

# Teoria ed Elaborazione dei Segnali (TES)

---

□ **Presentazione del corso**  
**Anno accademico 2024-2025**

□ **Docenti:**

- Gabriella Bosco
- Roberto Gaudino (AAA a GIN)
- Fabio Dovis (GIO a ZZZ)



**Politecnico  
di Torino**

Department  
of Electronics and  
Telecommunications



# I docenti del corso Per Laurea Ing. Informatica

---

□ Gabriella Bosco (titolare per entrambi i corsi)

- Ricevimento: su appuntamento
- Ufficio: DET, 3° piano (ingresso al 1° piano, vicino all'aula 12)
- Tel.: 011 0904036
- e-mail: [gabriella.bosco@polito.it](mailto:gabriella.bosco@polito.it)

Studenti con Cognomi da AAA a GIN

□ Gaudino Roberto

- Ricevimento: su appuntamento
- Ufficio: DET, 2° piano
  - (ingresso al 1° piano, vicino all'aula 12)
- Tel.: 011 0904172
- e-mail: [roberto.gaudino@polito.it](mailto:roberto.gaudino@polito.it)

Studenti con Cognomi da GIO a ZZZ

□ Fabio Dovis

- Ricevimento: su appuntamento
- Ufficio: DET, 2° piano
  - (ingresso al 1° piano, vicino all'aula 12)
- Tel.: 011 0904175
- e-mail: [fabio.dovis@polito.it](mailto:fabio.dovis@polito.it)



# Orario del corso 2024/2025

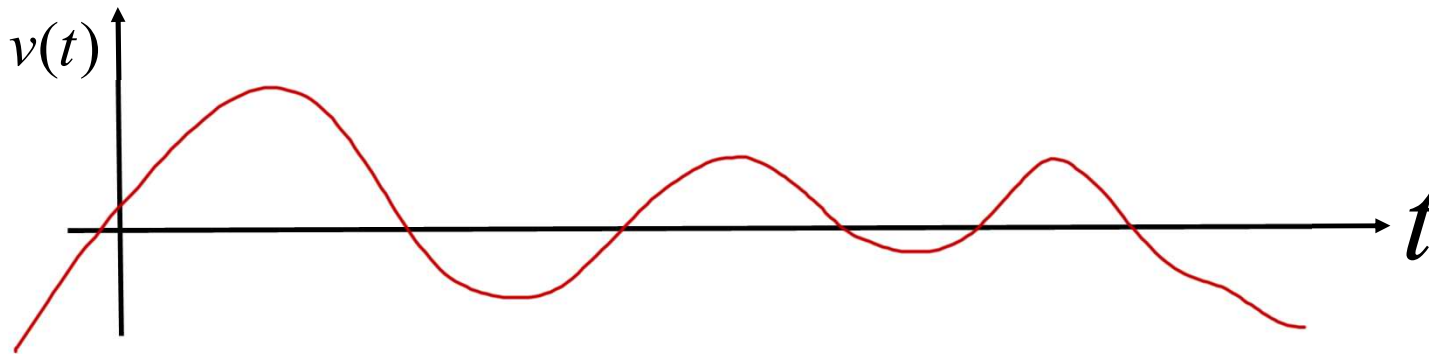
	lunedì 23/09/2024	martedì 24/09/2024	mercoledì 25/09/2024	giovedì 26/09/2024	venerdì 27/09/2024
8 <sup>00</sup>					
9 <sup>00</sup>		<u>Studenti con Cognomi da GIO a ZZZ (docenti Bosco-Dovis)</u>			
10 <sup>00</sup>			<div>Teoria ed elaborazione dei ... BOSCO GABRIELLA/GAUDINO ROBERTO AAA - GIN <u>2P</u> Lezione/Esercitazione</div>	<div>Teoria ed elaborazione dei ... BOSCO GABRIELLA/DOVIS FABIO GIO - ZZZ <u>2P</u> Lezione/Esercitazione</div>	
11 <sup>00</sup>		<div>Teoria ed elaborazione dei ... BOSCO GABRIELLA/DOVIS FABIO GIO - ZZZ <u>2P</u> Lezione/Esercitazione</div>			
12 <sup>00</sup>					
13 <sup>00</sup>					
14 <sup>00</sup>					
15 <sup>00</sup>			<u>Studenti con Cognomi da AAA a GIN (docenti Bosco-Gaudino)</u>		
16 <sup>00</sup>					<div>Teoria ed elaborazione dei ... BOSCO GABRIELLA/GAUDINO ROBERTO AAA - GIN <u>2P</u> Lezione/Esercitazione</div>
17 <sup>00</sup>					
18 <sup>00</sup>					

# Presentazione del corso TES

---

- Obiettivo dell'insegnamento è fornire le basi dell'analisi e dell'elaborazione numerica dei segnali

*Segnali: descrizione matematica  
dell'evoluzione nel **tempo** di grandezze  
fisiche (tensioni, correnti, temperature, etc)*



# Presentazione del corso TES

---

- Data la multi-dipliscinarietà degli argomenti trattati, le conoscenze acquisite sono utili praticamente in numerosi corsi seguenti affrontati dallo studente.
- [Nella prima e terza parte \(Teoria dei Segnali\)](#) si analizzano i segnali nel dominio del tempo continuo e in quello della frequenza, sia per segnali deterministici sia stocastici
- [Nella seconda parte \(Elaborazione dei Segnali\)](#) si introducono le metodologie di base per il trattamento numerico dei segnali a tempo discreto.

# Organizzazione del corso

---

- ~45h di lezione, ~35h di esercitazione, 15h di tutoraggio
- [Roberto Gaudino](#) (Cognomi AAA-GIN) o [Fabio Dovis](#) (Cognomi GIO-ZZZ):
  - Lezioni di Teoria dei Segnali (TS)
  - Esercitazioni di Elaborazione dei Segnali
- [Gabriella Bosco](#) (Titolare di entrambi i corsi)
  - Lezioni di Elaborazione numerica dei segnali (ENS)
  - Esercitazioni di Teoria dei Segnali
- [Lorenzo Andrenacci e Margareth Rosa Brusin](#)
  - Tutoraggio di ENS (esercitazioni al computer)

# Materiale didattico del corso

---

- Tutte le slides del corso verranno messe a disposizione sul portale in formato pdf
  - Sia per la parte di lezione che per la parte di esercitazioni
  - Su piattaforma Dropbox di Ateneo
  
- Per eventuali approfondimenti, sono disponibili i seguenti libri
  - L. Lo Presti, F. Neri, "L'Analisi dei Segnali", CLUT
  - L. Lo Presti, F. Neri, "Introduzione ai Processi Casuali", CLUT
  - F. Dovis, E. Magli, Esercizi svolti di teoria dei segnali, CLUT
  - M. Laddomada, M. Mondin, "Elaborazione numerica dei segnali", Pearson

# Altro materiale disponibile online

---

- Una interessante risorsa disponibile gratuitamente online è la seguente:
  - <https://teoriadeisignali.it/> Parte I Teoria dei Segnali
    - Le notazioni sono leggermente diverse da quelle che useremo noi, ma i contenuti sono simili
- Un approccio interessante alla teoria dei segnali (ed in inglese)
  - <https://greenteapress.com/thinkdsp/html/index.html>





# Programma del corso (prima parte)

---

- ☐ Classificazione dei segnali
  - Energia e potenza
- ☐ Vettori e Segnali
- ☐ Serie e trasformata di Fourier
- ☐ Sistemi Lineari e Tempo Invarianti (LTI)
  - risposta all'impulso e funzione di trasferimento
  - tipologie di filtri
- ☐ Spettro di energia e funzione di autocorrelazione
- ☐ Segnali periodici e spettro di potenza
- ☐ Teorema del campionamento



