



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MESSINA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA ELETTRONICA E INFORMATICA

Metodi Data-Driven e Tecniche Multi-Resolution per l'Identificazione di Processi Industriali

INTRODUZIONE

Tesi di Laurea di:
Trovatello Alessandro

A.A. 2022/2023

Relatore:
Chiar.mo Prof. Luca Patanè



Obiettivi dell'elaborato

Creazione di un metodo data-driven in grado di identificare un processo industriale dinamico e non lineare a partire da dati sperimentali.

METODOLOGIA

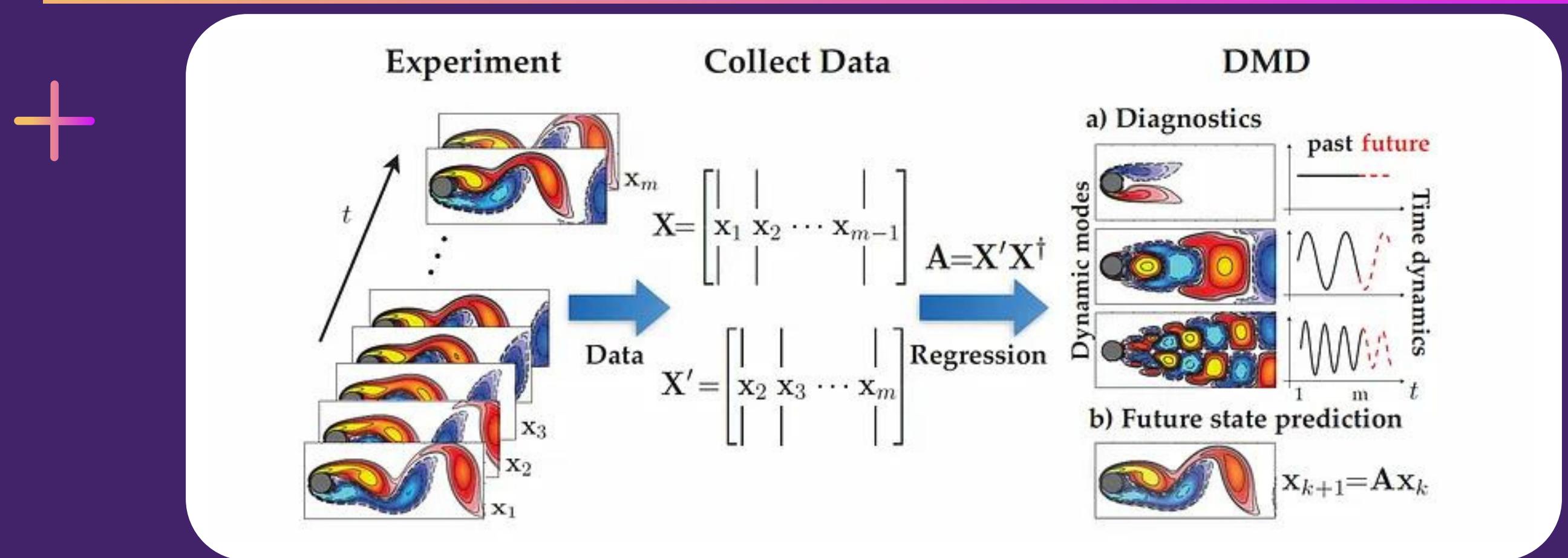


La metodologia utilizzata

Per raggiungere l'obiettivo prefissato è stato fondamentale partire dallo studio dei metodi più basilari come ad esempio il DMD e il DMDc per poi passare a qualcosa di più avanzato come il mrDMD.

- DMD
- DMDc
- mrDMD
- mrDMDc

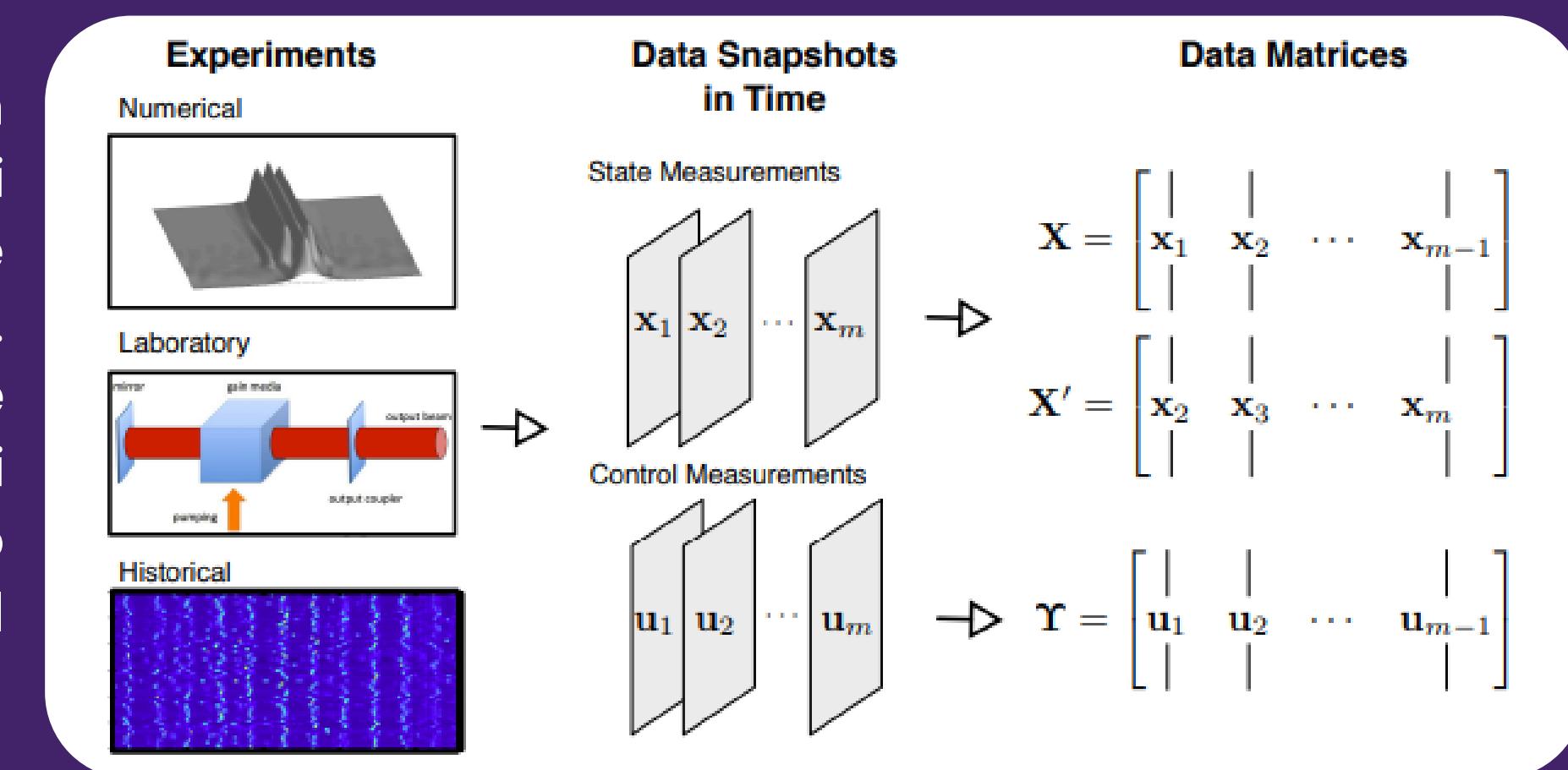
Dynamic Mode Decomposition



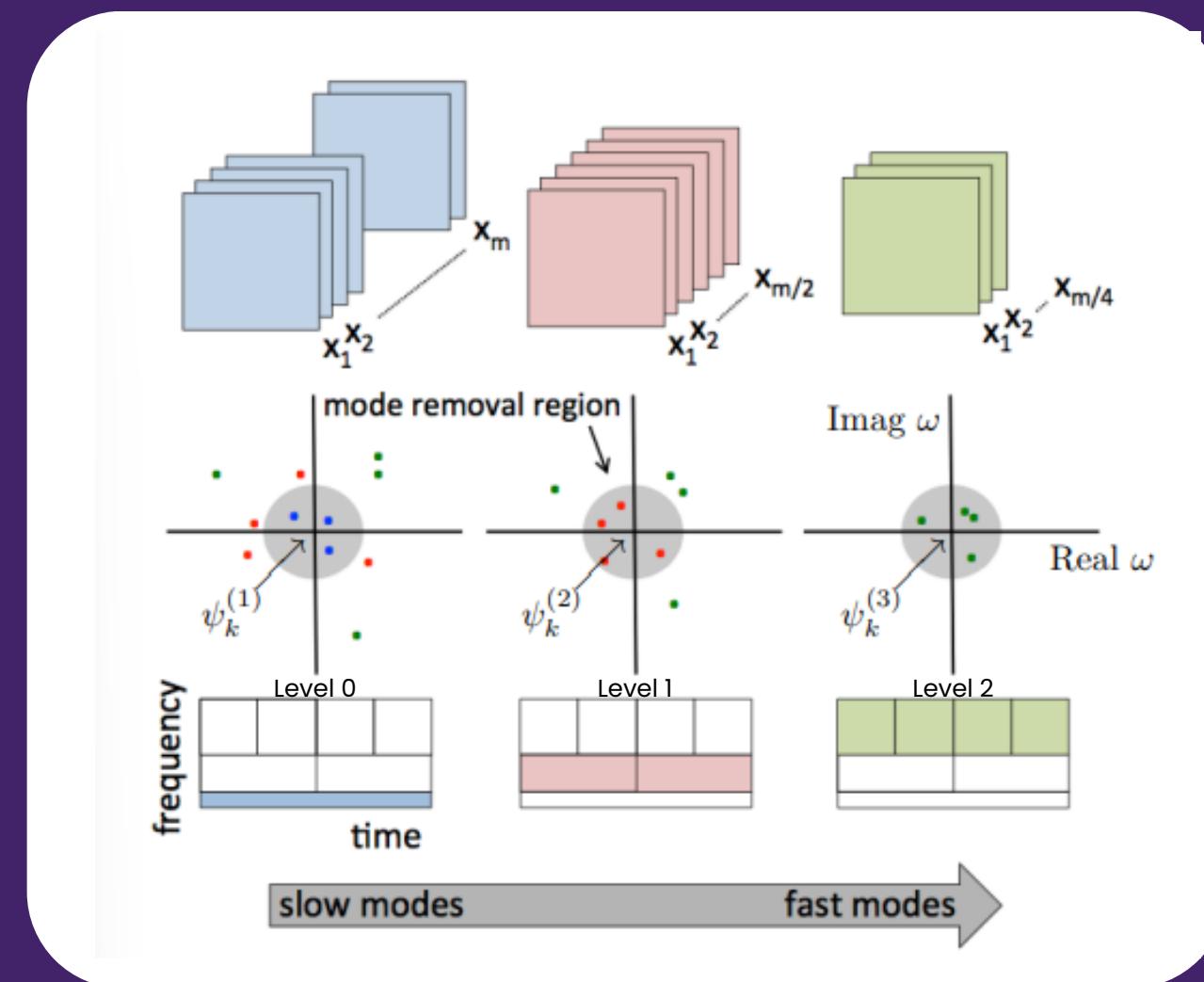
Il Dynamic Mode Decomposition (DMD) è un metodo di analisi dei dati sviluppata per estrarre modelli dinamici da dati spazio-temporali. È particolarmente utile nell'ambito dell'analisi di dati provenienti da sistemi dinamici e complessi.

Dynamic Mode Decomposition with Control

Il Dynamic Mode Decomposition with Control (DMDc) tiene conto delle azioni di controllo o delle forzanti esterne che influenzano il sistema dinamico in analisi. Il DMDc è stato sviluppato per analizzare sistemi dinamici soggetti a forzanti esterne e per capire come il controllo influisce sulle modalità dinamiche del sistema.



Multi-Resolution Dynamic Mode Decomposition



Il Multi-Resolution Dynamic Mode Decomposition (mrDMD) è una variante avanzata del DMD. Questo metodo è iterativo e viene utilizzato per identificare e analizzare le modalità dinamiche di un sistema a diverse scale spaziali o frequenze (livelli).

Ad ogni livello di iterazione, il tempo viene frazionato in slot (in due metà) e da ognuno di essi vengono esclusi i modi dinamici slow (a bassa frequenza) analizzando conseguentemente modi dinamici fast (frequenze più elevate) avendo così maggior dettaglio nella ricostruzione.



Multi-Resolution Dynamic Mode Decomposition with Control

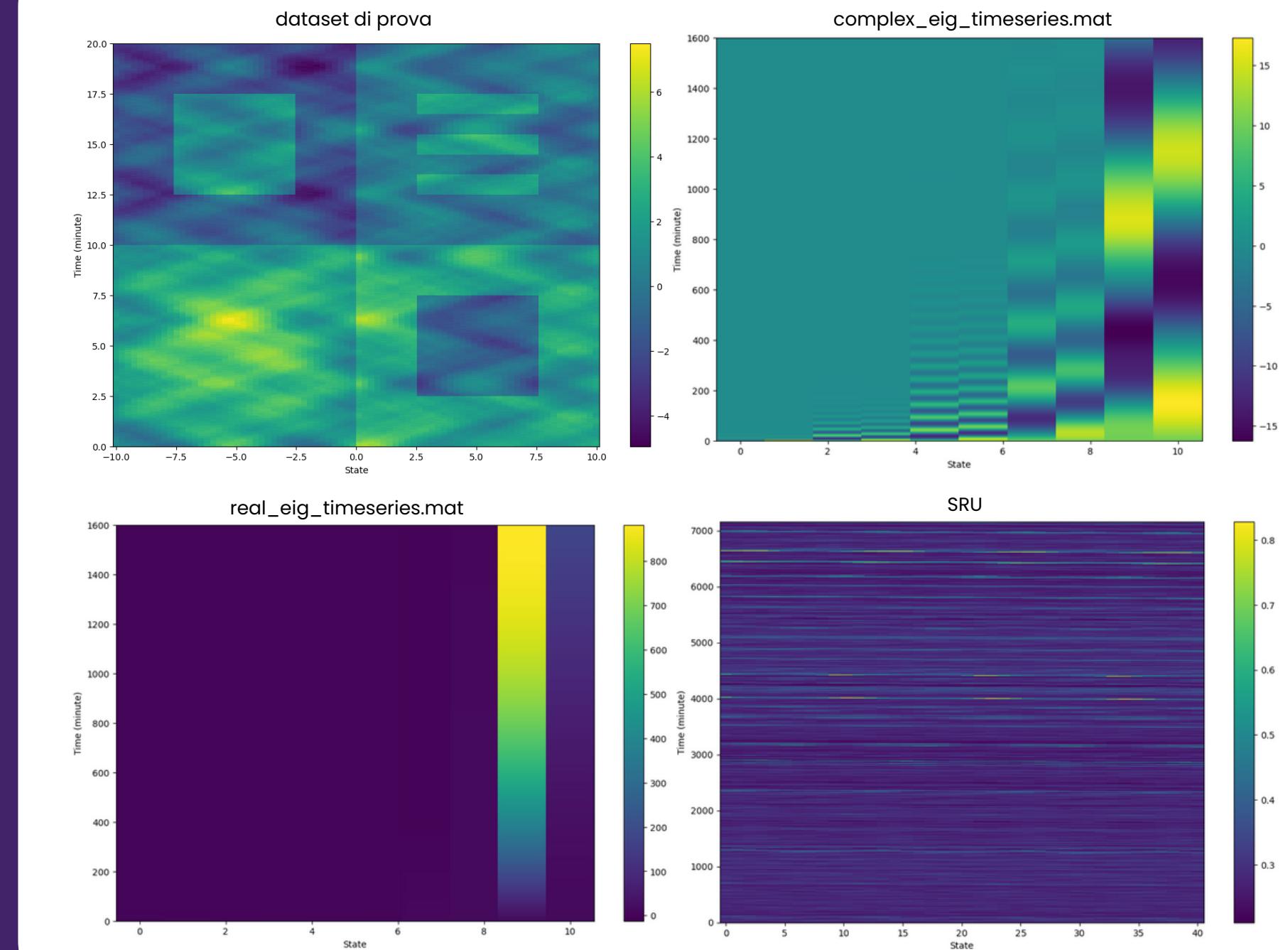


Il Multi-Resolution Dynamic Mode Decomposition with Control (mrDMDc) è stato proprio l'obiettivo di questo elaborato. Questo metodo ha la stessa funzionalità del mrDMD, con la differenza che ad ogni scala temporale o frequenza identificata, possiamo analizzare anche gli effetti delle azioni di controllo o delle forzanti esterne che influiscono sul sistema in considerazione.

RISULTATI

I risultati ottenuti

Nelle slide successive analizzeremo i risultati ottenuti applicando i vari metodi su due tipi di dataset utilizzati, tra cui: dataset di prova e dataset industriale SRU.



