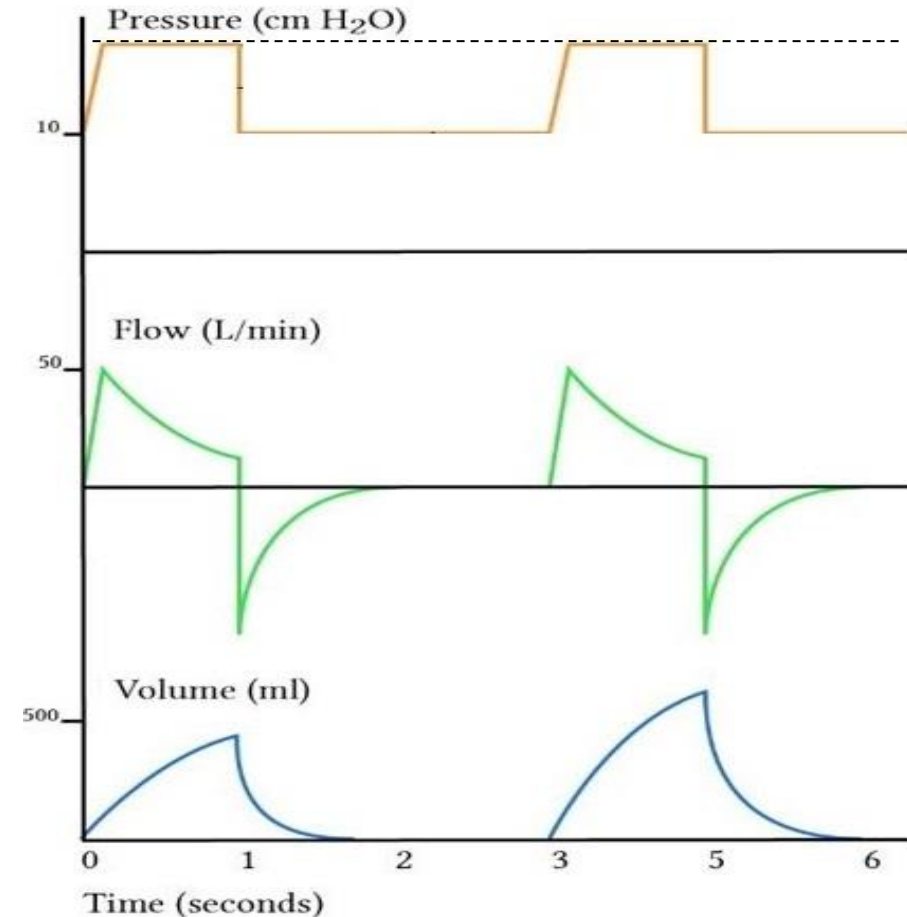


- Contesto della pandemia da COVID-19: una percentuale importante di chi contrae il covid sviluppa **complicanze polmonari**. Questo ha perciò causato:
  - **Troppi** pazienti
  - **Pochi** ventilatori
- I ventilatori presenti sul mercato sono costosi e sofisticati;
- Obiettivo MVM
  - Progettare/Sviluppare/Costruire
  - Certificareun ventilatore **sicuro**, con design **semplice** e sfruttando componenti **poco costosi** e **facilmente reperibili**;

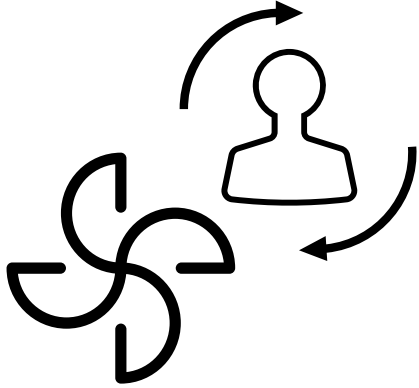


# MVM: la ventilazione

- MVM adotta un controllo in **pressione** per non danneggiare ulteriormente i polmoni;
- MVM presenta inoltre:
  - **PCV** (Pressure Controlled Ventilation);
  - **PSV** (Pressure Supported Ventilation)
    - Con garanzia di una ventilazione di backup;



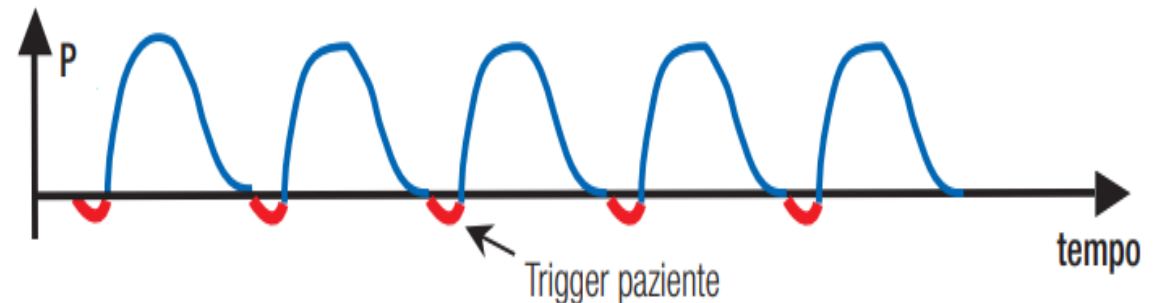
# MVM: la ventilazione adattiva



- Trigger inspiratorio
  - Avvallamento nella curva di **pressione**;
- Trigger espiratorio
  - Istante in cui la curva di flusso **cambia segno**, assumendo valori negativi;

Ma..

