



UNIVERSITÀ DI PISA
Corso di Laurea in Scienze Motorie
Tecnologie e strumentazione biomedica

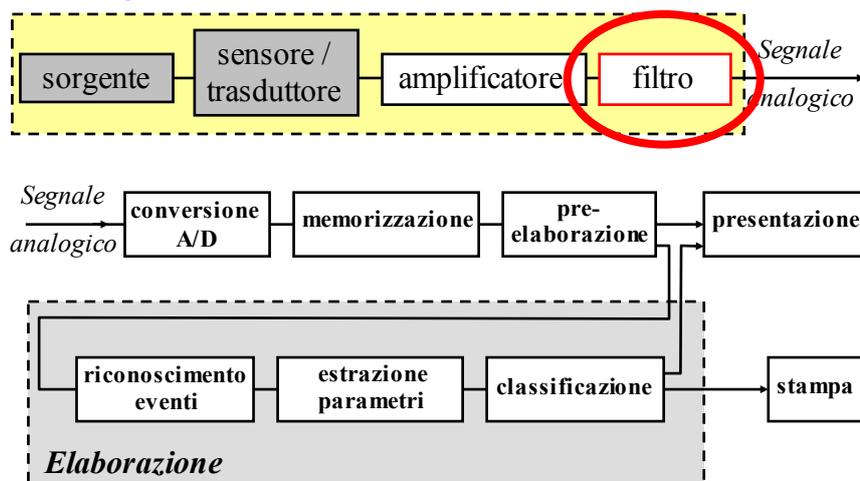
Filtri

Alberto Macerata
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

UNIPISM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Acquisizione ed elaborazione di segnali

Blocchi funzionali



UNIPISM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

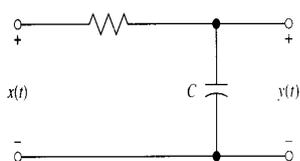
Filtri

- **passa-basso**: per eliminare componenti ad alta frequenza (per es. potenziali muscolari nell'EEG)
- **passa-alto**: per eliminare componenti a bassa frequenza (per es. lenti spostamenti della linea base del segnale EEG o ECG dovuti a modifiche della resistenza di contatto degli elettrodi)
- **passa-banda**: e' una combinazione dei 2 filtri precedenti. Può anche essere usato per estrarre particolari componenti da un segnale: per es. dal segnale ECG, applicando un passa-banda tra 0.08 e 0.12Hz, si può estrarre la componente respiratoria.
- **elimina-banda**: per eliminare singole componenti a frequenza nota (per es. la frequenza di rete di alimentazione-50 Hz).

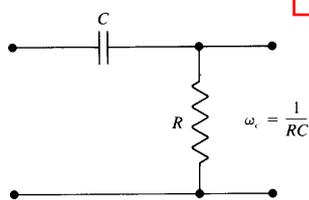
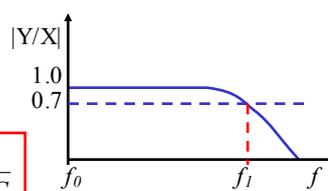
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtri

Filtro passa-basso

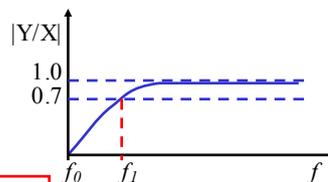


$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$



Filtro passa-alto

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 - j(1/\omega RC)}$$



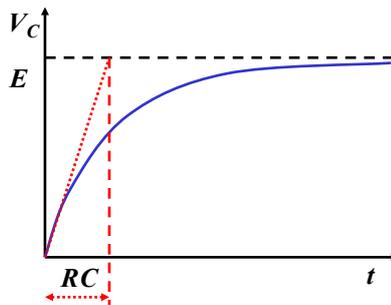
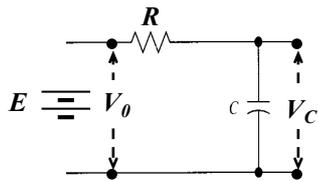
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Carica del condensatore

Il tempo intercorso dal momento del collegamento al momento in cui non c'è più movimento di cariche alle armature si chiama *periodo transitorio di carica* del condensatore.

La tensione ai capi del condensatore è data, nel tempo, da:

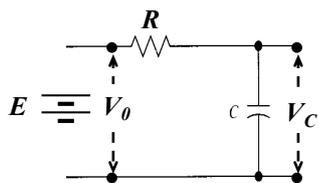
$$V_C = E(1 - e^{-t/RC})$$



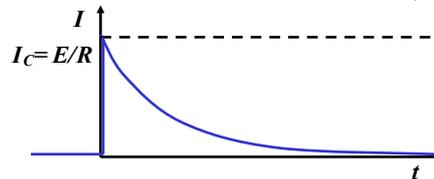
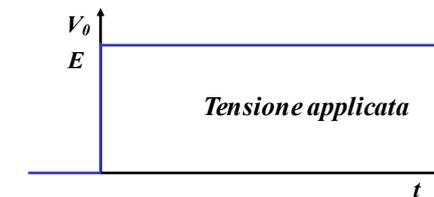
Il termine $T=RC$ è un elemento caratteristico del circuito e viene detto *Costante di tempo del circuito*.

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

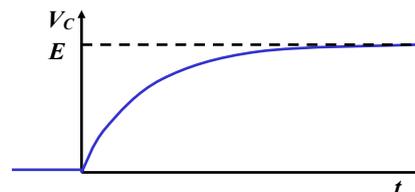
Corrente e tensioni



Corrente nel circuito

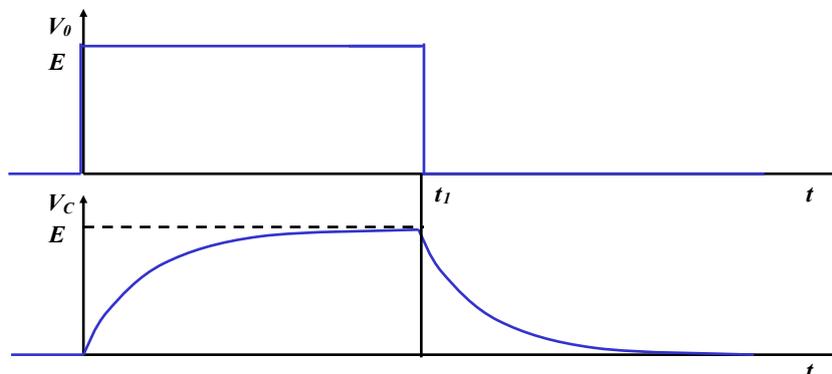


Tensione ai capi del Condensatore



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

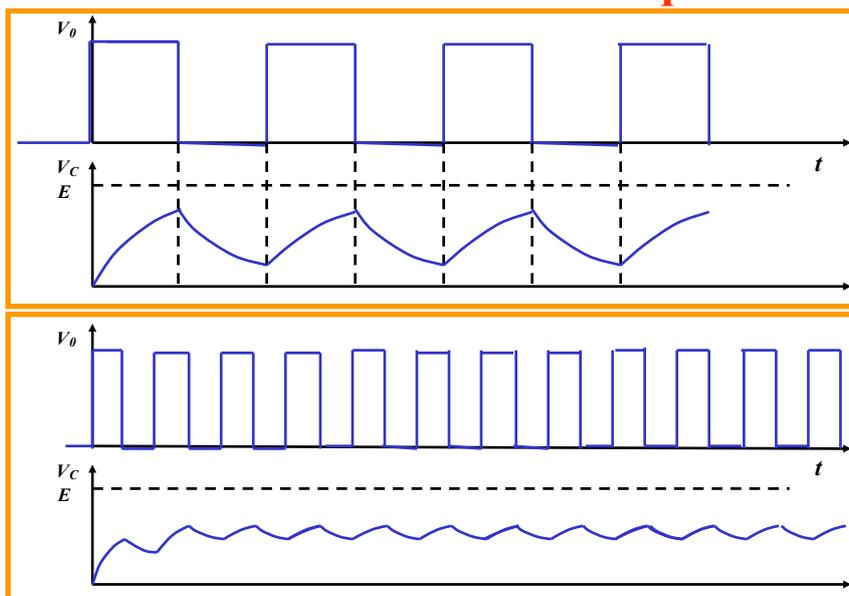
Carica e scarica del condensatore



Se all'istante t_1 sostituisco alla batteria un corto circuito, la tensione presente ai capi del Condensatore fa sì che si generi nel circuito una corrente, di verso opposto alla precedente. Questa corrente dura fino a che tutte le cariche accumulate sull'armatura del condensatore sono ridistribuite in tutto il circuito. La tensione ai capi del Condensatore è ancora un'esponenziale che va da E a 0 , con la stessa costante di tempo $T=RC$.