# Programma del corso (seconda parte)

---

- I segnali a tempo discreto
  - Sequenze basilari, concetto di energia e potenza
  - Convoluzione e correlazione
- Analisi in frequenza di segnali a tempo discreto
  - La trasformata di Fourier a tempo discreto (DTFT)
  - Discrete Fourier Transform (DFT) e Fast Fourier Transform (FFT)
  - Analisi in frequenza di segnali a tempo continuo tramite DFT
- Sistemi LTI a tempo discreto
  - Analisi nel dominio del tempo e della frequenzaTrasformata zeta
  - Definizione e proprietà
  - Applicazione ai sistemi LTI a tempo discreto
  - Filtri numerici FIR e IIR



# Programma del corso (terza parte)

---

- I processi stocastici
  - Definizione
  - Descrizione probabilistica
  - Stazionarietà
  - Trasformazioni e spettro di potenza
  - Medie temporali ed ergodicità

# Prerequisiti (da corsi POLITO precedenti)

---

- Analisi reale e complessa di funzioni a una o più variabili
- Calcolo delle probabilità
  - Variabili casuali Gaussiane
- Distribuzione delta di Dirac e sue proprietà



# Modalità di Esame

---

- L'esame finale si basa su uno **scritto obbligatorio**, costituito da domande ed esercizi a risposta multipla) e un **orale opzionale** (a discrezione dello studente o del docente)
  - Il tempo a disposizione dello studente per la prova scritta (su piattaforma Exam) è di 90 minuti e non è possibile consultare materiale didattico né appunti o altri testi. E' consentito utilizzare esclusivamente la calcolatrice e un formulario fornito dal docente.
    - Esempi di esami scritti degli anni precedenti saranno messi a disposizione attraverso il portale della didattica.
  - Per essere ammessi all'orale opzionale occorre ottenere un voto di scritto superiore o uguale a 15/30.
    - L'orale ha una durata di 10'-15', e riguarda tutti gli argomenti trattati nelle lezioni e nelle esercitazioni.

# Esame scritto su piattaforma Exam - esempi

Si considerino i seguenti due segnali a tempo continuo:

- $x(t)$  porta con ampiezza unitaria in  $[T_0, 3T_0]$  e nullo altrove;
- $y(t)$  segnale pari a 1 in  $[0, T_0]$ , pari a -1 in  $[T_0, 2T_0]$  e nullo altrove;

con  $T_0 > 0$ . Sia  $z(t) = x(t) * y(t)$  la convoluzione tra i due segnali. Quale delle seguenti affermazioni è vera?

- $z(t)$  è un segnale con supporto limitato nel tempo con durata  $2T_0$  e con  $z(T_0) = 0$
- $z(t)$  è un segnale con supporto limitato nel tempo, con durata  $4T_0$  e che non assume neanche un valore nullo all'interno del suo supporto temporale
- $z(t)$  è un segnale con supporto limitato nell'intervallo  $[0, 4T_0]$
- ☒  $z(t)$  è un segnale con supporto limitato nel tempo, con una durata  $4T_0$  e con  $z(3T_0) = 0$

Il segnale

$$x(t) = e^{-2t}u(t)$$

viene filtrato da un sistema LTI con funzione di trasferimento

$$H(f) = \frac{1}{1 + j2\pi f}$$

Il segnale di uscita  $y(t)$  vale:

- $y(t) = e^{-t}u(t)$
- $y(t) = te^{-t}u(t)$
- $y(t) = (1 - e^{-t})$
- nessuna delle altre risposte
- ☒  $y(t) = e^{-t}(1 - e^{-t})$

Il segnale

$$x(t) = \cos(2\pi f_0 t) + |\cos(2\pi f_0 t)|$$

viene filtrato da un sistema LTI con risposta all'impulso

$$h(t) = 2 \frac{\sin\left(\frac{\pi f_0 t}{6}\right)}{\pi t} \cos(8\pi f_0 t)$$

Il segnale  $y(t)$  all'uscita del filtro vale:

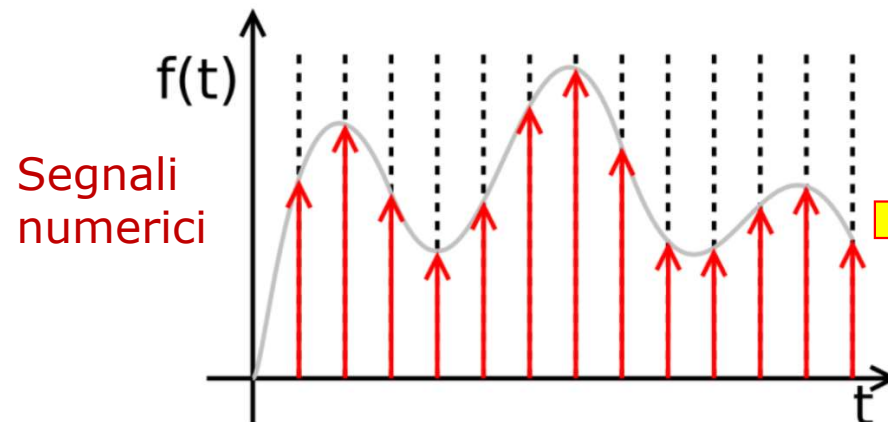
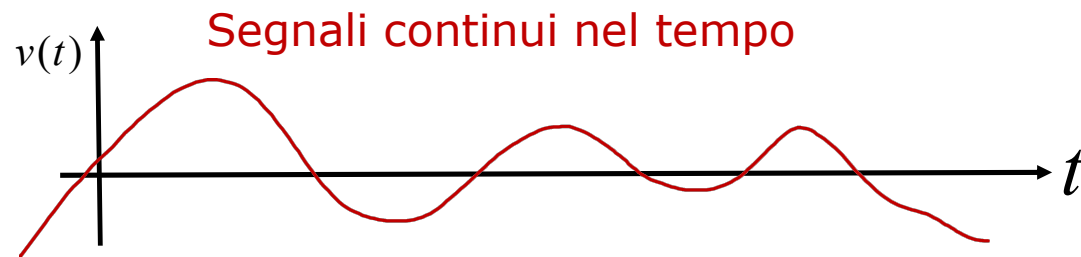
- $y(t) = -\frac{1}{3\pi} \cos(8\pi f_0 t)$
- $y(t) = \frac{1}{5\pi} \cos(4\pi f_0 t)$
- Nessuna delle altre risposte
- $y(t) = 0 \quad \forall t$
- ☒  $y(t) = -\frac{2}{15\pi} \cos(8\pi f_0 t)$
- $y(t) = -\frac{2}{3\pi} \cos(4\pi f_0 t)$

# Attività in itinere (homeworks)

---

- ❑ Nella seconda parte del corso (a partire da fine novembre/inizio dicembre), durante le lezioni/esercitazioni in aula verranno proposti alcuni esercizi facoltativi da svolgere in ambiente Matlab (o Python, a scelta degli studenti).
- ❑ Gli studenti (suddivisi in squadre) potranno predisporre una relazione che contribuirà a determinare il voto finale (per un massimo di 3 punti in aggiunta al voto conseguito nelle prove scritte e orali).
- ❑ Saranno programmate delle ore di tutoraggio in aula per fornire assistenza agli studenti nello svolgimento di queste attività.