- Necessità di un continuo **controllo visivo** da parte dell'operatore per l'analisi di presenze di **asincronismi** paziente/ventilatore;
- **Threshold** da definire arbitrariamente;



# Workflow

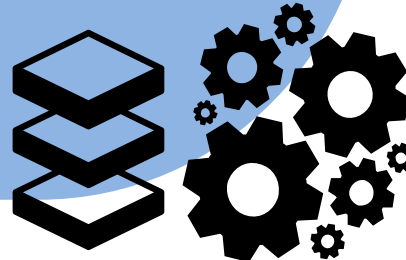
Dati

- Analisi/sceita dataset
- Pulizia
- Etichettatura
- Composizione



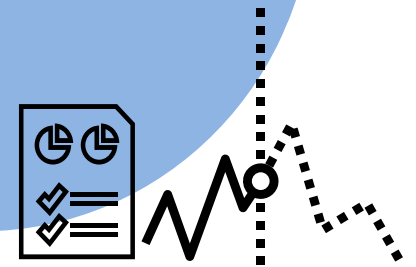
Design

- Design del modello
- Train



Validazione

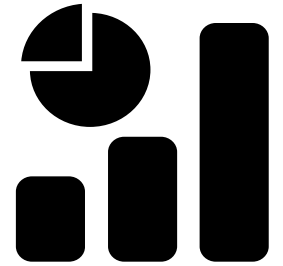
- Analisi metriche
- Predizione



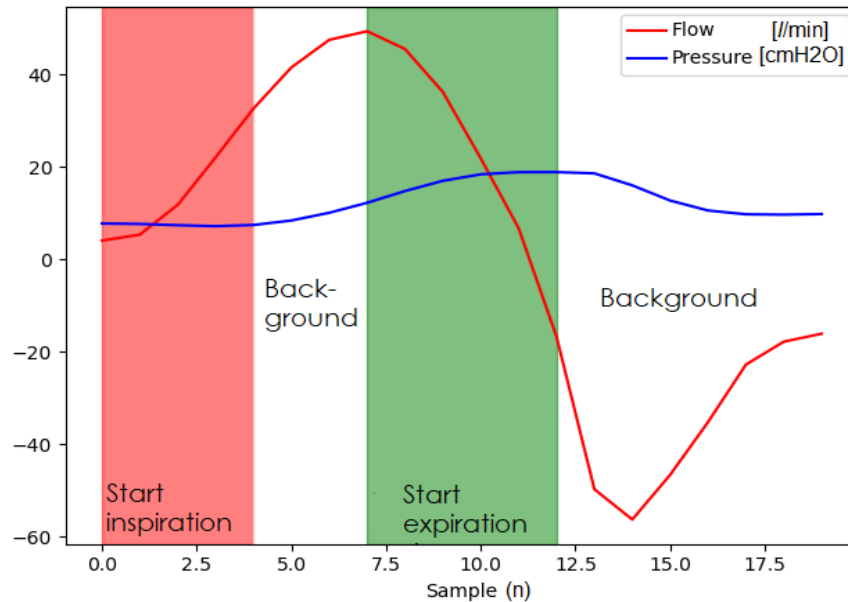
# Dataset

Si è delineato un problema di:

- **Multi variate time series**;
- **Multi class classification** con classi **mutuamente esclusive** tra di loro;
  
- Ricerca dataset in letteratura;
- Scelta ricaduta su dataset proveniente da Università UCDCMC (University of California Davis Medical Center);
- Composizione:
  - 176 file .csv;
  - 333173 respiri acquisiti dal respiratore PB-840;
  - Circa 10 gg di acquisizioni;



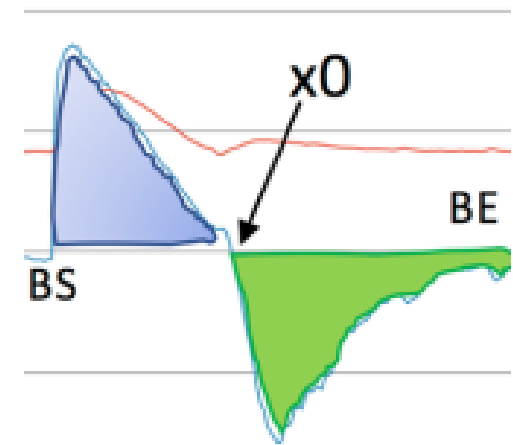
# Dataset - labelling



Per garantire alla rete maggiore **robustezza** nella classificazione, in fase di labelling sono stati classificati come inizio **inspirazione** i 5 istanti successivi al singolo inizio e, per l'inizio **espirazione**, i 5 istanti precedenti al singolo.

Le classi prese in considerazione sono:

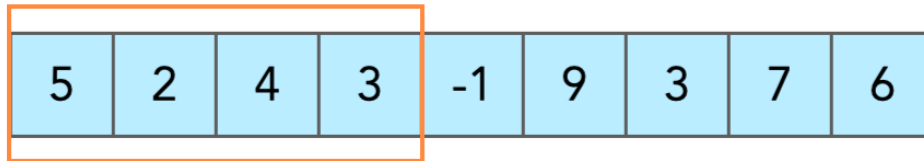
- Inizio inspirazione → BS (Breath Start)
- Inizio espirazione →  $x_0$
- Background



