



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Segnali e Sistemi

(canale 2)

Laurea in Ing. Biomedica

Anno II, secondo semestre, A.A. 25/26

Informazioni generali



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Docente

Tomaso Erseghe

tomaso.erseghe@unipd.it

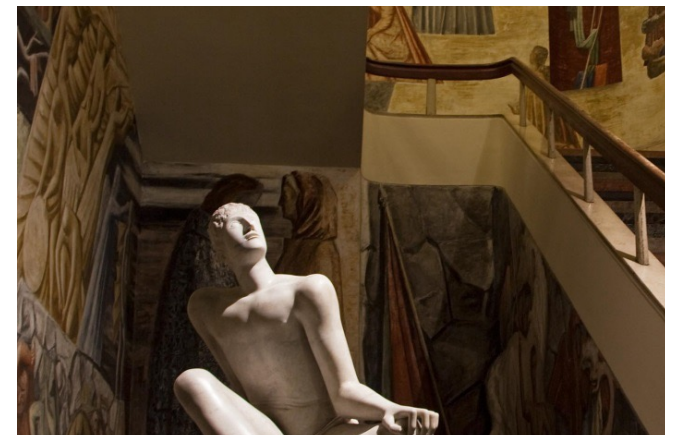
Orario di ricevimento

in classe

durante la pausa, all'inizio e alla fine della lezione

in ufficio/su zoom

DEI/A, II piano, corridoio di destra, interno 7656
su appuntamento





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Orario lezioni

Lun 8:30-10:00 Ke
Gio 8:30-10:00 Ke
Ven 8:30-10:00 Ve

30 Lezioni

+ 6 Esperienze in Lab (MatLab) 
+ 2 prova di autovalutazione

Dal 23 febbraio 2026
al 28 maggio 2026





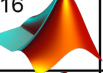
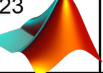
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Tempistiche previste ... se tutto fila liscio

 **Le1** intro

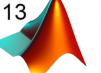
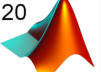
 **Le2**  segnali nel tempo

MARCH 2026

SUN	MON	TUE	WED	THU	FRI	SAT
1	2 	3	4	5 	6 	7
8	9  Le7	10 sistemi	11	12 	13 	14
15	16  nel tempo	17	18	19 	20 	21
22	23 	24	25	26 	27 	28
29	30 	31	1	2	3	4

autovalutazione www.GrabCalendar.com

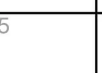
APRIL 2026

SUN	MON	TUE	WED	THU	FRI	SAT
29	30	31	1	2 	3 	4
5	6 	7	8	9 	10 	11
12	13 	14	15	16 	17 	18
19	20 	21	22	23 	24 	25
26	27 	28	29	30 	1	2

Pasqua

trasformata di Fourier

MAY 2026

SUN	MON	TUE	WED	THU	FRI	SAT
26	27	28	29	30	1 	2
3	4 	5	6	7 	8 	9
10	11 	12	13	14 	15 	16
17	18 	19	20	21 	22 	23
24	25 	26	27	28 	29 	30
31	1	2	3	4	5	6

autovalutazione

teorema del
campionamento

Le25 trasformata
di Laplace

Le29 trasformata
Zeta

www.GrabCalendar.com



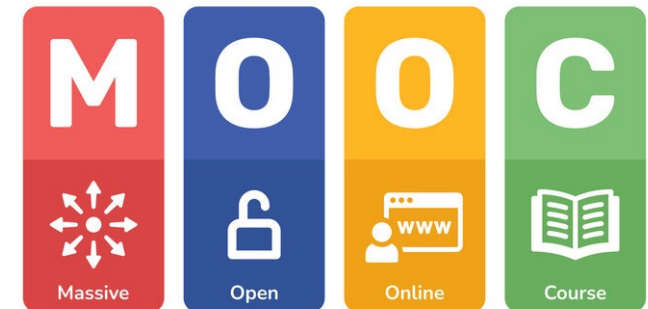
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

MOOC segnali e sistemi

<https://www.futurelearn.com/courses/foundations-of-signals-and-systems/1>

Free Upgrade per UNIPD

- accedere con mail università da
→ <https://www.futurelearn.com/campus/university-of-padova>
- se per errore si accede dalla home page di FutureLearn, seguire → [queste istruzioni](#)
- nel corso online c'è lo stesso materiale che usiamo a lezione, ma in più ci sono degli esercizi a risposta multipla che possono risultare molto utili nella preparazione



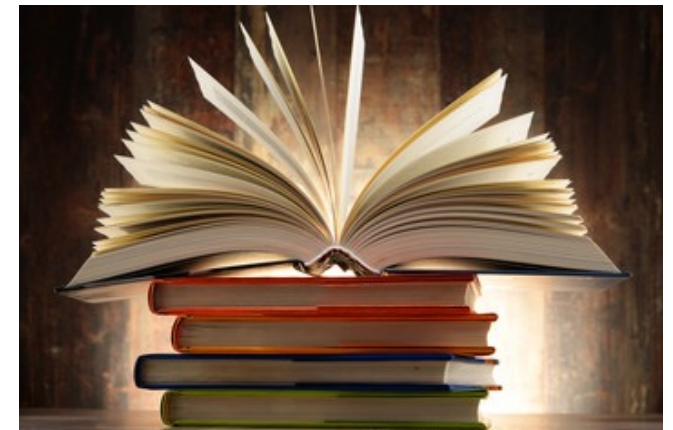


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Libro di testo

Segnali e Sistemi
di Lorenzo Finesso
Libreria Progetto

Ultima edizione



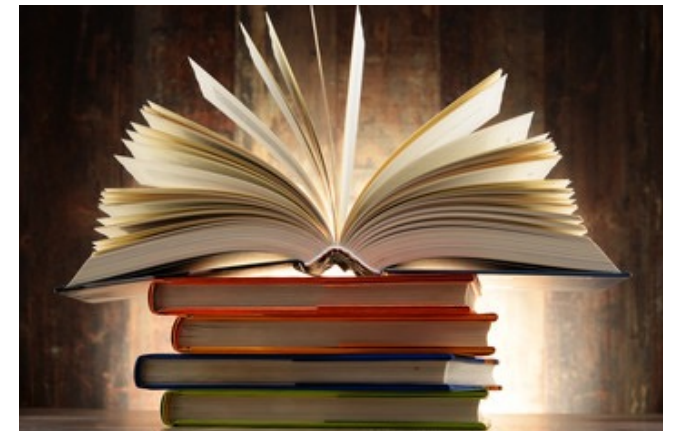
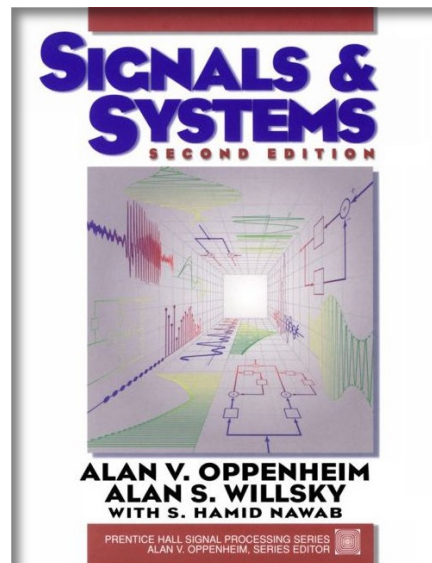
... e appunti dalle lezioni



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Libro di testo (bis)

Signals and Systems, 2nd Edition
by Oppenheim, Willsky, Nawab
published by Pearson





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Sito web

stem.elearning.unipd.it

SEGNALI E SISTEMI (Canale B) 25/26

iscrivetevi subito!

