

CORSO DI SISTEMI DINAMICI  
A.A. 2021/2022

26 novembre 2021

Homework 2

Modalità di consegna: invio a mezzo di posta elettronica di un documento in formato *pdf* e dell'eventuale codice Matlab agli indirizzi *t.parisini@units.it*, *fenu@units.it*. Il messaggio dovrà avere per oggetto: *[SD20212022] HW2 Nome Cognome*. In caso di lavori di gruppo, il documento dovrà riportare i nomi di tutti gli elementi del gruppo. In caso di invio di codice Matlab, esso potrà essere contenuto in una cartella compressa. Il documento *pdf* invece NON dovrà essere compresso (ad esempio, Allegato 1: *HW2 NomeCognomeRelazione.pdf*, Allegato 2: *HW2 NomeCognomeCodice.zip*).

Termine suggerito per la consegna: 16 febbraio 2022.

## Esercizio 1

Identificazione di un modello dinamico per un processo industriale.

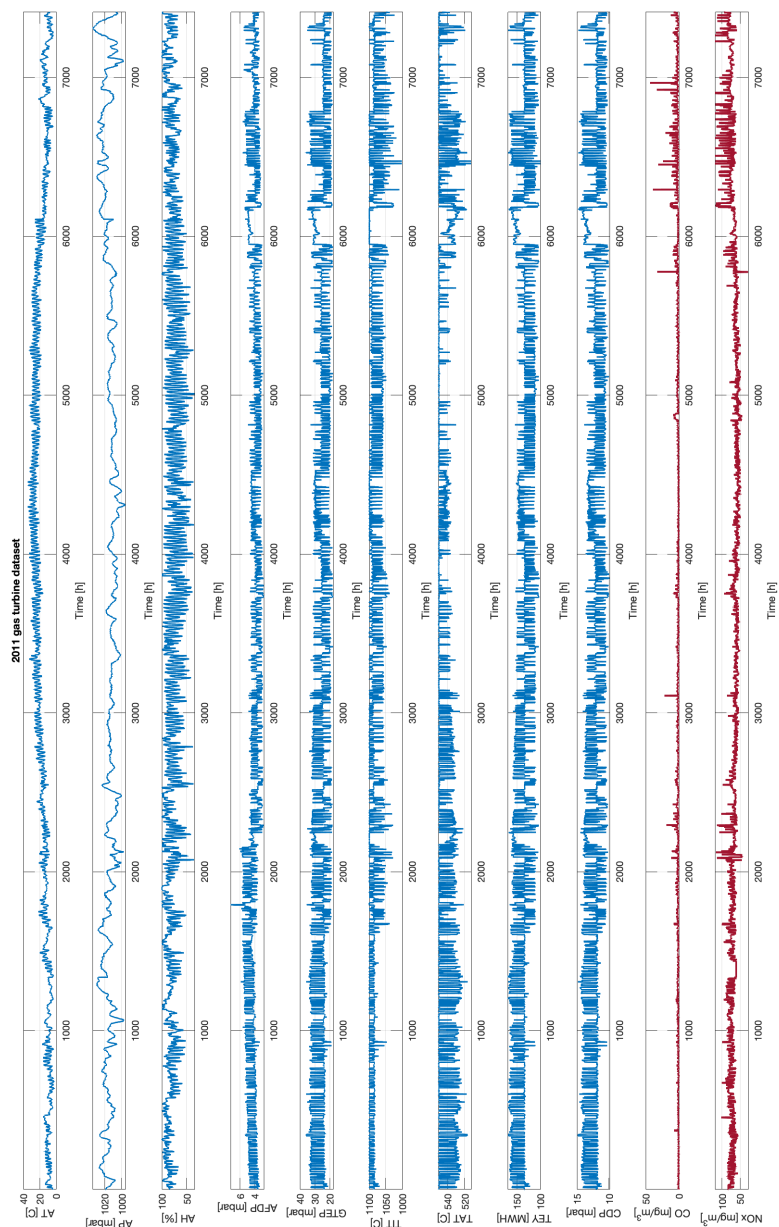


Figura 1: Turbina a gas: dati relativi all'anno 2011; in ingresso [blu in figura] dati di temperatura, pressione ed il rendimento energetico della turbina, in uscita [rosso in figura] le emissioni di  $CO$  e di  $NO_x$  (fonte dei dati [1]).