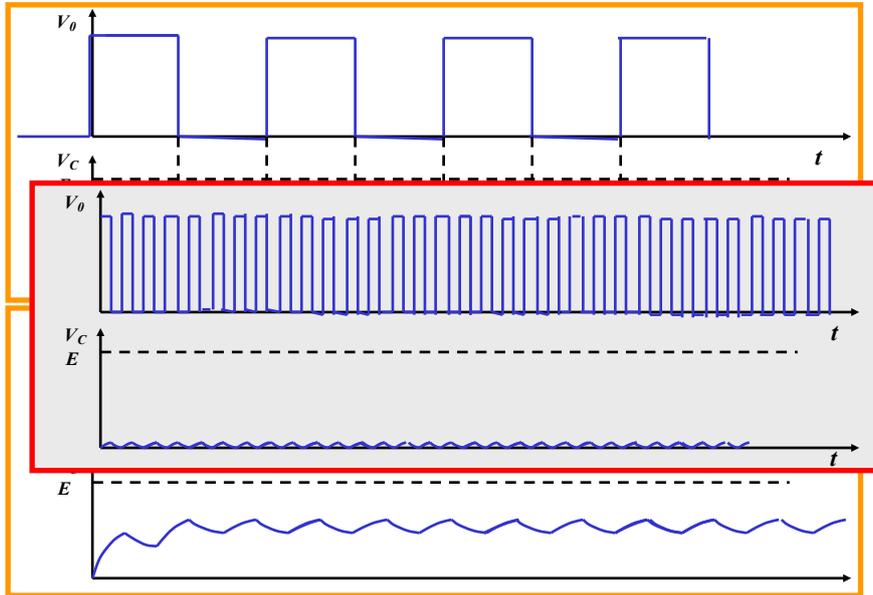
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Tensione al variare della frequenza



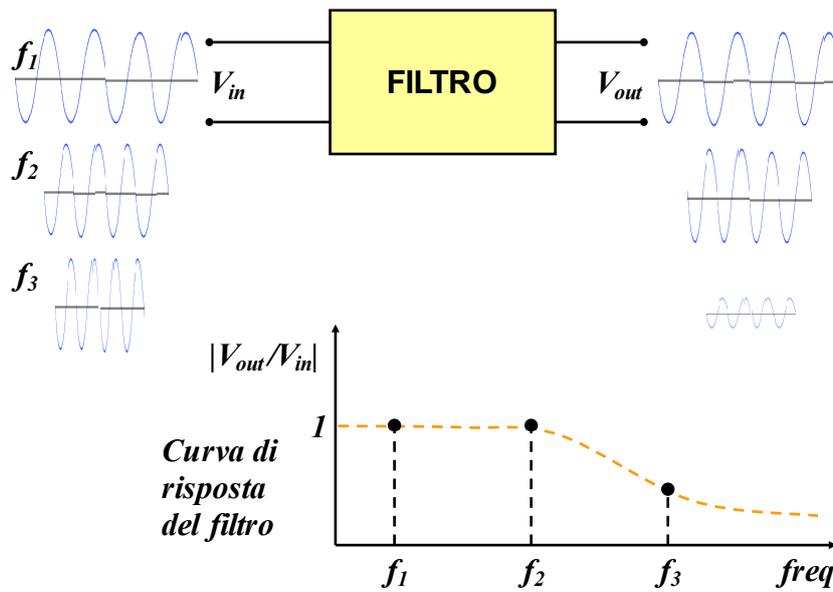
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Tensione al variare della frequenza



UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

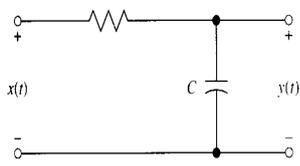
Risposta di un filtro



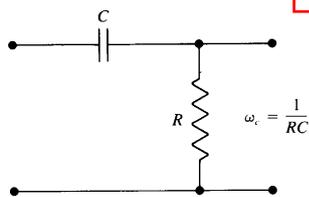
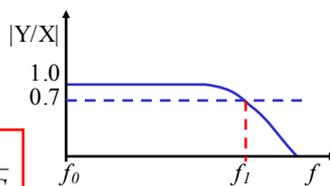
UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtri

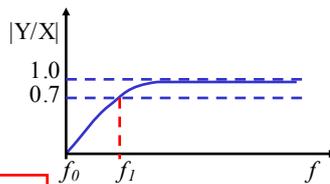
Filtro passa-basso



$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$



$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 - j(1/\omega RC)}$$

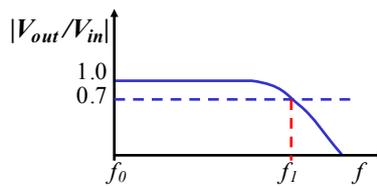
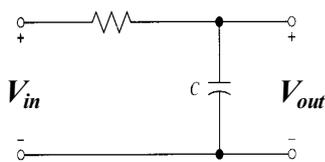


Filtro passa-alto

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtro passa-basso

Filtro passa-basso



$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

$$G = (1 - j\omega RC) / [(1 - j\omega RC)(1 + j\omega RC)]$$

$$G = (1 - j\omega RC) / [1 - (j\omega RC)^2]$$

$$G = (1 - j\omega RC) / [1 + (\omega RC)^2]$$

$$G = 1 / [1 + (\omega RC)^2] - j\omega RC / [1 + (\omega RC)^2]$$

$$G = \{ 1 / [1 + (\omega RC)^2] \} (1 - j\omega RC)$$

$$|G| = \{ 1 / [1 + (\omega RC)^2] \} \sqrt{1 + (\omega RC)^2}$$

Ricordiamo che:
 $\omega = 2\pi f$

$$|G| = |V_{out}/V_{in}| = 1 / \sqrt{1 + (\omega RC)^2}$$

opzionale

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Esempio: Filtro passa-basso

Ricordando che: $\omega=2\pi f$ posso riscrivere G:

$$|G| = |V_{out}/V_{in}| = 1/\sqrt{1+(2\pi f RC)^2}$$

Nel nostro esempio abbiamo $R=1K\Omega$ e $C=1\mu F$, cioè $R=10^3\Omega$ e $C=10^{-6}F$

Vogliamo calcolare f quando $G=0.707$, cioè il limite del filtro passa-basso.

Elevando al quadrato ottengo: $|G|^2 = 1/[1+(2\pi f RC)^2]$ (1)

Sostituendo i valori ottengo:

$$2\pi f RC = 2 \times (3,14) \times f \times (10^3 \times 10^{-6}) = 6,28 \times f \times 10^{-3}$$

da cui, elevando al quadrato: $(2\pi f RC)^2 = (6,28)^2 \times f^2 \times 10^{-6}$

Sostituendo il valore $G = 0.707$, la (1) diventa ora:

$$(0.707)^2 = 1 / [1 + (39,4 \times f^2 \times 10^{-6})]$$

La frequenza di taglio è legata ai valori di R e C

Risolviendo in f^2 otteniamo con passi successivi:

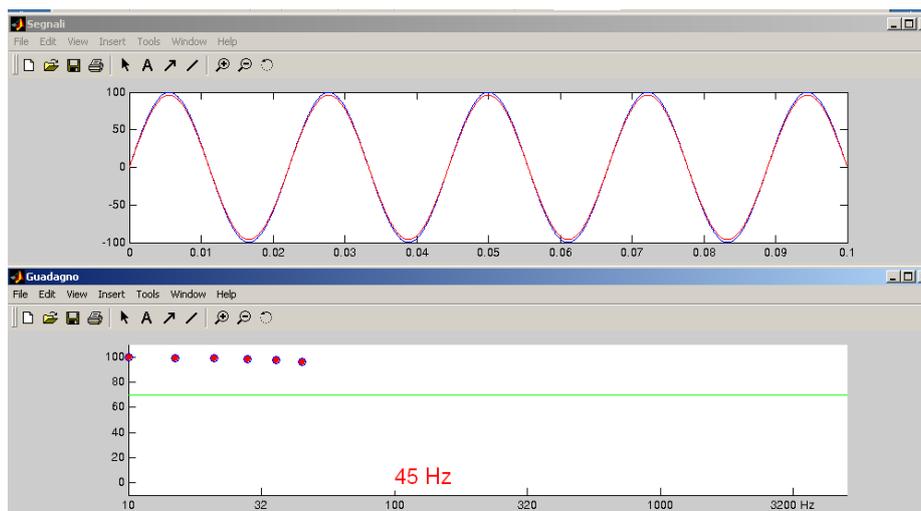
$$1 + (39,4 \times f^2 \times 10^{-6}) = 1/0.5 \quad \rightarrow \quad (39,4 \times f^2 \times 10^{-6}) = (1/0.5) - 1$$

$$f^2 = (2.04 - 1) / (39,4 \times 10^{-6}) \quad \rightarrow \quad f^2 = (1.04 / 39,4) \times 10^6$$

$$f^2 = 0.0264 \times 10^6 \quad \rightarrow \quad f = 0.163 \times 10^3 \quad \text{cioè} \quad f = 163 \text{ Hz}$$

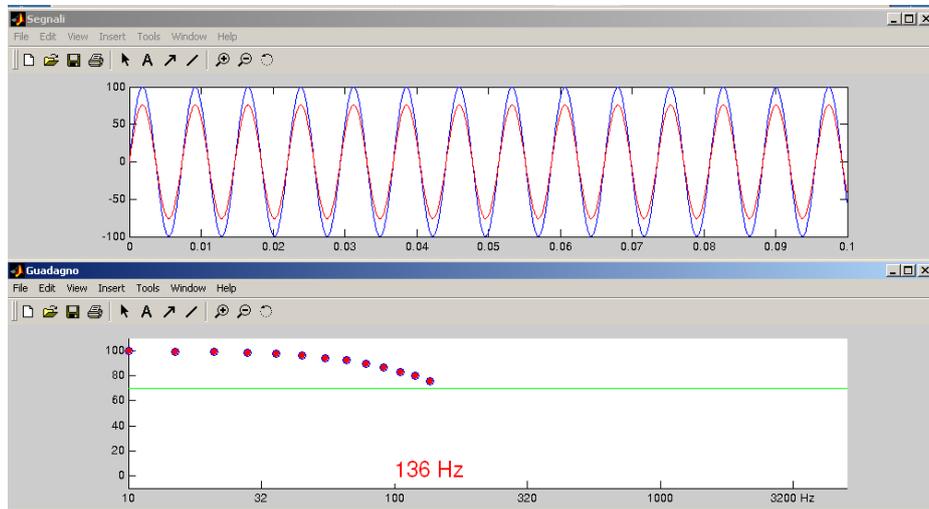
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtro passa-basso (simulazione)



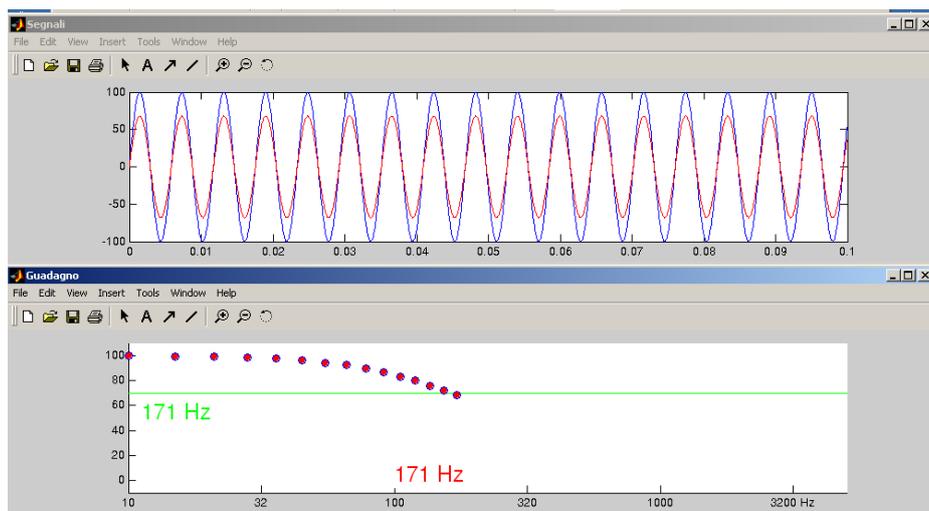
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtro passa-basso (simulazione)