# Introduzione ai segnali



Flussi di bit

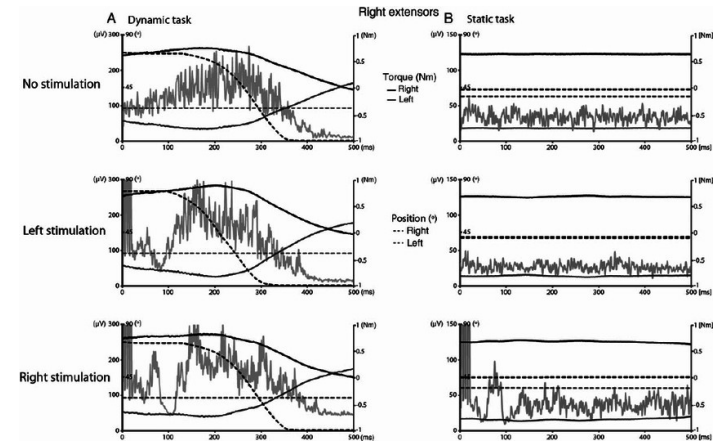




# Introduzione

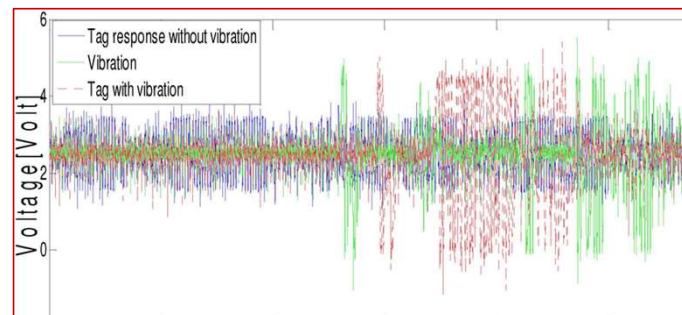
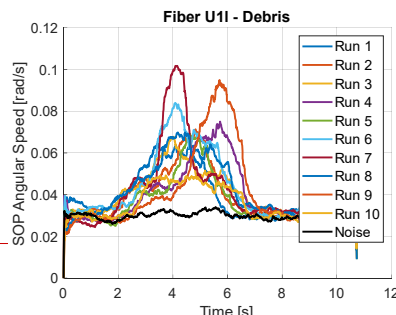
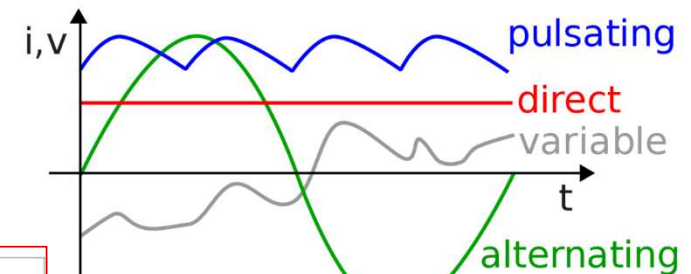
- Un segnale è in generale una funzione reale o complessa nella variabile tempo
- L'informazione trasportata da un segnale è contenuta nella "forma" del segnale
  - Cioè nella sua evoluzione nel tempo
- Esempi di segnali ingegneristicamente rilevanti:
  - Segnale elettrico
  - Segnale vocale
  - Segnale video
  - Segnale dati

## Esempio: segnali biomedici



# Esempi di Segnali

- **Segnale Elettrico:** Una tensione o una corrente che evolvono in funzione del tempo
  - Spesso sono generate da [trasduttori](#), ossia dispositivi che convertono una qualsiasi grandezza scalare in un segnale elettrico
  - I principali esempi di trasduttori:
    - Pressione sonora (audio, microfono)
    - Intensità luminosa (immagini e video)
    - Temperatura
    - Velocità
    - Etc...





# Possibili operazioni sui segnali

---

## □ Elaborazione dei segnali. Possibili obiettivi:

- Filtrare componenti spurie generate dai trasduttori
- Eliminare rumore
- Estrarre le «componenti» più rilevanti per le successive elaborazioni

## □ Trasmissione dei segnali

- L'informazione contenuta nel segnale deve essere trasmessa a distanza, per essere fruita in un posto diverso da quello dove è stata generata (Telecomunicazioni)

## □ Memorizzazione dei segnali

- L'informazione contenuta nel segnale deve essere conservata per rimanere fruibile anche a distanza di tempo

# Esempio: Segnale vocale

- La voce è generata e fruita come variazioni nel tempo della pressione nell'aria. Le operazioni che però si possono fare direttamente su questo tipo di segnale sono estremamente limitate



- Nella stragrande maggioranza delle applicazioni ingegneristiche, il segnale vocale viene convertito da appositi trasduttori in segnale in un segnale elettrico continuo (tensione o corrente)
  - E successivamente viene (quasi) sempre convertito in un segnale numerico per le successive elaborazioni