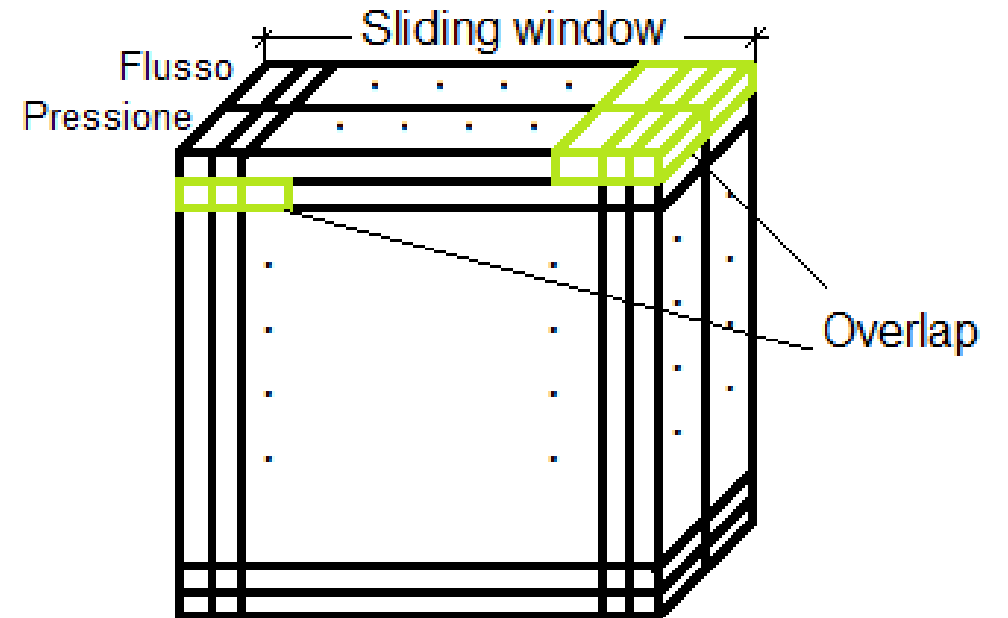


# Dataset - pre processing

- Applicato **sliding window** con **overlap** tra campioni
- Due approcci di sliding window e overlap:
  - $SW = 16, O = 8 \rightarrow$  UNET
  - $SW = 16, O = 15 \rightarrow$  Single Output Model



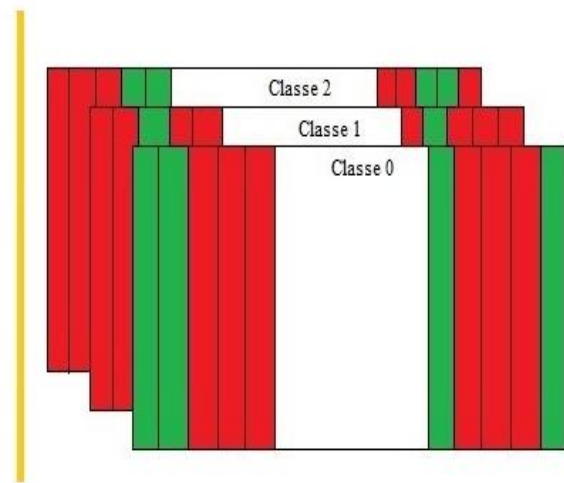
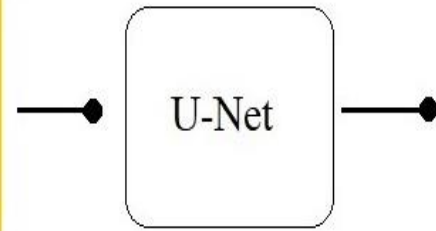
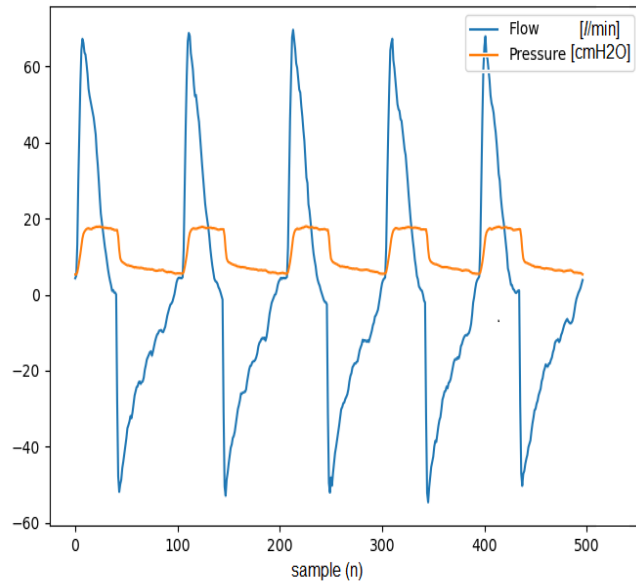
Algoritmo di sliding window



Rappresentazione qualitativa del salvataggio dei dati

# Model design – UNET 1

- Struttura ENCODER - DECODER ad «U»
- Applica Semantic Segmentation



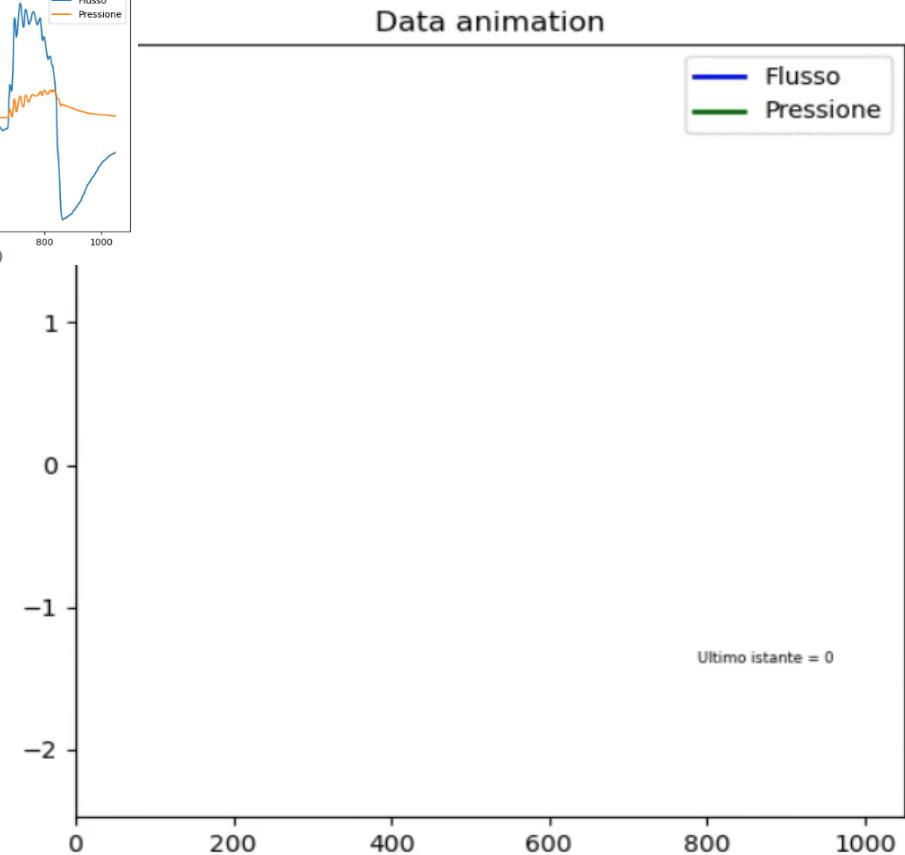
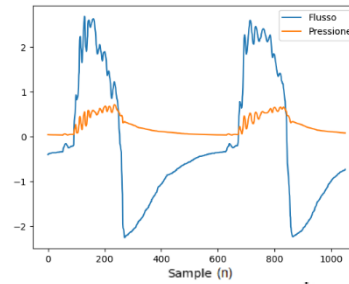
$$INPUT = (timestep \times \# features \times 1)$$
$$(16 \times 2 \times 1)$$

