



Universität
Zürich^{UZH}

Modelli Generativi per la Simulazione del calorimetro adronico in LHCb

XVII Edizione degli Incontri di Fisica delle Alte Energie
Università degli Studi di Milano Bicocca

D. Lancierini

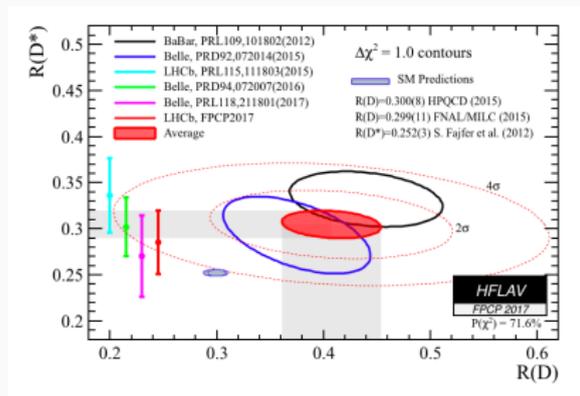
Università di Zurigo

4-6 Aprile 2018

1. Introduzione
2. Reti neurali
3. Modelli Generativi
4. Risultati

Introduzione

$$R_{D^{(*)}} = \frac{\text{Br}(B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu)}{\text{Br}(B \rightarrow D^{(*)} \mu \nu)}$$

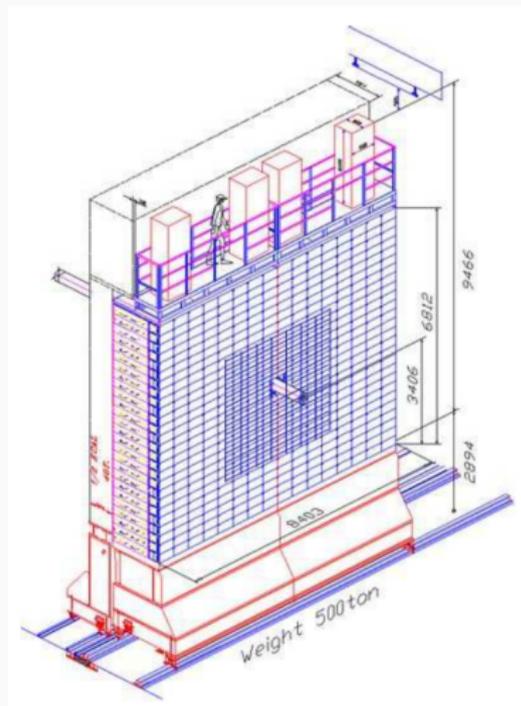


- Discrepanza combinata a $\sim 4\sigma$ dalla previsione del Modello Standard
 → Nuova Fisica?
- Per la misura di R_D ad LHCb necessario un largo campione di eventi simulati Monte Carlo

La simulazione della risposta del calorimetro adronico occupa circa il 40% del tempo computazionale

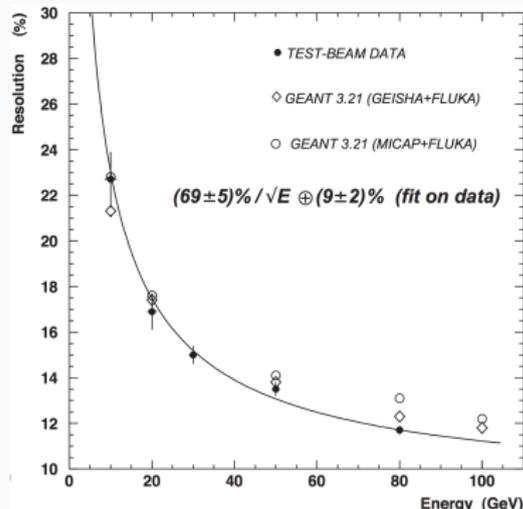
- Implementa 70% del trigger di Livello 0 in presenza di adroni ad alto p_t
- Scintillatore segmentato trasversalmente in celle di due diverse dimensioni (131×131 e $262 \times 262 \text{ mm}^2$)
- Moderata risoluzione in energia ma sufficiente allo scopo di trigger

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{(69 \pm 5)\%}{\sqrt{E}} \oplus (9 \pm 2)\%$$



- Implementa 70% del trigger di Livello 0 in presenza di adroni ad alto p_t
- Scintillatore segmentato trasversalmente in celle di due diverse dimensioni (131x131 e 262x262 mm^2)
- Moderata risoluzione in energia ma sufficiente allo scopo di trigger