# Segnale vocale «nativo»

## Trasmissione a corta distanza

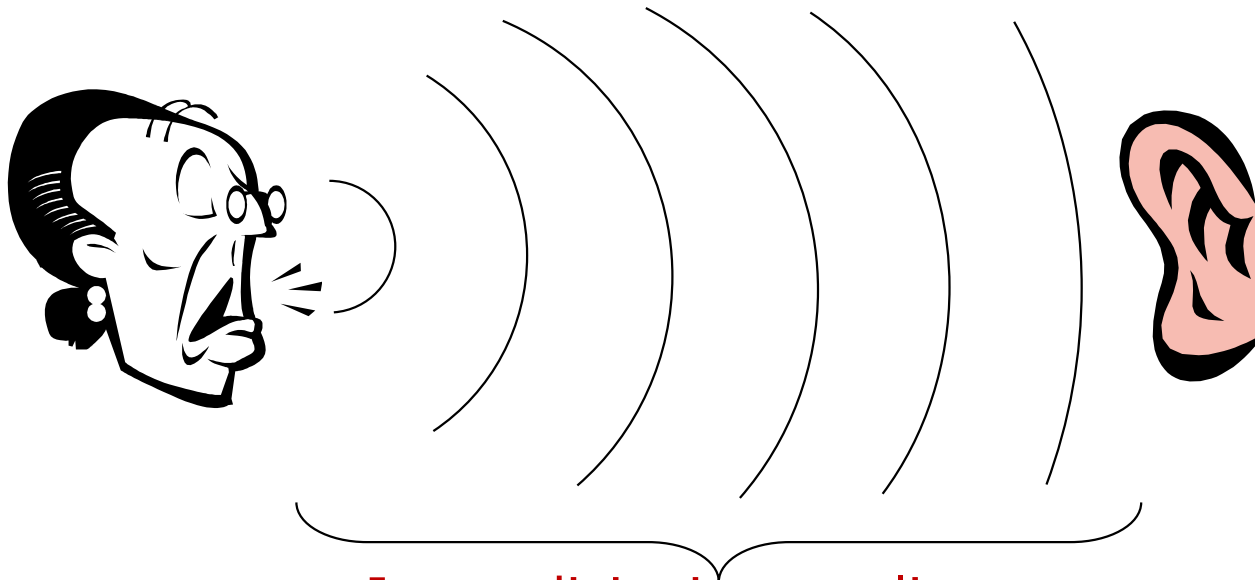
---



**Politecnico  
di Torino**

Department  
of Electronics and  
Telecommunications

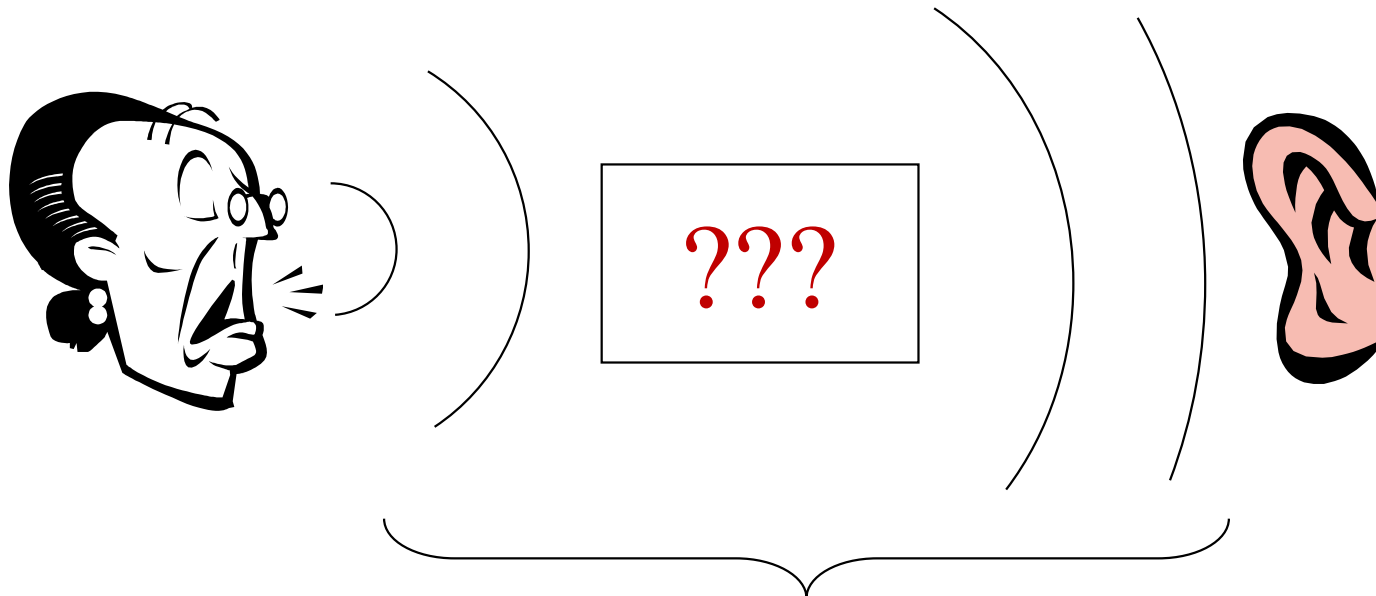
Onde acustiche nell'aria



In condizioni normali:  
trasmissione su 5-30 metri max

# Trasmissione a lunga distanza

---



Come ottenere sistemi di trasmissione del  
segnale vocale su lunga distanza?  
(Da decine a migliaia di km)

# Trasduzione in un segnale elettrico e successiva elaborazione e trasporto



Politecnico  
di Torino

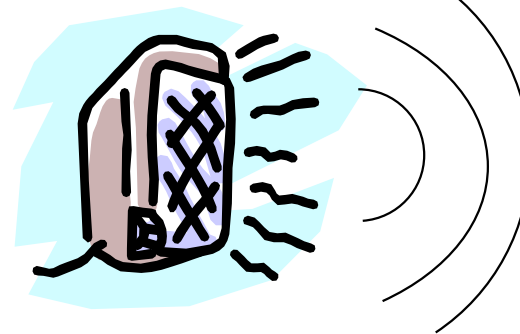
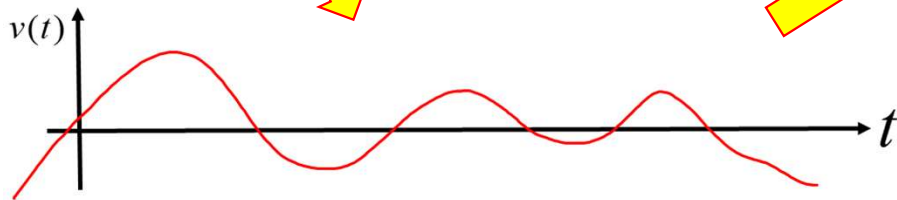
Department  
of Electronics and  
Telecommunications



## Microfono

Effettua la trasduzione da onda acustica in segnale elettrico analogico

1. Immagazzinamento
2. Trasmissione (su qualunque tipo di rete di trasmissione)
3. Elaborazione verso l'utente finale



## Altoparlante

Effettua la ri-conversione da segnale elettrico analogico in onda acustica



# Elaborazione del segnale audio (tipicamente con tecniche digitali)



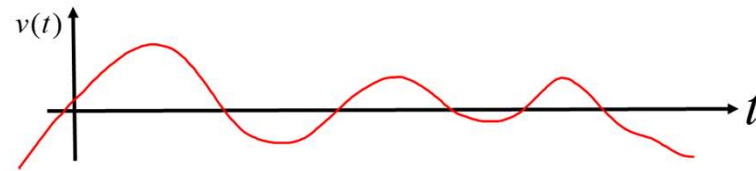
Ad esempio: tecniche per eliminazione  
di interferenti/difetti su un segnale audio

*Just a (quite sophisticated) example among many:*  
<https://sthalles.github.io/practical-deep-learning-audio-denoising/>



# Segnali analogici e trasmissione analogica

- Segnale analogico:  
segnale continuo nel  
tempo e nelle  
ampiezze



## Esempio di Trasmissione Analogica:

- Radio FM in broadcast (ancora attiva)
- Telefonia fissa tradizionale e cellulare di prima generazione (Total Access Communication System TACS)
  - Dismessa a partire dal 2005
- Televisione analogica
  - Dismessa a partire dal 2004



# Immagazzinamento (analogico)

## □ Musicassette



## □ Videocassette



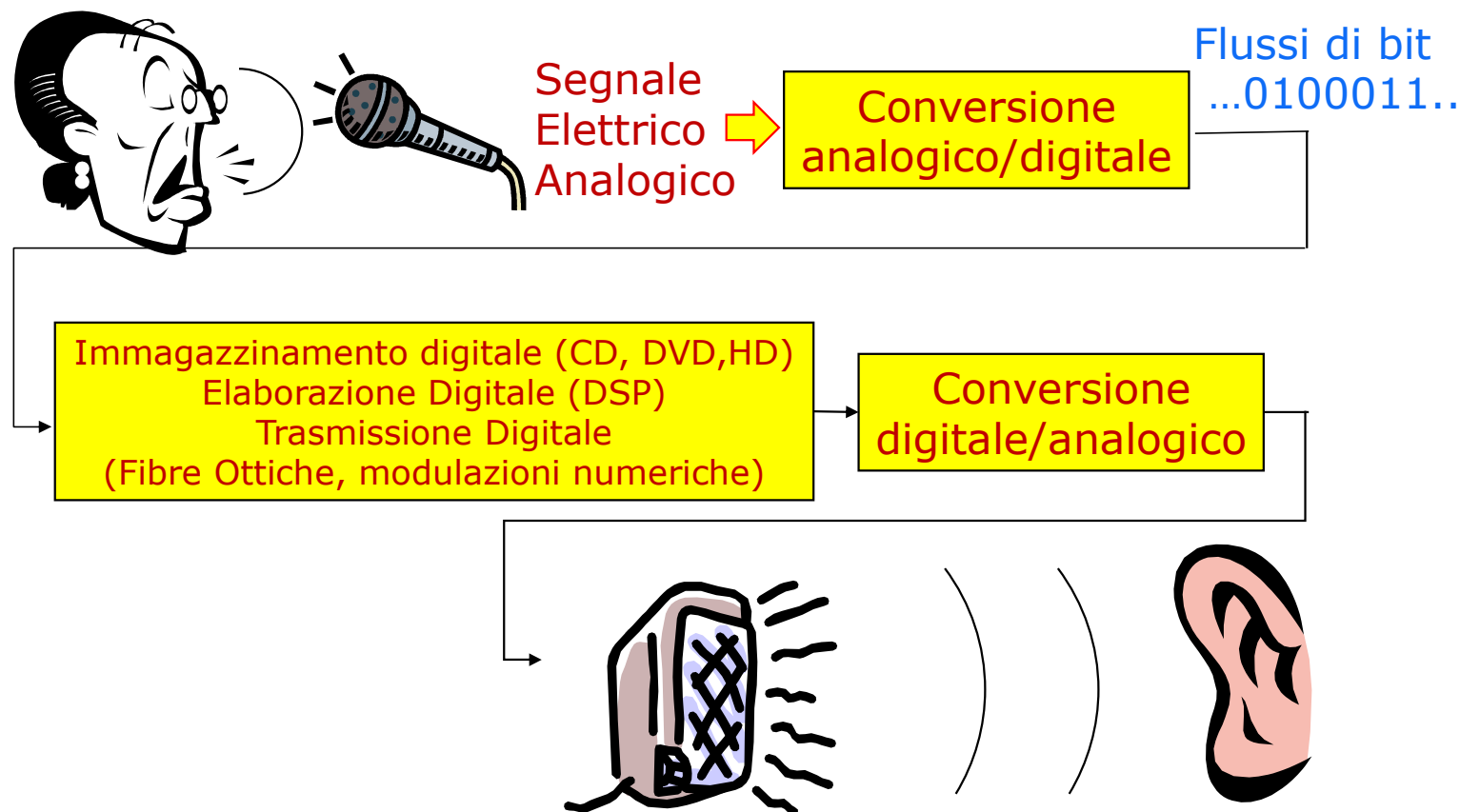
## ... la scomparsa dei sistemi analogici