$$OUTPUT = (timestep \times \# classi \times 1)$$
$$(16 \times 3 \times 1)$$

# Model design – UNET 2

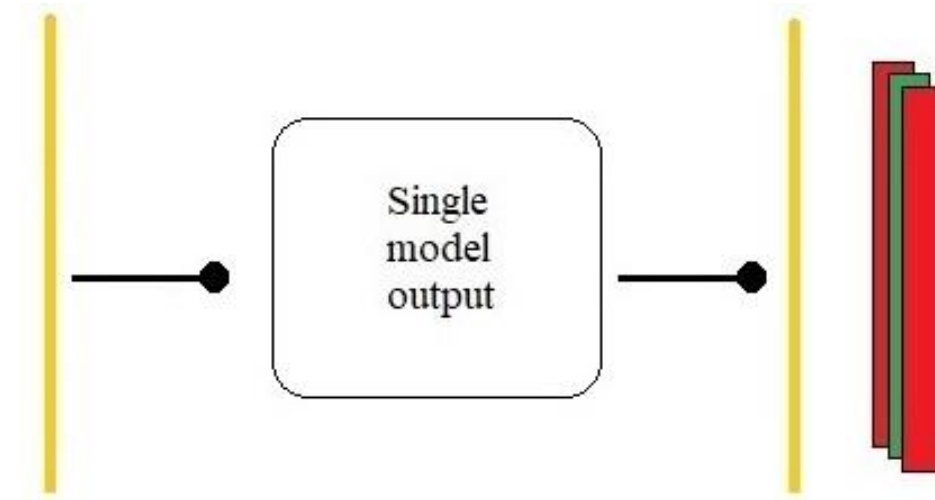
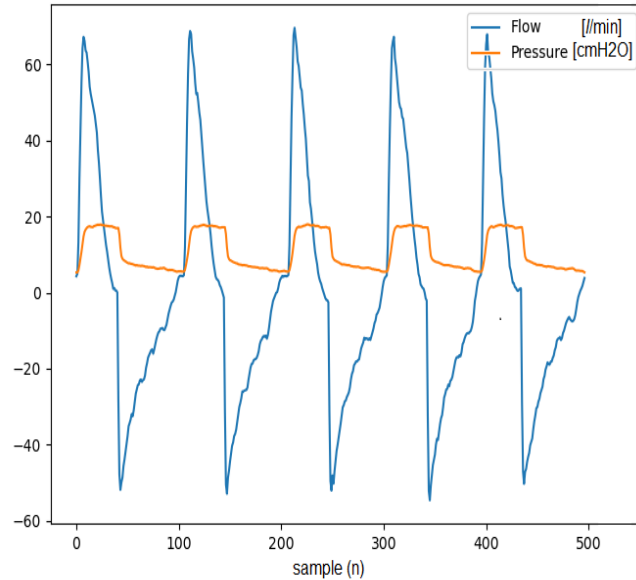