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{(69 \pm 5)\%}{\sqrt{E}} \oplus (9 \pm 2)\%$$



Reti neurali

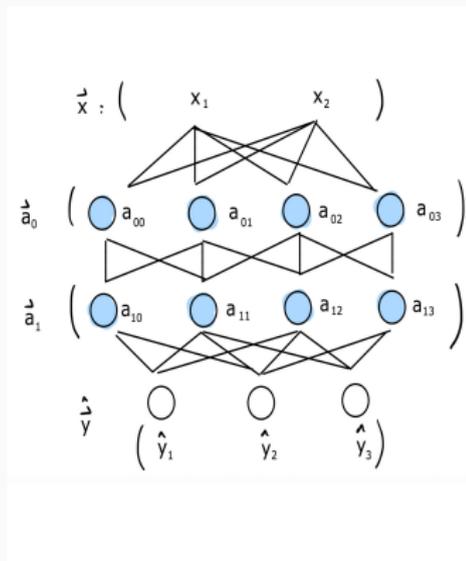
Reti neurali: come funzionano

Le reti neurali sono approssimatori universali di funzioni composte da diversi strati

- Output della rete neurale
 $\hat{y} = F(x) = f_L \circ f_{L-1} \circ \dots \circ f_0(x)$
dato un insieme di allenamento x
- Il passaggio di x tramite ogni strato della rete si compone di una parte **lineare** e di una **non-lineare**, per l' i -esimo strato

$$z_i = W_i x_{i-1} + b_i \quad a_i = f_i(z_i)$$

Con W_i, b_i parametri inizializzati in modo casuale e f_i funzione di attivazione



Reti neurali: supervisionate e non supervisionate

L'allenamento avviene ottimizzando i parametri W_i, b_i al fine di minimizzare una funzione di costo per ogni esempio x

$$\mathcal{L}(y, \hat{y}) = - \sum_m y_m \log(\hat{y}_m)$$

Dove y_m rappresenta il valore vero di $F(x)$ per l' m -esimo esempio

Allenamento supervisionato

- Il valore vero y è a disposizione della rete durante l'allenamento
- Si può definire una metrica che valuti le prestazioni della rete
- Adatte alla separazione di un insieme in classi conosciute (S/B)

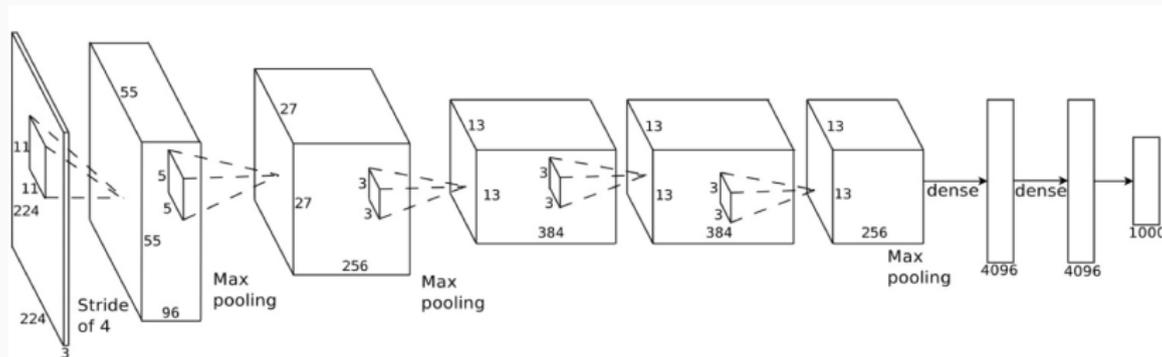
Allenamento non-supervisionato

- Il valore vero y non è a disposizione della rete durante l'allenamento
- Non vi è una definizione univoca di una metrica che valuti le prestazioni della rete
- Alla base dei Modelli Generativi

Reti Neurali Convolutive

Reti neurali convolutive

- Input della rete: tensori a dimensione $(n_H \times n_W \times n_C)$ nel caso di un'immagine
- Linearità: Convoluzione tra tensori
- Caratterizzate da condivisione di parametri e scarsità di connessioni



Modelli Generativi

Una rete neurale generativa avversaria (DCGAN) consiste di due reti neurali che partecipano ad un gioco non-cooperativo