▼ Iscrizione spontanea (Studente)

Non è necessaria una chiave di iscrizione

Iscrivimi

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



Bacheche DEI e siti degli i
SEGNALI E SISTEMI Canale 2 (5-9)

UNIPD

ORIENTAMENTO ▼

NAVIGAZIONE

Home

Dashboard

HOME / CORSI /





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

MATLAB

MATrix LABoratory by MathWorks



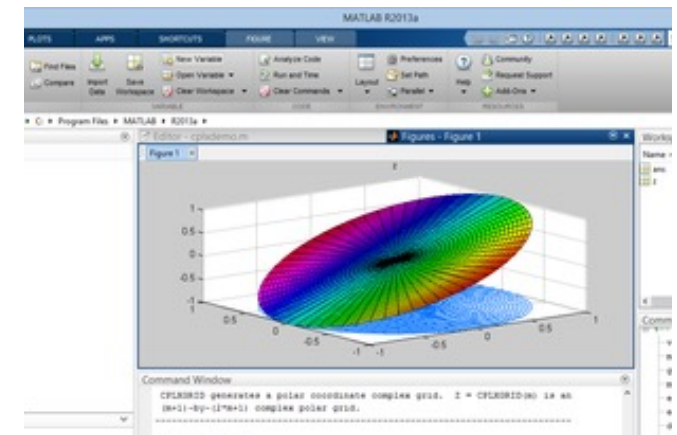
MATLAB *“is a numerical computer environment which allows matrix manipulations, plotting of functions and data, implementation of algorithms”* [wiki]

Total Academic Headcount

licenza di tipo Campus e Student

Consente agli studenti di accedere a MATLAB attraverso computer dell'università, in tutta la struttura. Gli studenti possono inoltre installare MATLAB sui propri **computer personali**.

<https://asit.unipd.it/servizi/contratti-software-licenze/matlab>





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Aula Taliercio

HUB di ingegneria, via Tommaseo 59, di fianco alla Fiera di Padova

Quest'anno siamo al nuovo HUB di ingegneria

<https://asit.unipd.it/servizi/gestione-infrastruttura-it/aule-informatiche/strutture/hub-ingegneria>

Per accedere ai pc serviranno le vostre credenziali

Single Sign On di ateneo!





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Modalità esame

No compiti

2 test di autovalutazione in classe

prova MATLAB (per +2 o lode)

✧ Gio 18 giugno 2026, 10:00 Te Ue

4+1 appelli

✧ Lun 22 giugno 2026, 10:00 via bassi CDEF

✧ Ven 10 luglio 2026, 10:00 Ae Be Ve

✧ Bressanone

✧ Mer 2 settembre 2026, 14:30 Ae Ve

✧ Mar 2 febbraio 2026, 10:00 Ke Ve





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Modalità esame (2)

Compito scritto
2h 30min

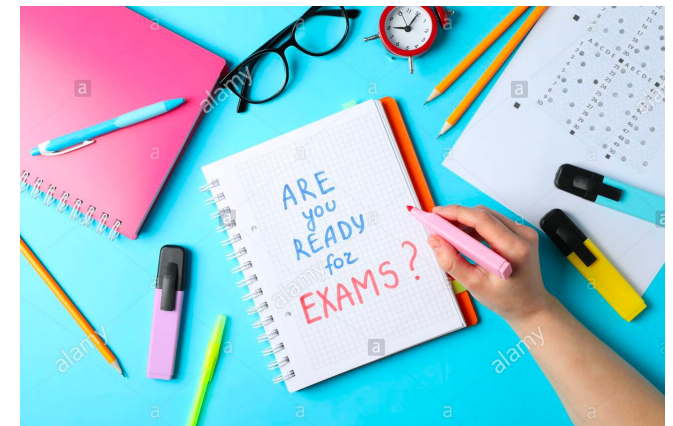
3 **esercizi**

- ✧ strutturati come gli anni passati
- ✧ 7 punti ciascuno

3 **domande**

- ✧ due sulla teoria, una sul MatLab
- ✧ 3 punti ciascuna

Bonus +2 con la prova MatLab





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Commenti degli studenti del 3° anno

... Vengono date per scontate molte conoscenze di base di Segnali e Sistemi, sebbene sia passato un anno dallo svolgimento di quest'ultimo. ...

... quando si utilizzano formule di Segnali e Sistemi bisognerebbe fare un rapido richiamo su quelle cose, senza darle assolutamente per scontate...



Contenuti del corso

Una breve rassegna



signal

[...]

4

a : an object used to ***transmit or convey information*** beyond the range of human voice

b : the sound or image conveyed in telegraphy, ***telephony***, radio, radar, or ***television***

c : ***a detectable physical quantity*** or impulse (as a voltage, current, or magnetic field strength) by which messages or information can be transmitted





transformation

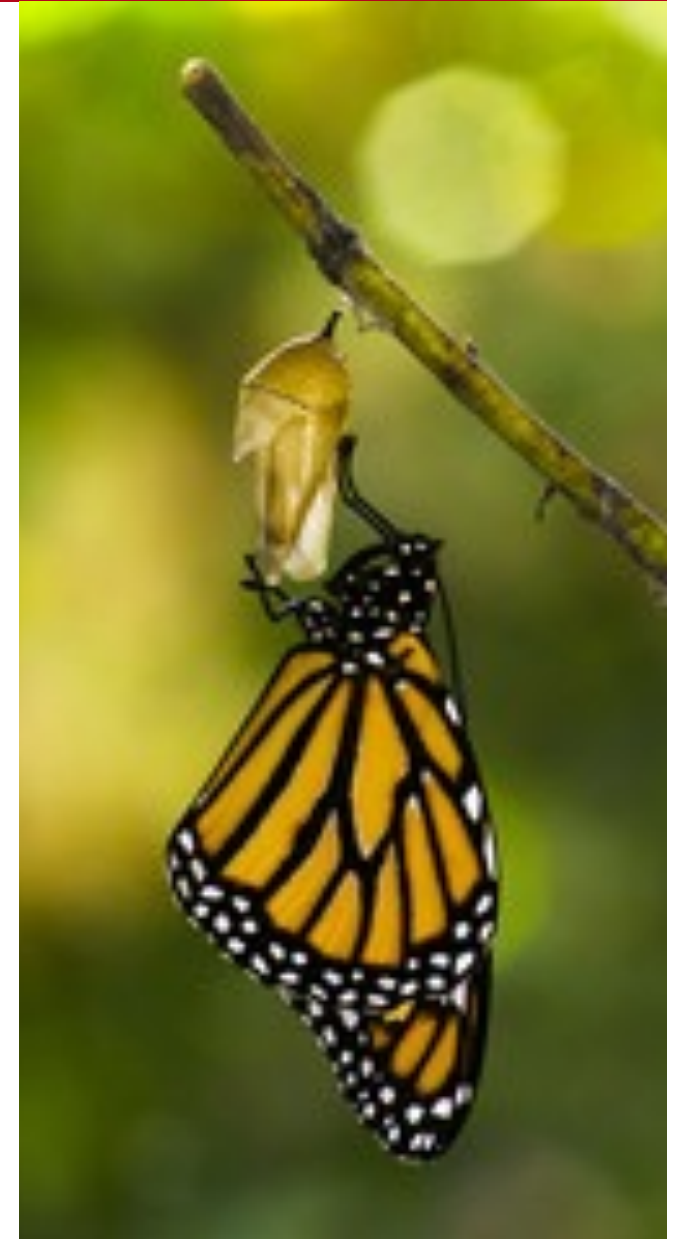
[...]