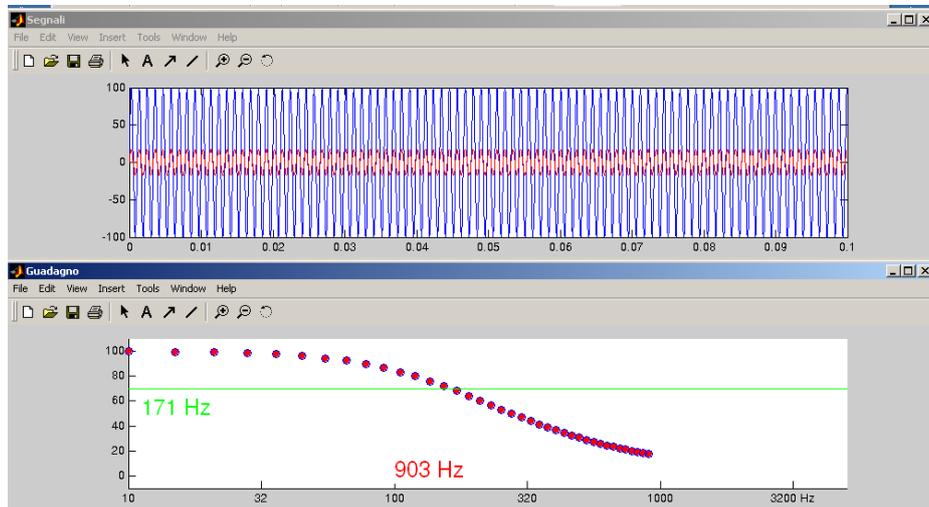
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtro passa-basso (simulazione)



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

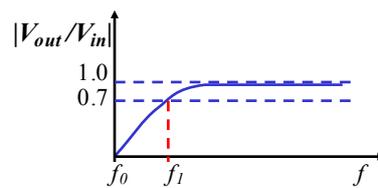
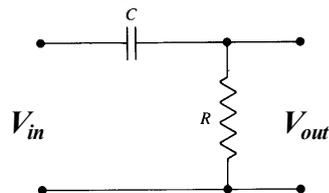
Filtro passa-basso (simulazione)



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtro passa-alto

Filtro passa-alto



$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 - j(\omega RC)}$$

$$G = (1 + j/\omega RC) / [(1 - j/\omega RC)(1 + j/\omega RC)]$$

$$G = (1 + j/\omega RC) / [1 + 1/(\omega RC)^2]$$

$$G = \{1 / [1 + 1/(\omega RC)^2]\} + j(1/\omega RC) / [1 + 1/(\omega RC)^2]$$

$$G = \{1 / [1 + 1/(\omega RC)^2]\} (1 - j\omega RC)$$

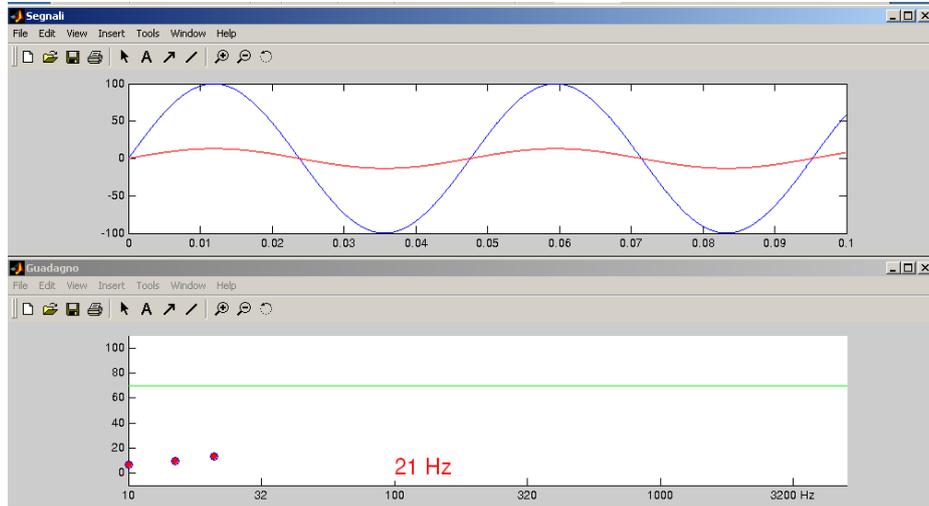
$$|G| = \{1 / [1 + 1/(\omega RC)^2]\} \sqrt{1 + (\omega RC)^2}$$

opzionale

$$|G| = |V_{out}/V_{in}| = 1 / \sqrt{1 + 1/(\omega RC)^2}$$

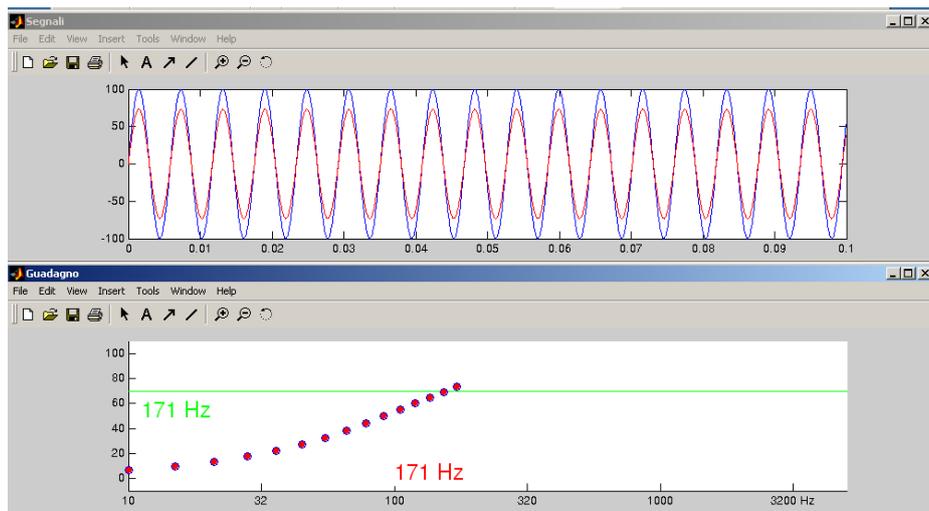
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtro passa-alto (simulazione)



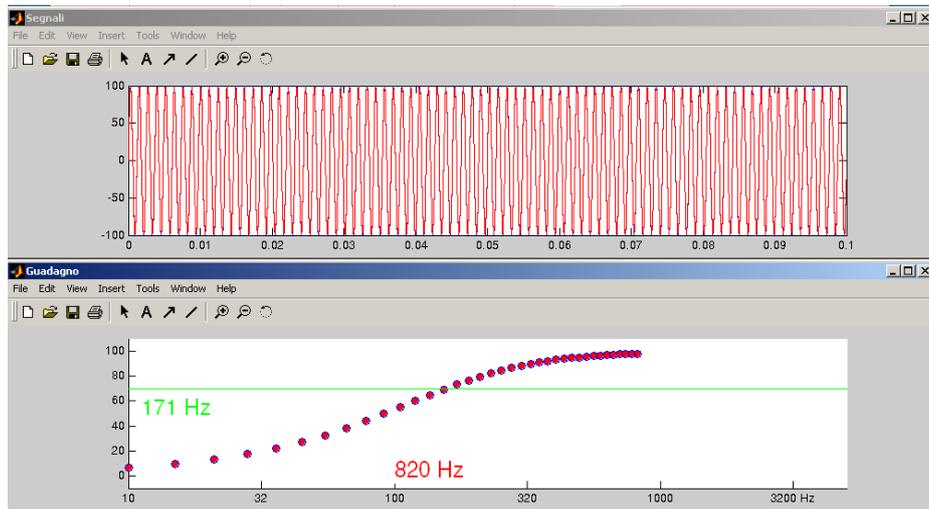
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtro passa-alto (simulazione)



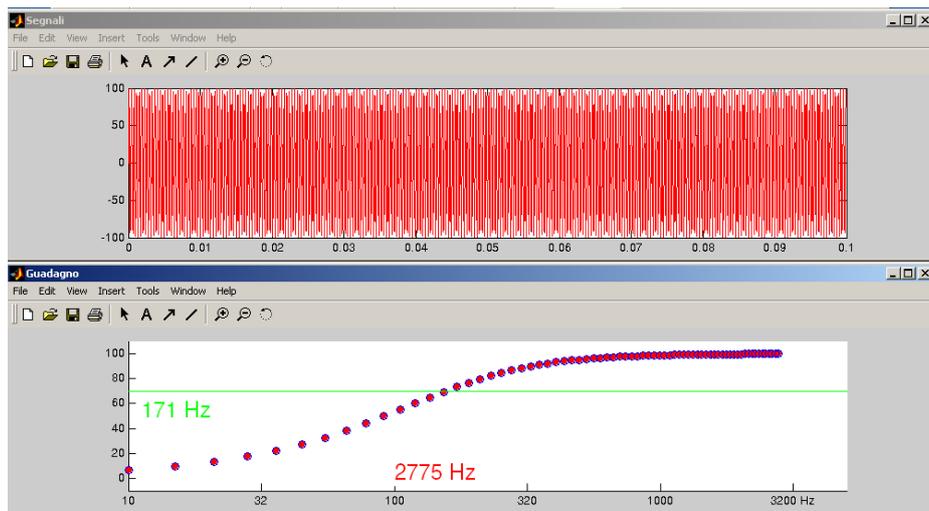
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtro passa-alto (simulazione)



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Filtro passa-alto (simulazione)

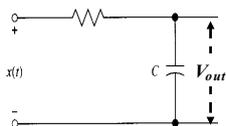


UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Alcune considerazioni sui Filtri RC

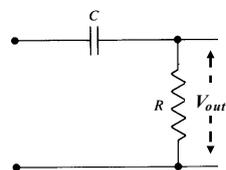
In modo molto grossolano possiamo dire che il Condensatore si comporta come un corto-circuito alle alte frequenze e come un interruttore aperto alle basse frequenze.