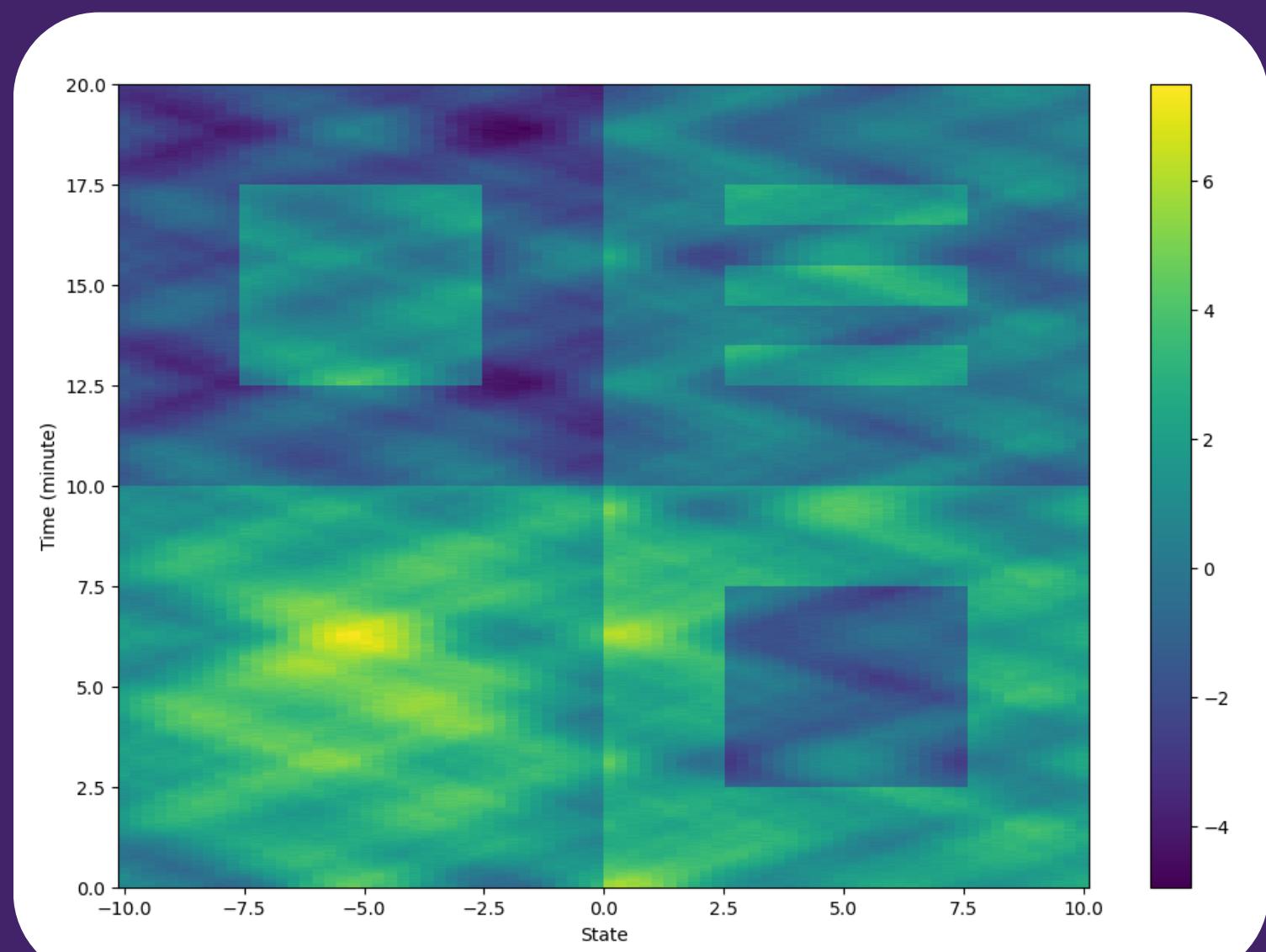
Generazione dataset di prova

```
# define time and space domains
x = np.linspace(-10, 10, 80)
t = np.linspace(0, 20, 1600)
Xm,Tm = np.meshgrid(x, t)

# create data
D = exp(-power(Xm/2, 2)) * exp(0.8j * Tm)
D += sin(0.9 * Xm) * exp(1j * Tm)
D += cos(1.1 * Xm) * exp(2j * Tm)
D += 0.6 * sin(1.2 * Xm) * exp(3j * Tm)
D += 0.6 * cos(1.3 * Xm) * exp(4j * Tm)
D += 0.2 * sin(2.0 * Xm) * exp(6j * Tm)
D += 0.2 * cos(2.1 * Xm) * exp(8j * Tm)
D += 0.1 * sin(5.7 * Xm) * exp(10j * Tm)
D += 0.1 * cos(5.9 * Xm) * exp(12j * Tm)
D += 0.1 * np.random.randn(*Xm.shape)
D += 0.03 * np.random.randn(*Xm.shape)
D += 5 * exp(-power((Xm+5)/5, 2)) * exp(-power((Tm-5)/5, 2))
D[:800,40:] += 2
D[200:600,50:70] -= 3
D[800:,:40] -= 2
D[1000:1400,10:30] += 3
D[1000:1080,50:70] += 2
D[1160:1240,50:70] += 2
D[1320:1400,50:70] += 2
D = D.T

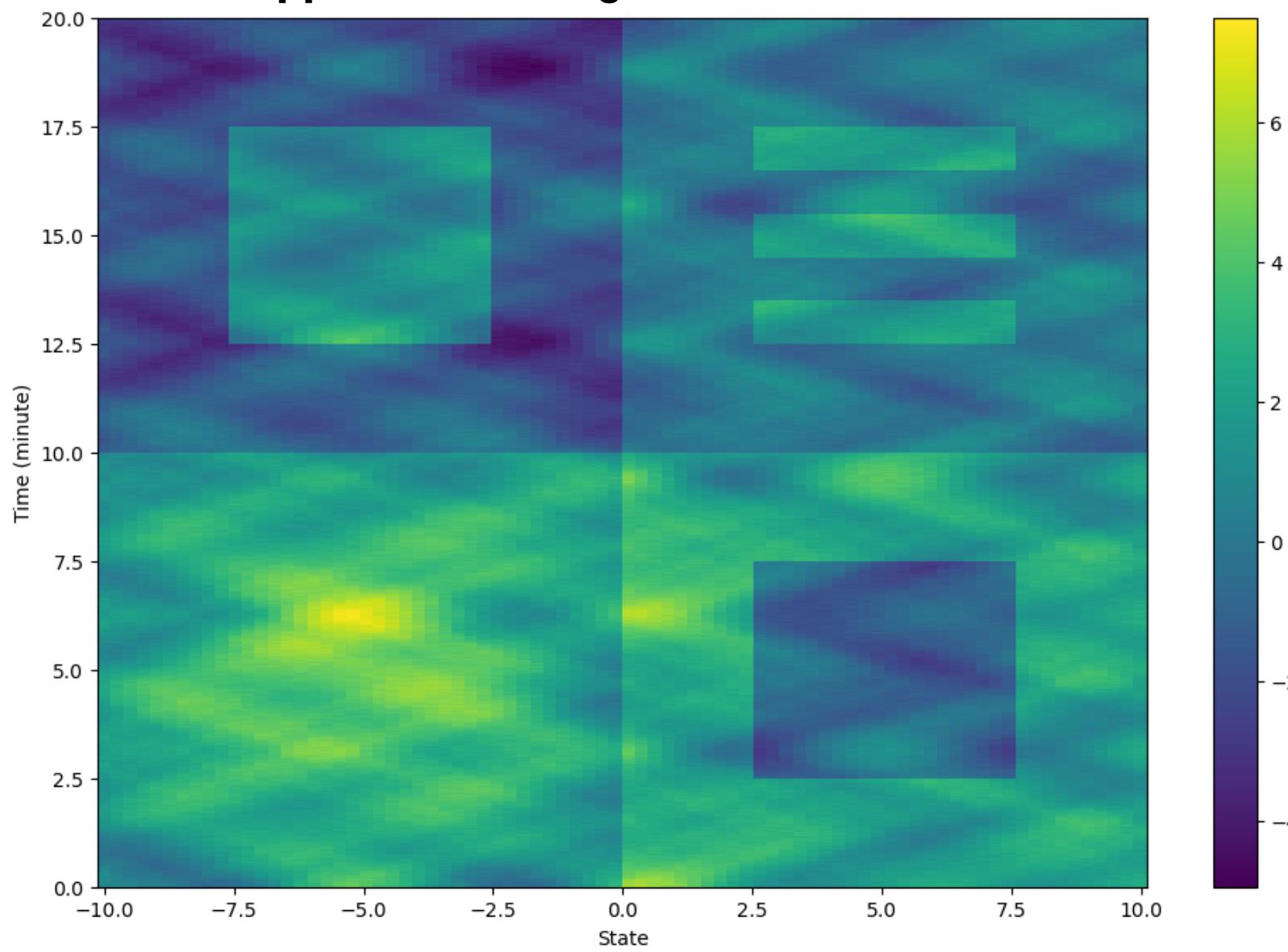
# extract input-output matrices
X = D[:, :-1]
Y = D[:, -1:]
```