Discriminatore

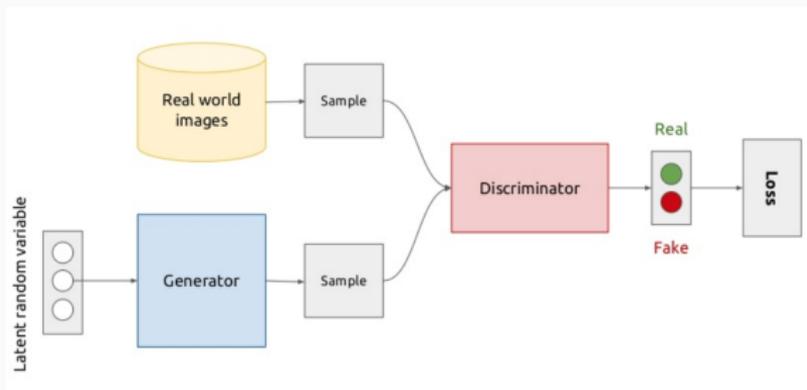
$$\mathcal{L}_D = -\log(D(x))$$

Generatore

$$\mathcal{L}_G = -\log(1 - D(G(z)))$$

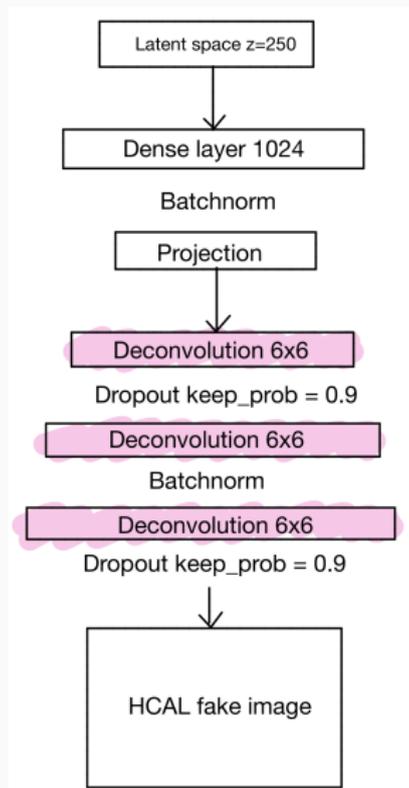
Dove $D(x)$ rappresenta la probabilità che x venga dalle immagini vere