---



- A partire dal 1970, si è assistito alla progressiva scomparsa dei sistemi per la elaborazione e trasmissione diretta dei segnali analogici
  - Salvo l'eccezione della radio FM, tutti gli altri sistemi analogici "famosi" sono stati dismessi definitivamente attorno al 2004-2005
- ... a favore dei sistemi basati su tecniche digitali

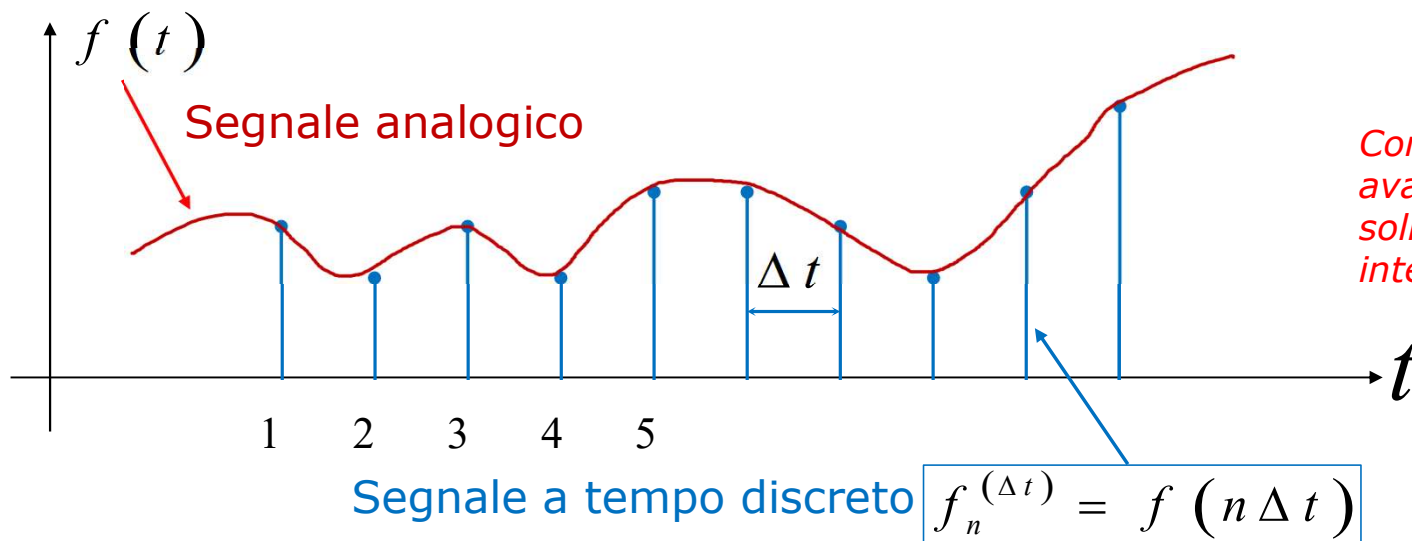
# Conversione analogico-digitale



# Conversione analogico/digitale:

## Discretizzazione asse dei tempi

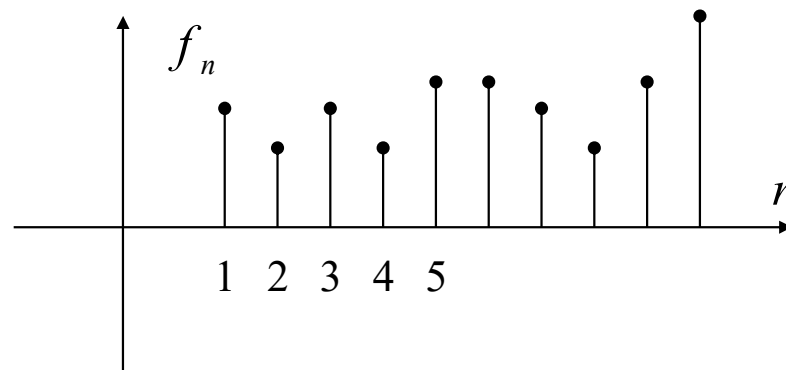
- Un segnale a tempo discreto può essere ottenuto campionando nel tempo un segnale analogico
  - La sequenza dipende quindi dall'intervallo di campionamento scelto



*Come vedremo nel dettaglio più avanti, il segnale analogico viene solitamente campionato ad intervalli equ-spaziati nel tempo*

# Segnali a tempo discreto

- Si tratta di funzioni discretizzate del tempo
  - La sua rappresentazione matematica è dunque una sequenza di numeri (reali o complessi)
  - In un linguaggio di programmazione: tipicamente memorizzato come un vettore di numeri in floating point