Rappresentazione grafica del dataset

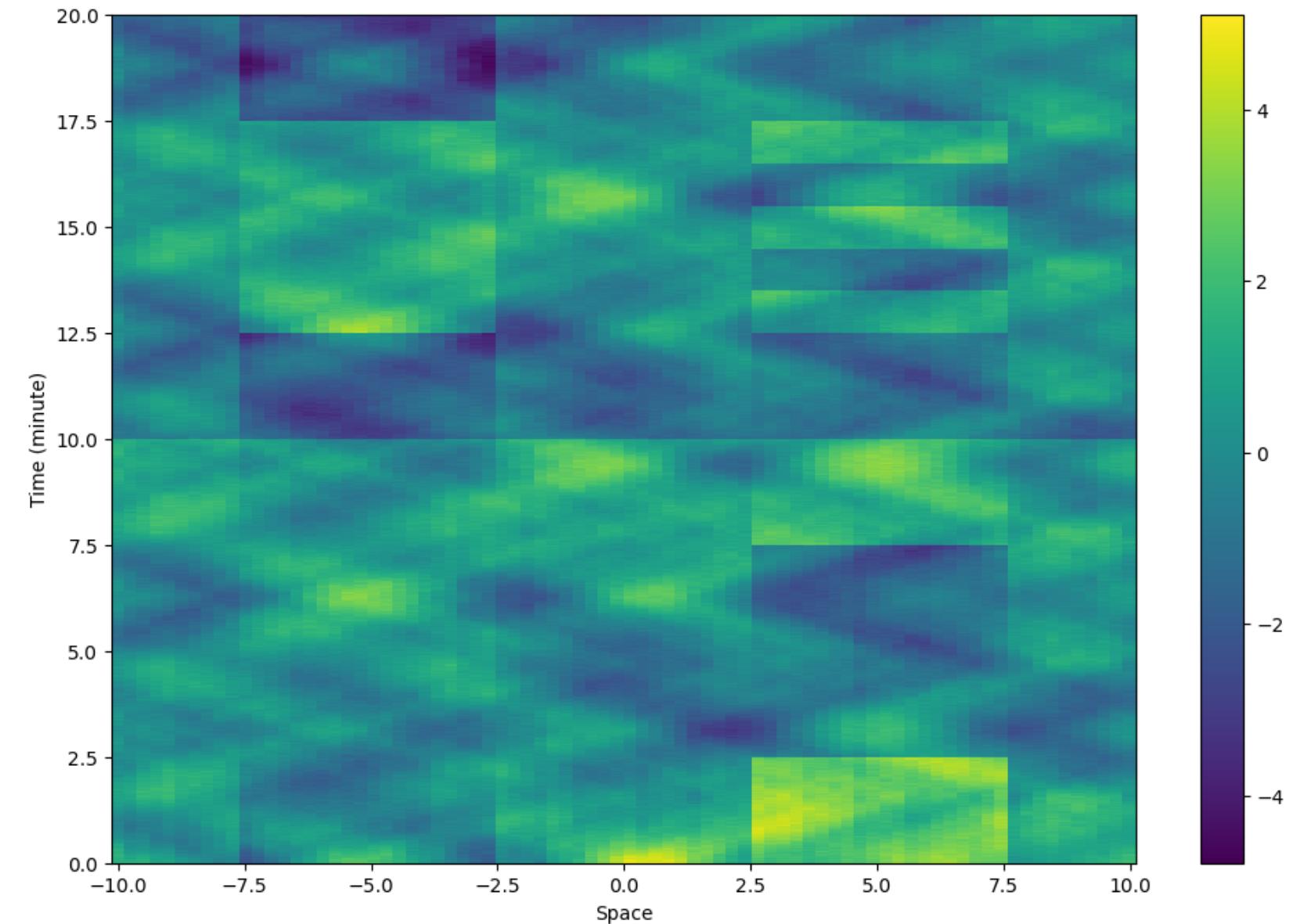


DMD con dataset di prova

Rappresentazione grafica del dataset

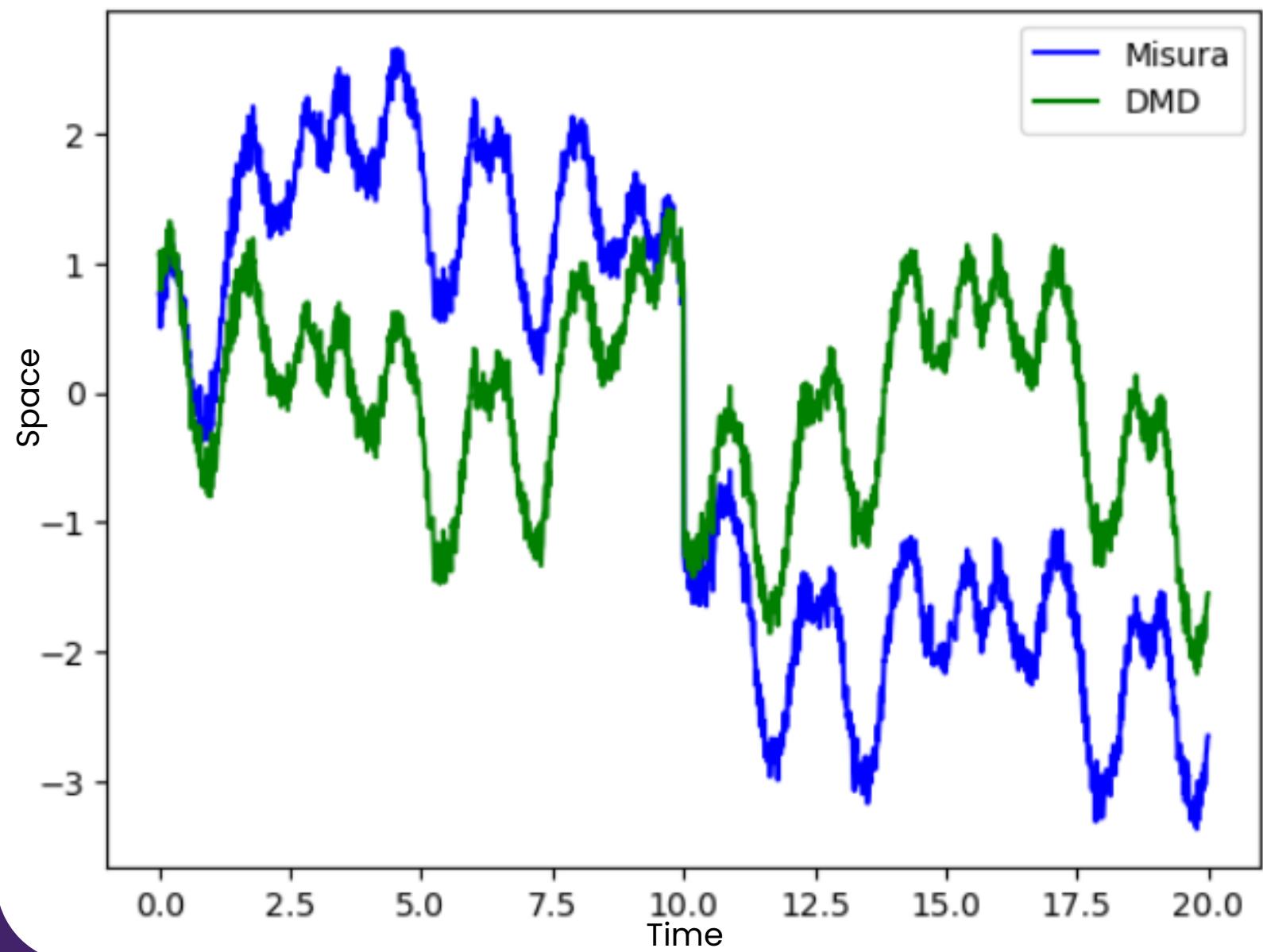


Ricostruzione DMD

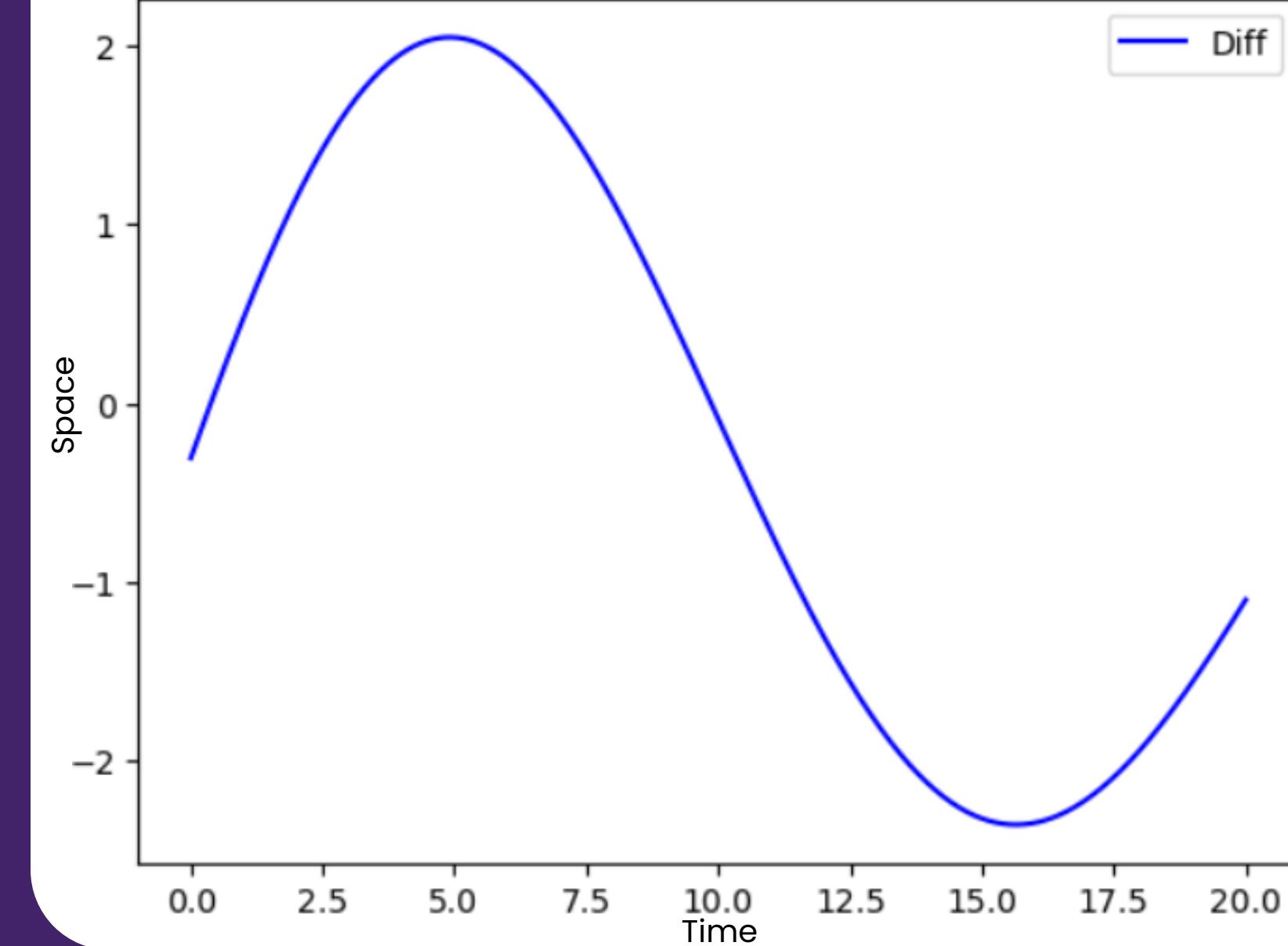


DMD con dataset di prova

Andamento temporale dei dati



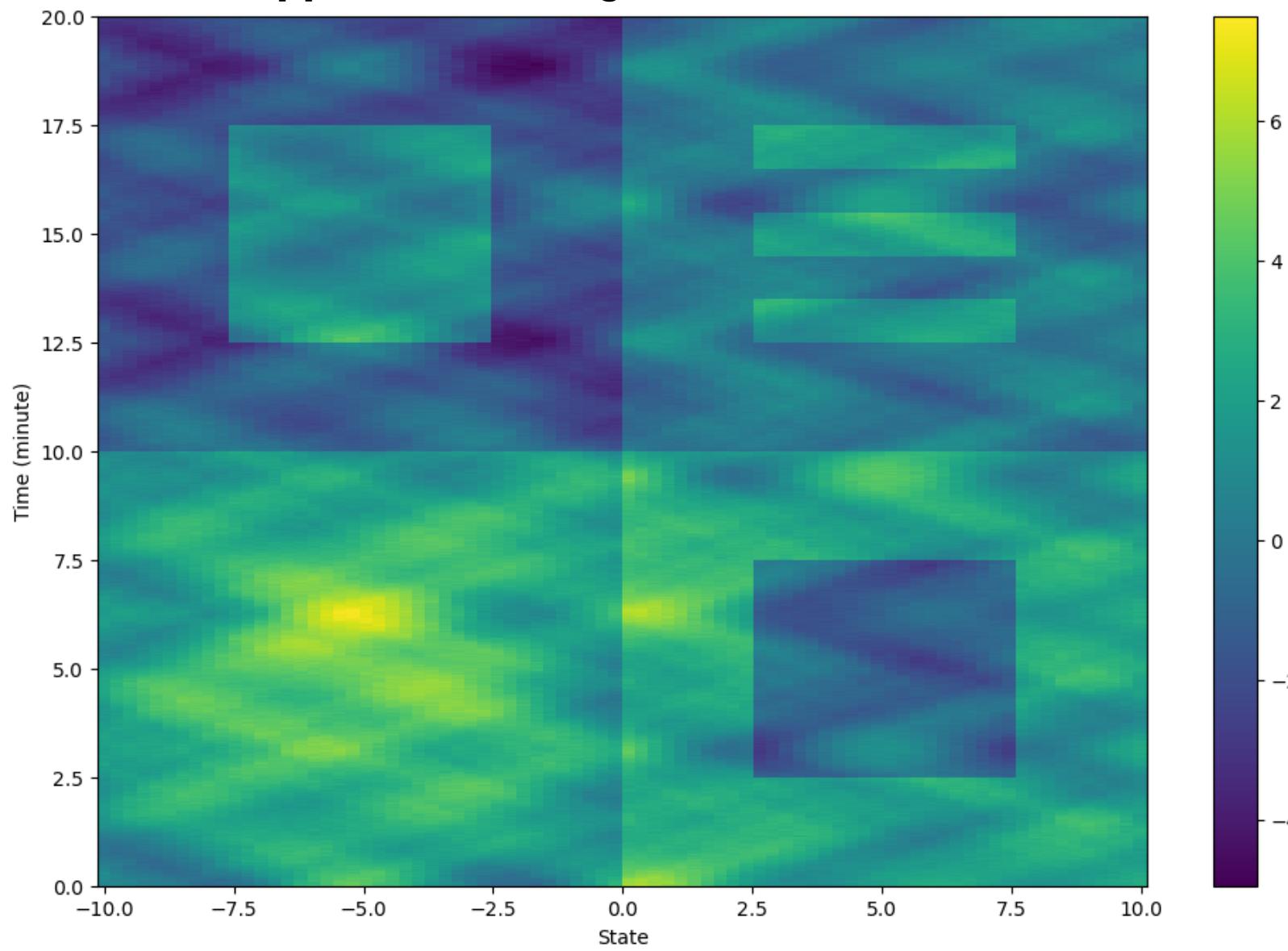
Differenza tra misura e dmd



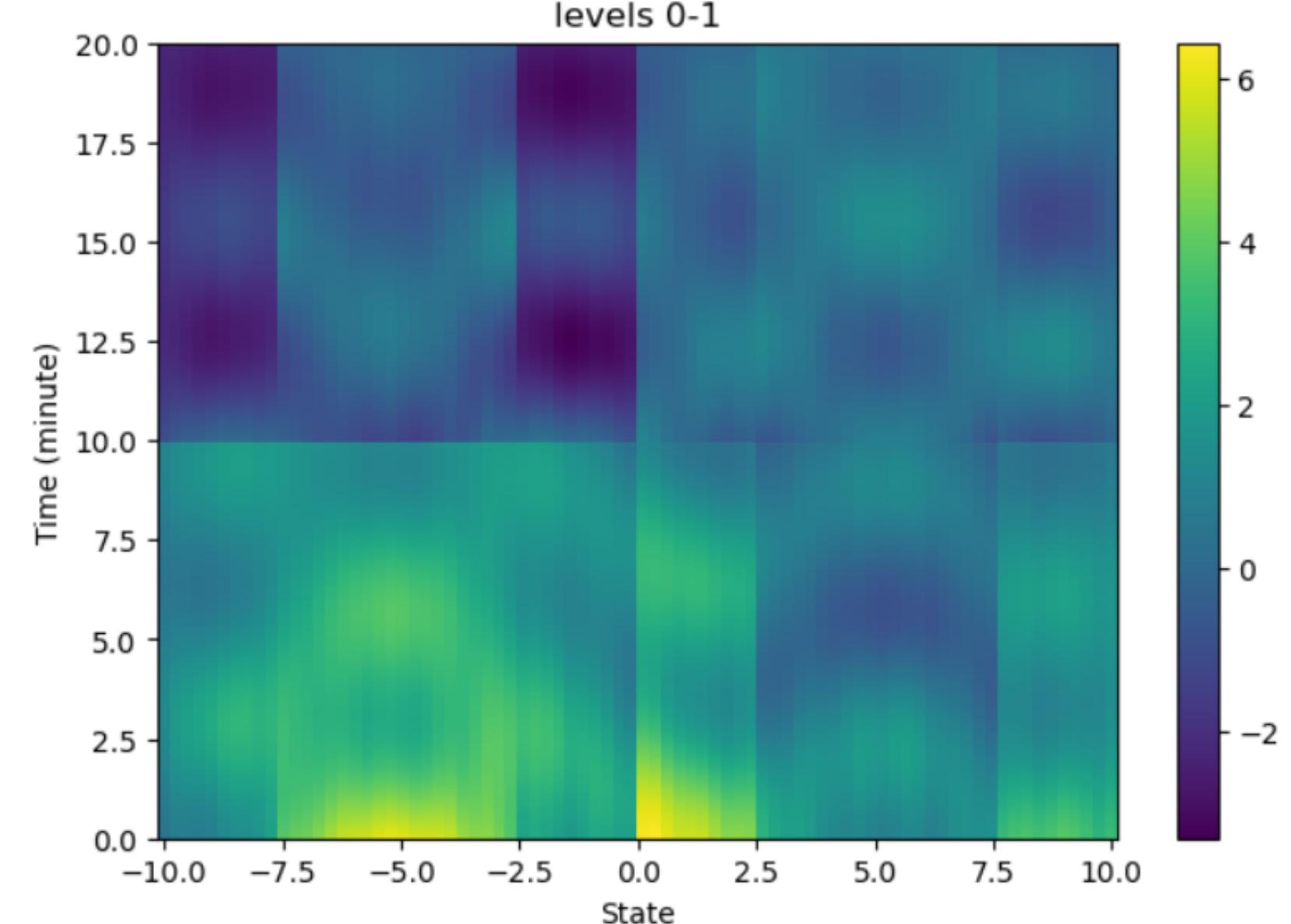
mrDMD con dataset di prova

Livelli 0-1

Rappresentazione grafica del dataset



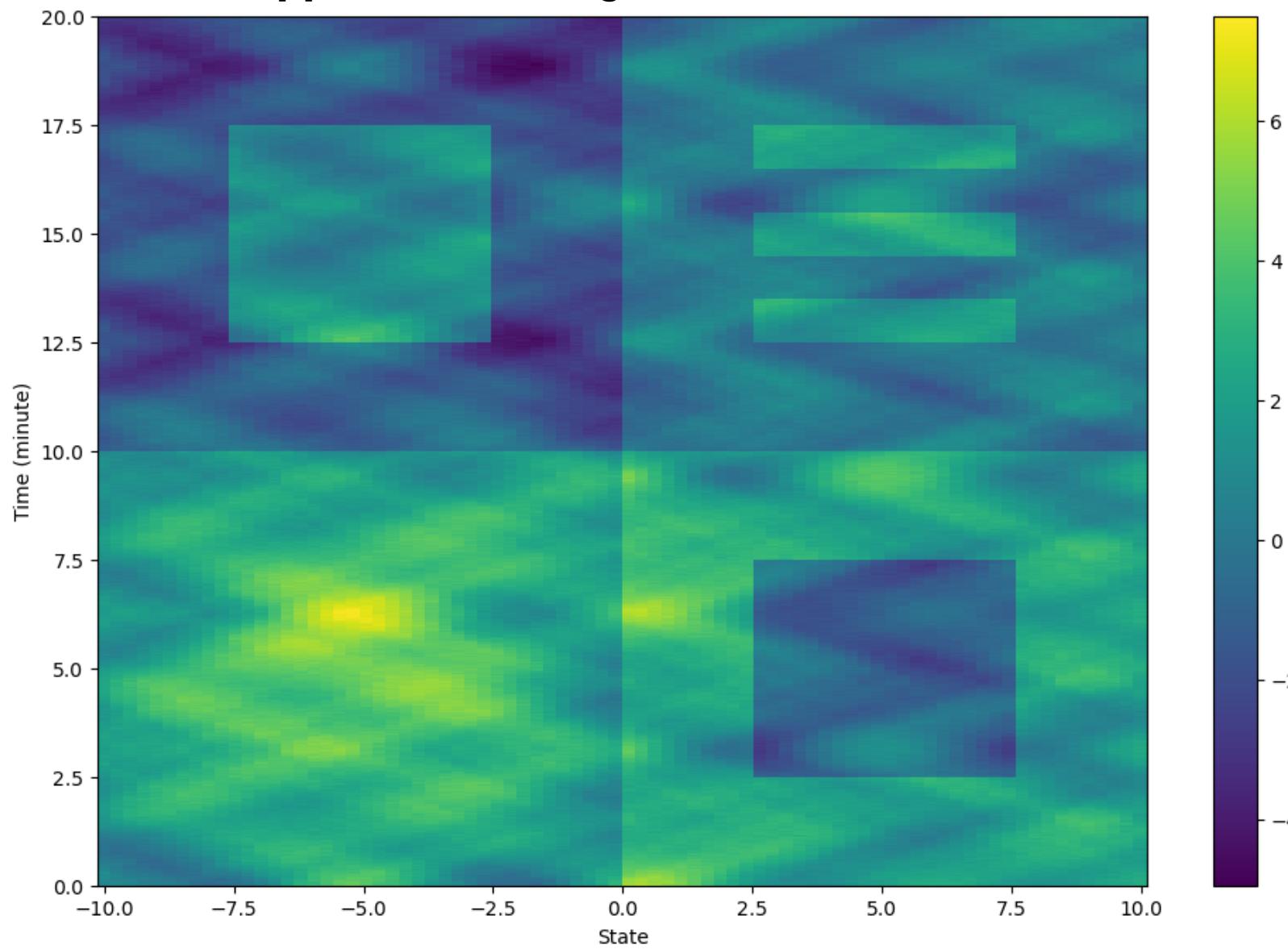
Ricostruzione mrDMD
levels 0-1



mrDMD con dataset di prova

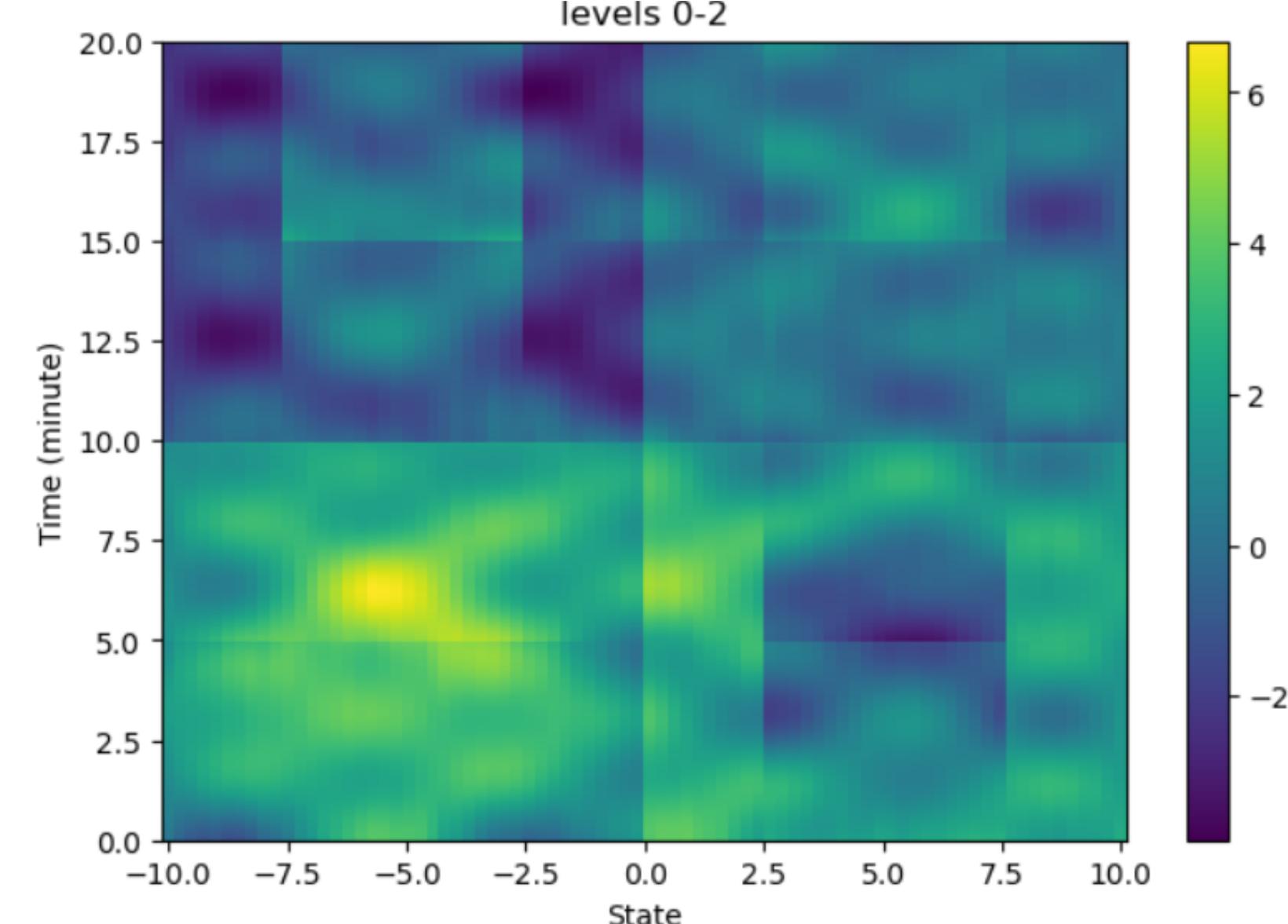
Livelli 0-2

Rappresentazione grafica del dataset



Ricostruzione mrDMD

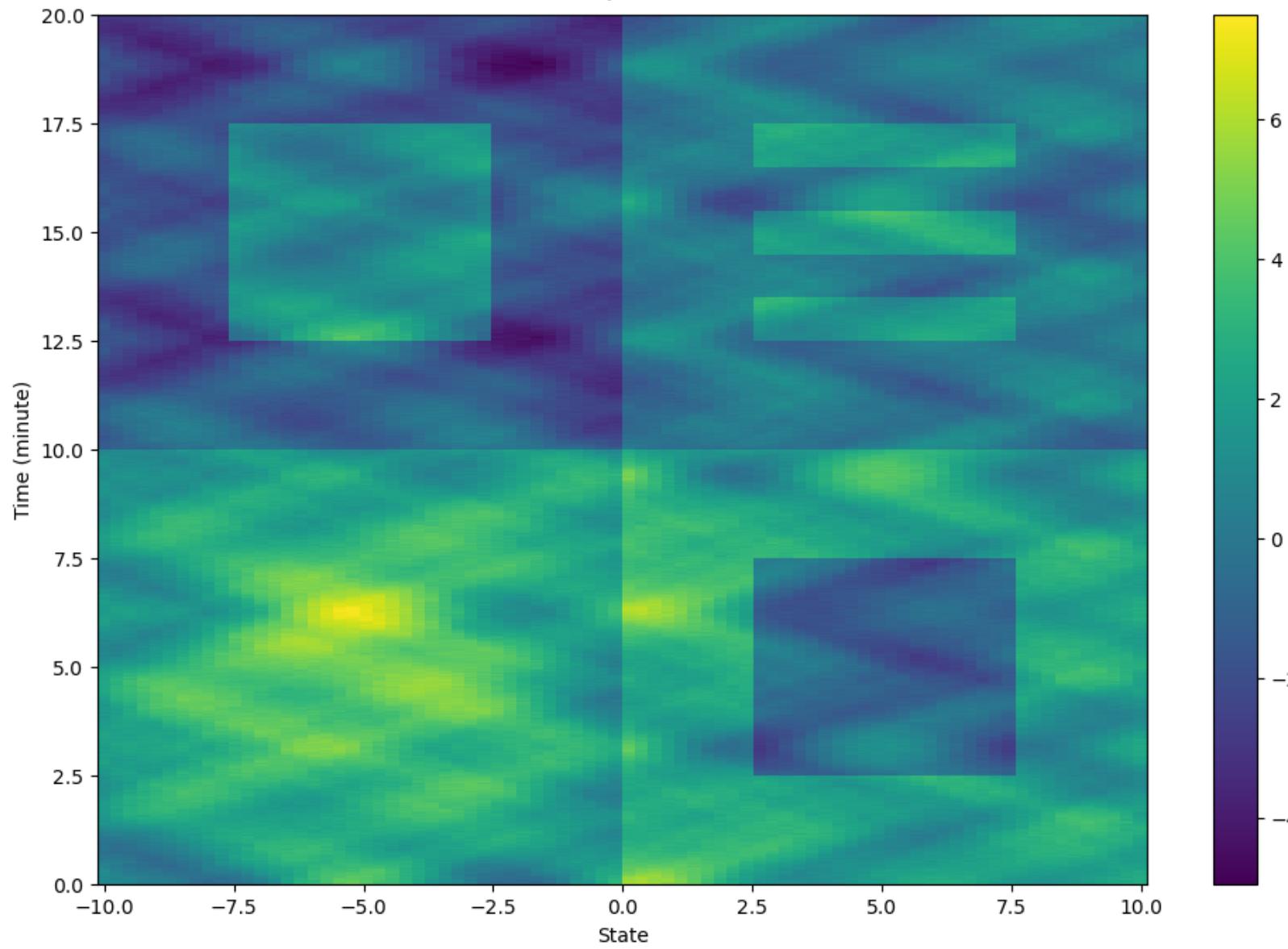
levels 0-2



mrDMD con dataset di prova