Filtro passa-basso



Il segnale di uscita è preso ai capi del condensatore. Alle basse frequenze il condensatore è come non ci fosse e quindi tutta la tensione di ingresso (il segnale) si ritrova inalterato in uscita. Inversamente, per frequenze alte, il condensatore è come un corto-circuito, cioè avrà una tensione 0 ai suoi capi ($V_{out} = Z_C I$, ma $Z_C = 0$ e quindi $V_{out} = 0$).

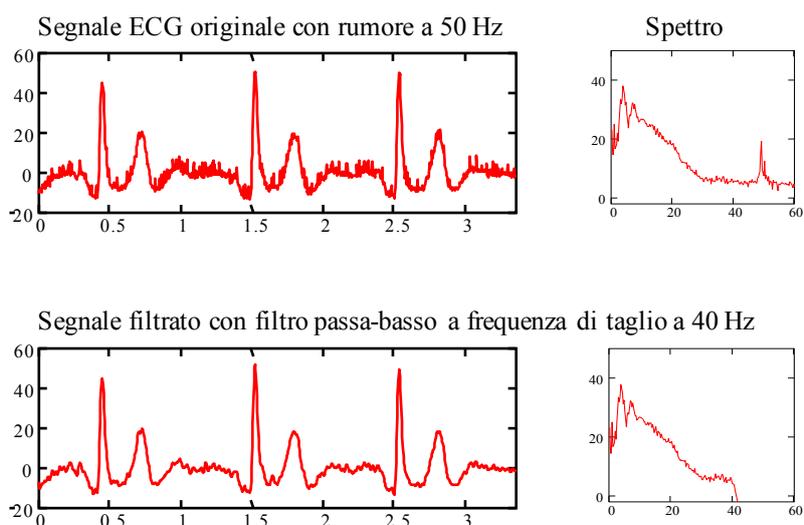
Filtro passa-alto



Il segnale di uscita è preso ai capi della resistenza. Alle basse frequenze il condensatore è come non ci fosse; nel circuito non passa alcuna corrente ($I=0$) e quindi la tensione ai capi della resistenza è $V_{out} = RI = 0$. Inversamente, per frequenze alte, il condensatore è un corto-circuito e tutto il segnale di ingresso si ritrova sulla resistenza.

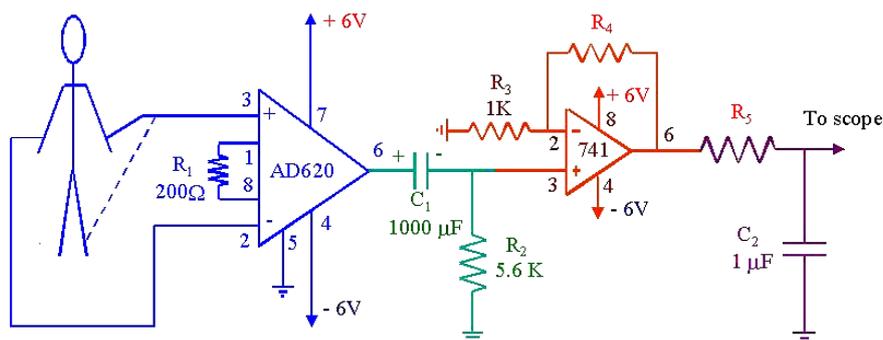
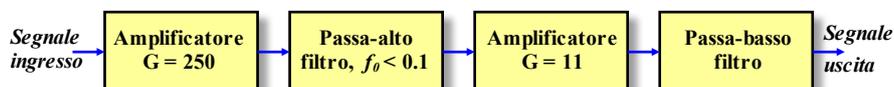
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Esempio: ECG con rumore



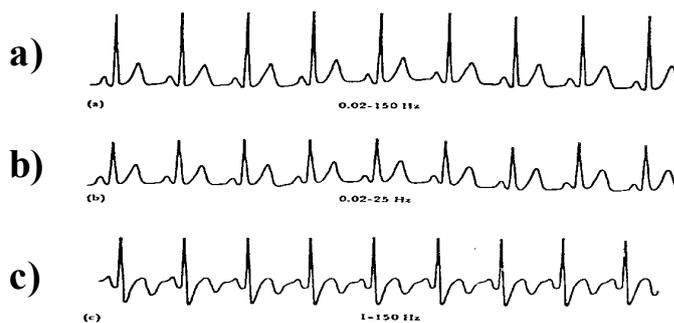
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Elettrocardiografo: schema a blocchi



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

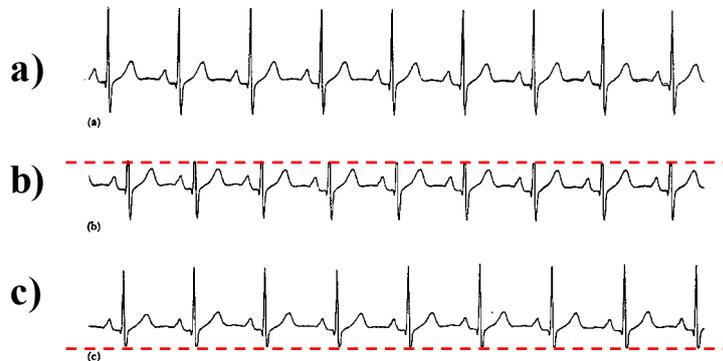
ECG: distorsione di frequenza



- a) Traccia ECG normale.
- b) Eccessivo filtraggio alle alte frequenze; il segnale risulta ridotto sul complesso QRS dove i fronti sono più ripidi, cioè dove più alto è il contenuto in frequenza. Le onde lente (P e T) non sono alterate.
- c) Eccessivo filtraggio alle basse frequenze. L'eliminazione delle basse frequenze provoca la scomparsa della linea base originale provocando una grave distorsione morfologica.

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

ECG: artefatti



Effetti della saturazione del segnale per eccesso di amplificazione.

a) Traccia ECG non distorta.

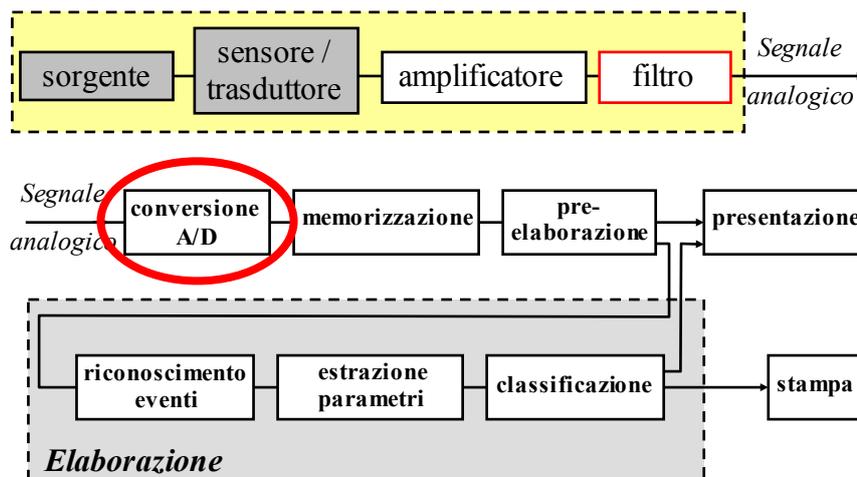
b) Eccessivo guadagno o offset-positivo dell'amplificatore; i picchi positivi (onda R) sono troncati e risultano tutti della stessa ampiezza.

c) Eccessivo guadagno o offset-negativo dell'amplificatore; i picchi negativi (onda S) sono troncati e risultano tutti della stessa ampiezza.

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Acquisizione ed elaborazione di segnali

Blocchi funzionali



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali



UNIVERSITÀ DI PISA
Corso di Laurea in Scienze Motorie

Tecnologie e strumentazione biomedica

Convertitore analogico/digitale

Alberto Macerata
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

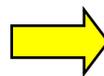
UNIPISM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Conversione analogico-digitale

La conversione A/D consiste nella trasformazione del segnale continuo in una sequenza di numeri binari.

Sono necessarie due distinte operazioni:

- **discretizzazione**: misura dell'ampiezza del segnale ad intervalli di tempo fissati;
- **quantizzazione**: trasformazione dei valori misurati in numeri interi (binari).



25, 27, 35,70, 92,101,
105, 99, 88, 79, 60,
45, 25, 27, 35,70,
92,101, 105, 99, 88,
79, 60, 45, 25, 27,
35,70, 92,101, 105,
99, 88, 79, 60,45,

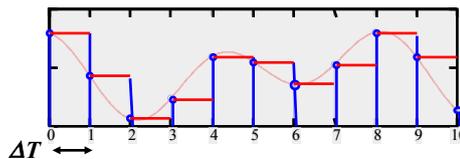
UNIPISM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Discretizzazione

La **discretizzazione** consiste nel misurare l'ampiezza del segnale continuo $x(t)$ ad **intervalli di tempo fissati**.

Sia ΔT l'intervallo di tempo tra due misure successive, la discretizzazione genera un vettore $x[n]$ definito come una serie di numeri rappresentativi del segnale continuo campionato ad intervalli successivi distanti ΔT :

$$x[n] = x(n \Delta T)$$



L'intervallo ΔT viene detto **periodo di campionamento**;

l'inverso dell'intervallo ΔT si chiama **frequenza di campionamento**, ed indica quante misure dell'ampiezza del segnale vengono eseguite in un secondo:

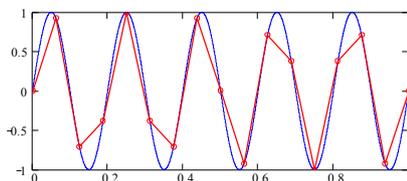
$$f_c = 1 / \Delta T$$

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Frequenza di campionamento

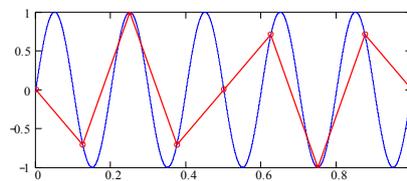
Un segnale "veloce" richiede per essere descritto un campionamento più fitto rispetto ad un segnale lento.