Classificazione di ogni singolo pixel



Classificazione di ogni singolo istante

# Model design – Single Model Output 1

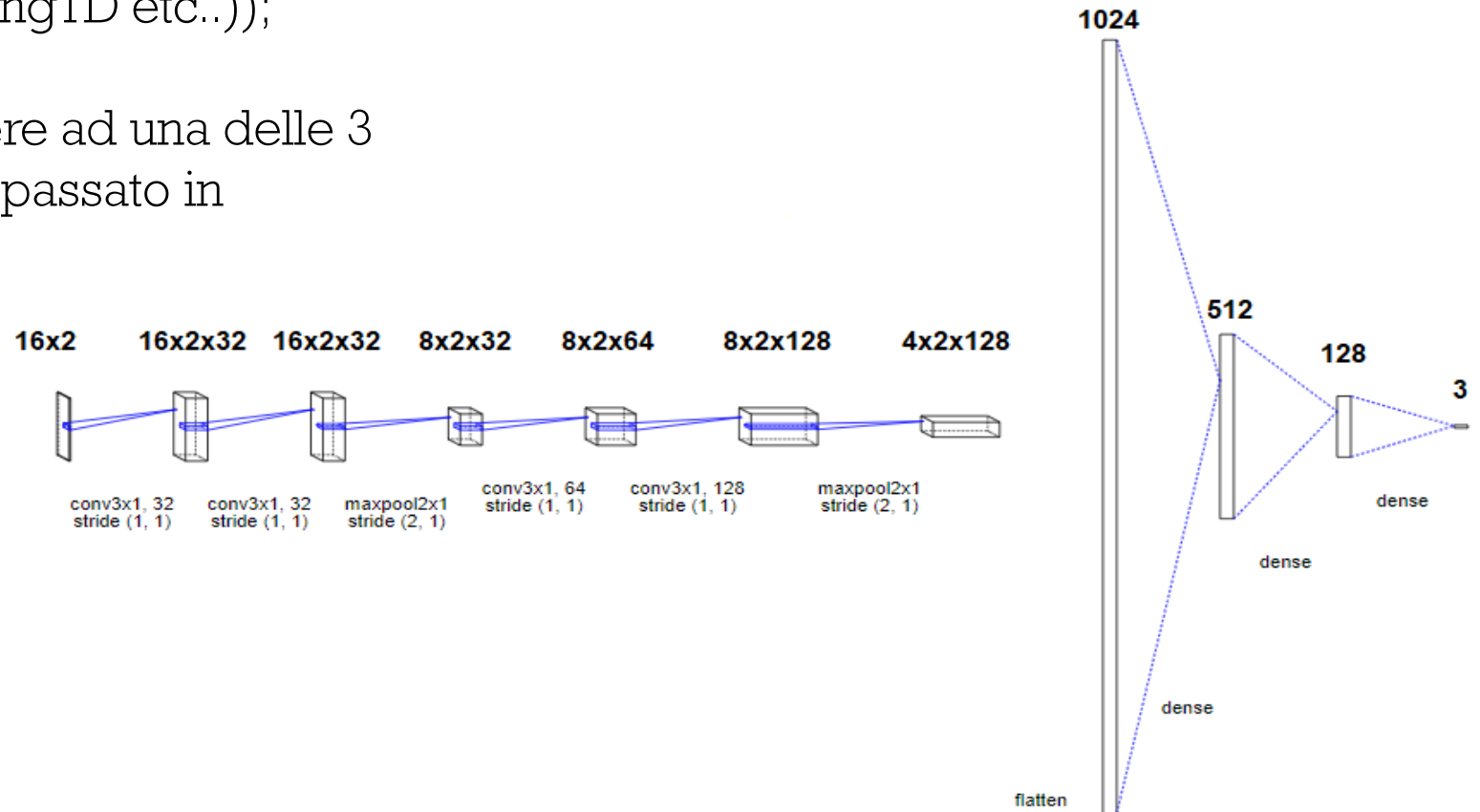


$$\begin{aligned} \text{INPUT} &= (\text{timestep} \times \# \text{ features}) \\ &= (16 \times 2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OUTPUT} &= (\# \text{ classi} \times 1) \\ &= (3 \times 1) \end{aligned}$$

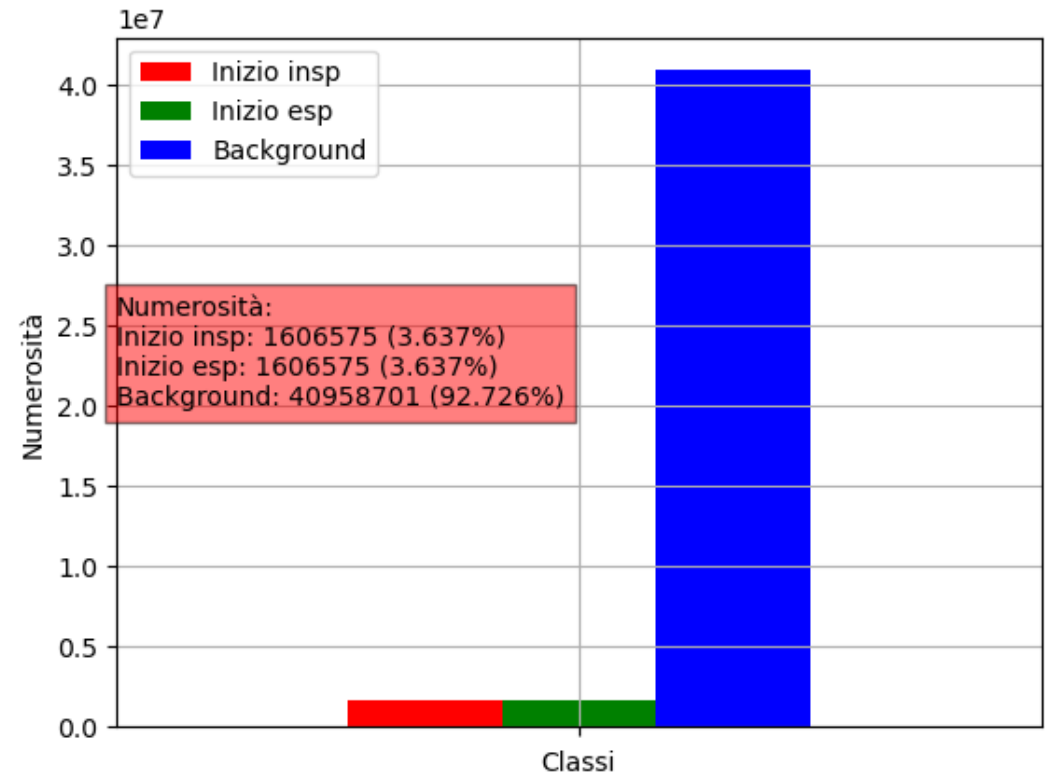
# Model design – Single Model Output 2

- Design standard per la gestione delle time series (dati 2D e quindi layer 1D (Conv1D, MaxPooling1D etc..));
- Uscita solo 3 valori
  - Probabilità di appartenere ad una delle 3 classi dell'ultimo istante passato in ingresso



# Risultati - 1

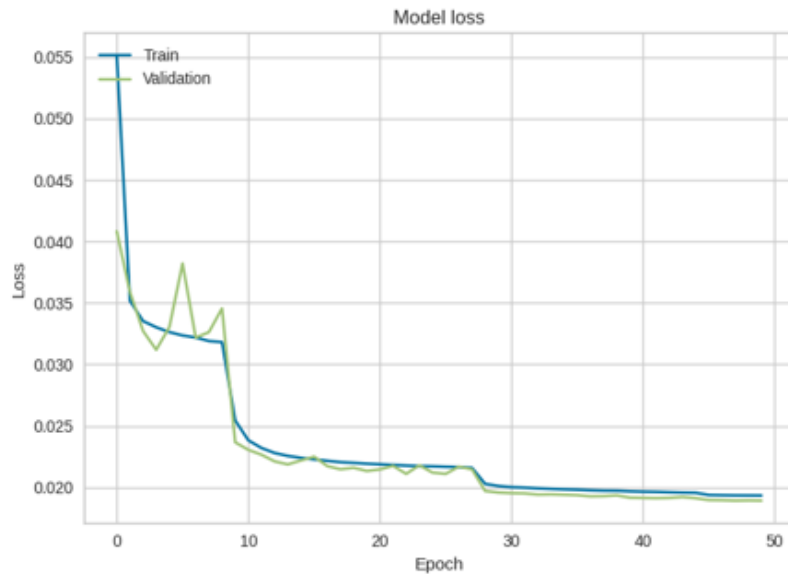
- Abbiamo utilizzato metriche in grado di tener conto della class imbalance:
  - Curve di ROC;
  - Coefficiente di Cohen;
  - Micro f1 score;