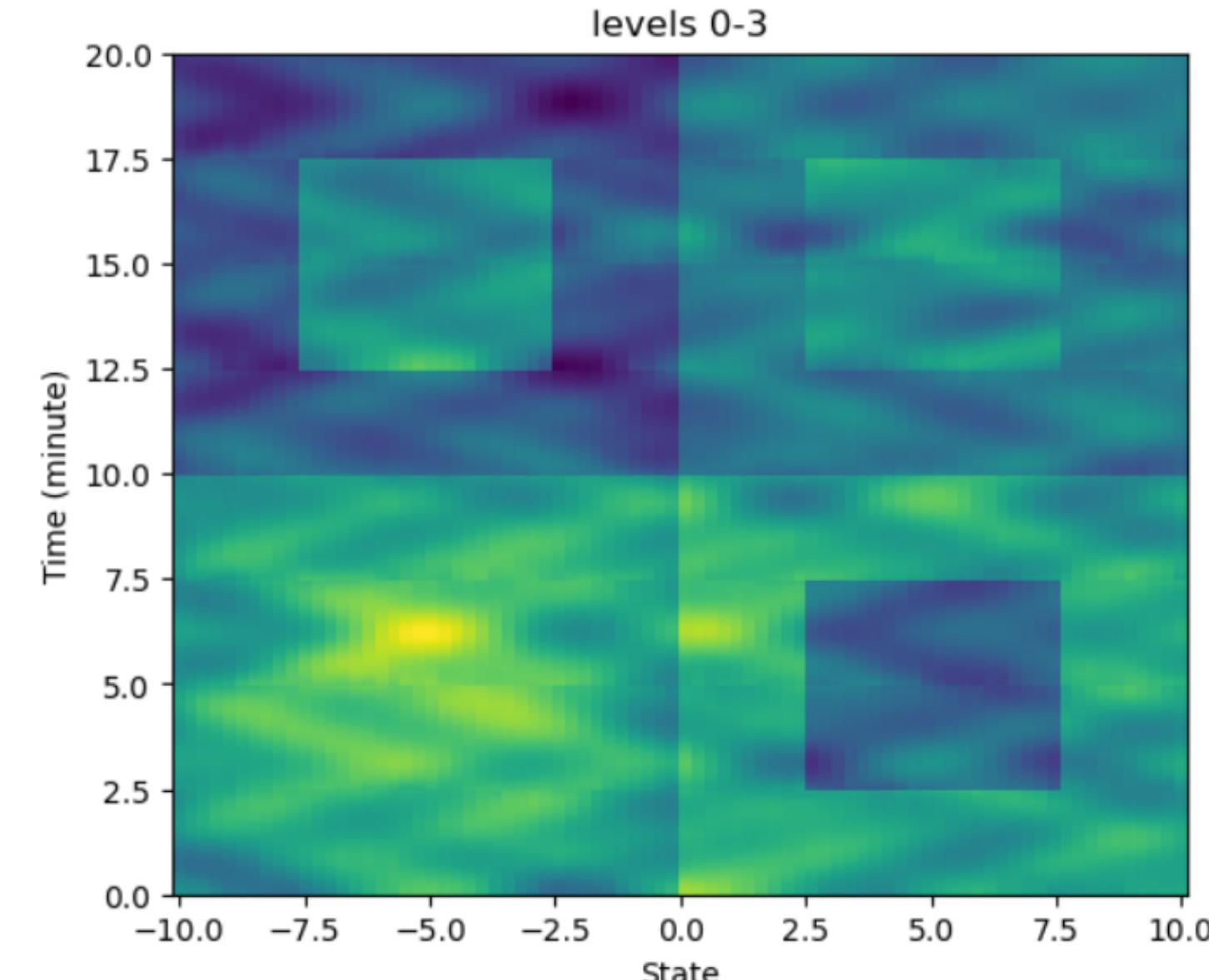
Livelli 0-3

Rappresentazione grafica del dataset



Ricostruzione mrDMD

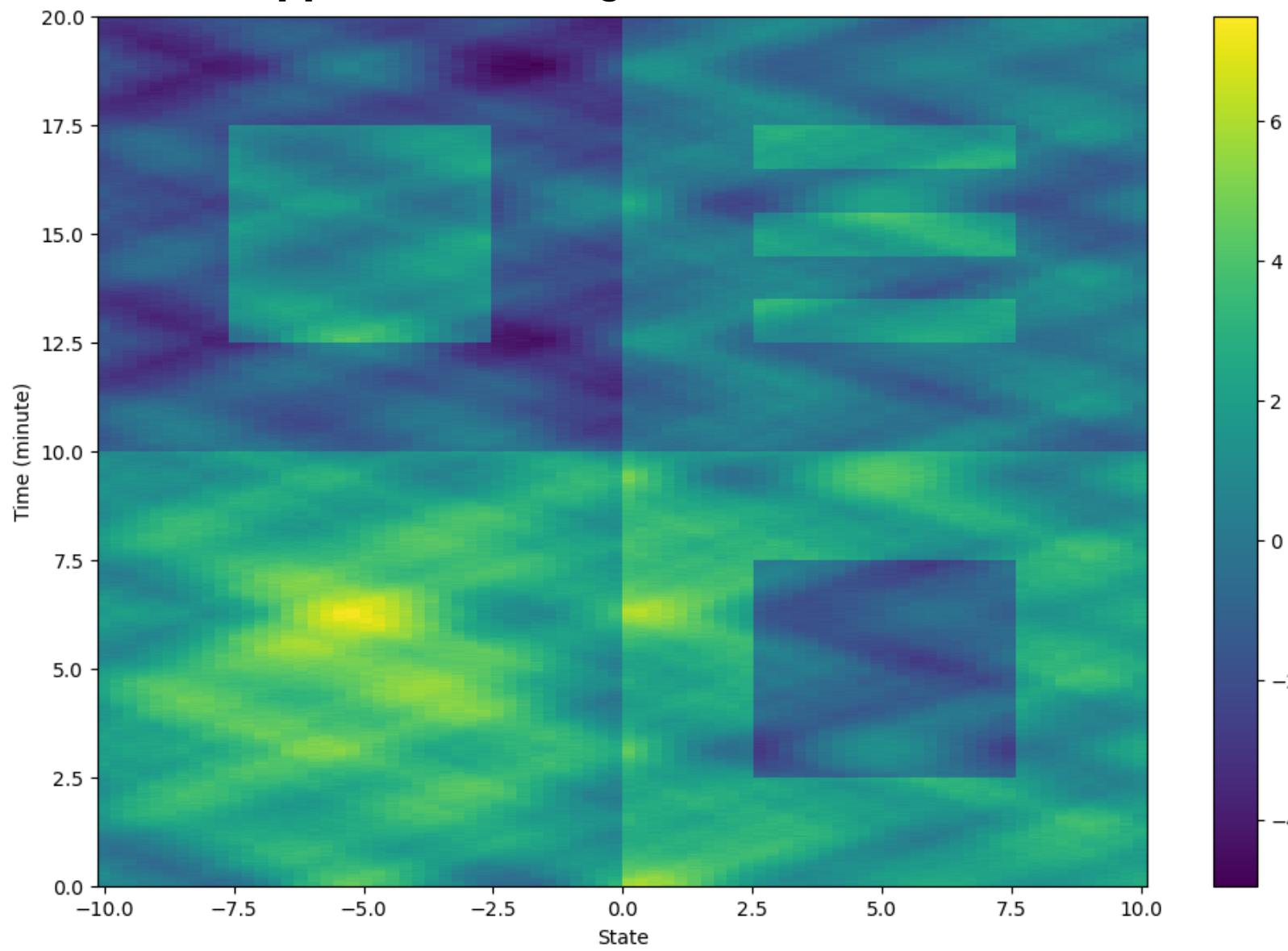
levels 0-3



mrDMD con dataset di prova

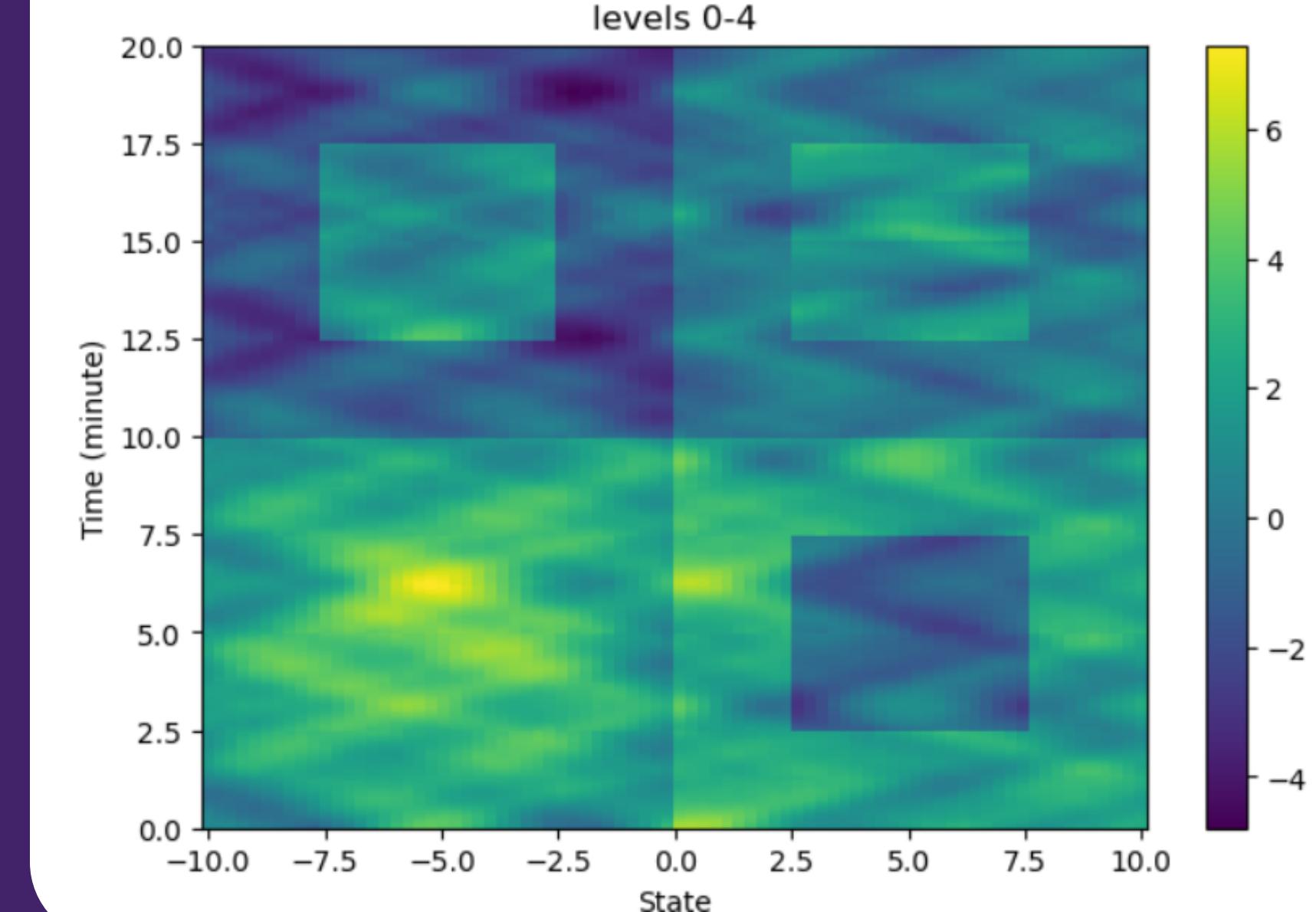
Livelli 0-4

Rappresentazione grafica del dataset



Ricostruzione mrDMD

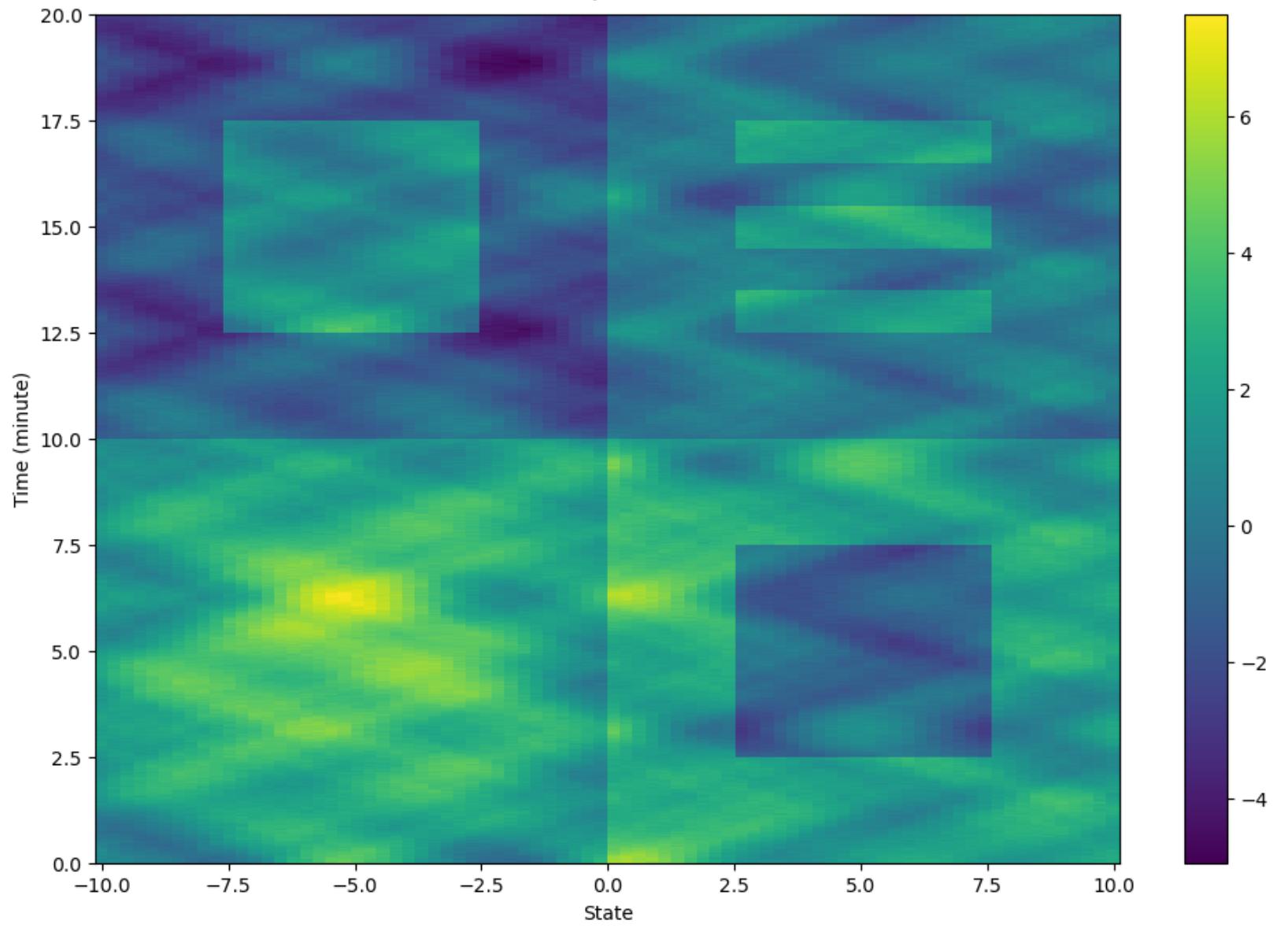
levels 0-4



mrDMD con dataset di prova

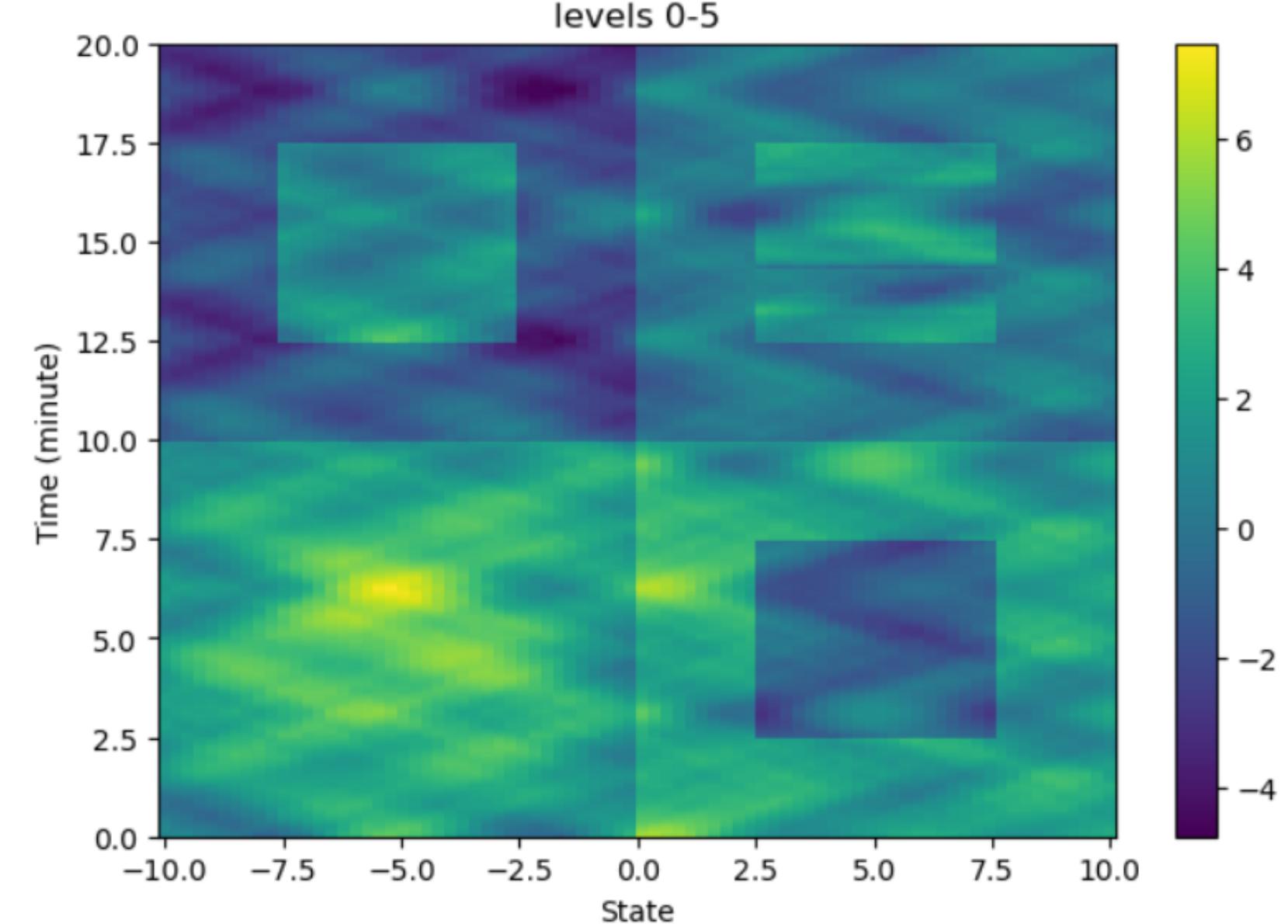
Livelli 0-5

Rappresentazione grafica del dataset



Ricostruzione mrDMD

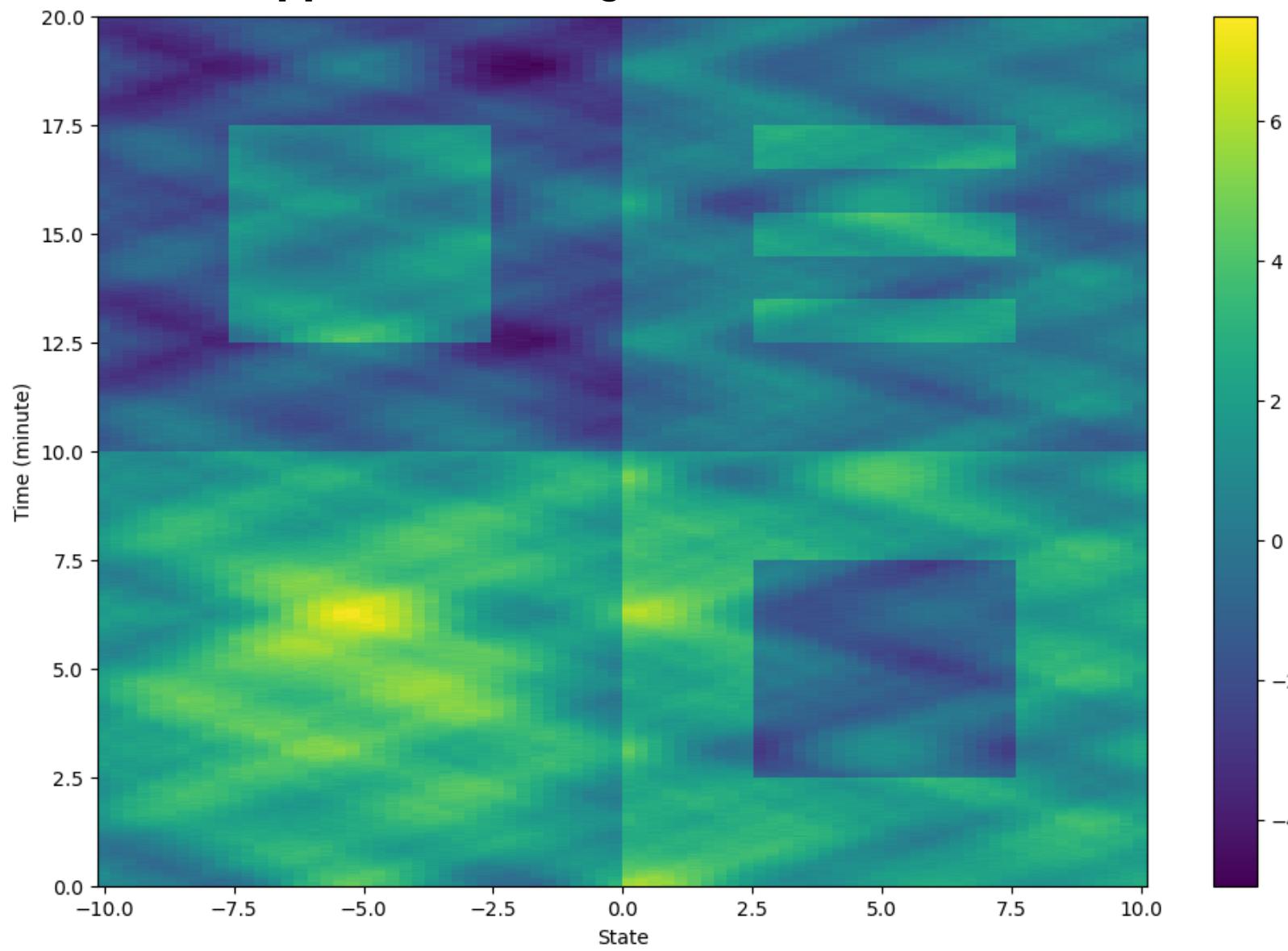
levels 0-5



mrDMD con dataset di prova

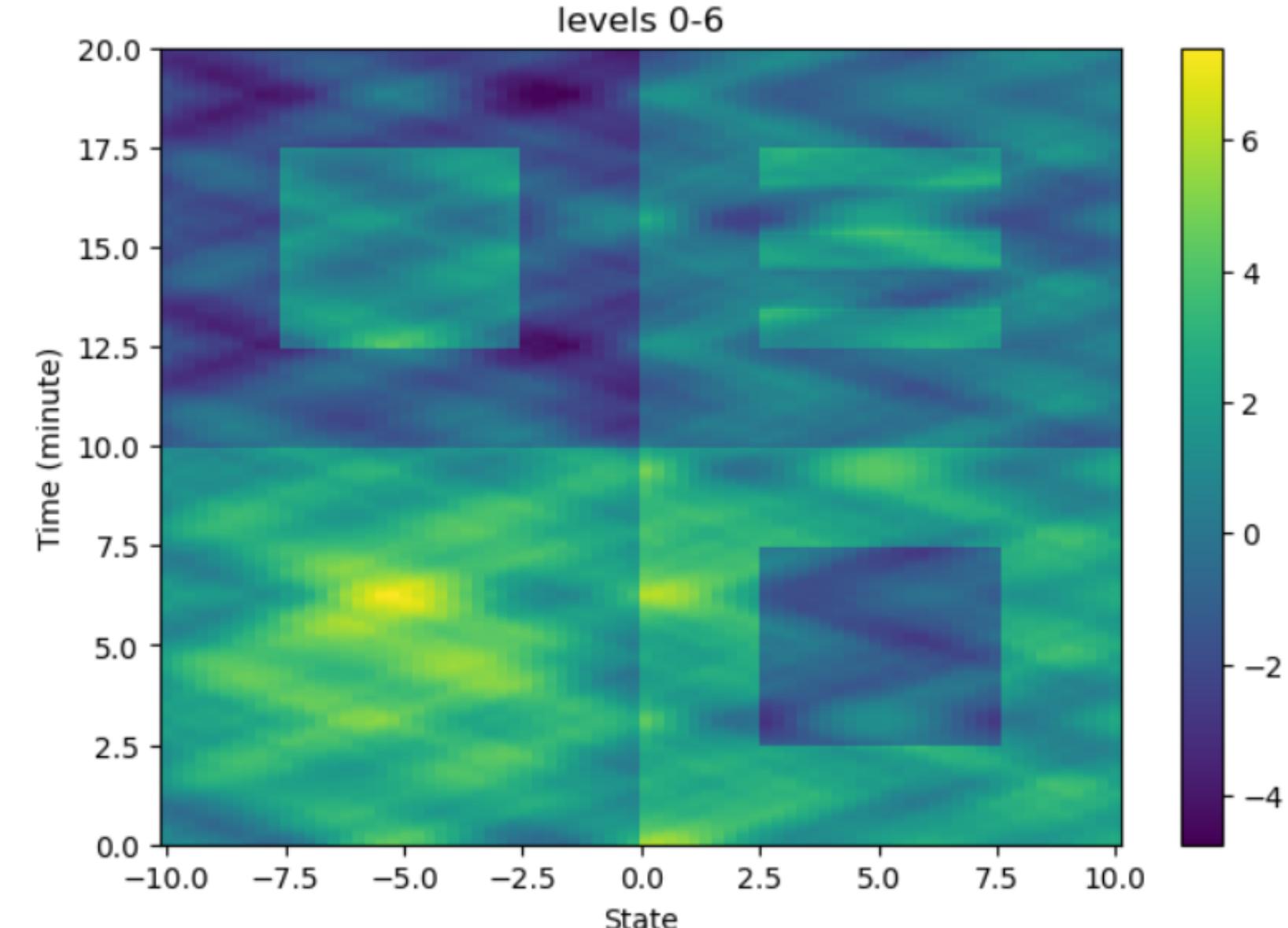
Livelli 0-6

Rappresentazione grafica del dataset



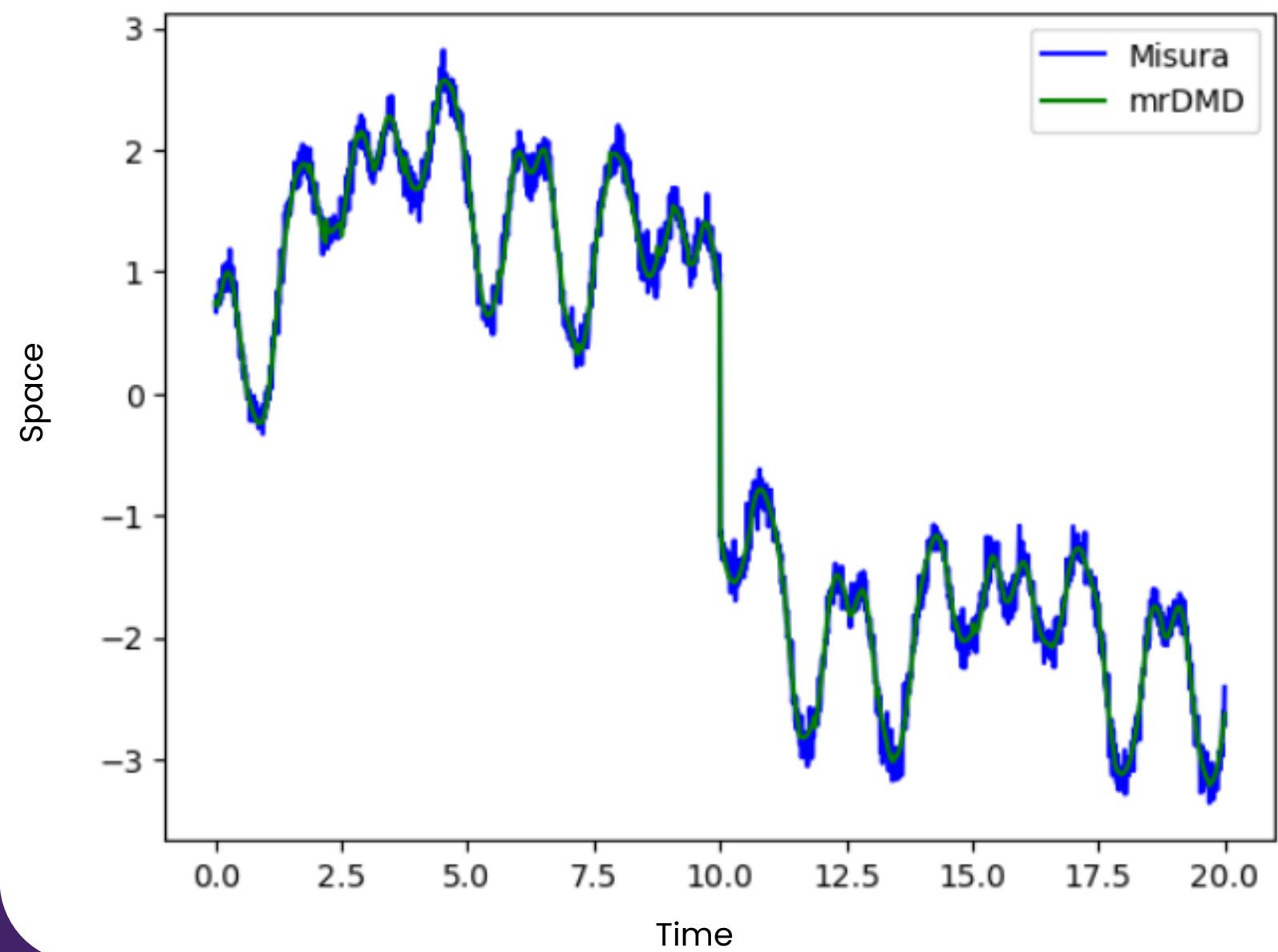
Ricostruzione mrDMD

levels 0-6