Esiste un teorema (**teorema di Nyquist**) che dimostra che un segnale, se campionato almeno ad una frequenza doppia rispetto alla frequenza massima in esso presente, può essere perfettamente ricostruito.



$$f_c \geq 2 f_{max}$$

possibile ricostruzione perfetta



$$f_c < 2 f_{max}$$

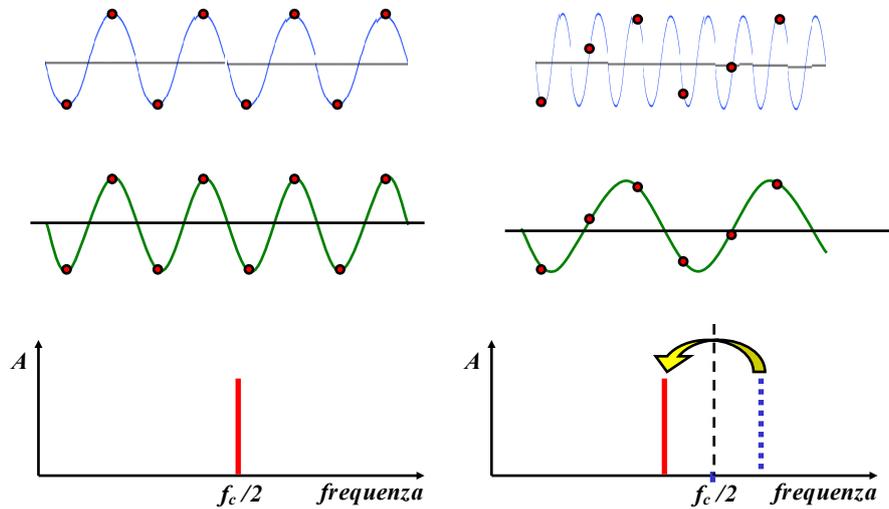
errore di **aliasing**

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Errore di aliasing

$f_c \geq 2x$ (max frequenza del segnale)

$f_c < 2x$ (max frequenza del segnale)



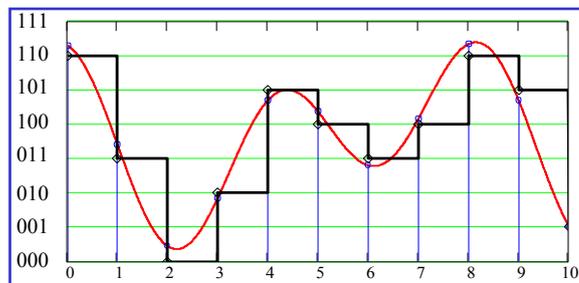
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Quantizzazione

La quantizzazione consiste nella **trasformazione delle ampiezze misurate in numeri interi**.

In generale i numeri ottenuti sono espressi in codice binario a N bit.

Poniamo di avere a disposizione solo 3 bit; con 3 bit possiamo rappresentare $2^3 = 8$ numeri, cioè posso rappresentare solo 8 livelli di ampiezza del segnale.



La quantizzazione comporta una approssimazione, e quindi introduce rumore.

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Livelli di quantizzazione

Fissata la dinamica di ingresso ΔV del convertitore A/D, il numero N di bit di conversione determina la **risoluzione**, cioè la minima ampiezza del segnale che siamo in grado di rilevare:

risoluzione $\Delta R = \Delta V / 2^N$

8 bit $\rightarrow 2^8 = 256$ livelli

$\Delta R = \Delta V / 256$

12 bit $\rightarrow 2^{12} = 4096$ livelli

$\Delta R = \Delta V / 4096$

16 bit $\rightarrow 2^{16} = 65536$ livelli

$\Delta R = \Delta V / 65536$

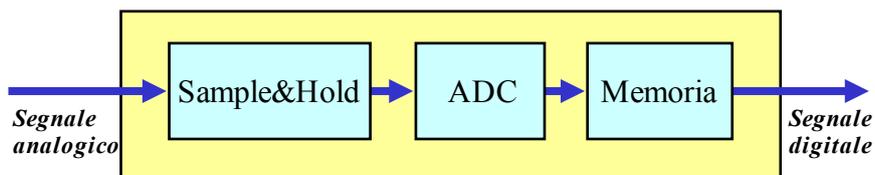
Se la dinamica di ingresso ad un convertitore a 12 bits è 10 Volt, la minima variazione rilevabile, cioè la sua **risoluzione**, risulta

$$V_{min} = 10/4096 = 2.44 \text{ mV}$$

Il moduli che precedono il convertitore devono amplificare o attenuare il segnale in modo da sfruttare al meglio tutta la dinamica del convertitore.

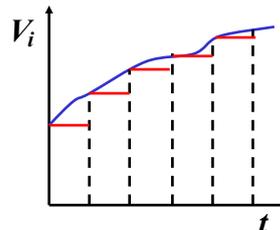
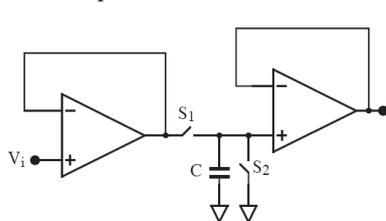
UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Blocchi di un Convertitore A/D



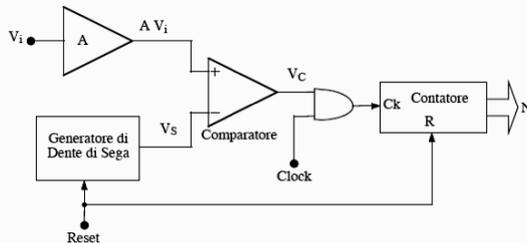
Sample and hold

L'obiettivo è quello di mantenere stabile il livello del segnale di ingresso per tutto il tempo necessario alla conversione.



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Convertitore a rampa lineare (1) opzionale

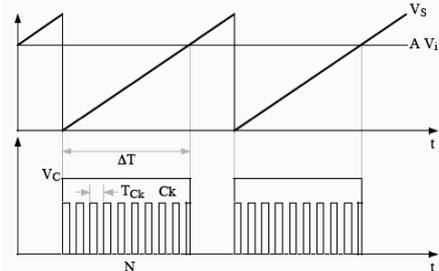


La tensione di ingresso V_i , opportunamente amplificata da A , viene confrontata dal comparatore con la tensione a dente di sega

$$V_s = k t \quad (a)$$

Un contatore di impulsi conta il numero di clock di periodo T_{Ck} contenuti nell'intervallo ΔT (intervallo tra l'istante di inizio della rampa e istante in cui le 2 tensioni sono uguali) fornendo in uscita un numero N a n bit:

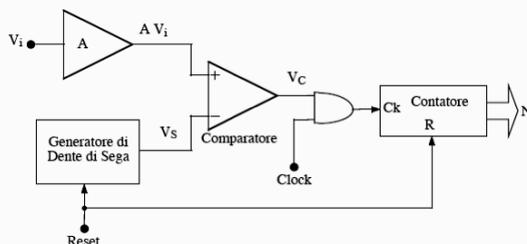
$$N = \Delta T / T_{Ck}$$



Da: A. Bossi e P. Malcovati, Misure Elettriche

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Convertitore a rampa lineare (2) opzionale



Quindi, dopo il tempo ΔT , la tensione all'ingresso è uguale alla tensione della rampa:

$$AV_i = V_s$$

In base all'equazione (a) abbiamo:

$$AV_i = k \Delta T$$

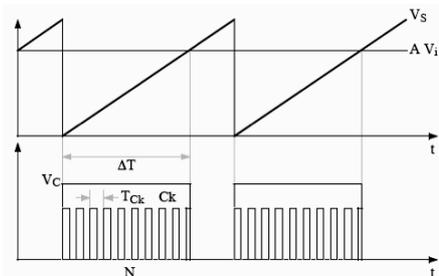
cioè $\Delta T = AV_i / k$

da cui $N = AV_i / k T_{Ck}$

cioè

$$N = k_N V_i$$

dove $k_N = A / k T_{Ck}$ è la costante caratteristica del convertitore.

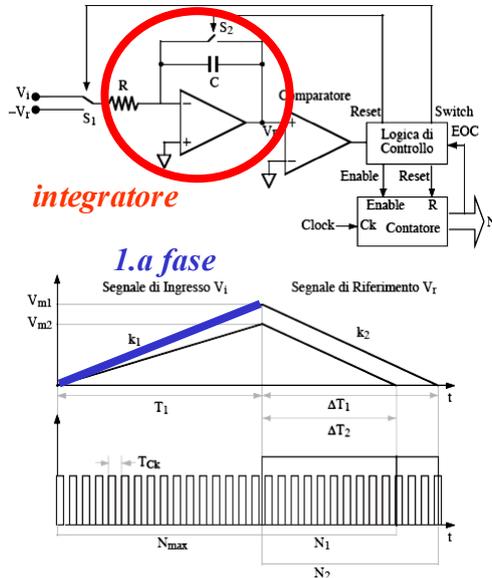


Da: A. Bossi e P. Malcovati, Misure Elettriche

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

opzionale

Convertitore a doppia rampa (1)



Il ciclo di conversione è diviso in due fasi.

In una prima fase, il modulo integratore genera una rampa la cui pendenza è proporzionale al segnale di ingresso $V_R = (V_i/RC) t = k_1 t$

Dopo un intervallo di tempo prefissato T_1 inizia la seconda fase:

l'interruttore S_1 viene commutato connettendo all'ingresso dell'integratore la tensione di riferimento $-V_r$.