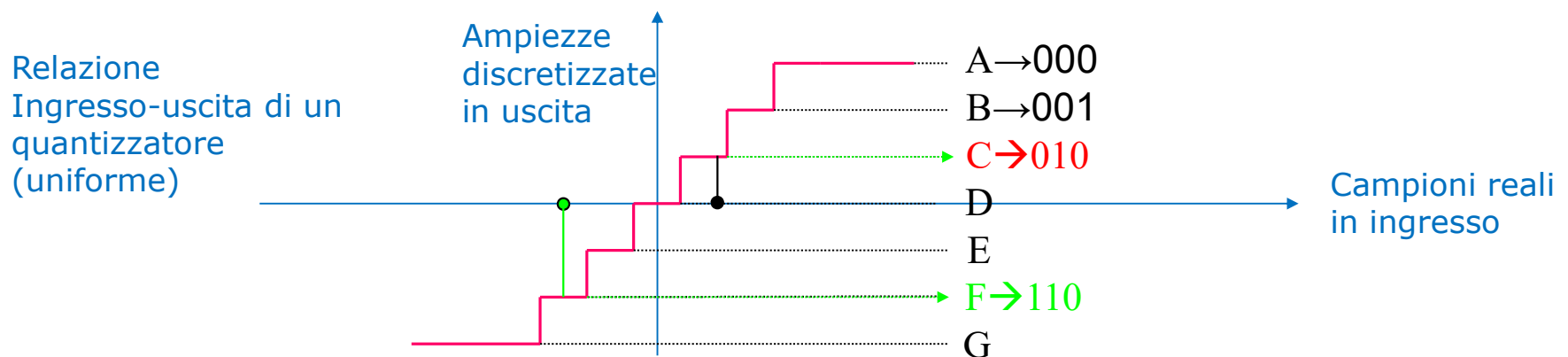


$$(f_n)_{n=-\infty}^{\infty} = \{\dots f_{-1}, f_0, f_1, f_2, f_3, \dots\}$$

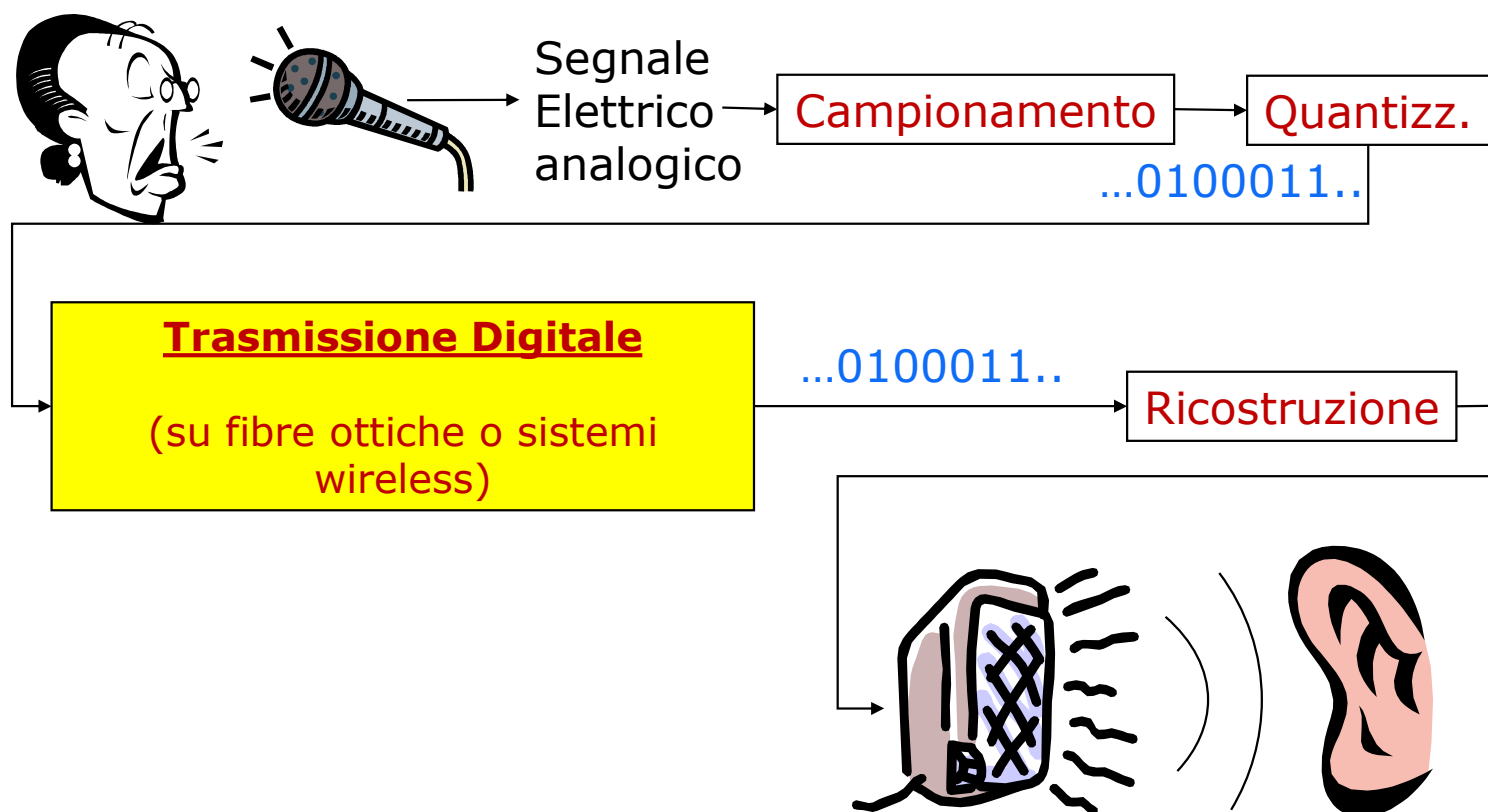
# Conversione analogico/digitale:

## Discretizzazione delle ampiezze

- Un segnale digitale è ottenuto da un segnale a tempo discreto con il procedimento della quantizzazione per discretizzare ANCHE sull'asse delle ampiezze
  - Il quantizzatore divide l'asse dei reali in un insieme finito di intervalli ed associa ogni valore reale di ingresso al simbolo corrispondente all'intervallo a cui appartiene
  - Un segnale digitale è quindi una sequenza di simboli che appartengono ad un insieme finito, convertibile in flussi di bit



# Trasmissione digitale di segnali «nativi» analogici





# Esempio: evoluzioni dei sistemi per la telefonia mobile



**Politecnico  
di Torino**

Department  
of Electronics and  
Telecommunications



# Immagazzinamento digitale

---



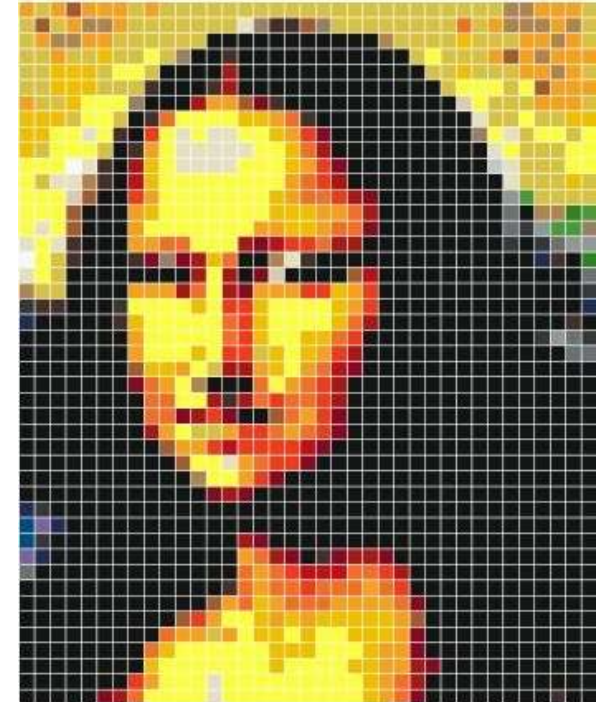
**Politecnico  
di Torino**

Department  
of Electronics and  
Telecommunications



# Immagini fotografiche

- Per ogni pixel di una immagine, vengono registrati 3 valori di intensità (=ampiezza) per ciascuno dei 3 colori fondamentali
- Le immagini fotografiche ovviamente NON hanno una evoluzione nel tempo
  - Tuttavia nella elaborazione delle immagini si usano comunque moltissime delle tecniche che vedremo in questo Corso
  - Questo perché una immagine può essere interpretata come una ampiezza che varia rispetto alla due variabili «spaziali»  $x$  e  $y$  (anziché rispetto al tempo)



# Altro esempio fondamentale: Segnali video



- Anche i video sono formalizzabili come segnali
  - Per ogni pixel, vengono registrati 3 segnali (corrispondenti a 3 colori fondamentali) con intensità (=ampiezza) che evolve nel tempo



*Un segnale video è dunque un insieme di moltissimi segnali che evolvono in funzione del tempo (uno per ogni «pixel» del video)*

# Segnali analogici e digitali

---

- Malgrado sostanzialmente tutti i segnali siano oggi elaborati e trasmessi con tecniche digitali, è tuttavia fondamentale ricordare che i segnali più rilevanti per le applicazioni [nascono in forma analogica](#)
    - Si veda l'esempio dell'audio
      - ma anche della maggior parte dei sensori usati nell'Internet of Thing (IoT)
  - Questo è il motivo per cui la [prima parte del corso](#) sarà comunque [dedicata ai segnali analogici](#), di cui dovremmo descrivere:
    - Classificazione e modalità di rappresentazione
    - Concetti di energia e potenza
    - Rappresentazioni spettrali
    - Conversione da analogico a digitale
- ... senza la comprensione della teoria dei segnali analogici, sarebbe difficile comprendere quelli digitali!*

# Segnali analogici con caratteristiche stocastiche: processi casuali

---

- ❑ Tutti gli esempi fatti fino ad adesso si riferiscono a “classi di segnali” (tipo voce, video, dati...) più che a un singolo segnale determinato
- ❑ Un sistema di trasmissione/ elaborazione/ memorizzazione deve essere progettato per funzionare per ogni possibile elemento di tali classi
- ❑ E’ necessario dotarsi di uno strumento matematico che consenta di descrivere il comportamento di classi di segnali
- ❑ Il “processo casuale” è precisamente lo strumento matematico che serve. Esso descrive le caratteristiche statistiche e probabilistiche di un insieme di segnali

# Uno breve sguardo sulle applicazioni dell'analisi e elaborazione dei segnali


---

□ ... alcuni esempi importanti in "ordine sparso"



# Compressione di immagini

From: [https://en.wikipedia.org/wiki/Image\\_compression](https://en.wikipedia.org/wiki/Image_compression)

Basata su  
FFT,   
seconda  
parte del  
corso

## History [ edit ]

Entropy coding started in the 1940s with the introduction of Shannon–Fano coding,<sup>[6]</sup> the basis for Huffman coding which was developed in 1950.<sup>[6]</sup> Transform coding dates back to the late 1960s, with the introduction of fast Fourier transform (FFT) coding in 1968 and the Hadamard transform in 1969.<sup>[7]</sup>