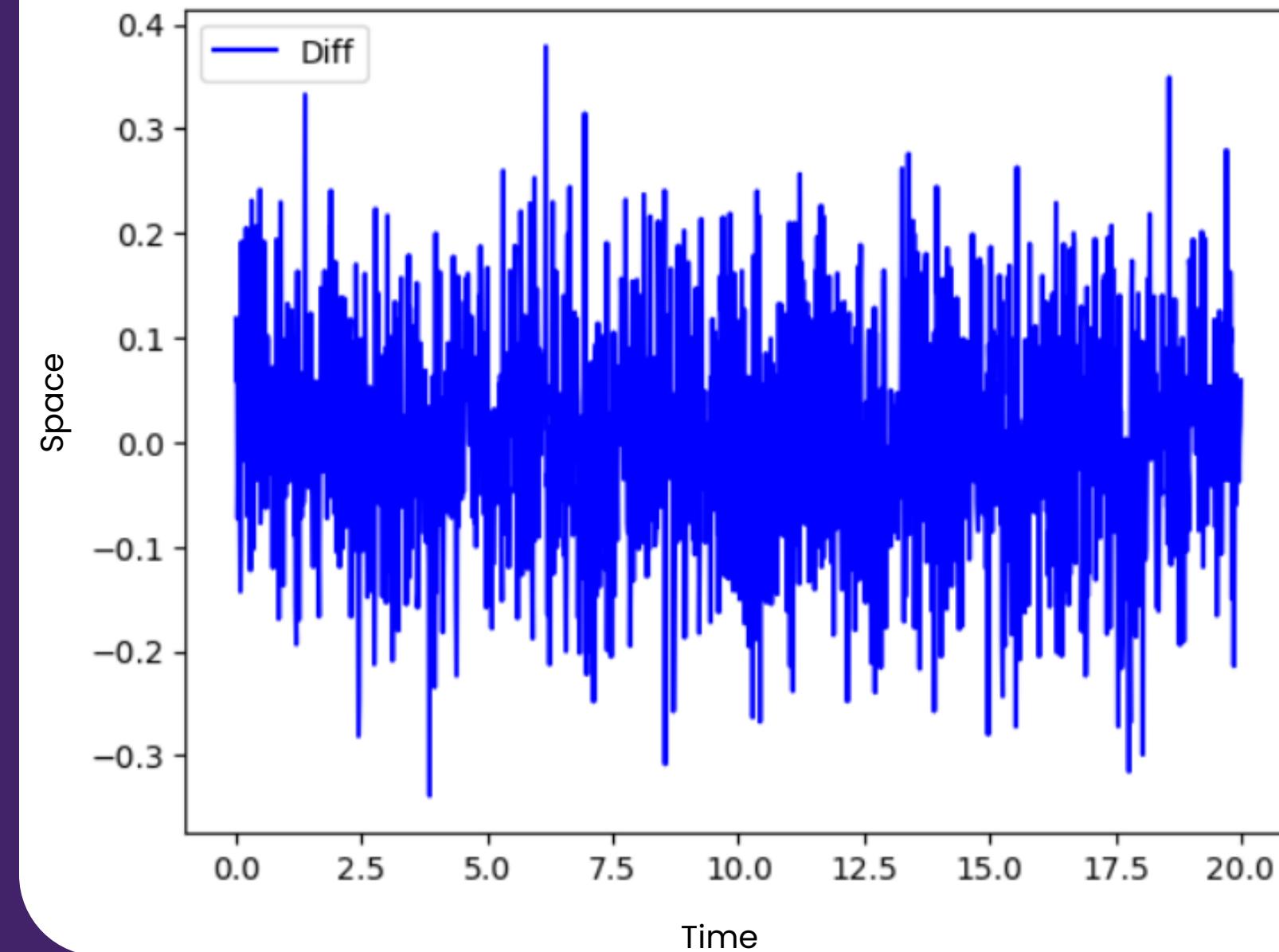


mrDMD con dataset di prova

Andamento temporale dei dati



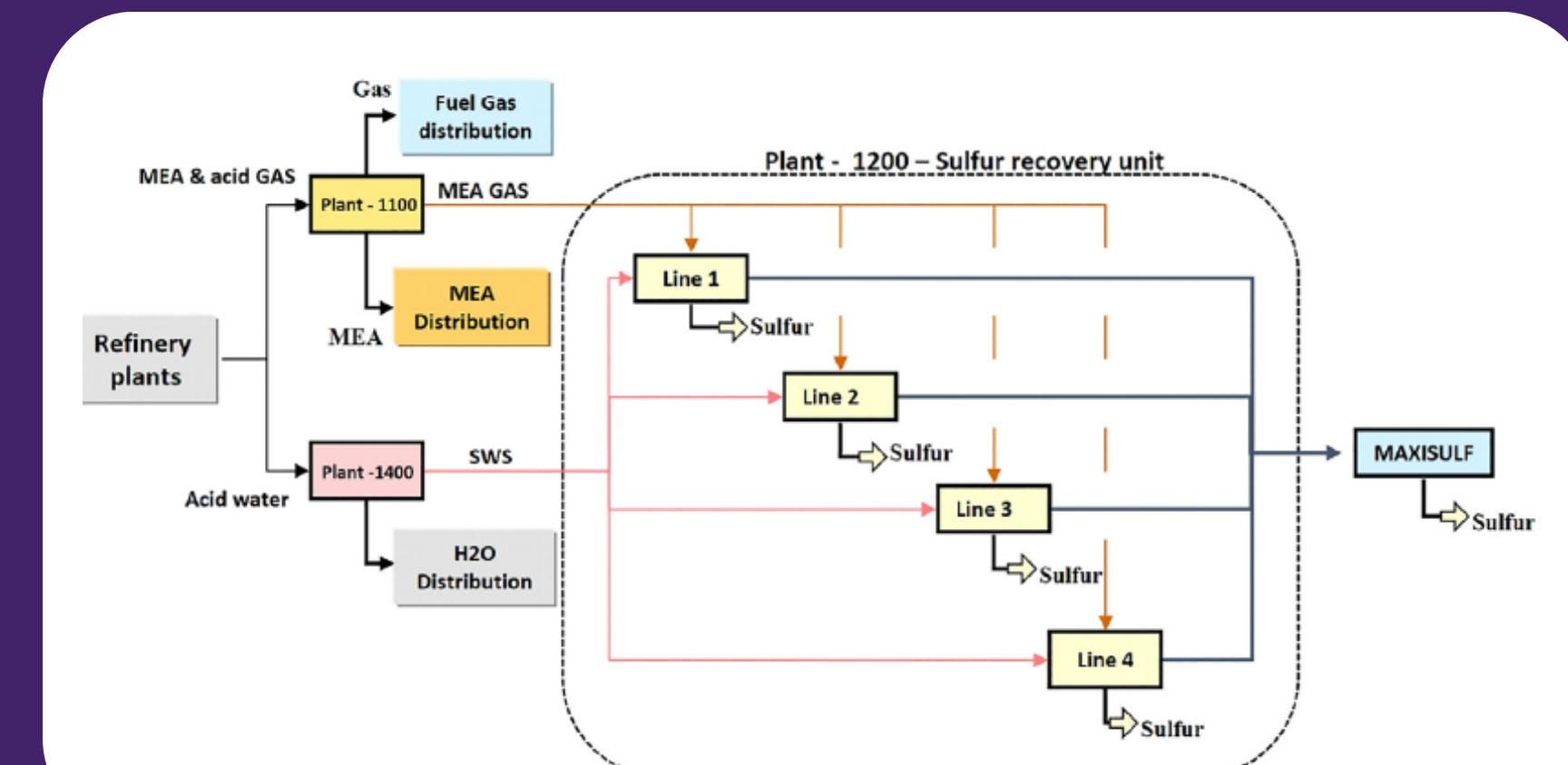
Differenza tra misura e mrDMD



Dataset SRU

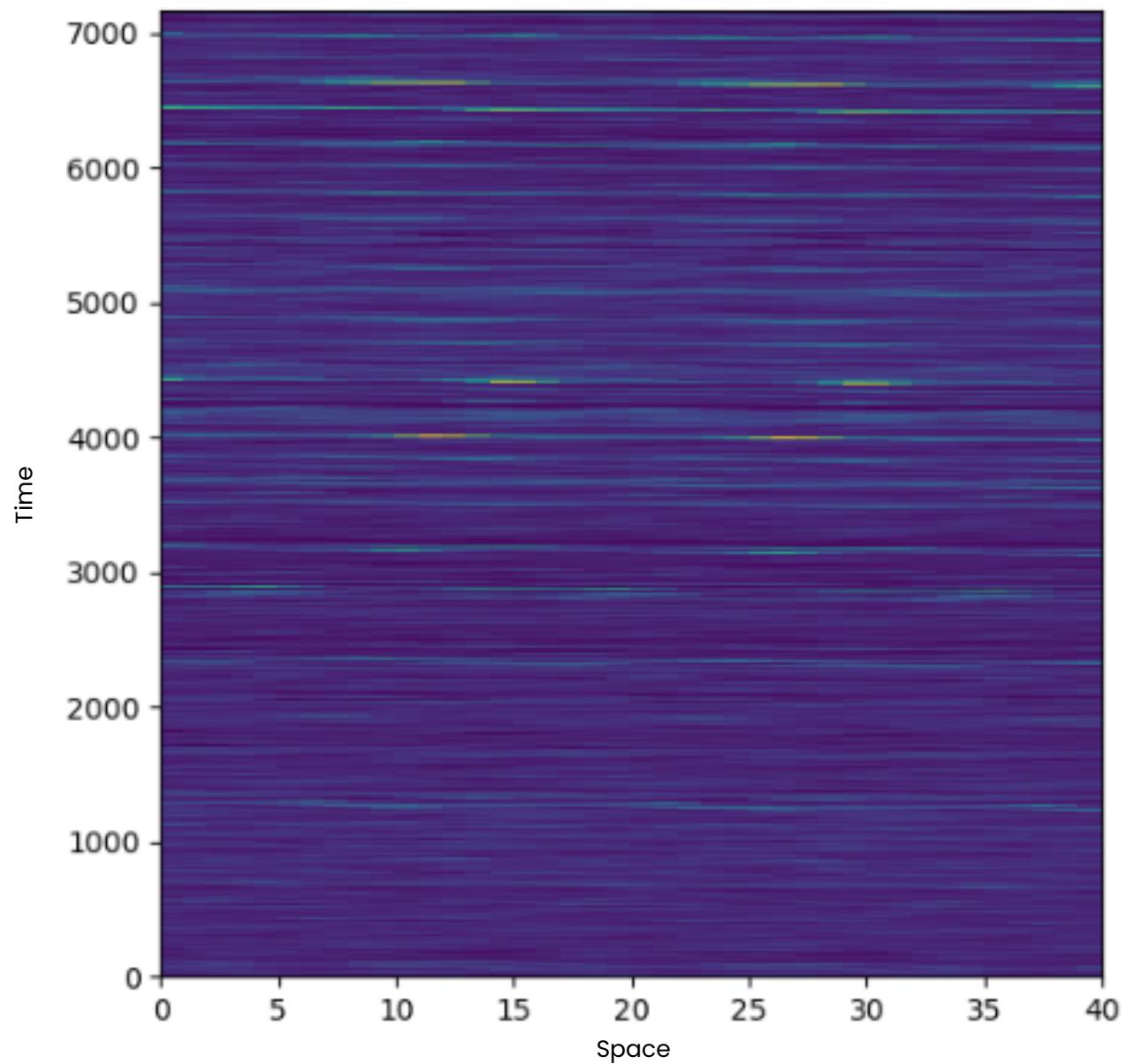
Il dataset industriale utilizzato riguarda l'estrazione di dati tramite SRU (Sulfur Recovery Unit) dalle linee di zolfo di una raffineria situata in Sicilia. In particolare abbiamo utilizzato i dati prelevati da uno dei due gas di uscita (H_2S) in modo da avere una sola serie temporale per poi essere convertiti in matrice aggiungendo lo stesso segnale ritardato di 40 step mentre i dati campionati sono 7000 (rispettivamente asse x e y che vedremo nelle slide successive).

Questo migliora le performance del mrDMD perchè aggiungiamo informazioni temporali al segnale.