3

a (1) : the operation of **changing** (as by rotation or mapping) one configuration or expression into another **in accordance with a mathematical rule**; [...]

a (2) : the formula that effects a transformation

b : a **mathematical correspondence** that assigns exactly one element of one set to each element of the same or another set





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Esempi di segnali

Fisici ed artificiali

Voce umana (fluttuazioni di pressione acustica)



Livello di marea a Venezia





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

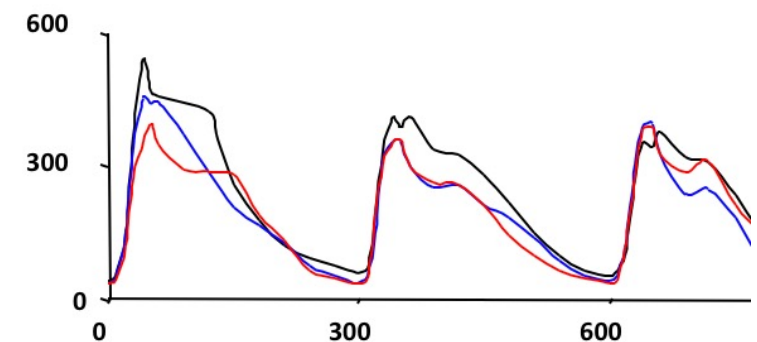
Esempi di segnali

Fisici ed artificiali

Elettrocardiogramma



Concentrazione di insulina nel sangue





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Esempi di segnali

Fisici ed artificiali

Inflazione mensile (artificiale)



Cambio Euro/\$ giornaliero (artificiale)





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

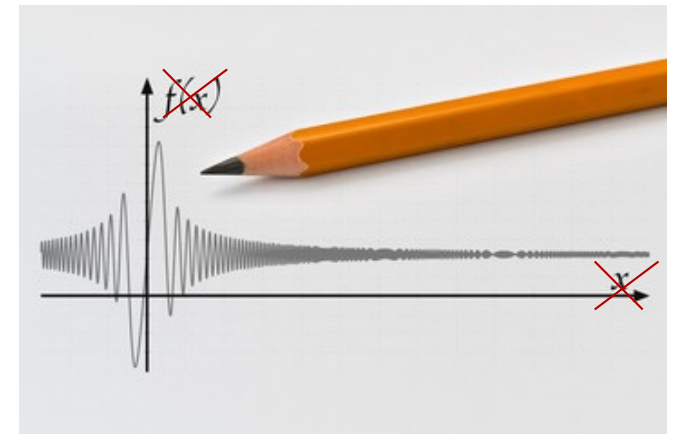
Modello di riferimento

Il segnale come funzione (che contiene informazione)

La convenzione è definire il segnale come $s(t)$

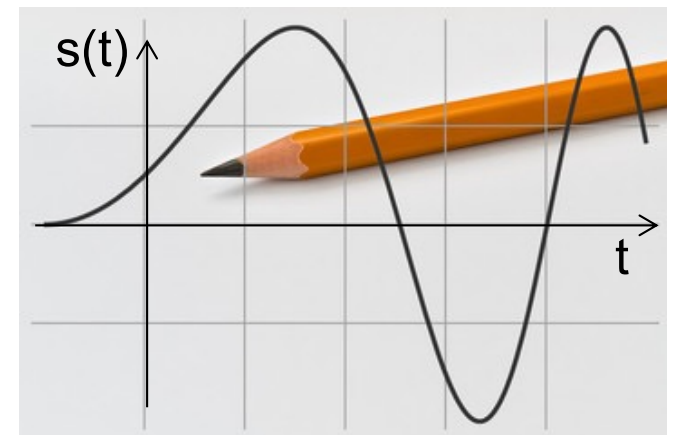
s = segnale

t = tempo (tipicamente, ma non solo... anche spazio)



dominio ($t \in D$) e **codominio** ($s \in C$) definiscono la tipologia di segnale

es., segnale **continuo** se $D = C = \mathcal{R}$ (numeri reali)





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Segnali periodici

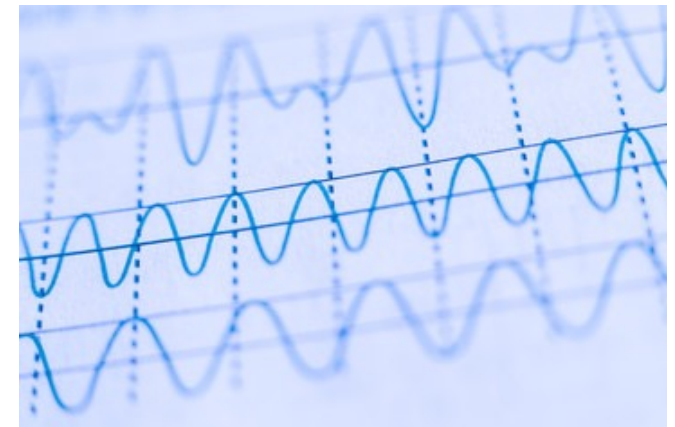
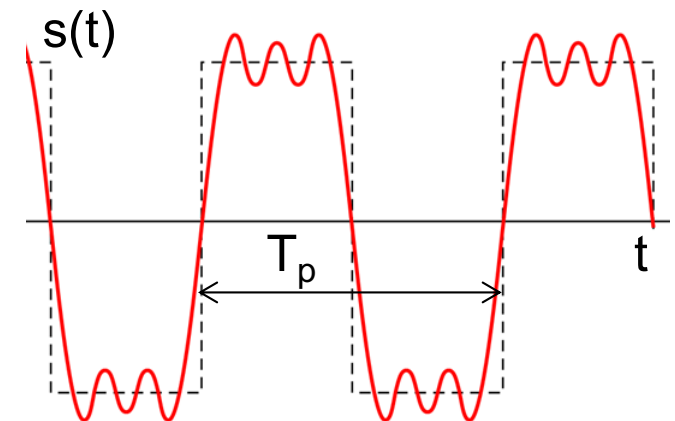
Segnali la cui forma si ripete

Soddisfano la proprietà fondamentale

$$s(t+T_p) = s(t)$$

con T_p il **periodo** del segnale

... e sono univocamente definiti nell'**intervallo fondamentale** $[0, T_p)$ o in qualunque altro periodo