Dove z è un elemento dello spazio latente e $G(z)$ è un'immagine falsa

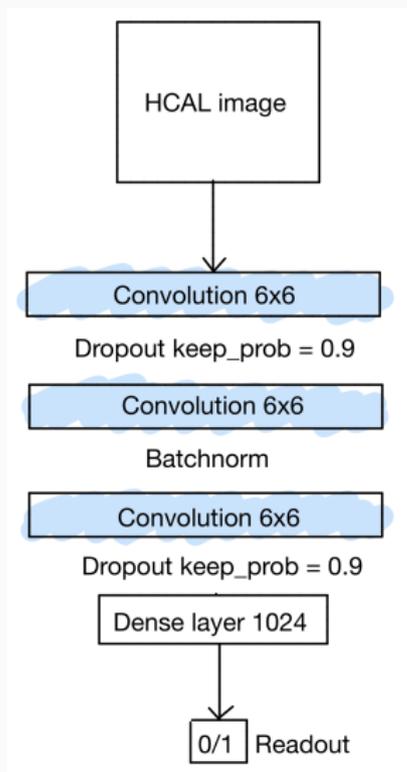


Struttura della rete utilizzata

Generatore



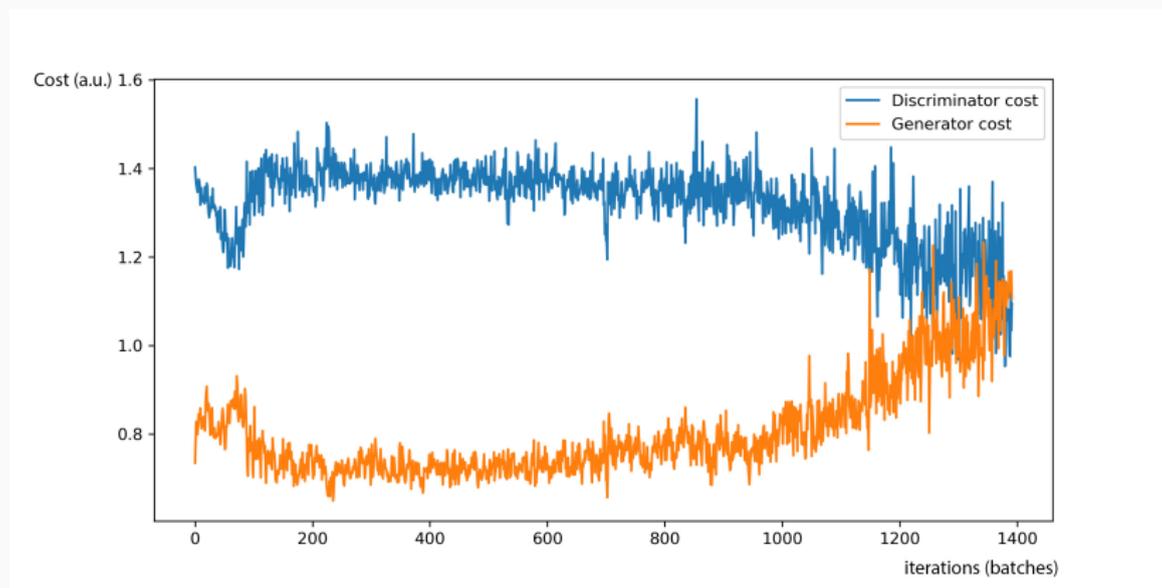
Discriminatore



Risultati

Risultati: eventi con un singolo pione

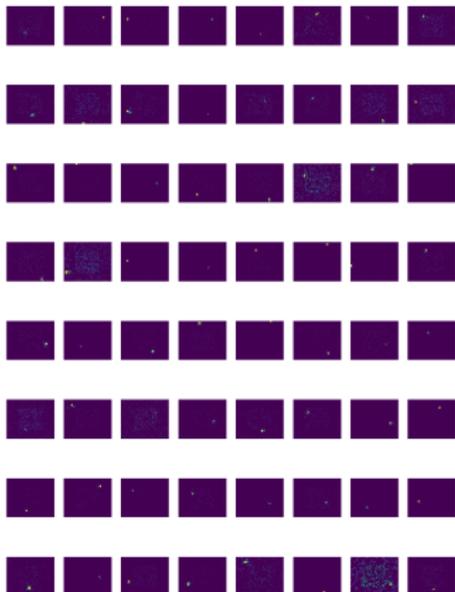
Campione di allenamento: 44504 immagini della risposta di HCAL ad un singolo pione



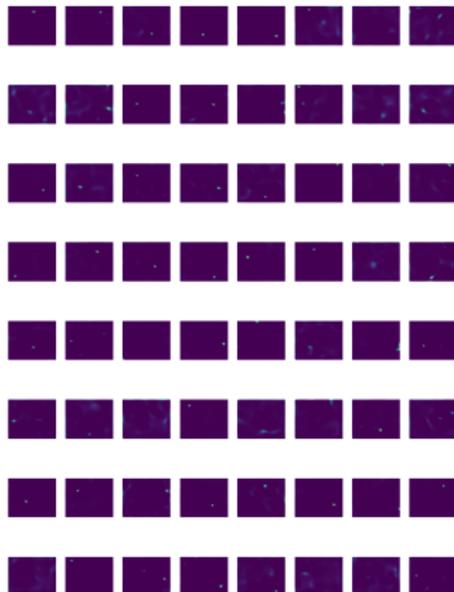
Risultati: eventi con un singolo pione

Campione di allenamento: 44504 immagini della risposta di HCAL ad un singolo pione