## Descrizione del processo industriale.

I dati rappresentati ai grafici di Figura 1 sono stati utilizzati nella pubblicazione [2], per la predizione delle emissioni di  $CO$  e di  $NO_x$  da parte di una turbina a gas, situata in Turchia (maggiori dettagli in [2]). Sono dati di pubblico dominio e possono essere scaricati dal *repository*, [1], oltre che essere forniti in allegato a questo *homework*, assieme ad uno script Matlab elementare (che semplicemente carica i dati e li visualizza).

I dati a disposizione in realtà contengono le misure aggregate all'ora (cioè sono i valori medi orari delle grandezze descritte in Tabella REF) ottenute da 11 sensori. Lo scopo della raccolta dei dati misurati è lo studio delle emissioni nei gas di scarico della turbina, in particolare delle emissioni di  $CO$  e di  $NO_x$ . I dati a disposizione sono stati raccolti a partire dal 1/01/2011 fino al 31/12/2015, per un totale di 36733 campioni per ciascuna delle 11 grandezze monitorate.

In dettaglio le grandezze monitorate sono le seguenti

Variabile	Abbr.	Unità	Min	Max	Media
Temp. ambiente	AT	°C	-6.23	37.10	17.71
Pressione ambiente	AP	mbar	985.85	1036.56	1013.07
Umidità ambiente	AH	(%)	24.08	100.20	77.87
Diff. di pressione filtro dell'aria	AFDP	mbar	2.09	7.61	3.93
Pressione di scarico della turbina a gas	GTEP	mbar	17.70	40.72	25.56
Temp. d'ingresso della turbina	TIT	°C	1000.85	1100.89	1081.43
Temp. a valle dalla turbina	TAT	°C	511.04	550.61	546.16
Pressione di mandata del compressore	CDP	mbar	9.85	15.16	12.06
Rendimento energetico della turbina	TEY	MWH	100.02	179.50	133.51
Monossido di carbonio	CO	mg/m <sup>3</sup>	0.00	44.10	2.37
Ossidi di azoto	NOx	mg/m <sup>3</sup>	25.90	119.91	65.29

Tabella 1: Grandezze monitorate: unità di misura e semplice statistica (tratto da [2]).

## Identificazione di un modello dinamico.

Facendo riferimento alla descrizione del processo, facendo uso dei dati a disposizione [in allegato] e suddividendoli (come in [2]) in modo tale da utilizzare i dati degli anni dal 2011 al 2013 compreso come dati di *training*, mentre i dati del 2014 e del 2015 come dati di validazione, si richiede di

1. identificare un modello dinamico per il sistema-turbina per predire le emissioni di  $CO$  nella prossima ora a fronte dei dati raccolti fino all'istante attuale, nella classe di modelli ARX. Data la numerosità delle osservazioni a disposizione, si faccia uso della tecnica di *cross validation* per stimare la complessità del modello;
2. analizzare l'adeguatezza del modello identificato, indagando sulle proprietà dei residui di predizione;
3. in maniera analoga, identificare un modello dinamico ARX per il sistema-turbina per predire le emissioni di  $NO_x$  nella prossima ora a fronte dei dati raccolti fino all'istante attuale.

**Suggerimento:** si consiglia di prendere spunto dal codice (presente tra il materiale delle esercitazioni del corso) che risolve il problema dell'identificazione di un modello ARX per una fornace per produrre vetro, sfruttando la *Cross Validation* per la stima della complessità del modello.

## Riferimenti bibliografici

- [1] “Gas turbine CO and NOx emission data set.” <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Gas+Turbine+CO+and+NOx+Emission+Data+Set>. Accessed: 2021-11-26.
- [2] H. Kaya, P. Tüfekci, and E. Uzun, “Predicting CO and NOx emissions from gas turbines: novel data and a benchmark PEMS,” *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 27, no. 6, pp. 4783–4796, 2019.