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Segnali periodici (2)

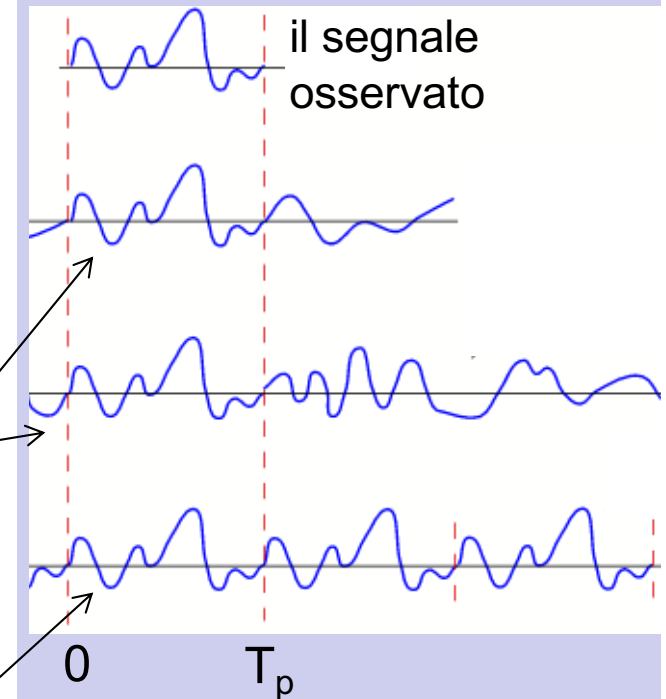
Come modello per segnali definiti in un intervallo limitato

Modello per segnali ***ad estensione limitata***

... ovvero definiti in una finestra temporale limitata e duplicati per ***ripetizione periodica*** (o periodizzazione)

possibili forme al di fuori del
periodo di osservazione

risultato della ***ripetizione
periodica*** del segnale





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Segnali a tempo discreto

Che includono i cosiddetti segnali “campionati”

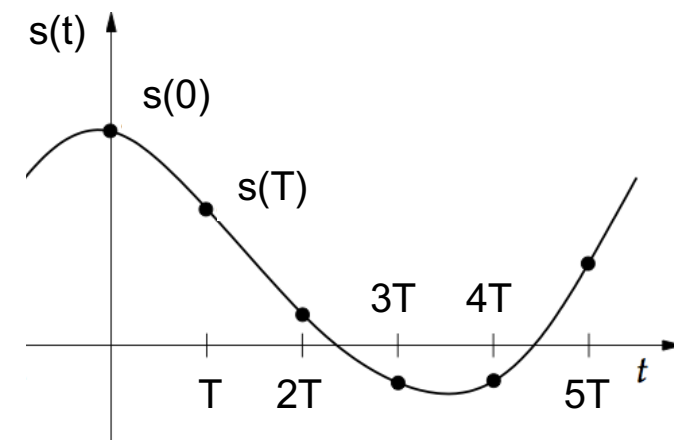
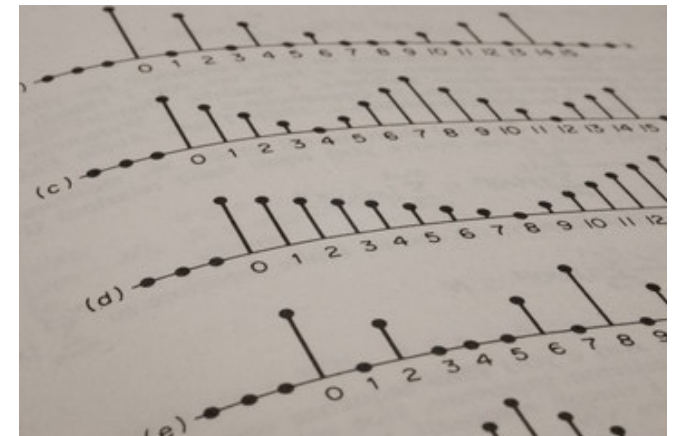
Segnali a dominio discreto

$$D = Z(T) = \{ nT, n \in \mathbb{Z} \}$$

con T *periodo di campionamento*

... la nostra convenzione per il segnale a tempo discreto è $s(n)$ ma ne esistono altre: s_n , $s(nT)$, $s[n]$, etc.

Possono derivare da segnali a tempo continuo attraverso una operazione di **campionamento** che registra il valore del segnale originario a intervalli di tempo regolari





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Segnali digitali

Ovvero a tempo ed ampiezza discreti

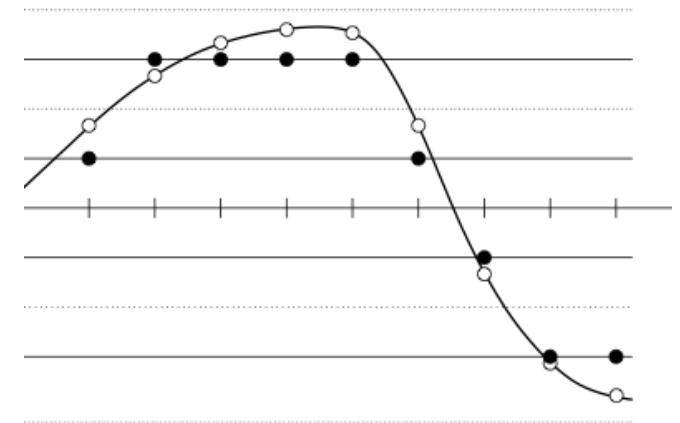
Segnali ad **ampiezze discrete**

$$C = \{ c_0, c_1, c_2, c_3, \dots \}$$

in cui il codominio tipicamente ha cardinalità finita
(numero finito di possibili livelli del segnale)

Sono chiamati segnali **digitali** in quanto esprimibili
tramite flussi di **bit**

Possono essere derivati da un segnale continuo tramite
campionamento e **quantizzazione**, ovvero tramite una
analog-to-digital-conversion (**ADC**)





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Segnali a valori complessi

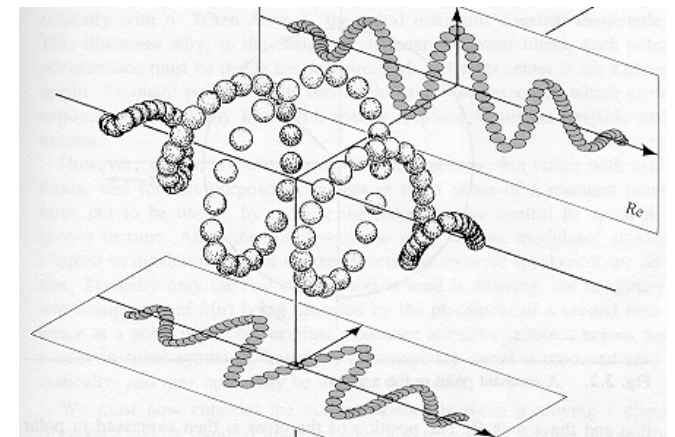
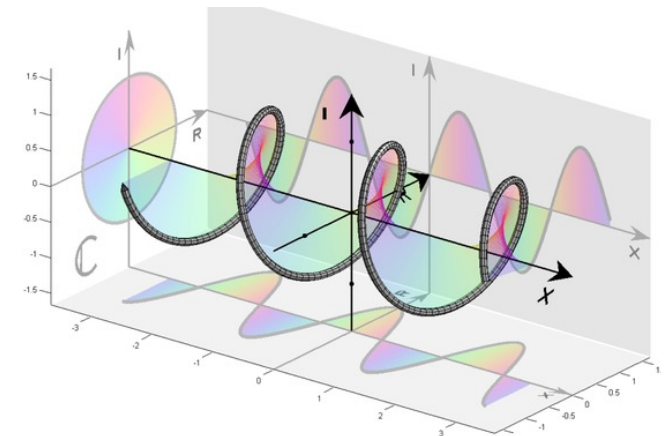
Segnali le cui ampiezze sono valori **complessi**