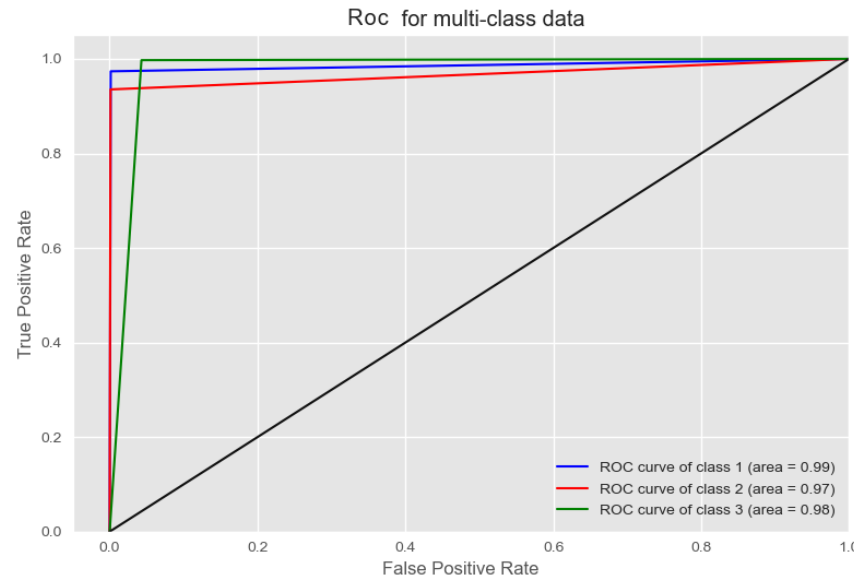
# Risultati - 2

Modelli con le migliori performance per i due design analizzati:

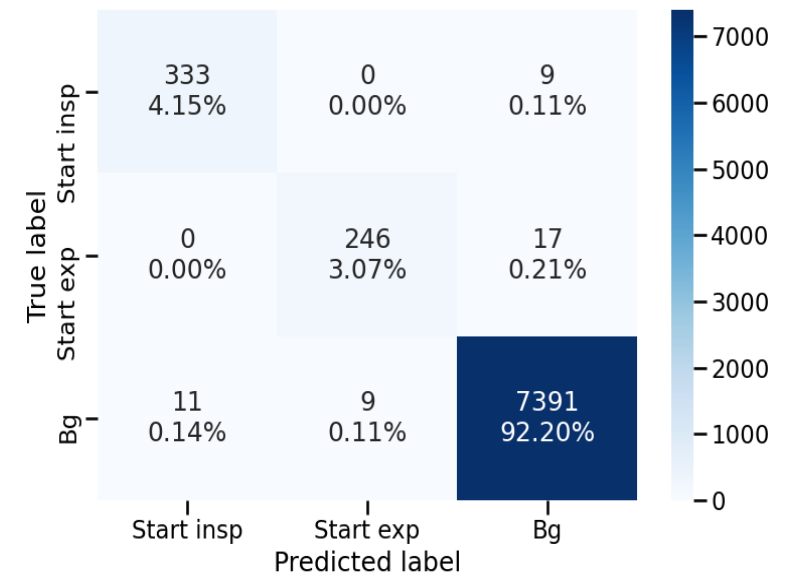
- UNET depth 2 CCE 



Model Loss

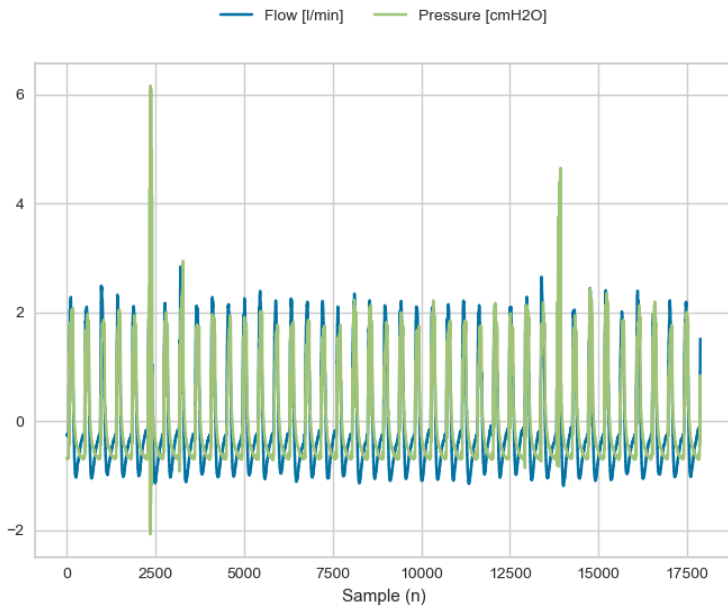


Curve di ROC

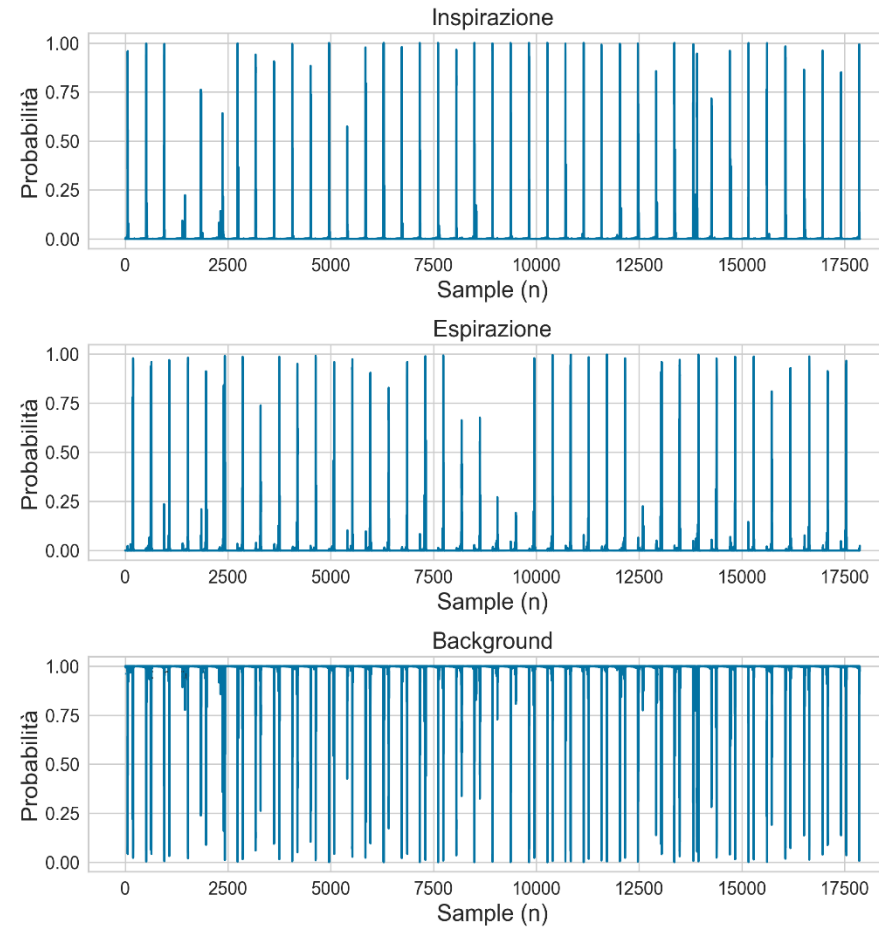


Confusion Matrix

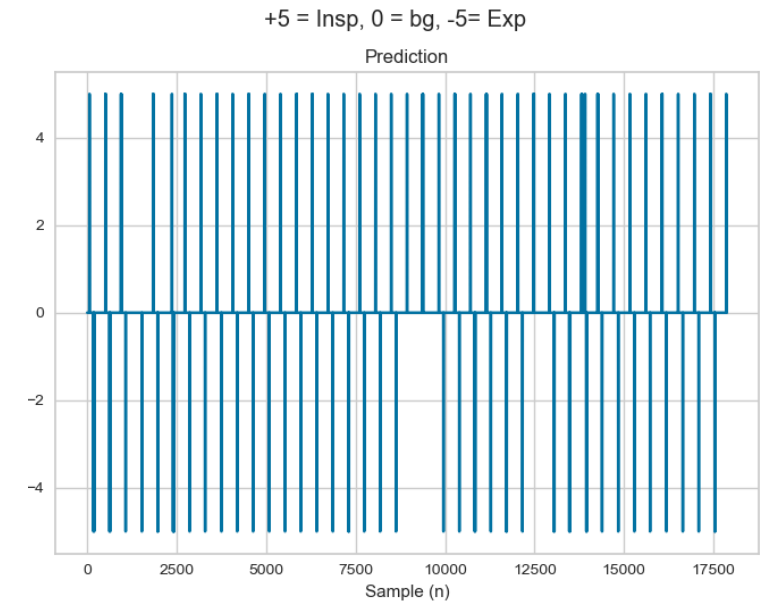
# Predizione – dati MVM reali



Input



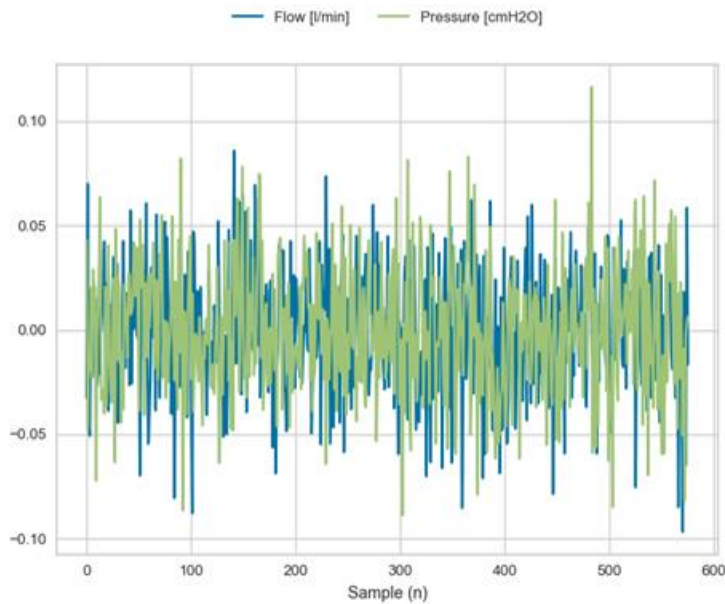
Probabilità



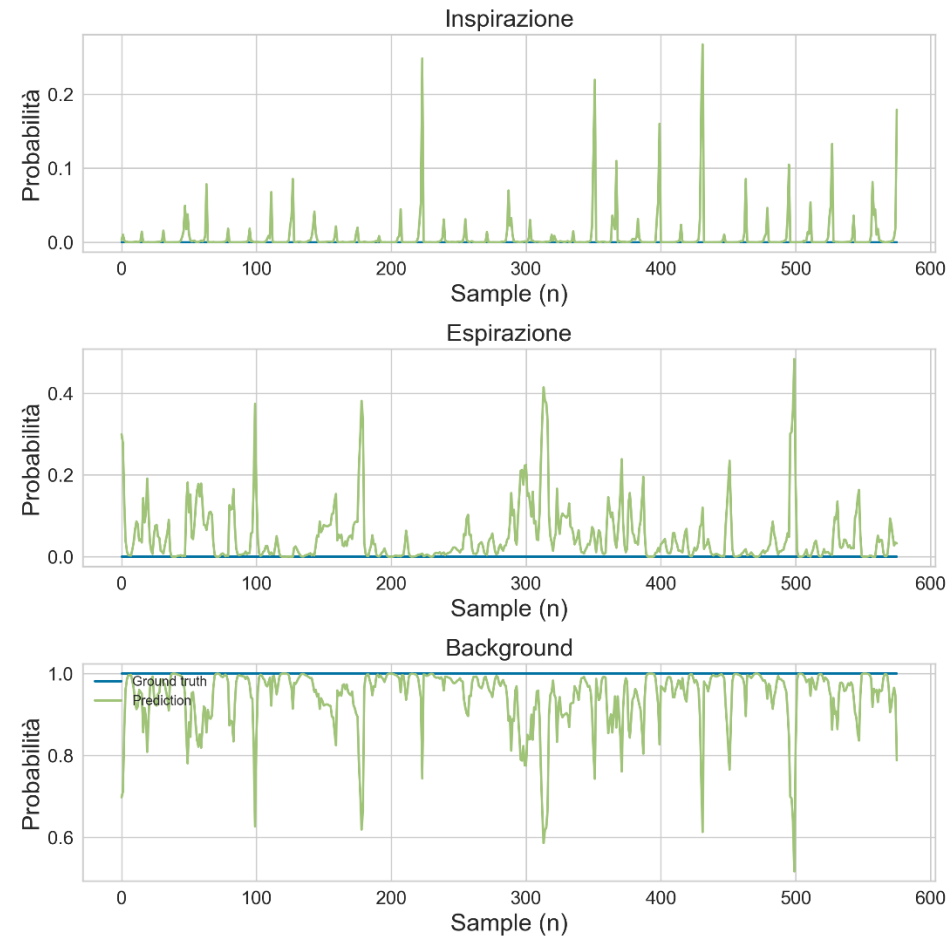
Classe predetta



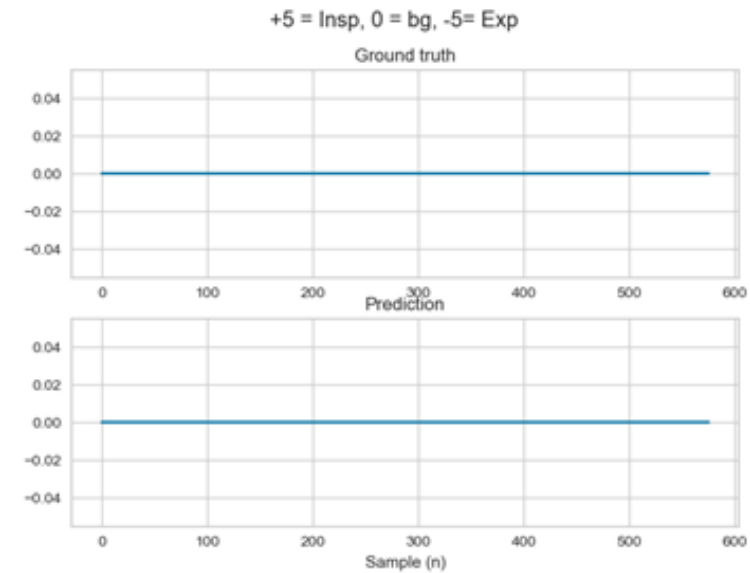
# Predizione – condizione di apnea



Input



Probabilità



Classe predetta

# Recap

### MVM: la ventilazione adattiva



- Trigger inspiratorio
- Avvicinamento nella curva di pressione
- Trigger espiratorio
- Istante in cui la curva di flusso cambia segno, assumendo valori negativi;

Ma...

- Necessità di un continuo controllo visivo da parte dell'operatore per l'analisi di presenza di anomalie nel paziente/ventilatore;
- Threshold da definire arbitrariamente;




### Dataset

Si è definito un problema di:

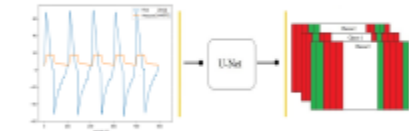
- Multi variato time series;
- Multi class classification con classi mutualmente esclusive tra di loro;