Al momento della commutazione, la tensione aveva raggiunto il valore:

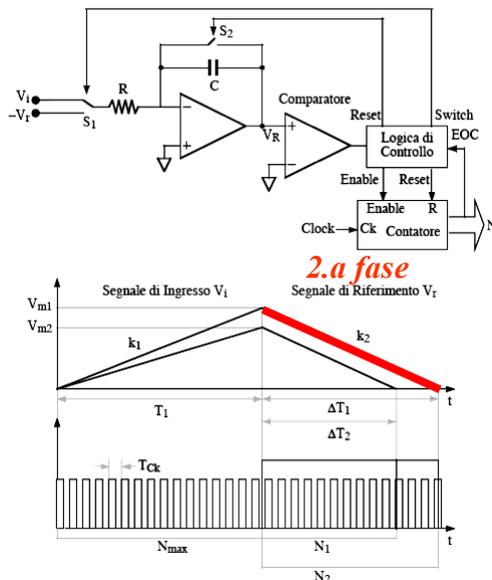
$$V_m = (V_i / RC) T_1 = k_1 T_1$$

Da: A. Bossi e P. Malcovati, Misure Elettriche

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

opzionale

Convertitore a doppia rampa (2)



La tensione scende in accordo a

$$V_R = V_m - (V_r/RC) t$$

dove, ponendo $k_2 = V_r/RC$, si ha

$$V_R = V_m - k_2 t$$

Contemporaneamente viene abilitato un contatore di impulsi di Clock.

Quando la tensione V_R raggiunge lo zero il comparatore cambia stato e il conteggio viene fermato.

Il contatore di impulsi di clock indicherà il valore:

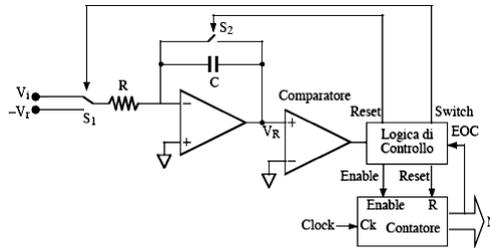
$$N = \Delta T_1 / T_{ck}$$

Da: A. Bossi e P. Malcovati, Misure Elettriche

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

opzionale

Convertitore a doppia rampa (3)



L'intervallo di tempo ΔT_1 si ricava da $V_R = V_m - k_2 t$ dove $V_R = 0$ cioè $V_m - k_2 \Delta T_1 = 0$ da cui $\Delta T_1 = V_m / k_2$

Ricordando che:

$V_m = (V_i / RC) T_1$ e $k_2 = V_r / RC$ otteniamo:

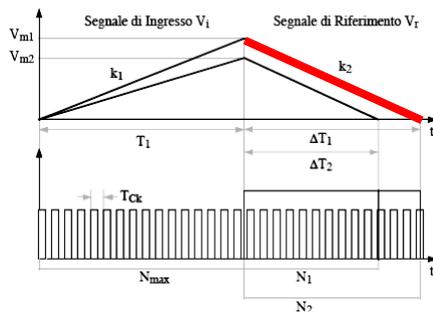
$$\Delta T_1 = (V_i / V_r) T_1$$

Scegliendo $T_1 = 2^n T_{Ck}$ otteniamo infine che

$$N = \Delta T_1 / T_{Ck} \text{ cioè } N = (V_i T_1 / V_r T_{Ck})$$

da cui $N = (V_i / V_r) 2^n$

Notiamo che la precisione del convertitore dipende solo dalla tensione di riferimento.



Da: A. Bossi e P. Malcovati, Misure Elettriche

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Bit e valori

Ipotizziamo di avere un convertitore a 8 bit su una dinamica di ingresso da 0 a 2.56 volt.

Sappiamo che con 8 bit possiamo avere 2^8 livelli, cioè 256 livelli di segnale.

Quindi la **risoluzione del convertitore**, corrispondente al valore del bit meno significativo, è data da: $2.56 / 256 = 0.01 \text{ volt}$

MSB							LSB
1	0	0	1	0	1	0	0
7	6	5	4	3	2	1	0

BIT	posizione	volt	moltiplicatore
LSB	0	0.01	2^0
	1	0.02	2^1
	2	0.04	2^2
	3	0.08	2^3
	4	0.16	2^4
	5	0.32	2^5
	6	0.64	2^6
MSB	7	1.28	2^7

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Esempi di numeri binari e valori

MSB				LSB			
1	0	0	1	0	1	0	0
7	6	5	4	3	2	1	0

BIT	posizione	volt	moltiplicatore
LSB	0	0.01	2^0
	1	0.02	2^1
	2	0.04	2^2
	3	0.08	2^3
	4	0.16	2^4
	5	0.32	2^5
	6	0.64	2^6
MSB	7	1.28	2^7

00000001 corrisponde a

$$0 \cdot 1.28 + 0 \cdot 0.64 + 0 \cdot 0.32 + 0 \cdot 0.16 + 0 \cdot 0.08 + 0 \cdot 0.04 + 0 \cdot 0.02 + 1 \cdot 0.01 = 0.01 \text{ volt}$$

00000010 corrisponde a

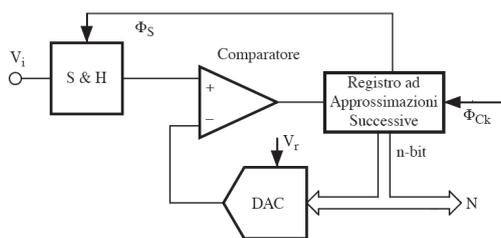
$$0 \cdot 1.28 + 0 \cdot 0.64 + 0 \cdot 0.32 + 0 \cdot 0.16 + 0 \cdot 0.08 + 0 \cdot 0.04 + 1 \cdot 0.02 + 0 \cdot 0.01 = 0.02 \text{ volt}$$

10010100 corrisponde a

$$1 \cdot 1.28 + 0 \cdot 0.64 + 0 \cdot 0.32 + 1 \cdot 0.16 + 0 \cdot 0.08 + 1 \cdot 0.04 + 0 \cdot 0.02 + 0 \cdot 0.01 = 1.48 \text{ volt}$$

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

ADC ad approssimazioni successive opzionale

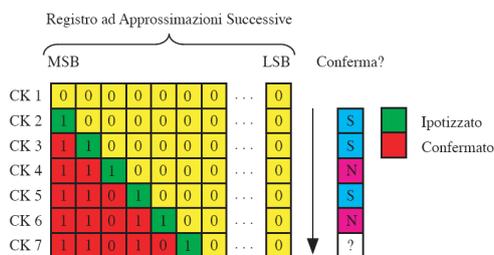


Dopo il S&H, il segnale di ingresso viene confrontato con la tensione analogica fornita dal DAC (Digital to Analog Converter) corrispondente al **bit più significativo**:

- se il segnale di ingresso è inferiore del segnale fornito dal DAC significa che il bit più significativo della parola digitale di uscita deve essere posto a "0"

- altrimenti significa che il bit più significativo deve essere "1".

Una volta stabilito il valore del bit più significativo, esso viene memorizzato dal **registro ad approssimazioni successive** e mantenuto.

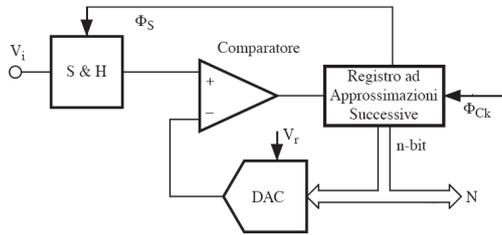


Da: A. Bossi e P. Malcovati, *Misure Elettriche*

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

opzionale

ADC ad approssimazioni successive



Si passa quindi al **bit successivo**, confrontando la tensione ottenuta dal DAC (bit già registrati+bit in esame) con il segnale d'ingresso. In base alla decisione del comparatore si stabilisce se il bit in questione deve essere "0" o "1", memorizzando poi il risultato nel registro ad approssimazioni successive. Si procede in questo modo fino a che non vengono determinati tutti i bit.

Questo tipo di convertitore è più veloce rispetto ai convertitori a rampa; la loro precisione dipende dalla precisione delle tensioni in uscita dal convertitore D/A.

Registro ad Approssimazioni Successive

	MSB						...	LSB	Conferma?
CK 1	0	0	0	0	0	0	...	0	
CK 2	1	0	0	0	0	0	...	0	S
CK 3	1	1	0	0	0	0	...	0	S
CK 4	1	1	1	0	0	0	...	0	N
CK 5	1	1	0	1	0	0	...	0	S
CK 6	1	1	0	1	0	0	...	0	N
CK 7	1	1	0	1	0	1	...	0	?

Legend: Blue = Ipotizzato, Red = Confermato

Da: A. Bossi e P. Malcovati, *Misure Elettriche*

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali



UNIVERSITÀ DI PISA
 Corso di Laurea in Scienze Motorie

Tecnologie e strumentazione biomedica

Elaborazione di segnali

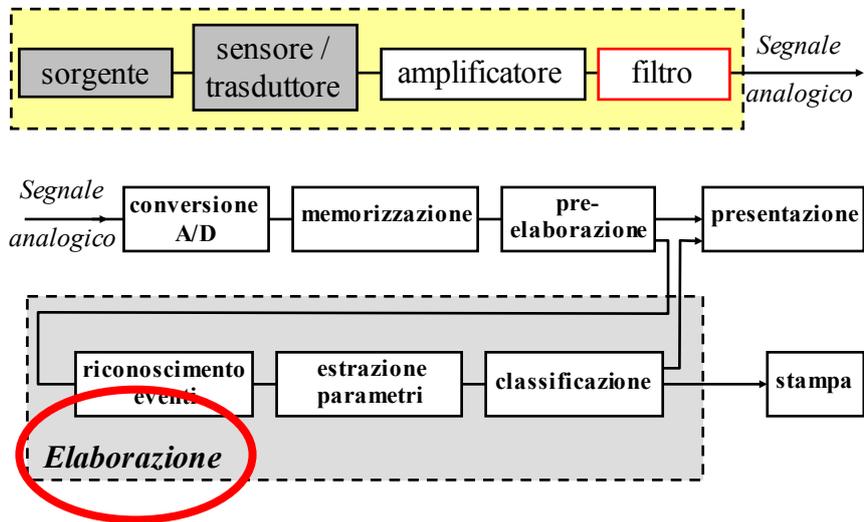
Alberto Macerata

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Acquisizione ed elaborazione di segnali