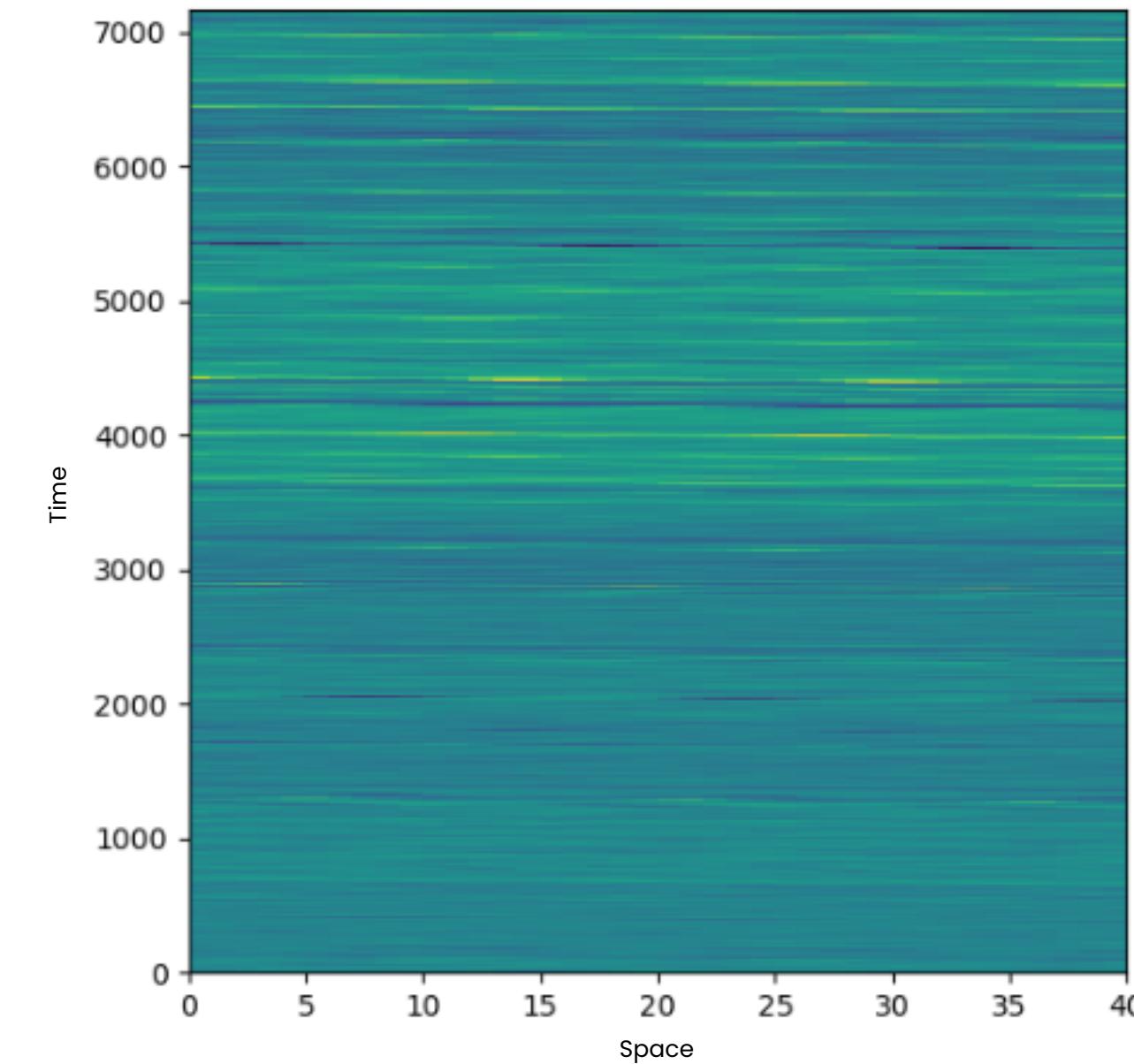


DMDc con dataset SRU

Rappresentazione grafica del dataset

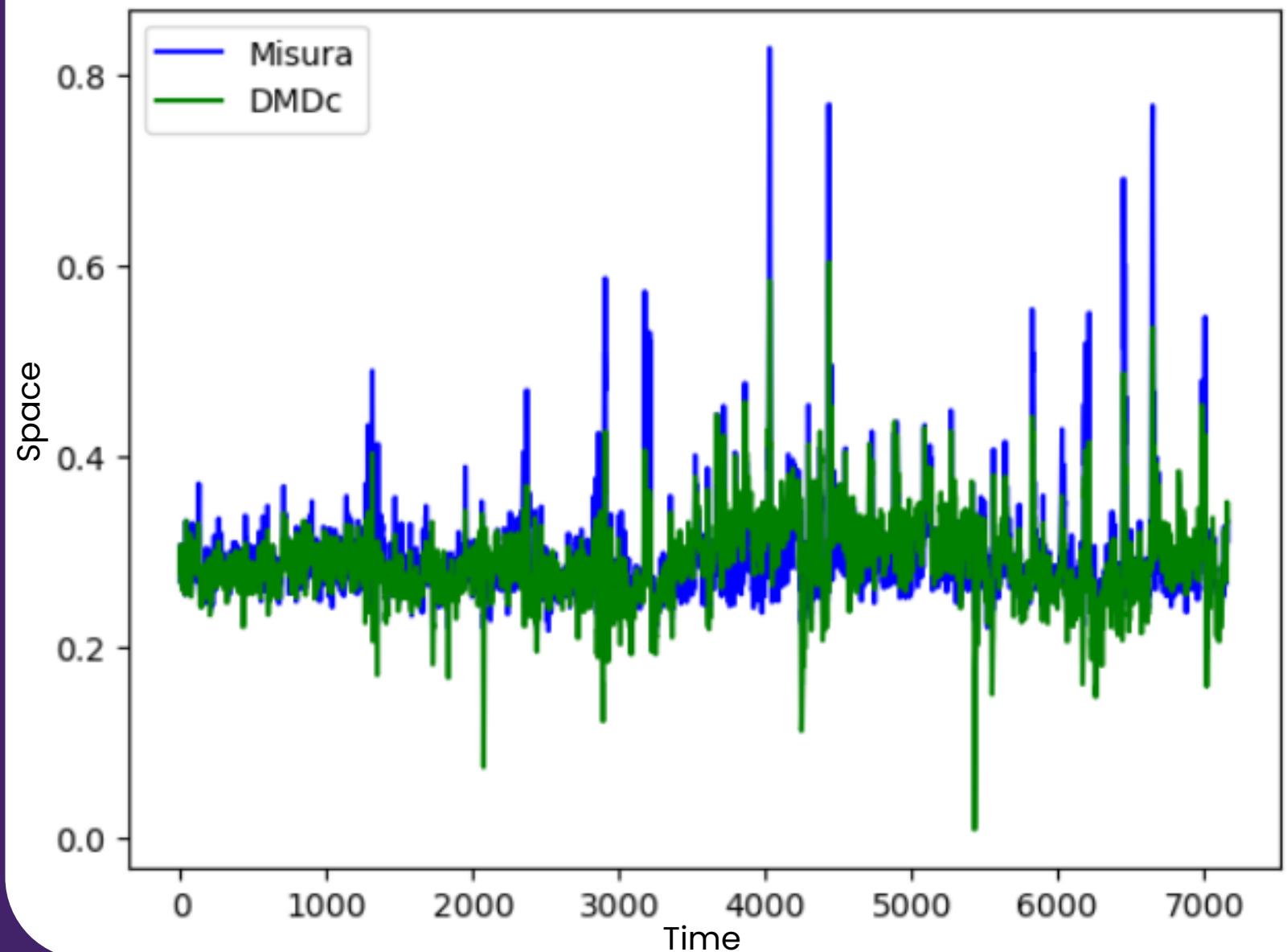


Ricostruzione DMDc

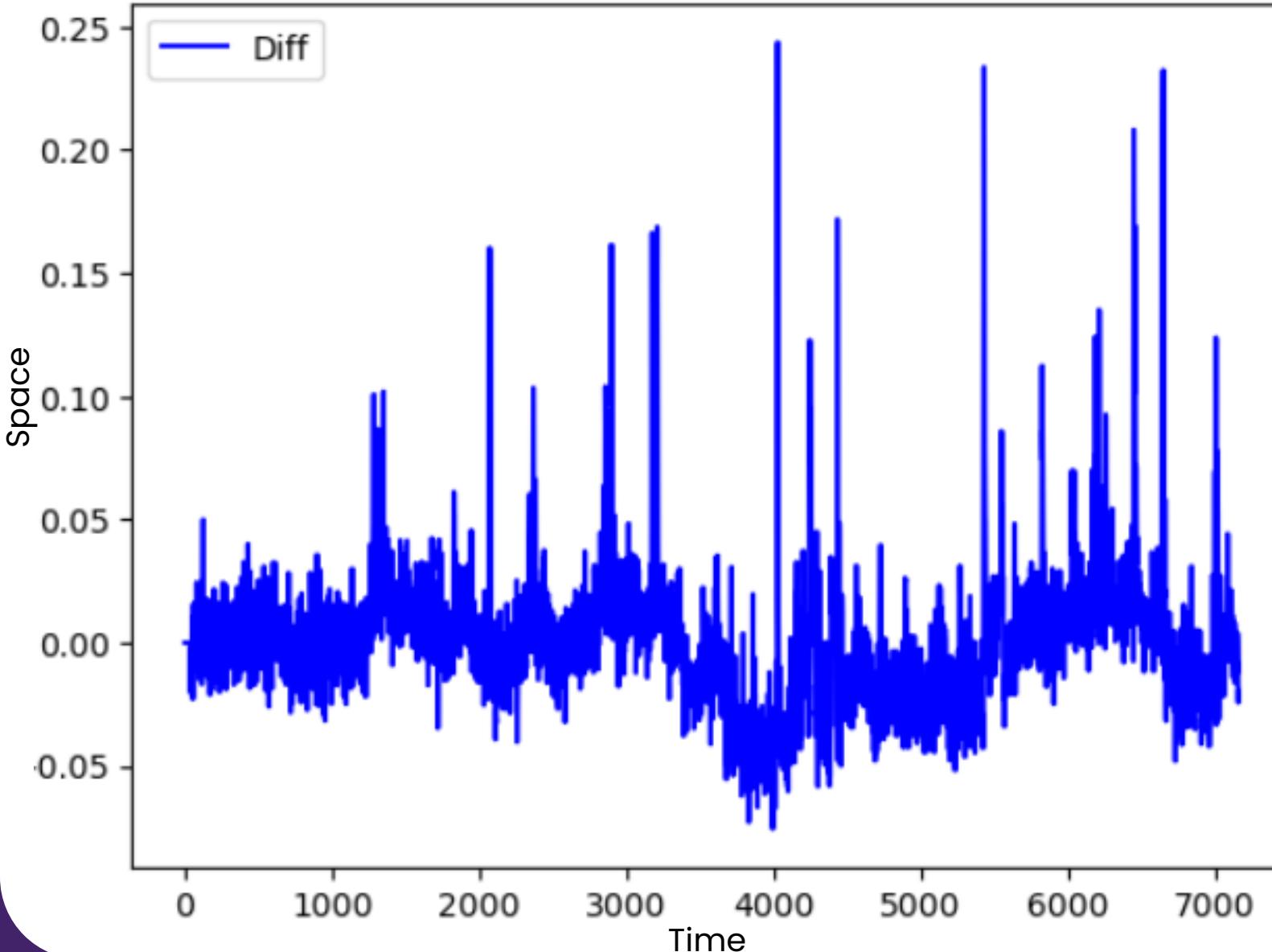


DMDc con dataset SRU

Andamento temporale dei dati



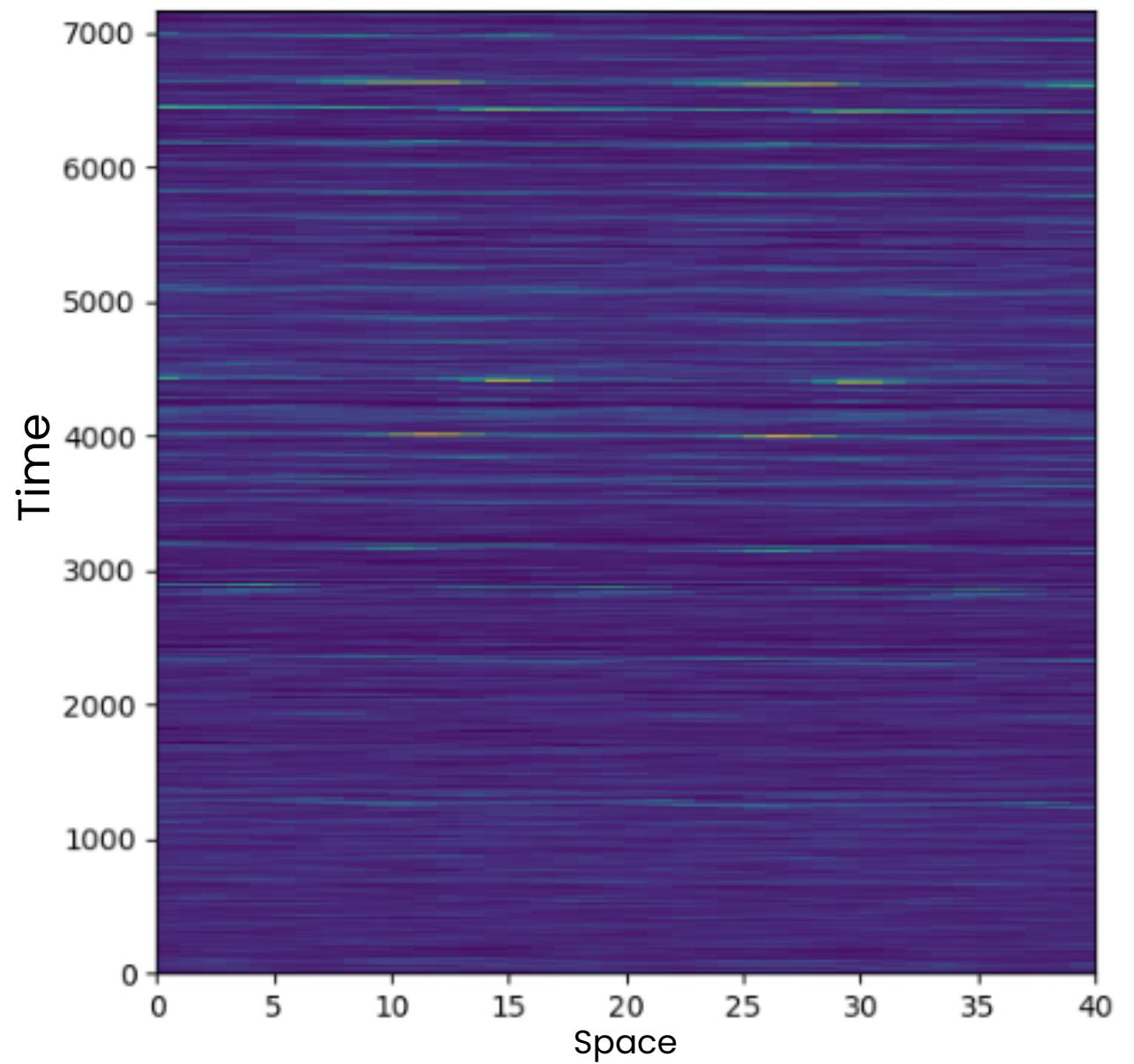
Differenza tra misura e DMDc



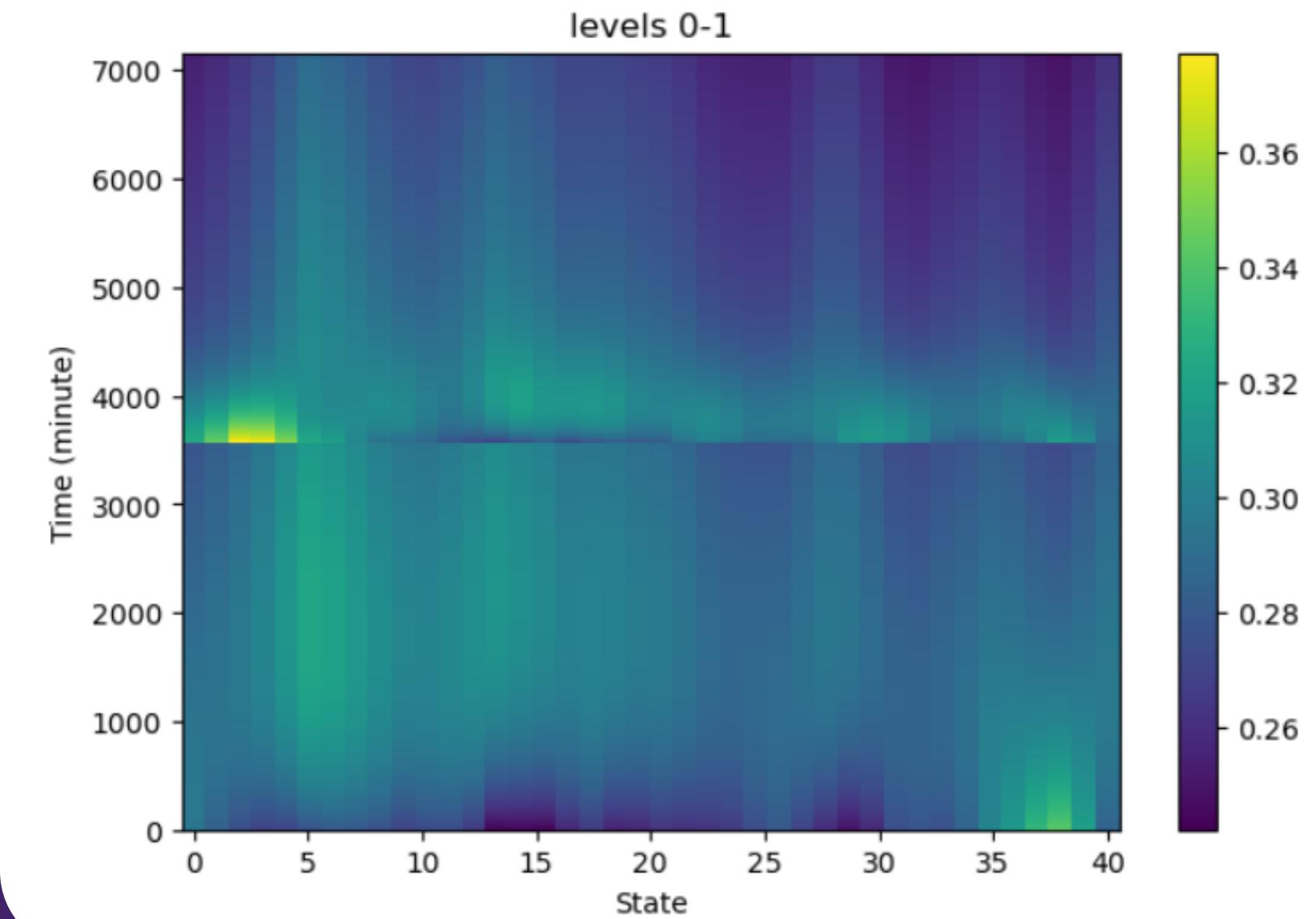
mrDMD con dataset SRU

Livelli 0-1

Rappresentazione grafica dataset

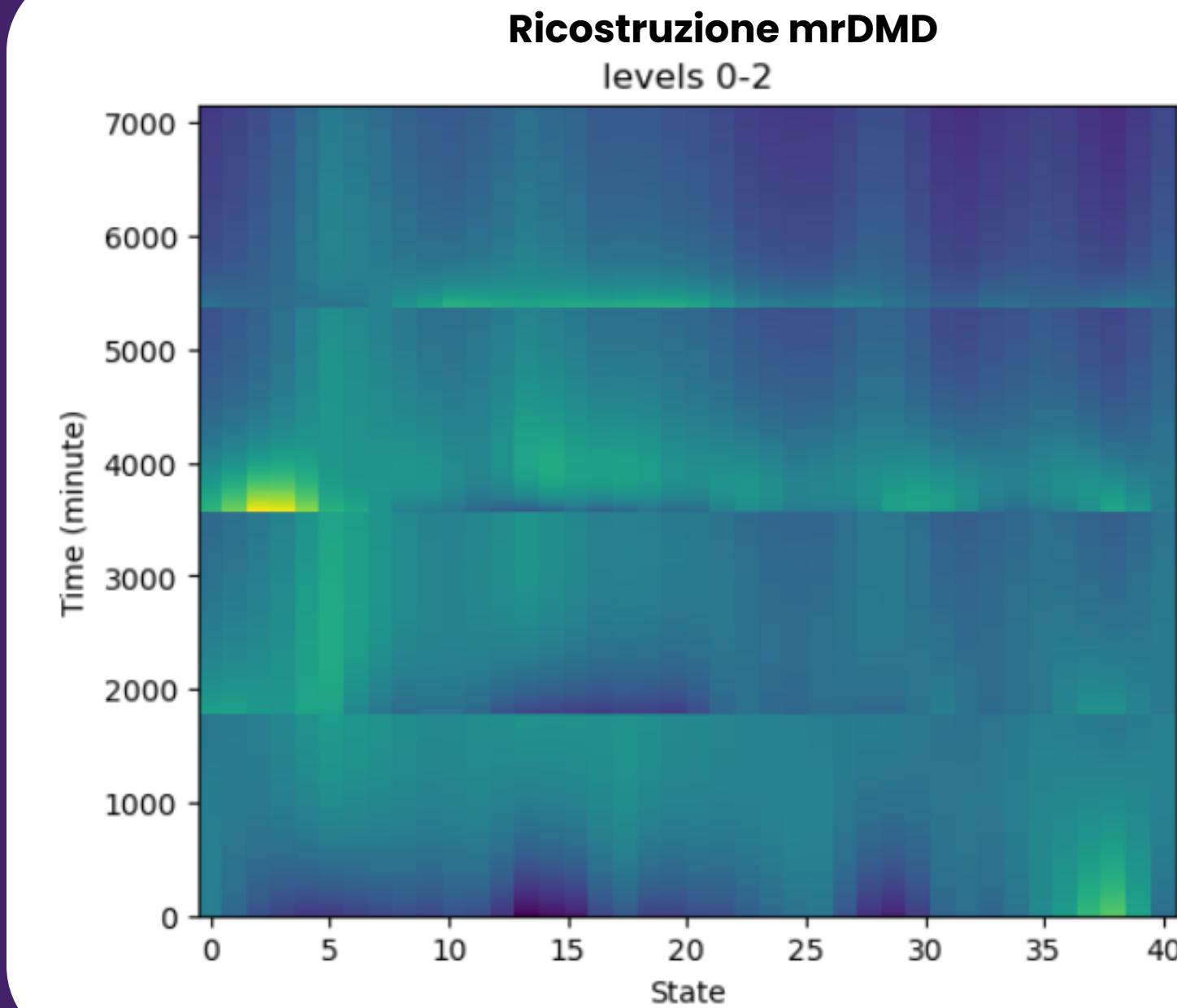
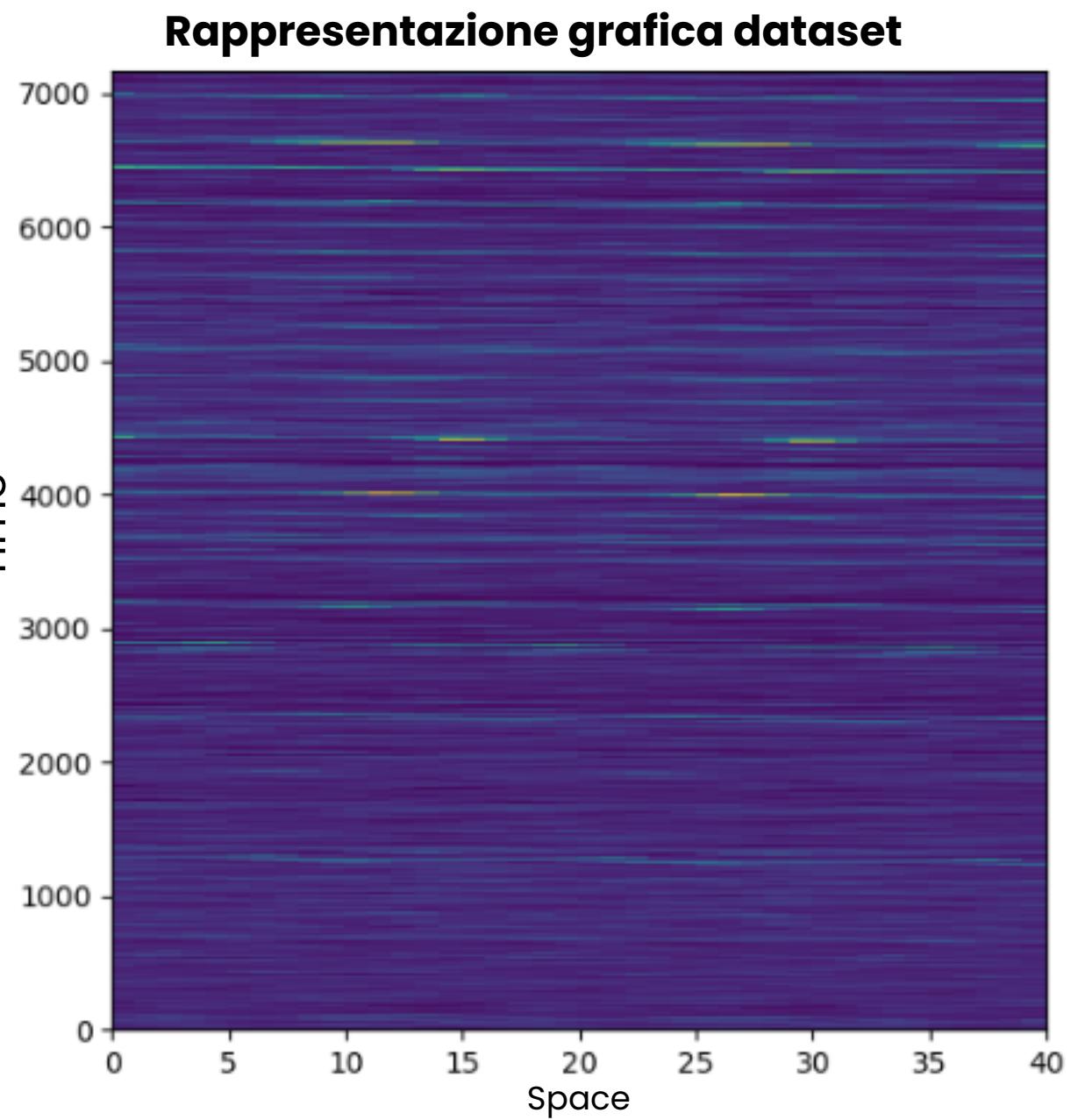