$$D = \mathcal{C} \text{ (numeri complessi)}$$

Possono essere interpretati come segnali **vettoriali** a valori reali

$$\underline{s}(t) = [\mathcal{R}[s(t)], \mathcal{I}[s(t)]]$$

con $\mathcal{R}$ la parte reale, e $\mathcal{I}$ la parte immaginaria





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Segnali multidimensionali

Immagine in b/n - $s(x,y)$

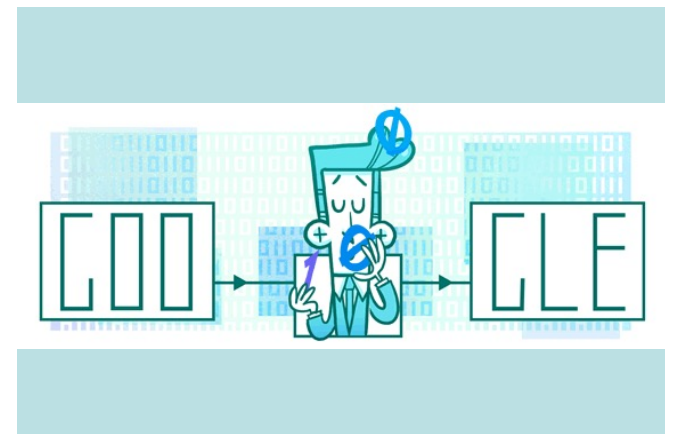
segnale bidimensionale (2D) con coordinate spaziali

Immagine a colori - $\underline{s}(x,y) = [r(x,y), g(x,y), b(x,y)]$

Segnale 2D vettoriale con coordinate spaziali

Video a colori - $\underline{s}(x,y,t) = [r(x,y,t), g(x,y,t), b(x,y,t)]$

Segnale 3D vettoriale con coordinate spaziali e temporali

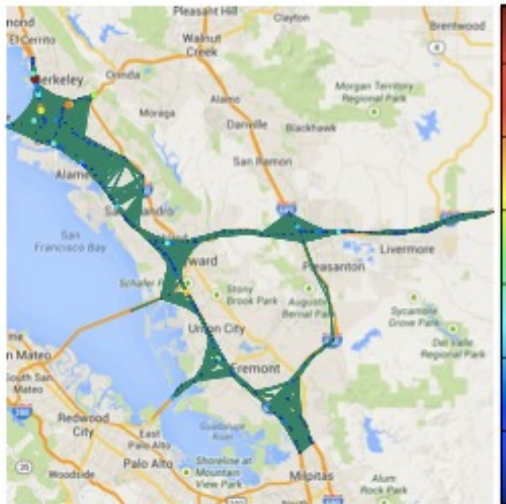




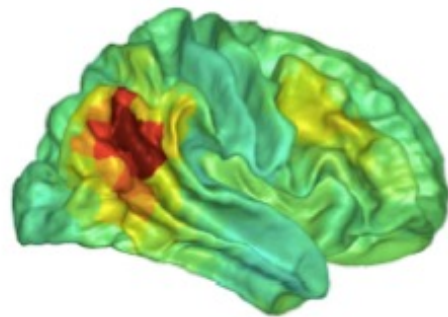
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Segnali su grafi complessi