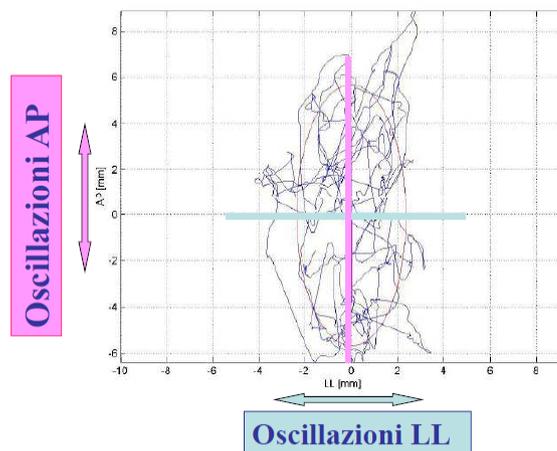
Blocchi funzionali



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Esempi di elaborazione

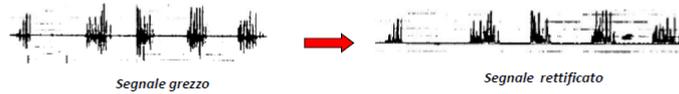
Statokinesiogramma: oscillazioni LL e AP



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Esempi di elaborazione

Rettificazione del segnale grezzo



Il segnale EMG originale ottenuto dopo l'amplificazione è bipolare, e la somma delle fluttuazioni casuali che questo ha, fatta su un periodo sufficientemente lungo, è pari a zero. **La rettificazione del segnale è la tecnica usata per rendere il segnale unipolare.**

La rettificazione può avvenire, o eliminando la parte del segnale di una certa polarità (in questo caso si parla di raddrizzatori a semi onda), oppure invertendo una polarità del segnale (in questo caso ho il raddrizzatore a onda intera).

Questa seconda tecnica è di solito da preferire perché consente di mantenere tutta l'energia del segnale originale.

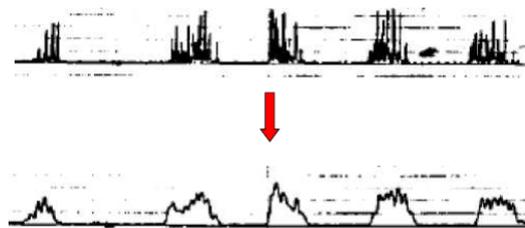
UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Esempi di elaborazione

Integrazione del segnale Raddrizzato

$$I[EMG(t)] = \int_t^{t+7} EMG(t) dt$$

L'integrazione si riferisce alla operazione matematica del **calcolo dell'area sottesa dalla curva descritta dalla funzione integranda**. Essendo l'integrale del segnale originale nullo, è necessario fare un'operazione di rettificazione.



UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Elaborazione

- L'informazione di interesse (segnale) relativa ad un processo biologico è spesso distribuita su più segnali osservabili e immersa in variazioni (rumore) dovute sia ad altri processi fisiologici che a sorgenti di segnale esterne.
- L'elaborazione dei segnali ha lo scopo di estrarre questa informazione.
- Al fine di isolare l'informazione di interesse si deve cercare di caratterizzarla rispetto agli altri contributi.

UNIPF-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Come estrarre l'informazione?

Si possono distinguere i seguenti casi:

1. Il segnale (che contiene l'informazione di interesse) è separabile dal rumore *nel dominio del tempo*.
2. Il segnale e il rumore sono separabili *nel dominio della frequenza*.
3. E' possibile stimare un *modello* che ci permetta di estrarre l'informazione di interesse dall'insieme di tutte le componenti presenti nel segnale (segnale vero + rumore).

UNIPF-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

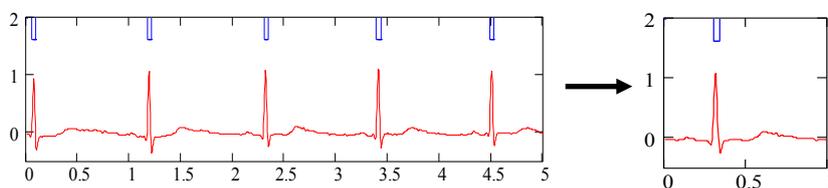
Dominio del tempo

Il segnale è separabile dal rumore nel dominio del tempo.

E' possibile isolare l'informazione di interesse usando algoritmi di riconoscimento di eventi che lavorano nel tempo.

Esempio: l'informazione di interesse dell' ECG è concentrata nel complesso QRS.

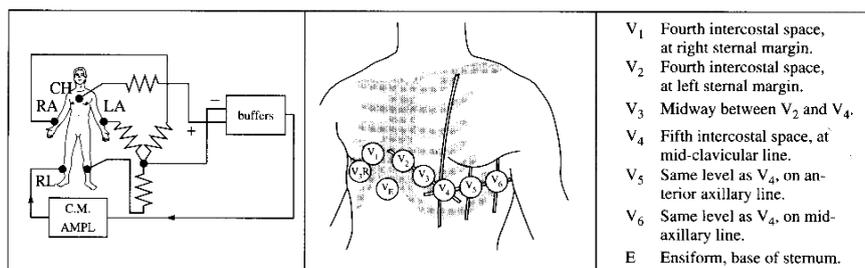
- *devo fare qualcosa per ottenere innanzi tutto il riconoscimento del complesso QRS.*



UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Elettrocardiogramma - derivazioni

Unipolar chest leads

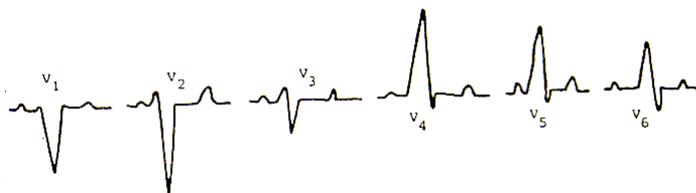


Lead V**

CH Positions

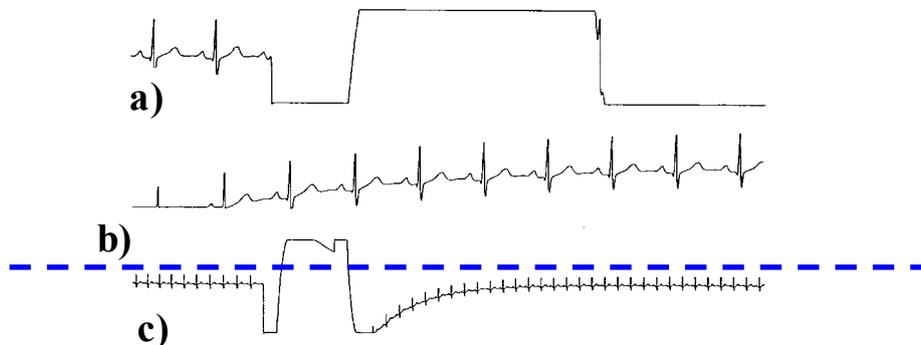
CH Positions

(a)



UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

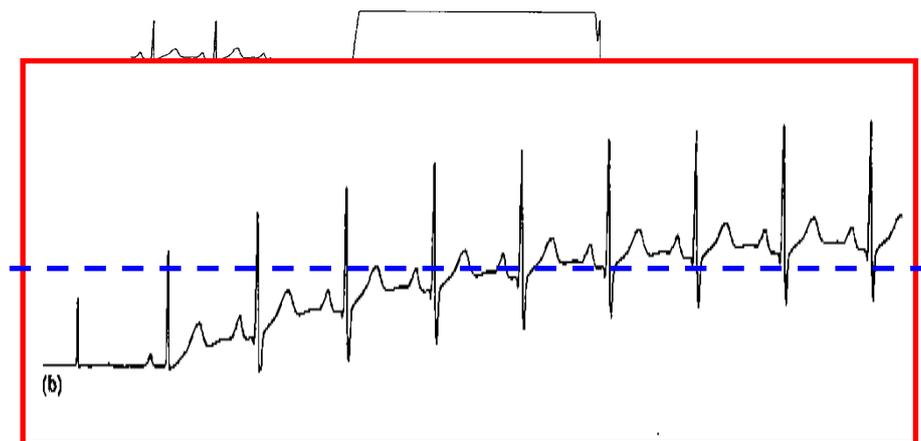
ECG: artefatti



- a) Transitorio di tensione che porta il segnale ECG in saturazione. Dopo il transitorio lo stadio dell'amplificatore richiede un certo tempo per rientrare nel range di operazione normale.
- b) Continuazione della traccia a)
- c) Lo stesso segnale con amplificazione grafica ridotta.

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

ECG: artefatti



- per rientrare nel range di operazione normale.
- b) Continuazione della traccia a)
- c) Lo stesso segnale con amplificazione grafica ridotta.

UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

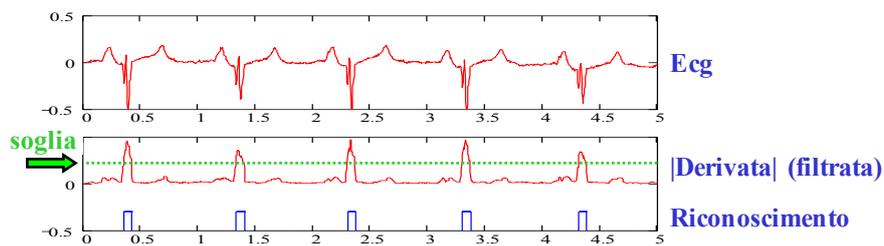
Esempio: *riconoscimento del QRS*

Posso esaltare l'evento QRS dell'elettrocardiogramma rispetto agli altri eventi (onda T, onda P, rumore, artefatti) costruendo una variabile "manifestazione".

La variabile *manifestazione* può essere, per esempio, la *derivata* del segnale.

La decisione sulla presenza o meno dell'evento QRS è presa, per esempio, confrontando la variabile *manifestazione* con una soglia.