Monte Carlo HCAL

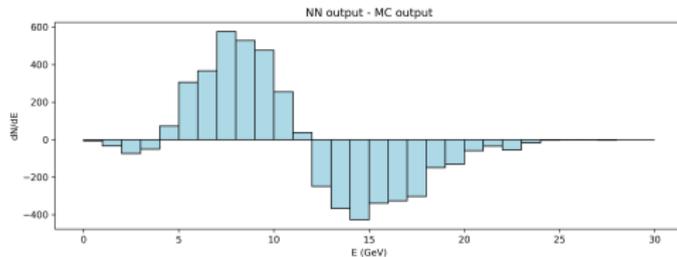
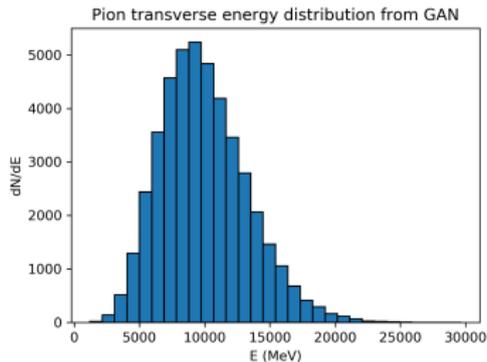
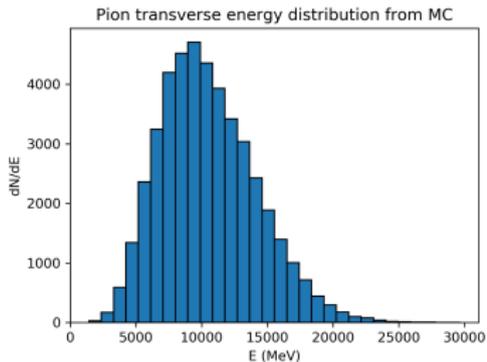


Rete neurale HCAL



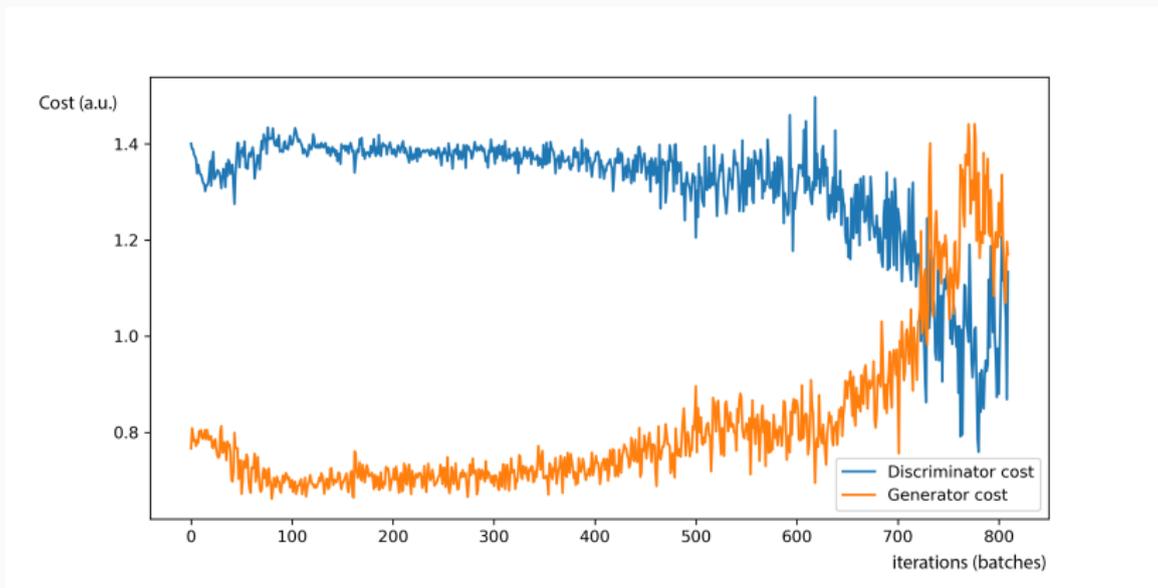
Risultati: eventi con un singolo pione

Campione di allenamento: 44504 immagini della risposta di HCAL ad un singolo pione



Risultati: eventi $D \rightarrow K^- \pi^+$

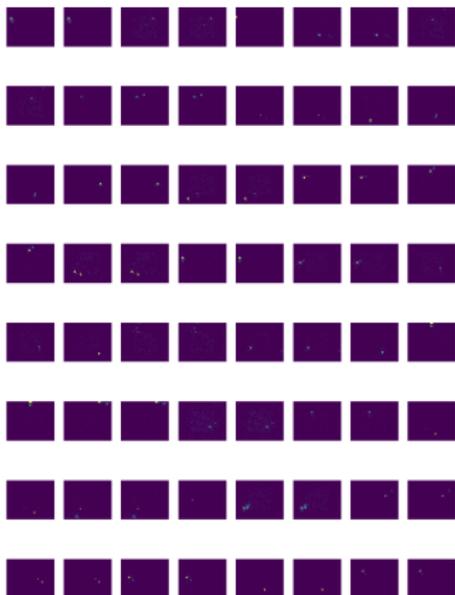
Campione di allenamento: 20671 immagini della risposta di HCAL ad un evento $D \rightarrow K^- \pi^+$