Ricostruzione mrDMD



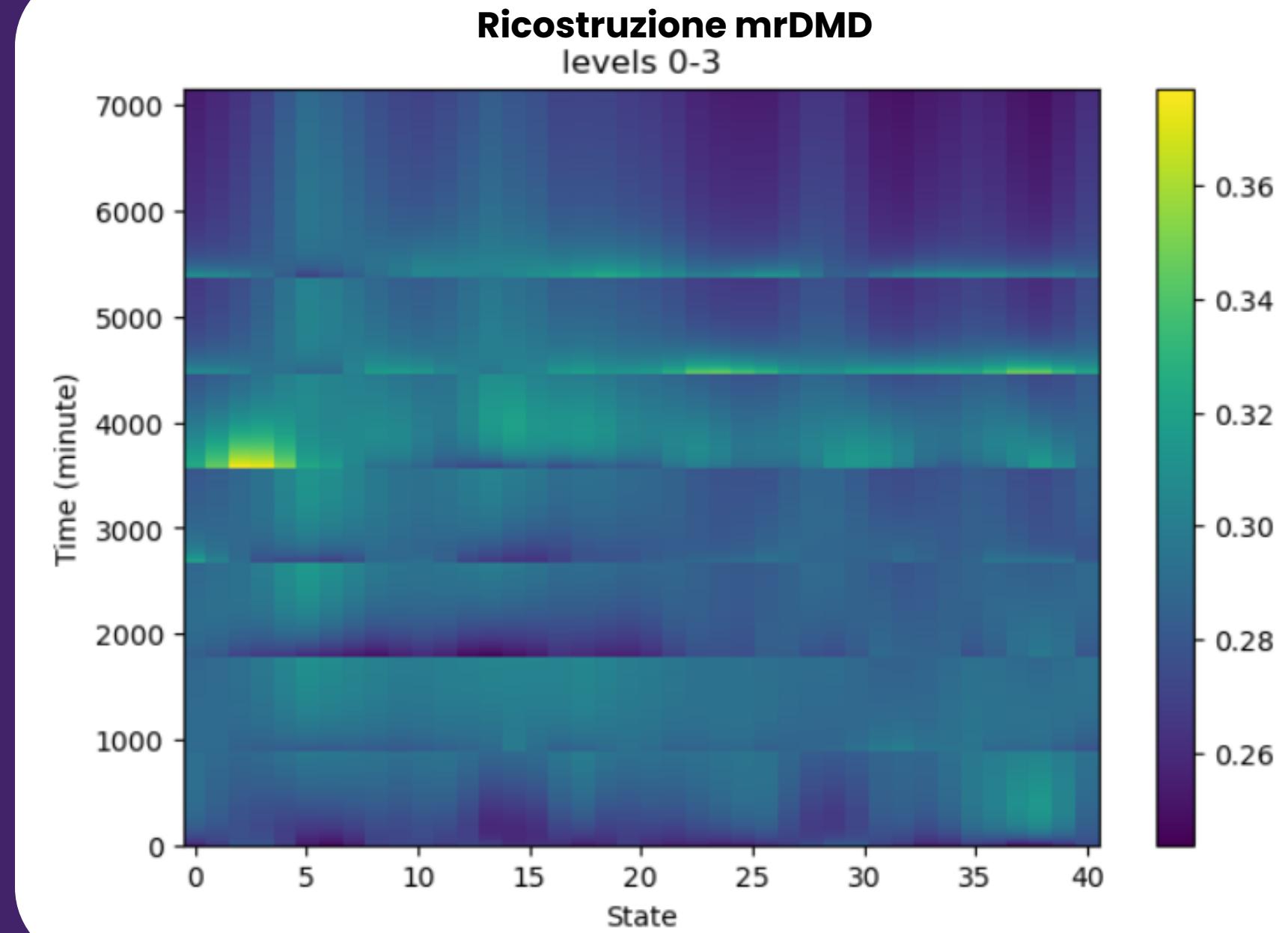
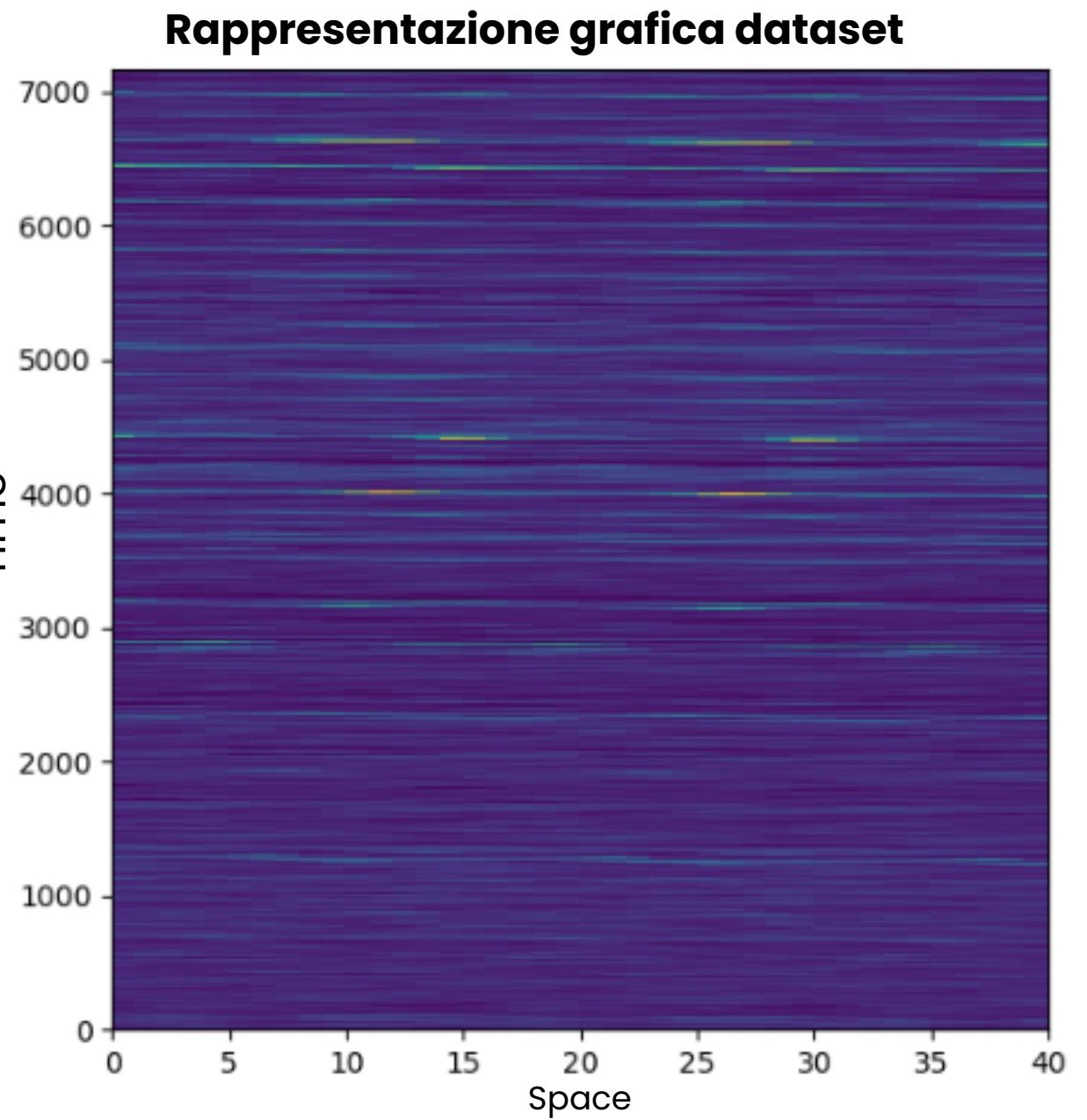
mrDMD con dataset SRU