Il giusto valore di questa soglia può essere stimata su un archivio annotato di ECG; inoltre può venire aggiornata per inseguire l'evoluzione della morfologia del QRS.



Dominio della frequenza

Il segnale e il rumore sono separabili nel dominio della frequenza.

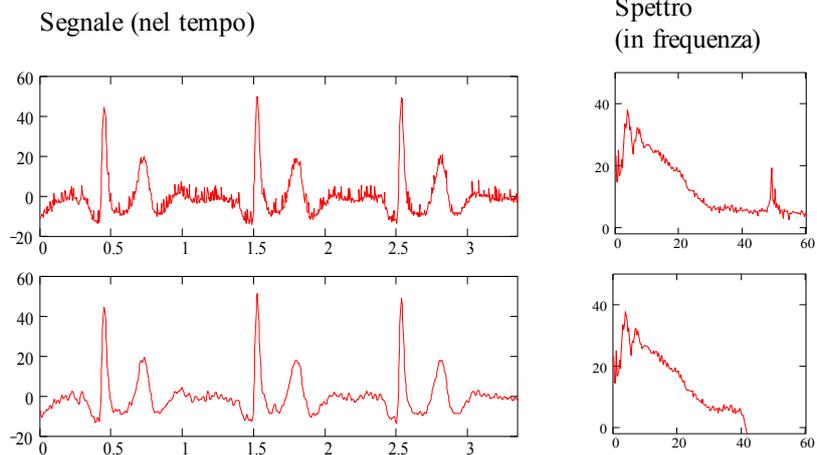
Partendo dalle diverse caratteristiche del segnale e del rumore nel dominio della frequenza, e' possibile progettare dei filtri che mantengono le componenti di segnale utile e attenuino quelle di rumore.

- Filtri lineari
- Analisi spettrale

UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Dominio della frequenza

Esempio: **Filtro Passa-basso** applicato all'ECG.

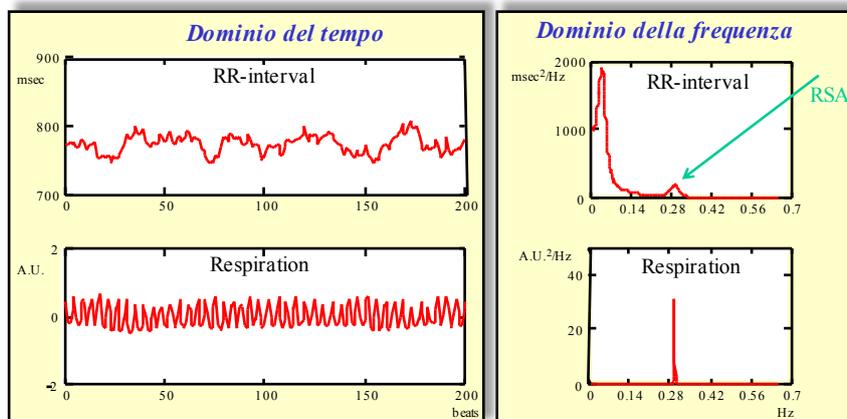


UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Dominio della frequenza

Applicazione all'analisi della variabilità della frequenza cardiaca

Dal segnale ECG si può calcolare il segnale di frequenza cardiaca o della sequenza degli intervalli R-R. L'analisi in frequenza di questo nuovo segnale consente di evidenziare la presenza di componenti significative.

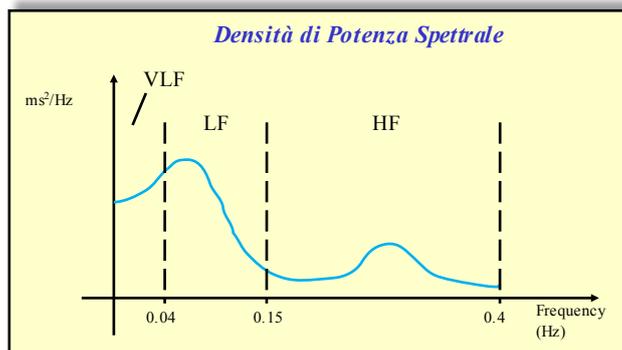


UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

Dominio della frequenza

L'analisi spettrale del segnale R-R consente lo studio non invasivo della influenza del Sistema Nervoso Autonomo sul sistema cardiovascolare:

- la potenza nella banda HF (High Frequency) è indice di attivazione vagale
- la potenza nella banda LF (Low Frequency) è associata ad un'attivazione simpatica e vagale



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

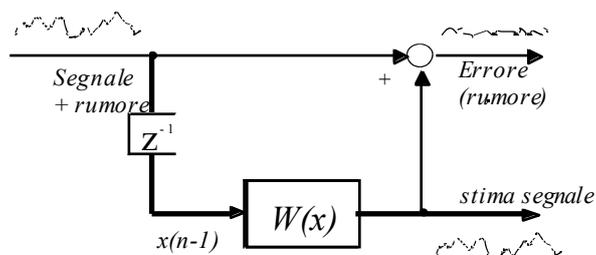
Modelli

Su Wikipedia si trova la seguente definizione:

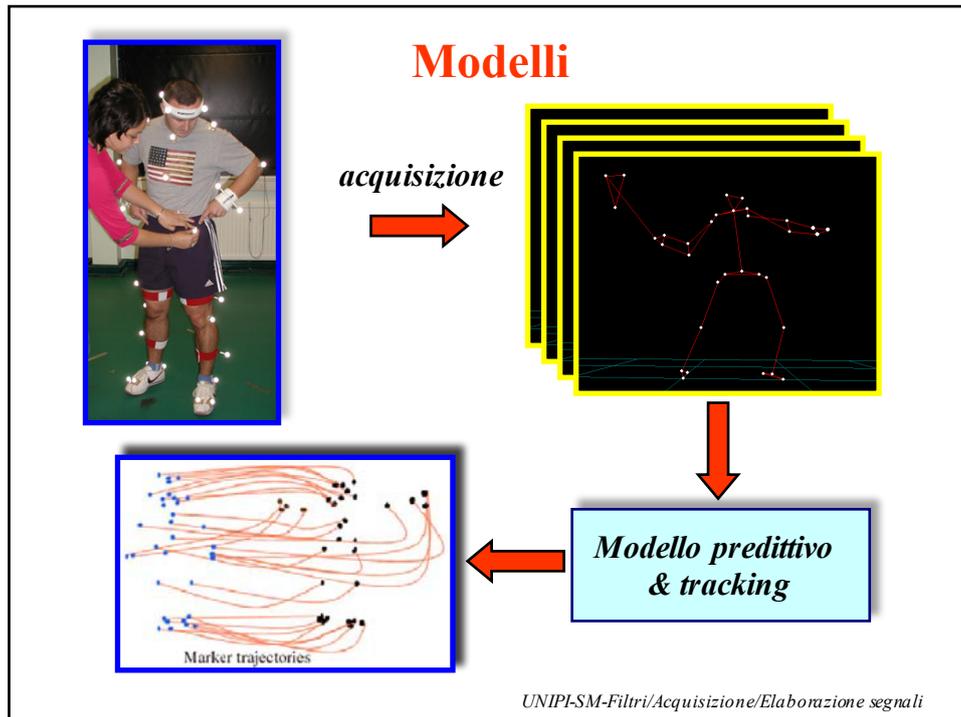
Un modello matematico è un modello costruito usando il linguaggio e gli strumenti della matematica. Come tutti gli altri modelli usati nella scienza, il suo scopo è quello di rappresentare il più possibile fedelmente un determinato oggetto, un fenomeno reale o un processo fisico dal punto di vista quantitativo.

Nel nostro caso, stimare un **modello** significa identificare una struttura nei dati propria dell'informazione di interesse e non delle altre componenti presenti o viceversa.

Esempio: stima di un modello predittivo per un segnale immerso nel rumore



UNIFI-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali



Estrazione parametri

Il segnale così trattato, o elaborato, presenta al meglio le sue principali caratteristiche, come evento (per es. il QRS sull'ECG) o come componenti in frequenza o semplicemente come segnale filtrato da rumore e artefatti.

Da questo “nuovo” segnale è possibile estrarre degli specifici parametri, o misure, in grado di descrivere sinteticamente alcune caratteristiche peculiari del segnale.

Queste misure possono essere di **origine medica**, cioè orientate alla fisiopatologia dei fenomeni (*ampiezza R, durata QRS, slivellamento ST, ecc.*), o di **origine fisica-matematica** (*frequenze, indici morfologici, ecc.*).

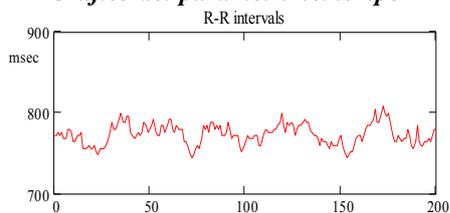
L'estrazione di misure può avere come obiettivo anche la riduzione di dati (*trasmissione, spazio disco, semplificare la fase di classificazione, ecc.*).

UNIPISM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali

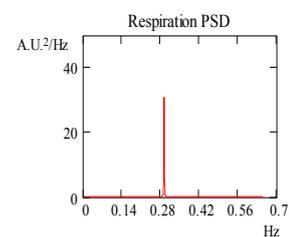
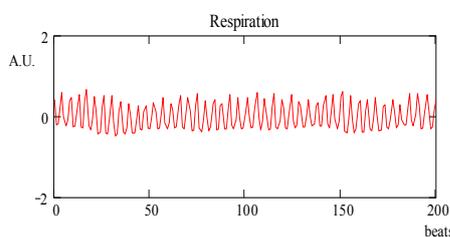
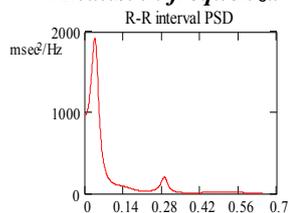
Rappresentazione dei parametri

I parametri estratti possono essere rappresentati sotto forma di grafici per la loro analisi visiva o sottoposti ad ulteriori elaborazioni.

Grafico dei parametri nel tempo



Analisi in frequenza



UNIP-SM-Filtri/Acquisizione/Elaborazione segnali