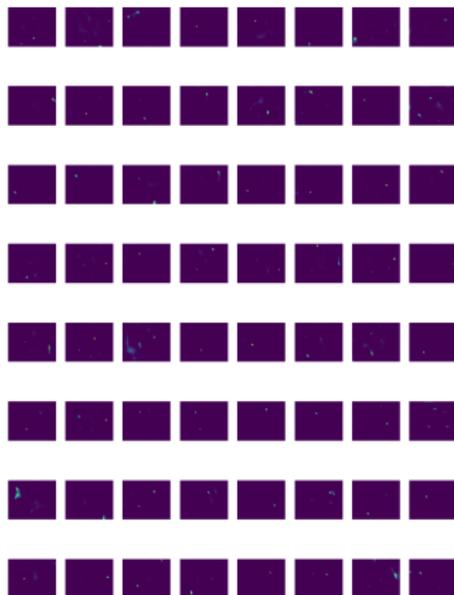
Risultati: eventi $D \rightarrow K^- \pi^+$

Campione di allenamento: 20671 immagini della risposta di HCAL ad un evento $D \rightarrow K^- \pi^+$

Monte Carlo HCAL

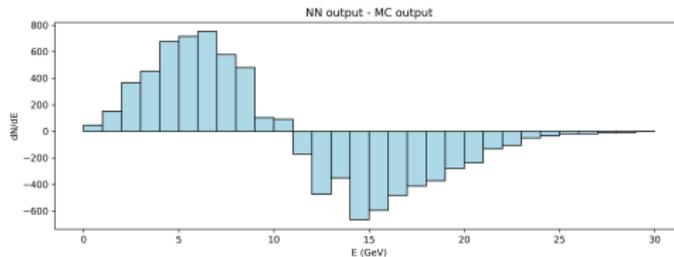
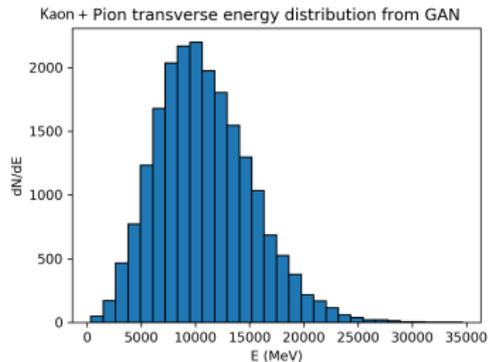
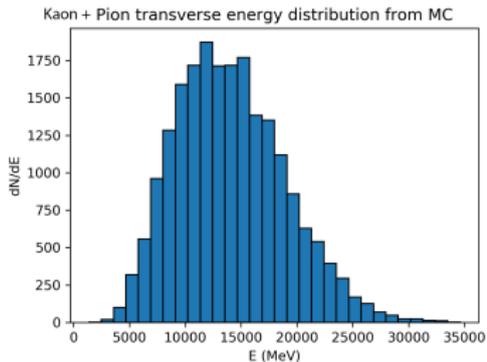


Rete neurale HCAL



Risultati: eventi $D \rightarrow K^- \pi^+$

Campione di allenamento: 20671 immagini della risposta di HCAL ad un evento $D \rightarrow K^- \pi^+$



Le reti neurali sono strumenti il cui output è deterministico

- E' necessario implementare un ulteriore fase apprendimento di parametri aggiuntivi che simulino effetti non deterministici come la risoluzione e l'efficienza del calorimetro

Le reti generative avversarie generano da uno spazio latente uniforme campioni simili all'insieme di allenamento

- Perchè possano sostituire il Monte Carlo di HCAL di LHCb è necessario poter controllare i dettagli cinematici delle particelle simulate → modifica dell'architettura utilizzata o implementazione di reti a consistenza ciclica (CycleGAN, arXiv:1703.10593)

- Le reti neurali generative possono costituire un'ottima risorsa per la generazione veloce di dati Monte Carlo
- Esse sono in grado non solo di riprodurre immagini verosimili della risposta del HCAL di LHCb ma anche di riprodurre correttamente le distribuzioni in energia trasversa delle particelle incidenti
- Maggiore ricerca è necessaria per rendere questi modelli operativi a livello di simulazione e di analisi
- Possibilità di espandere le loro applicazioni ad altri settori di simulazione (ECAL, tracking...)

Grazie dell'attenzione