An important development in image data compression was the discrete cosine transform (DCT), a lossy compression technique first proposed by Nasir Ahmed in 1972.<sup>[8]</sup> DCT compression became the basis for JPEG, which was introduced by the Joint Photographic Experts Group (JPEG) in 1992.<sup>[9]</sup> JPEG compresses images down to much smaller file sizes, and has become the most widely used image file format.<sup>[10]</sup> Its highly efficient DCT compression algorithm was largely responsible for the wide proliferation of digital images and digital photos,<sup>[11]</sup> with several billion JPEG images produced every day as of 2015.<sup>[12]</sup>

Lempel–Ziv–Welch (LZW) is a lossless compression algorithm developed by Abraham Lempel, Jacob Ziv and Terry Welch in 1984. It is used in the GIF format, introduced in 1987.<sup>[13]</sup> DEFLATE, a lossless compression algorithm developed by Phil Katz and specified in 1996, is used in the Portable Network Graphics (PNG) format.<sup>[14]</sup>

Wavelet coding, the use of wavelet transforms in image compression, began after the development of DCT coding.<sup>[15]</sup> The introduction of the DCT led to the development of wavelet coding, a variant of DCT coding that uses wavelets instead of DCT's block-based algorithm.<sup>[16]</sup> The JPEG 2000 standard was developed from 1997 to 2000 by a JPEG committee chaired by Touradj Ebrahimi (later the JPEG president).<sup>[16]</sup> In contrast to the DCT algorithm used by the original JPEG format, JPEG 2000 instead uses discrete wavelet transform (DWT) algorithms. It uses the CDF 9/7 wavelet transform (developed by Ingrid Daubechies in 1992) for its lossy compression algorithm,<sup>[17]</sup> and the LeGall-Tabatabai (LGT) 5/3 wavelet transform<sup>[18][19]</sup> (developed by Didier Le Gall and Ali J. Tabatabai in 1988)<sup>[20]</sup> for its lossless compression algorithm.<sup>[17]</sup> JPEG 2000 technology, which includes the Motion JPEG 2000 extension, was selected as the video coding standard for digital cinema in 2004.<sup>[21]</sup>



Three levels of JPG compression. The left-most image is the original. The middle image offers a medium compression, which may not be immediately obvious to the naked eye without closer inspection. The right-most image is maximally compressed.

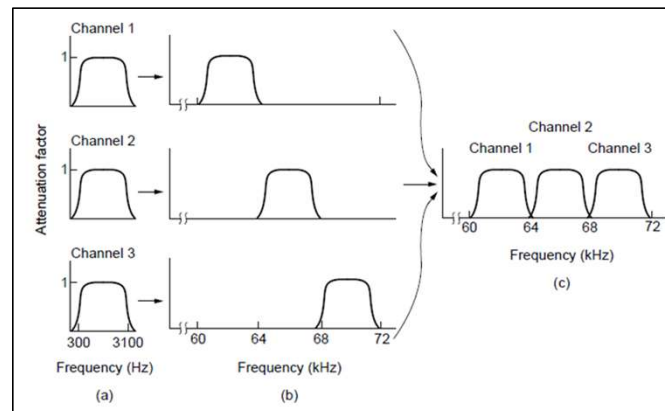
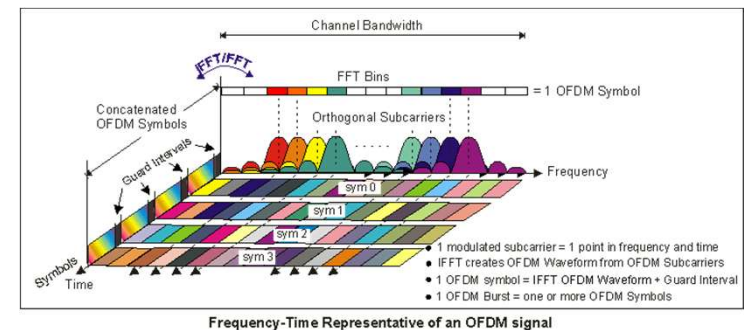
- ❑ La compressione JPEG (tra le più diffuse) si basa sulla Discrete Cosine Transform (DCT), che è una variante della trasformata di Fourier discreta e della Fast Fourier Transform (FFT)






# Trasmissioni digitali

- TUTTI I sistemi moderni di trasmissione digitale (wireless, fibra, satellite, etc) utilizzano pesantemente tecniche di processamento digitale del segnale
- A titolo di esempio:
  - Filtraggio adattativo del segnale ricevuto
  - FFT e IFFT
  - Multiplazione in frequenza e tempo
  - Etc..
- In generale, l'interpretazione in frequenza dei segnali trasmessi e ricevuti è fondamentale in tutti i campi delle telecomunicazioni



# Tecniche per eliminazione di interferenti su un segnale audio

- Esistono numerosi approcci, tutti molto complessi, che usano un mix di tecniche, tra cui alcune spiegate nel nostro corso
- Un esempio: <https://sthalles.github.io/practical-deep-learning-audio-denoising/>

Basata su FFT,  seconda parte del corso

Another important point is that audio signals are, in their majority, non-stationary. In other words, the signal's mean and variance are not constant over time. Thus, there is not much sense in computing a Fourier Transform over the entire audio signal. For this reason, we feed the DL system with spectral magnitude vectors computed using a 256-point Short Time Fourier Transform (STFT).

You can see below, common representations of audio signals.

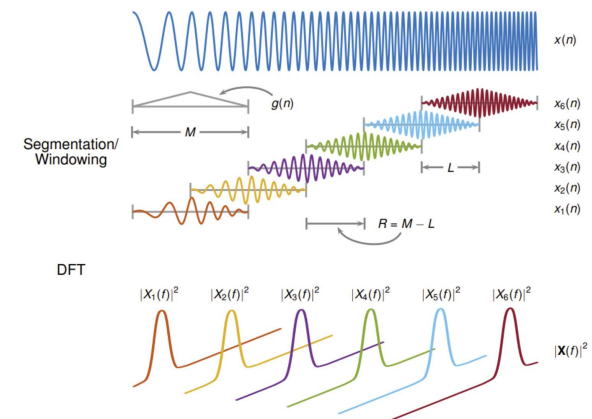
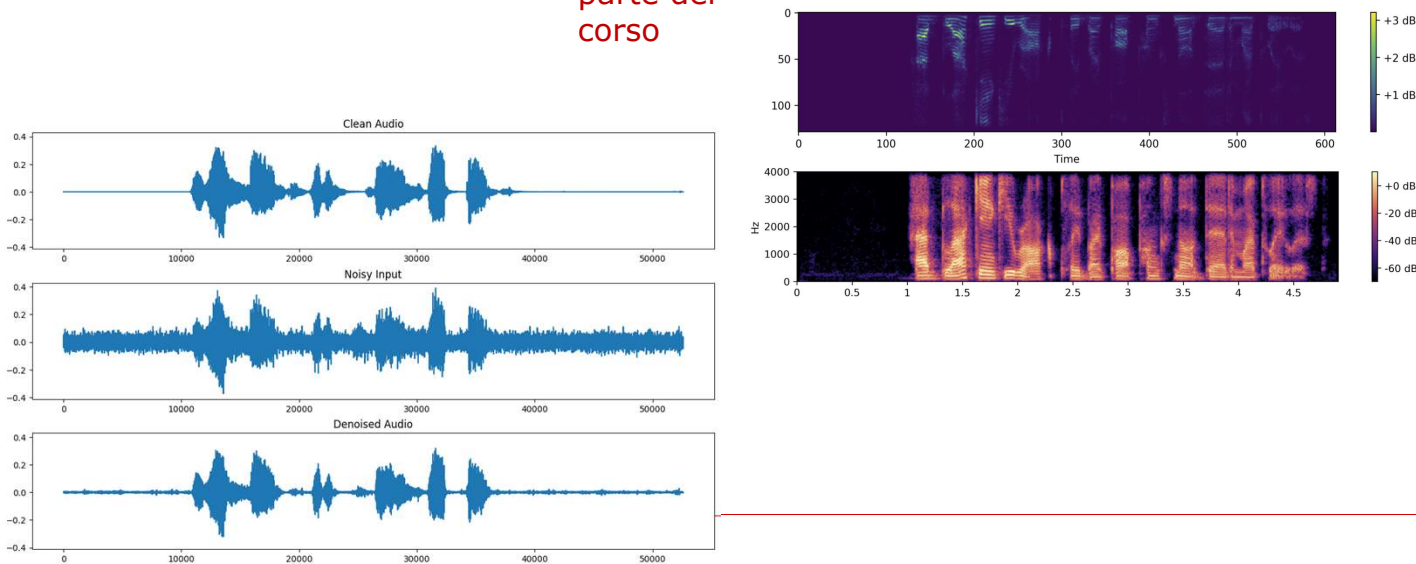


Image Credits to: MATLAB STFT docs.