Livelli 0-2



mrDMD con dataset SRU

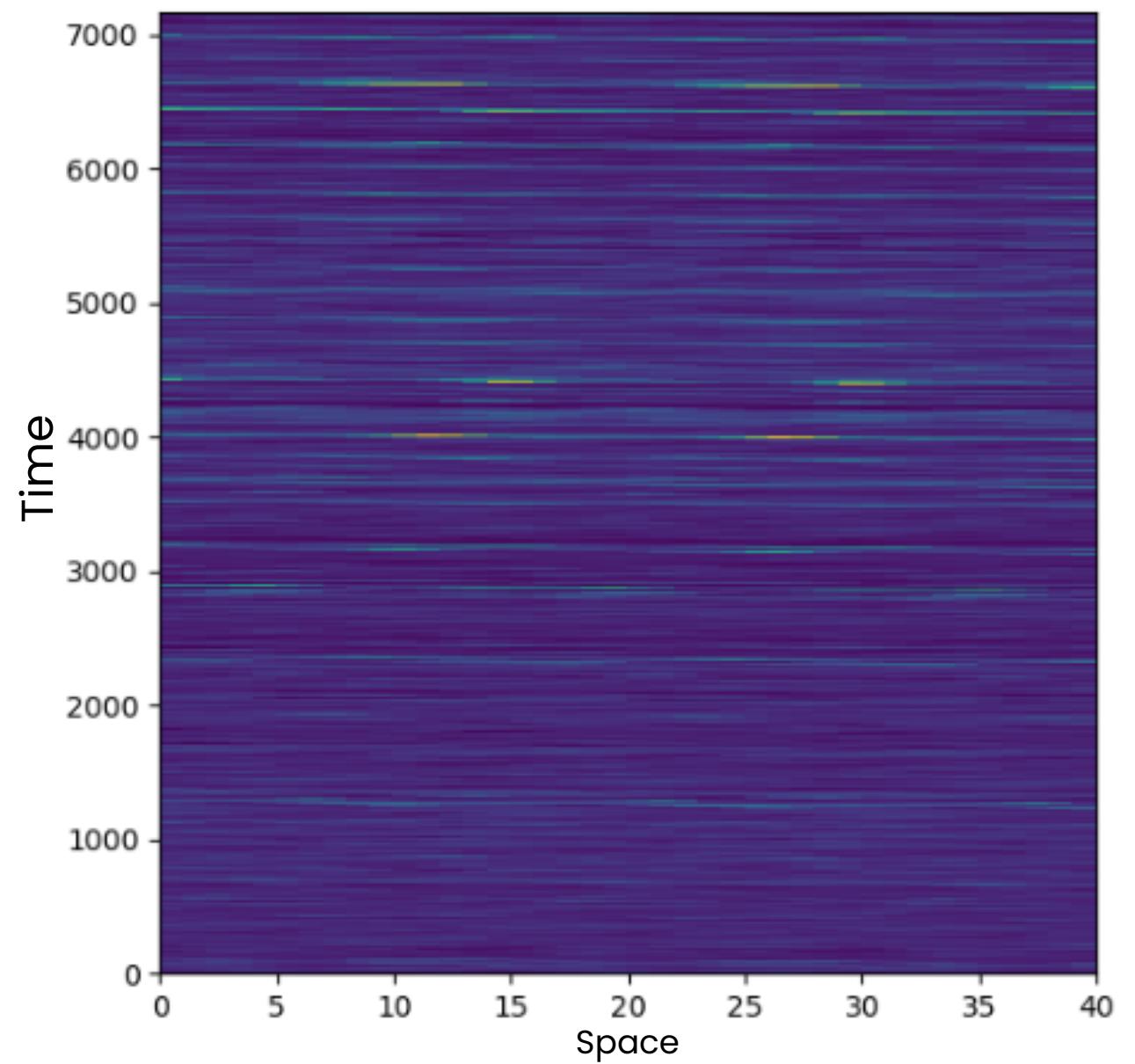
Livelli 0-3



mrDMD con dataset SRU

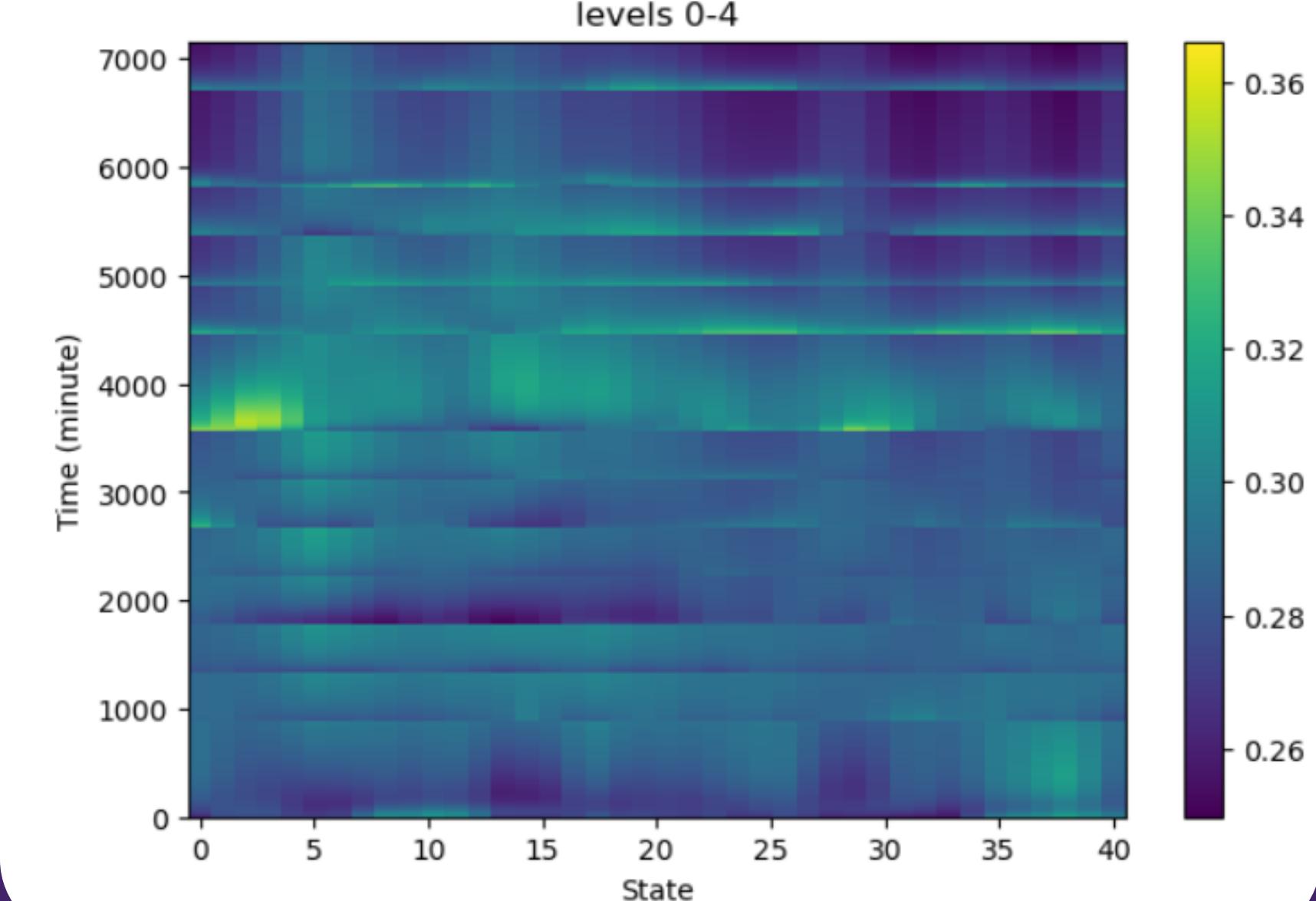
Livelli 0-4

Rappresentazione grafica dataset



Ricostruzione mrDMD

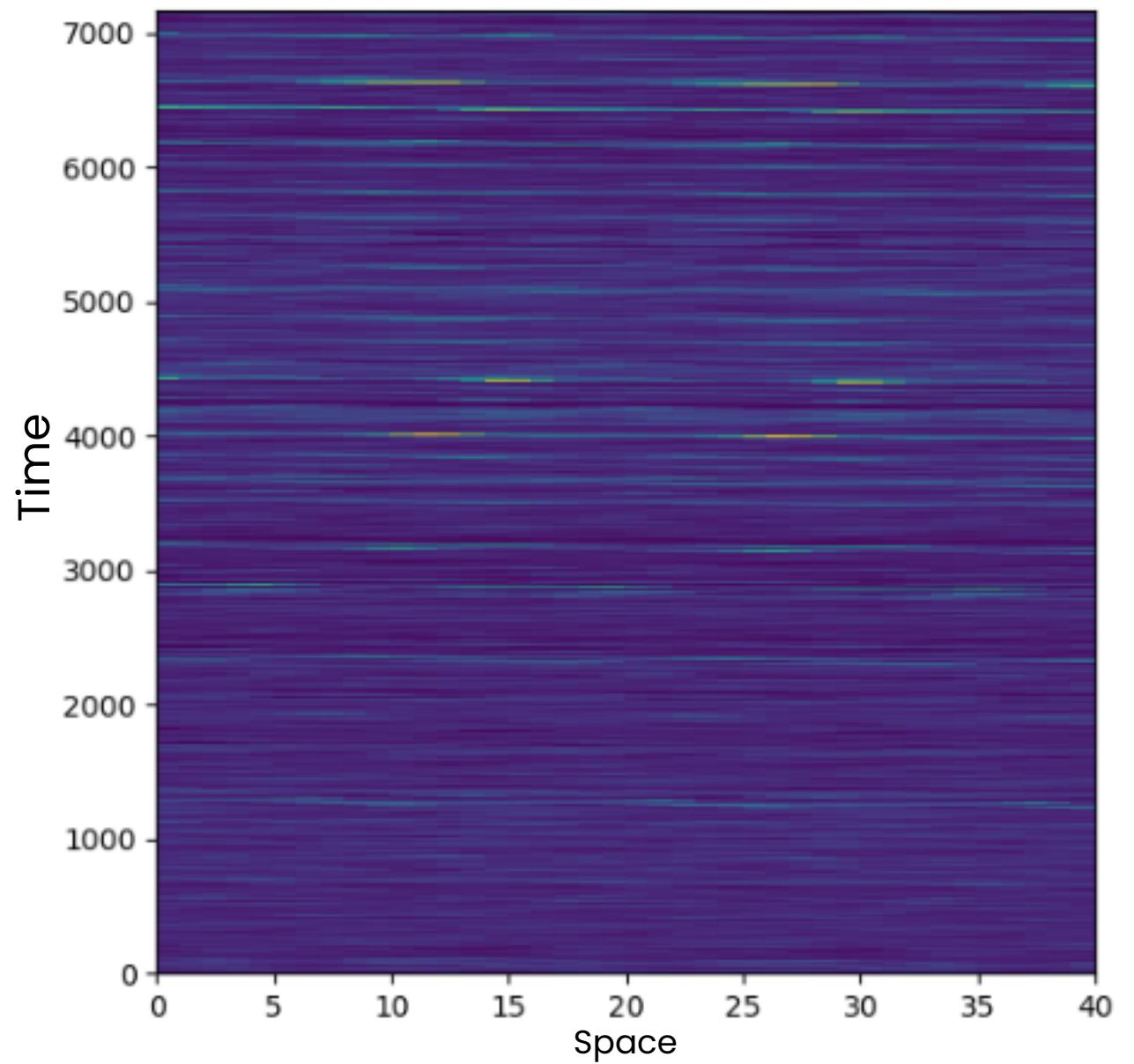
levels 0-4



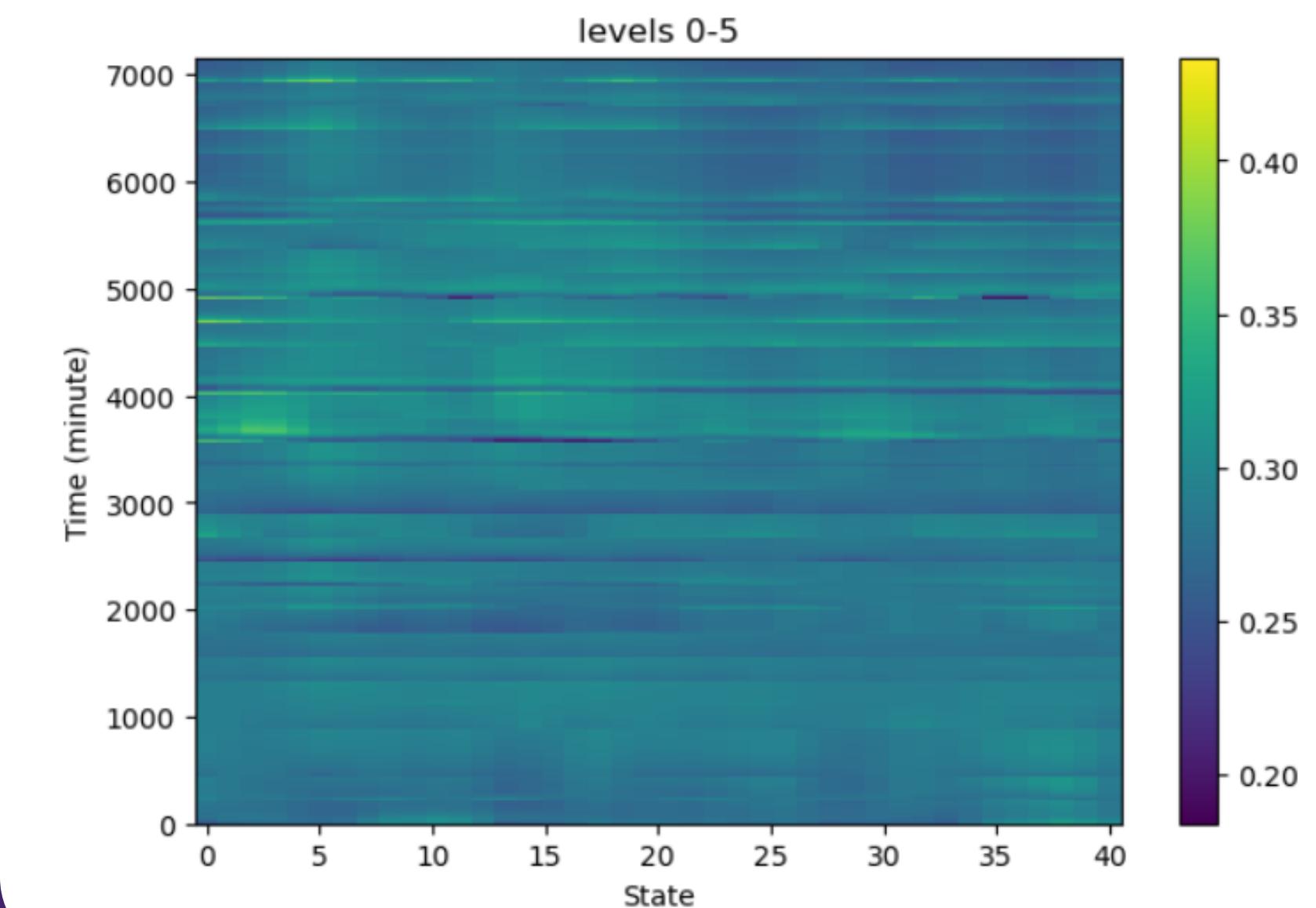
mrDMD con dataset SRU

Livelli 0-5

Rappresentazione grafica dataset



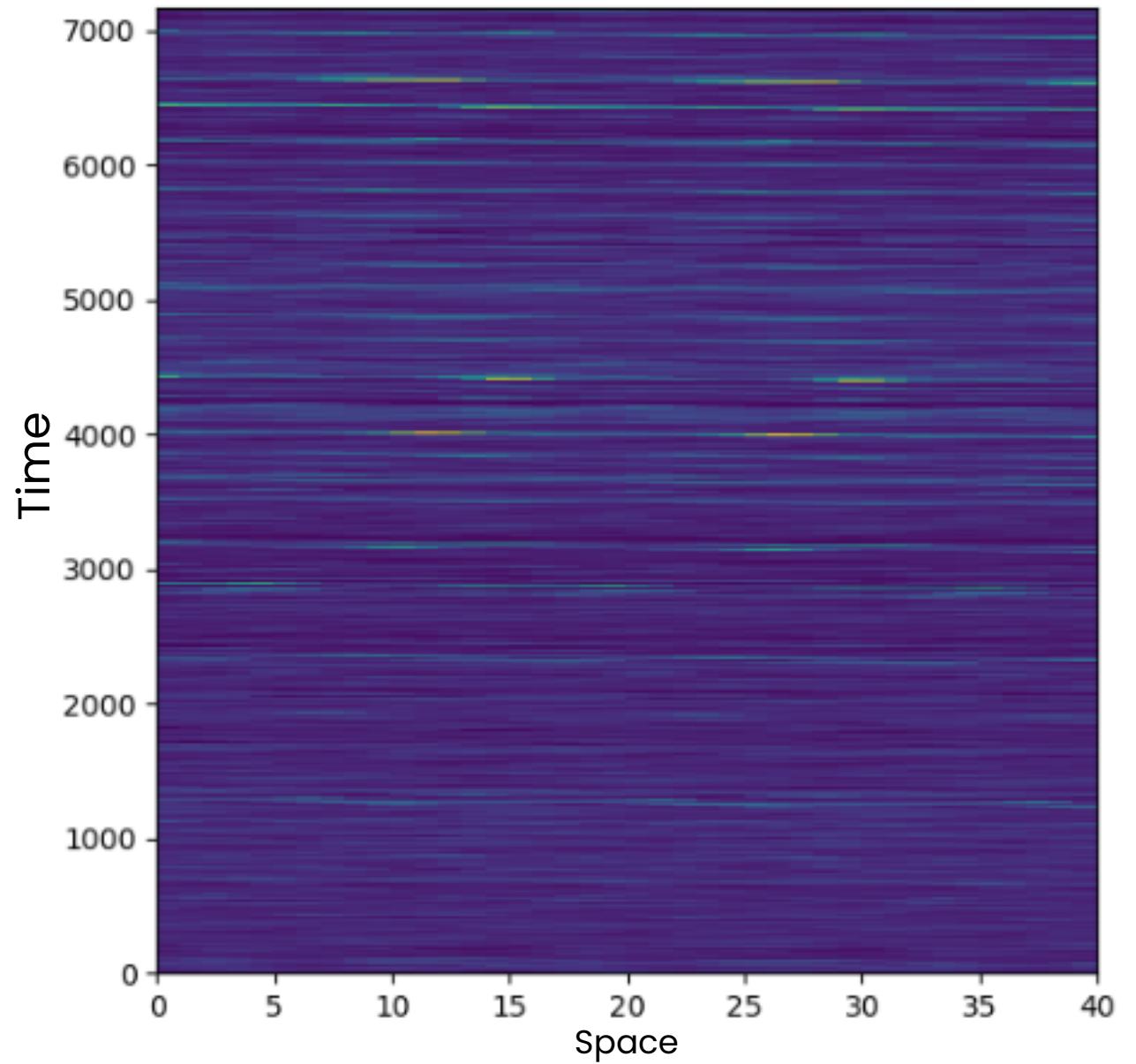
Ricostruzione mrDMD



mrDMD con dataset SRU

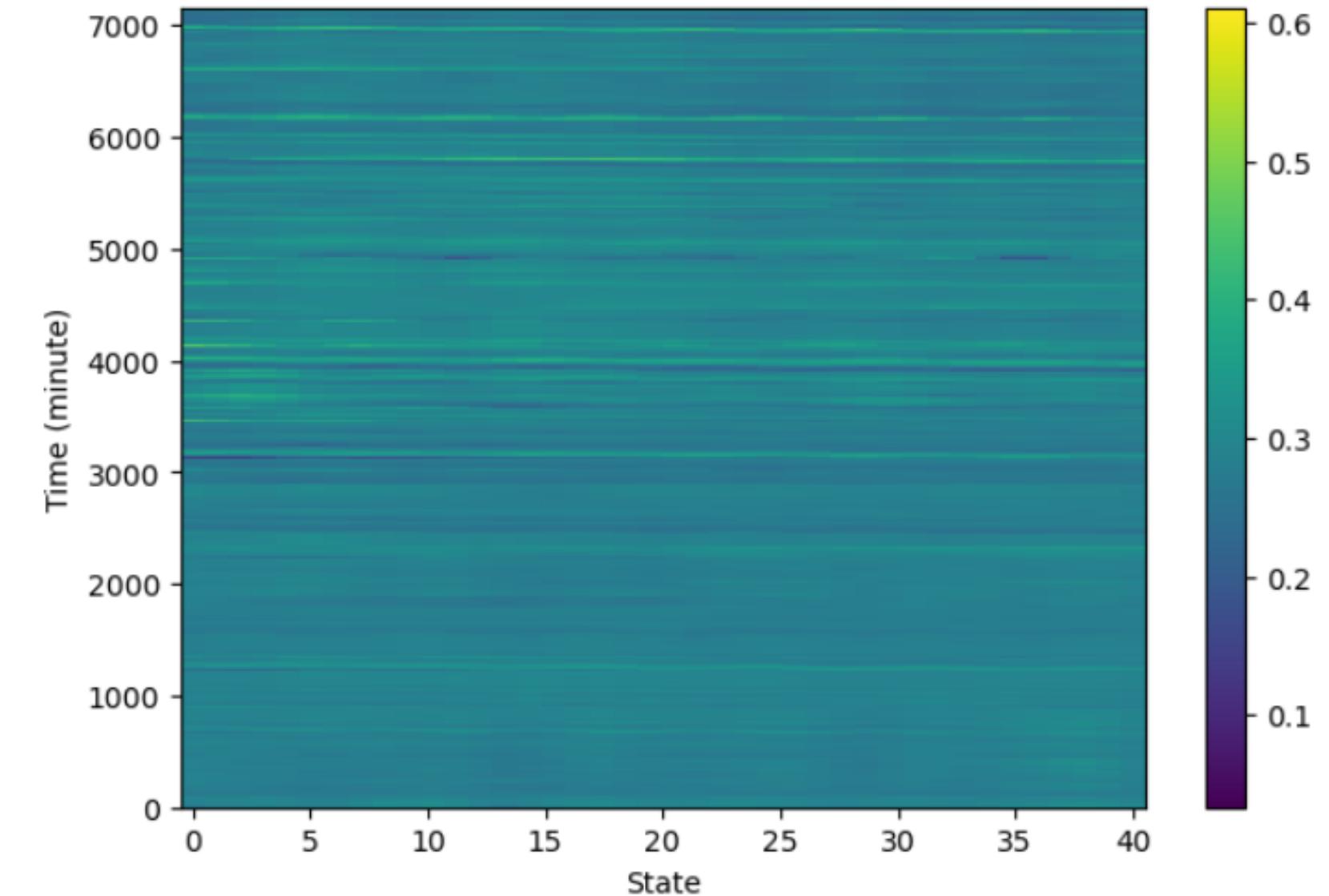
Livelli 0-6

Rappresentazione grafica dataset



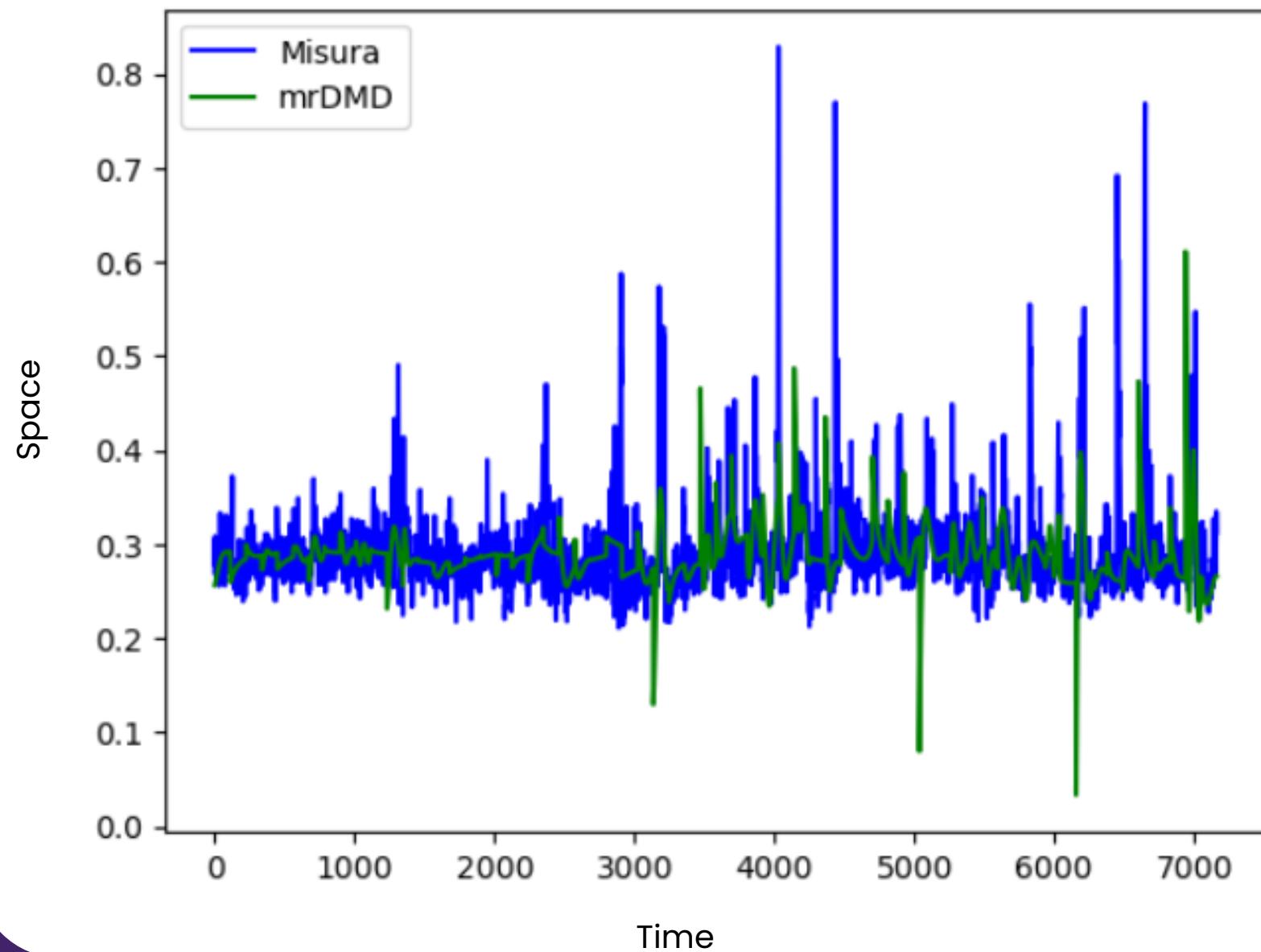
Ricostruzione mrDMD

levels 0-6

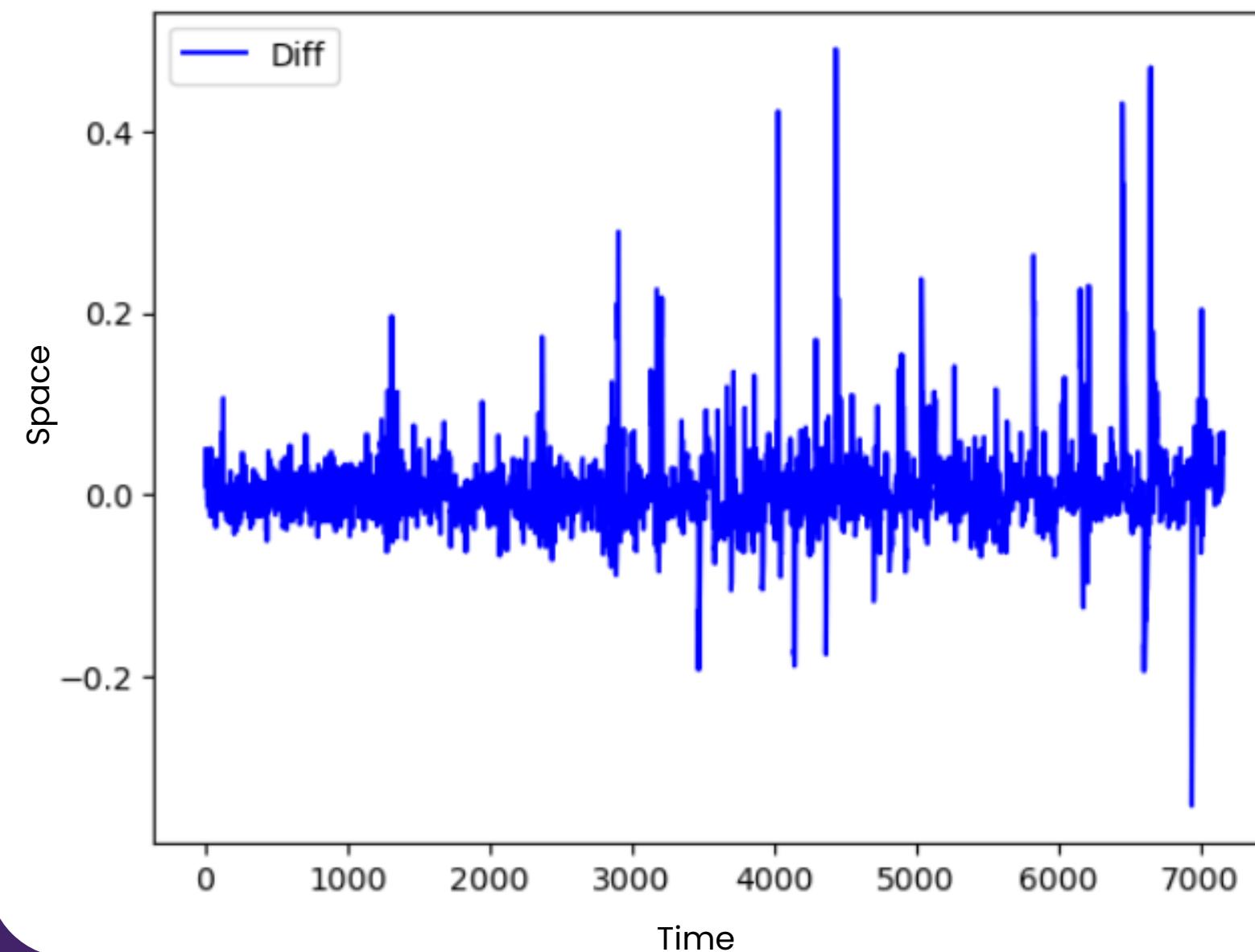


mrDMD con dataset SRU

Andamento temporale dei dati



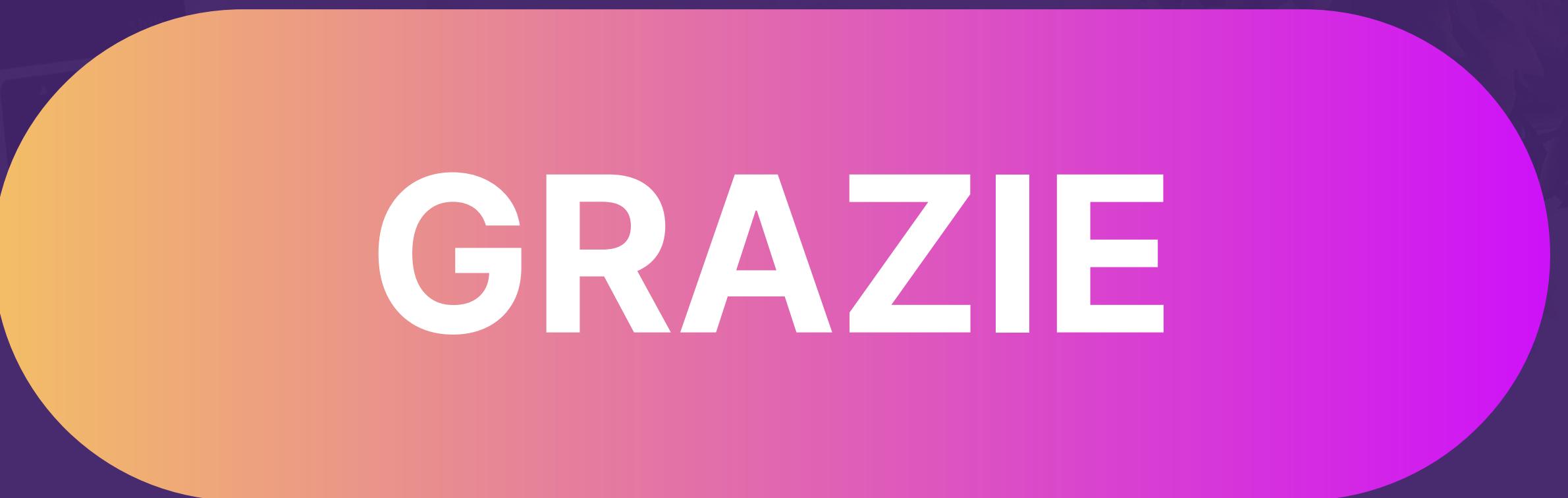
Differenza tra misura e mrDMD



CONCLUSIONI

Conclusioni

Sono stati analizzati i metodi DMD, DMDc e mrDMD, e si è cercato di sviluppare il nuovo metodo mrDMDc, che integra DMDc per la decomposizione di una matrice di dati controllata. Gli sviluppi futuri si concentreranno sulla modifica della libreria PyDMD e della funzione "stitch" per completare lo sviluppo del mrDMDc e fornire una base per nuovi metodi data-driven più efficienti.



GRAZIE