I segnali complessi del mondo della rete

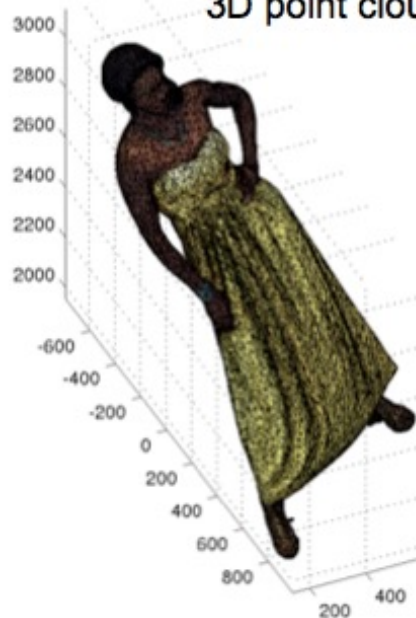


Traffic bottlenecks

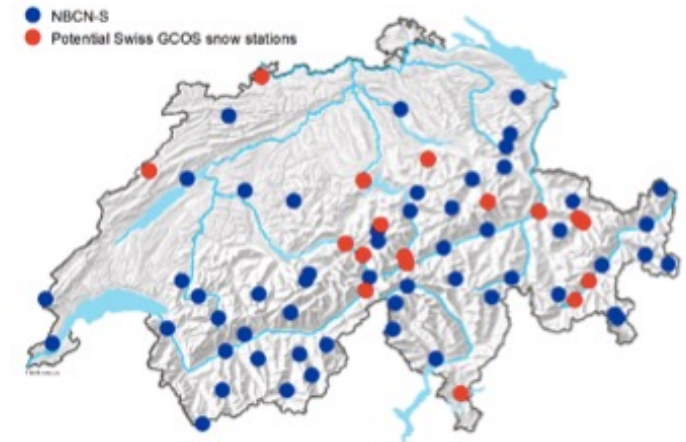


Brain signals

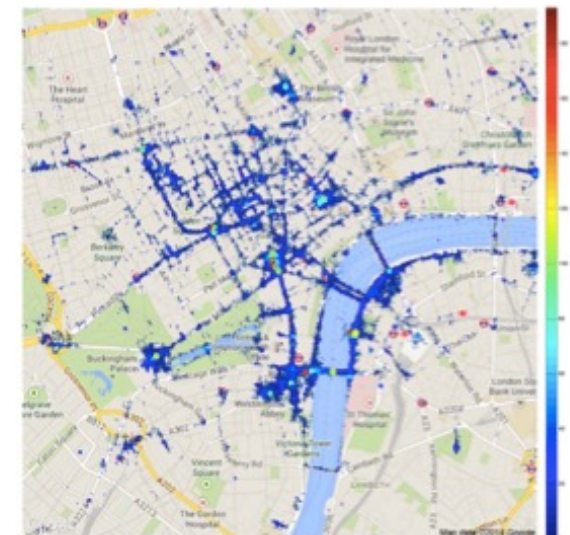
3D point clouds



Social networks



Sensor networks



Mobility patterns



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

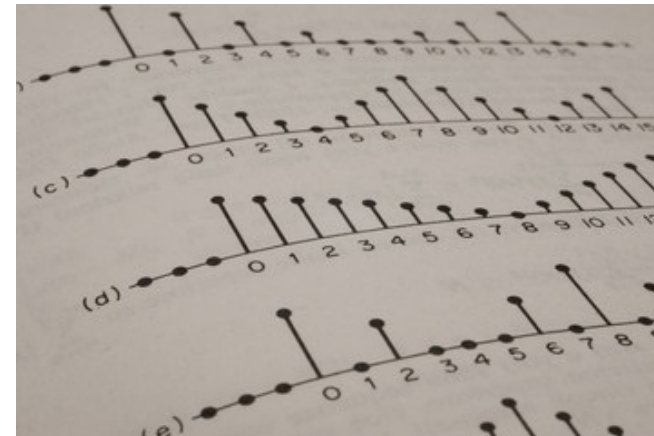
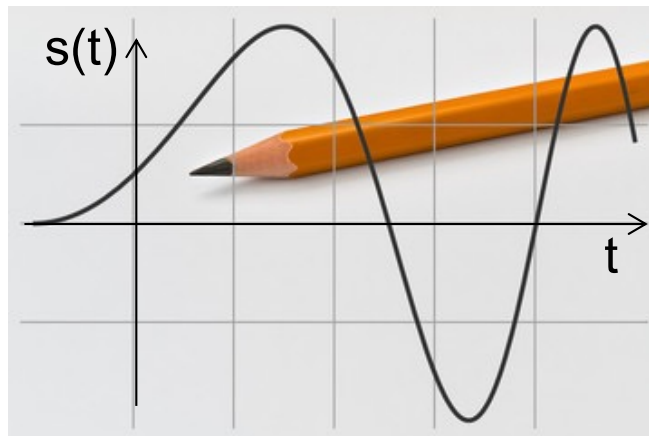
Le 4 classi fondamentali

Sempre monodimensionali (1D) e a valori complessi

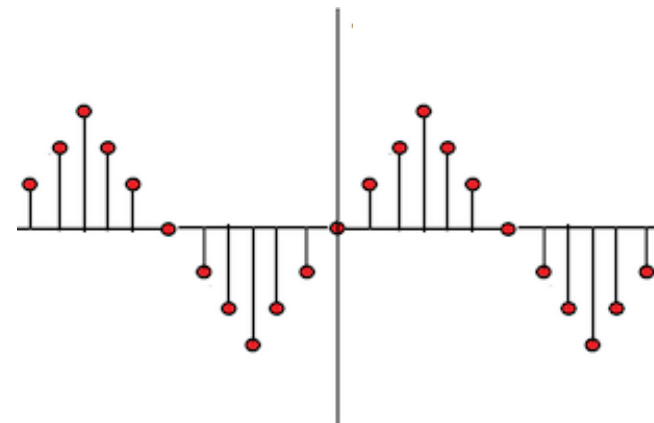
continui

discreti

campionamento
→



periodizzazione
↓



aperiodici

periodici



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Sistemi LTI

Sistemi lineari e tempo invarianti

La classe più interessante di sistemi sono le trasformazioni LTI, con proprietà di

Linearità

Principio di sovrapposizione degli effetti

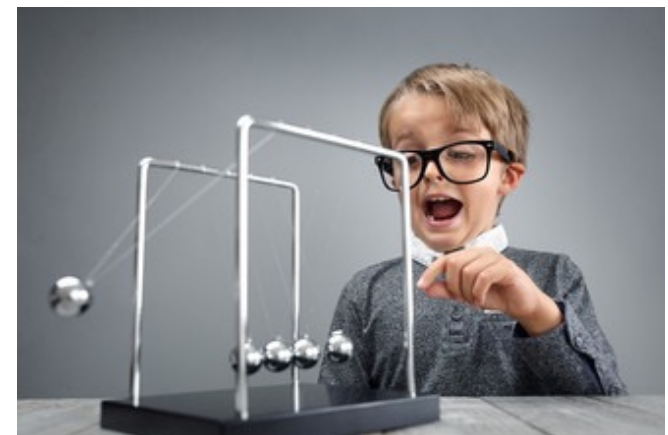
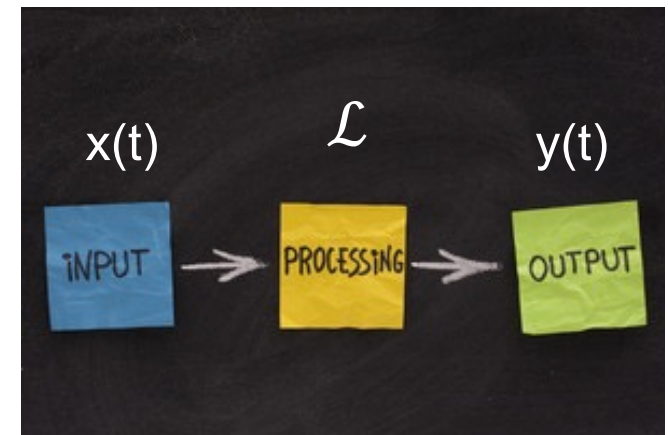
$$a x(t) \rightarrow a y(t)$$

$$x_1(t) + x_2(t) \rightarrow y_1(t) + y_2(t)$$

Tempo-invarianza

Principio di ripetibilità dell'esperimento

$$x(t-t_0) \rightarrow y(t-t_0)$$





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

La convoluzione

Una rappresentazione efficiente per sistemi LTI

Le trasformazioni LTI sono esprimibili tramite una operazione di **convoluzione**

... in forma **integrale** nel caso continuo

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(u)h(t-u)du$$

... in forma di **sommatoria** nel caso discreto

la **risposta impulsiva** h identifica univocamente la trasformazione

$$y_n = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x_k h_{n-k}$$



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

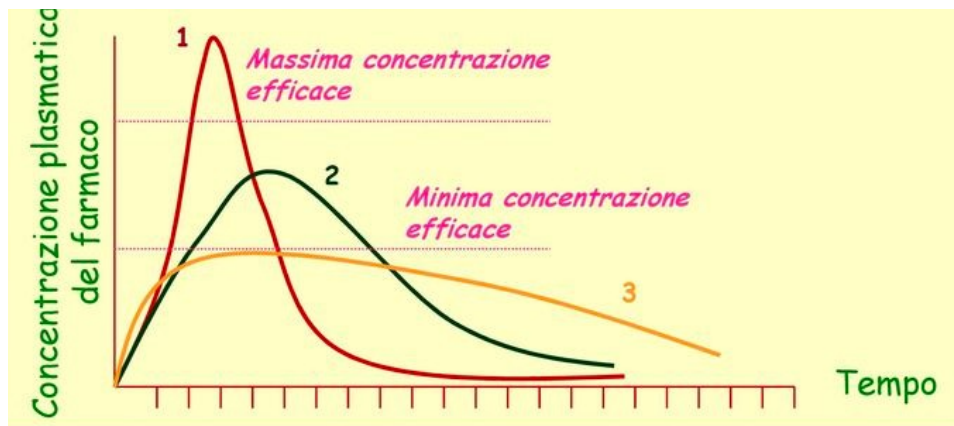
A cosa ci serve?