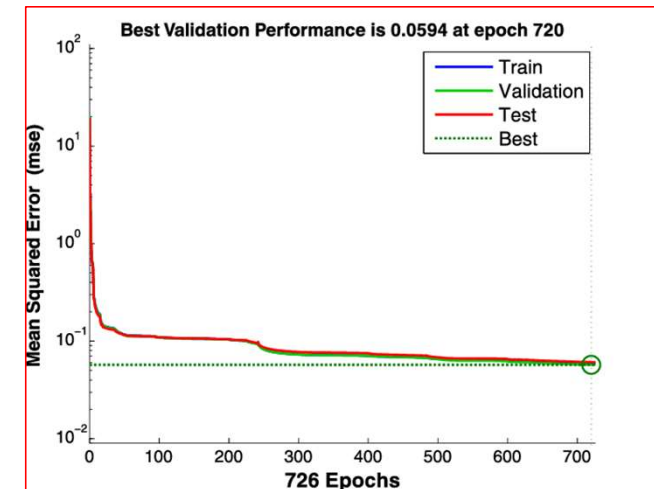
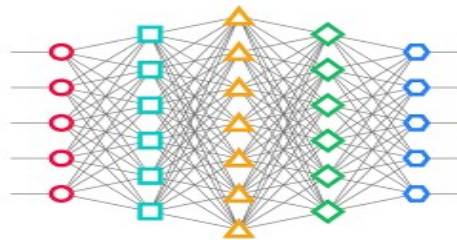
# Riconoscimento e comprensione automatica del parlato umano



- Le moderne tecniche di riconoscimento del parlato si basano su reti neurali molto complesse (o in generale tecniche di intelligenza artificiale)
- Anche in questo caso tuttavia, alcuni dei concetti fondanti sono basati sulla teoria dei segnali
- Ad esempio:
  - Discretizzazione e campionamento
  - Distanza euclidea tra due segnali

# Legami con AI, Machine Learning, Neural Networks

- ❑ Moltissime tecniche di AI, Machine Learning, Neural Networks si basano pesantemente su concetti che nascono nella teoria dei segnali
- ❑ Ad Esempio, la maggior parte delle "cost function" (o loss function) usate per addestrare le neural network sono basate su variant del concetto di distanza euclidea tra due "segnali" (intesi in senso lato)
  - ❑ E in particolare sul concetto di "minimum mean square error"



## MEAN SQUARED ERROR LOSS & ITS DERIVATIVE (GRADIENT)


 python™ *Efficient code*

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Figure prese da: <https://www.bragitoff.com/2021/12/mean-squared-error-loss-function-and-its-gradient-derivative-for-a-batch-of-inputs-python-code/>

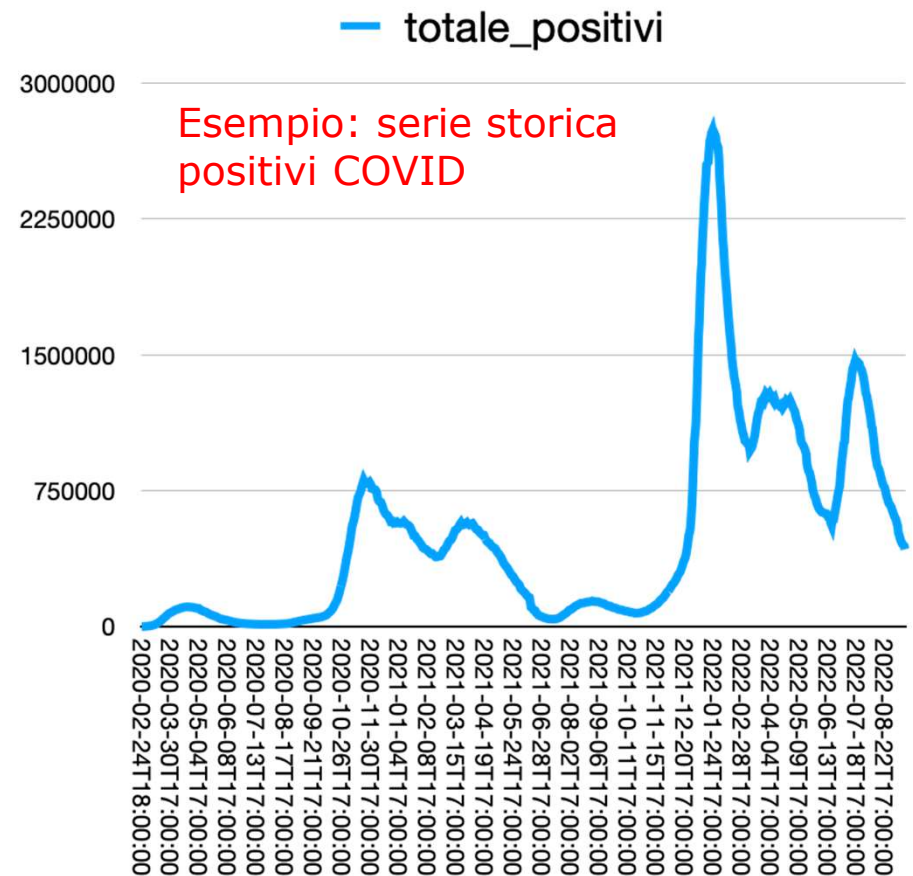
# Analisi delle serie di dati

La teoria e l'analisi dei segnali a tempo discreto è fondamentale nel campo della **"Data Science"** in cui ci si sovente ritrova a elaborare serie di dati del tempo - *Time Series* -

Queste serie di dati sono talvolta per loro natura "a tempo discreto" e non derivano dal campionamento di un segnale analogico

Possibili elaborazioni:

- Studio delle caratteristiche del fenomeno, sulla base dell'analisi del segnale
- Filtraggio dei dati
- Cross-correlazioni tra serie diverse



# Conoscenze e abilità che verranno acquisite durante il corso

---

- Teoria ed Elaborazione dei Segnali
  - (dai documenti ufficiali sulle pagine del corso)

*Teoria ed elaborazione dei segnali*



# Conoscenze e abilità da acquisire - I

---

- Classificazioni dei segnali
- Tecniche di analisi in frequenza dei segnali a tempo continuo
- Sistemi lineari tempo-invarianti (LTI), e loro rappresentazione nel dominio del tempo e della frequenza
- Tipologie fondamentali di filtri lineari
- Processi stocastici (casuali) e loro rappresentazione spettrale

# Conoscenze e abilità da acquisire - II

---

- ❑ Tecniche per il passaggio da segnali a tempo continuo ai segnali a tempo discreto, e viceversa
- ❑ Tecniche per l'elaborazione in frequenza dei segnali a tempo discreto
- ❑ Tecniche per l'analisi dei sistemi LTI a tempo discreto e trasformata Z
- ❑ Tecniche di filtraggio numerico, tipologie di filtri numerici (FIR, IIR)