- Ricerca dataset in letteratura;
- Scelta ricaduta su dataset proveniente da Università UCDMC (University of California Davis Medical Center);
- Composizione:
  - 170 file .csv;
  - 333173 respiri acquisiti dal respiratore PB-840;
  - Circa 10 gg di acquisizioni;



### Model design – UNET 1


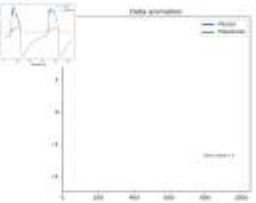
- Struttura ENCODER - DECODER ad «U»;
- Applico Semantic Segmentation;



INPUT = (timestep x # features x 1)  
(16 x 2 x 1)

OUTPUT = (timestep x # class x 1)  
(16 x 3 x 1)


### Model design – UNET 2

Classificazione di ogni singolo pixel

Classificazione di ogni singolo istante

### Model design – Single Model Output 1



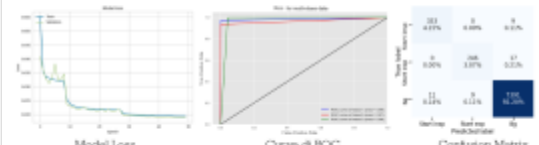
INPUT = (timestep x # features)  
(16 x 2)

OUTPUT = (# class x 1)  
(3 x 1)

### Risultati - 2

Modelli con le migliori performance per i due design analizzati:

- UNET depth 2 CICE ✓

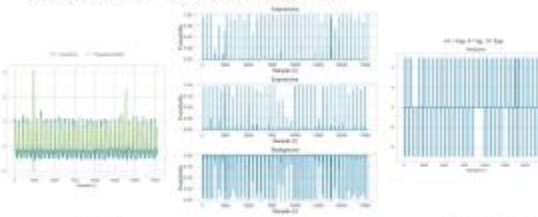


Model Loss

Curve di ROC

Confusion Matrix

### Predizione – dati MVM reali



Input

Probabilità

Classe predetta

Grazie per l'attenzione!