Un esempio bioingegneristico

concentrazione di un farmaco nel sangue, data la modalità di somministrazione

Ingresso $x(t)$ = quantità somministrata (nel tempo)

Risposta impulsiva $h(t)$ = come il farmaco si trasferisce nel sangue (nel tempo)



Uscita $y(t)$ = concentrazione del farmaco nel sangue



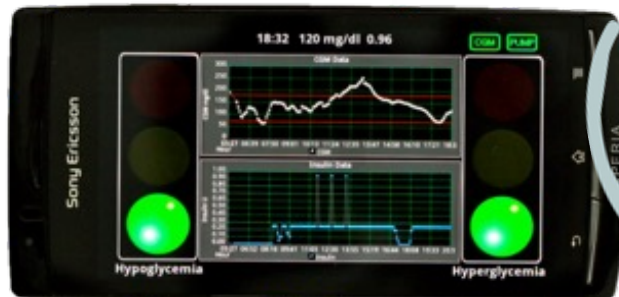


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Il pancreas artificiale

Un esempio bioingegneristico

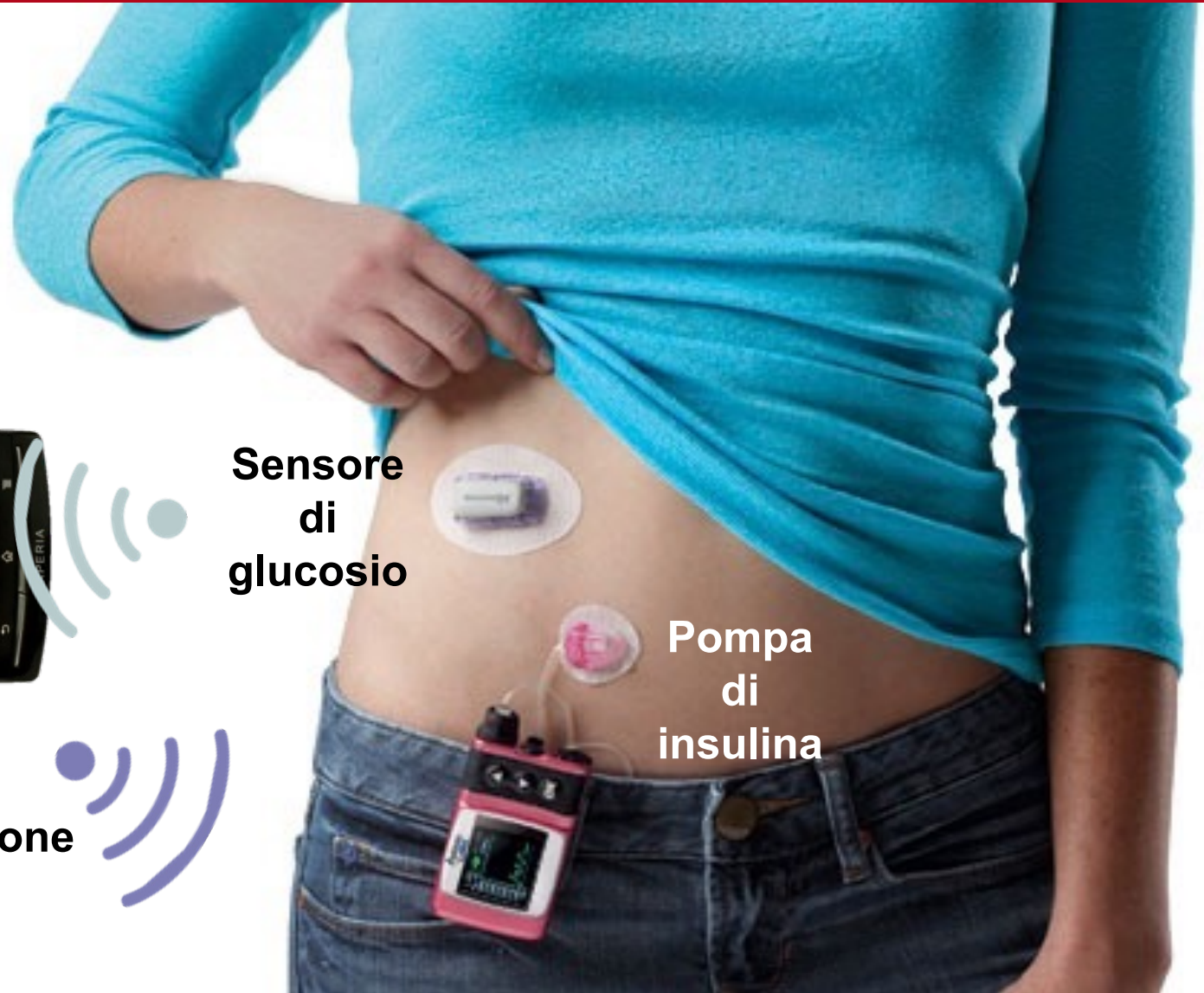
**Algoritmi di
controllo ed
elaborazione dati**



**Sensore
di
glucosio**

**Pompa
di
insulina**

**Comunicazione
wireless**





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

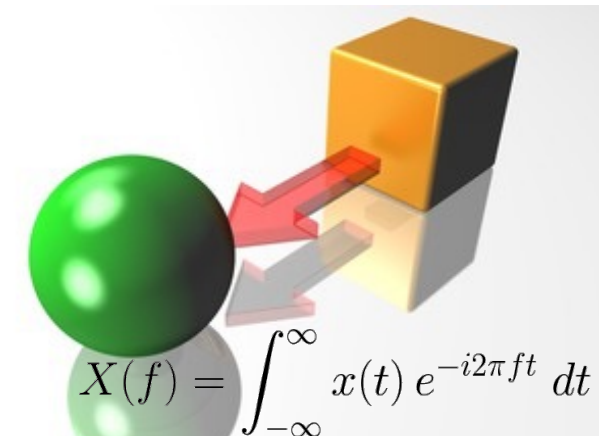
Le trasformate

Ovvero rappresentazioni alternative dei segnali

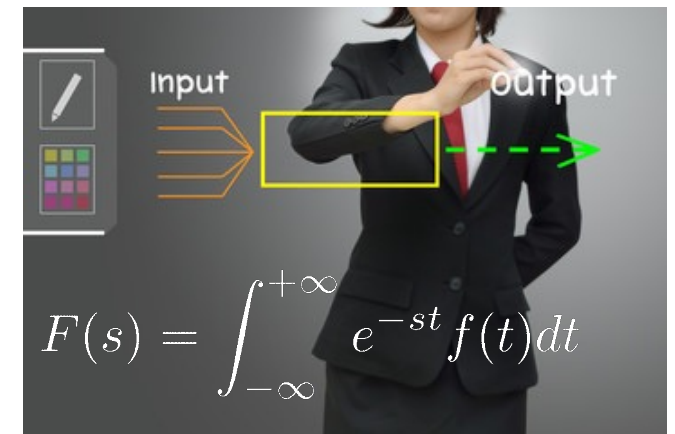
A volte è meglio dare una rappresentazione alternativa al segnale

tf. di **Fourier** → esprime il segnale come composizione di **esponenziali a esponenti immaginari** $e^{i 2\pi f t}$

tf. di **Laplace** → esprime il segnale come composizione di **esponenziali a esponenti complessi** $e^{(r + i \omega) t}$



... ma non sono trasformazioni LTI (sono solo lineari)





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

La trasformata di Fourier

Ovvero la rappresentazione in frequenza

La trasformata di Fourier è una rappresentazione del segnale che ne evidenzia il contenuto alle varie **frequenze** (segnale come somma di sinusoidi)





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Sistemi LTI e trasformate

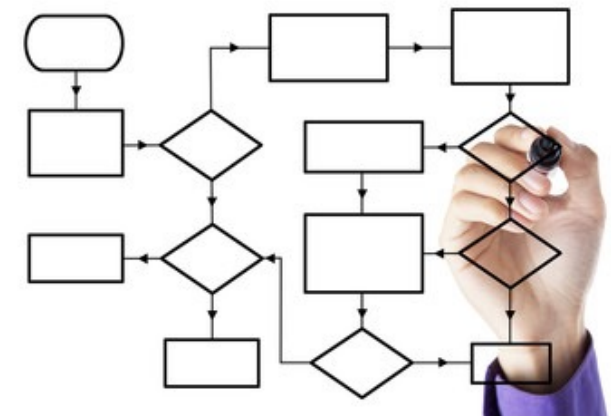
Ovvero a cosa servono le trasformate

Nel dominio delle trasformate la **convoluzione** diventa un **prodotto**

$$y(t) = x * h(t) \text{ (convoluzione)}$$

$$Y(f) = X(f) H(f) \text{ (prodotto)}$$

... ovvero sistemi LTI anche complessi si studiano meglio usando una trasformata





Segnali nel tempo (5 lez)

Durata, Area, Valor medio, Energia Potenza
Traslazione, Scala, Periodizzazione
Esponenziali, Impulsi, e Altri segnali notevoli

Sistemi nel tempo (5 lez)

Invertibilità, Memoria, **Stabilità**, Linearità
I sistemi LTI, La **convoluzione** e sue proprietà
Autofunzioni, Filtraggio, Connessione di sistemi
Risposta a sinusoidi e esponenziali complessi

La trasformata di Fourier (13 lez)

Serie di Fourier e sue proprietà
Trasformata di Fourier e sue proprietà
Relazione periodico-aperiodico
Trasformata per segnali discreti e sue proprietà
Il teorema del **campionamento**

La trasformata di Laplace (4 lez)

Trasformata di Laplace e sue proprietà
Equazioni differenziali, Risposta libera e forzata
Soluzione di equazioni differenziali tramite
la trasformata di Laplace
Esempi di applicazione

La trasformata Zeta (2 lez)

Trasformata Zeta e sue proprietà
Soluzione tramite trasformata Zeta di sistemi
descritti da equazioni alle differenze

Note storiche

sui tre maggiori protagonisti del nostro corso



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Pierre-Simon Laplace
1749-1827

Pierre-Simon Laplace

Beaumont-en-Auge (Normandia) 23/3/1749
Parigi 5/3/1827

Matematico, fisico, astronomo e nobile francese

*Sebbene la trasformazione oggi nota come trasformata di Laplace sia originariamente stata introdotta nel 1744 da Eulero, nel 1785 Laplace comprese per primo come usare questa trasformazione per risolvere le **equazioni differenziali**. La forma usata da Laplace corrisponde a quella oggi nota come **trasformata z**.*

La versione moderna della trasformata di Laplace è dovuta a G. Doetsch (1937)





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Jean Baptiste Joseph Fourier

1768-1830

Jean Baptiste Joseph Fourier

Auxerre (Borgogna) 21/3/1768

Parigi 16/5/1830

Allievo di Laplace e Lagrange
Matematico e fisico francese

*A Fourier si deve l'idea di **serie di Fourier**, sviluppata per la soluzione di equazioni legate alla diffusione del calore a partire dal 1807 (l'opera più ampia, "Théorie analytique de la chaleur," è del 1822)*

I risultati di Fourier sono successivamente stati riformulati con maggiore rigore da Dirichlet e Riemann nella seconda metà dell'ottocento





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Claude Elwood Shannon

1916-2001

Claude Elwood Shannon

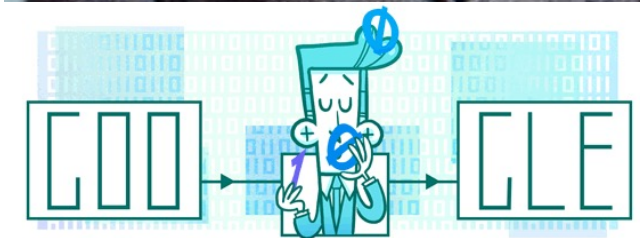
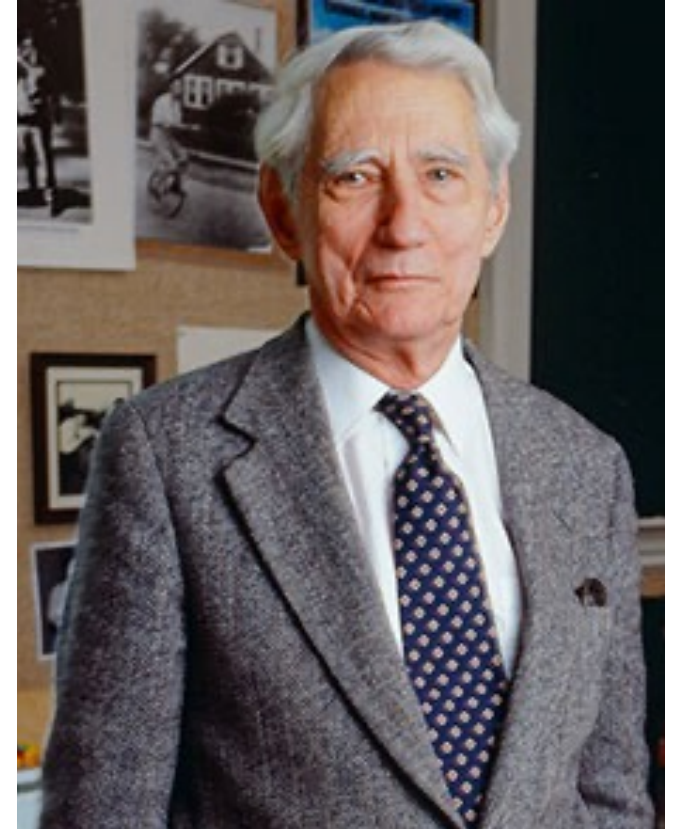
Petoskey (Michigan) 30/4/1916

Medford (Massachusetts) 24/2/2001

Ingegnere e matematico statunitense

Padre della teoria dell'informazione

*Shannon è riconosciuto come il padre del **Teorema del campionamento** (1949), una applicazione della Serie di Fourier che rivela il legame tra segnali a tempo continuo (analogici) e segnali a tempo discreto (digitali)*





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Segnali e Sistemi

(canale 2)