

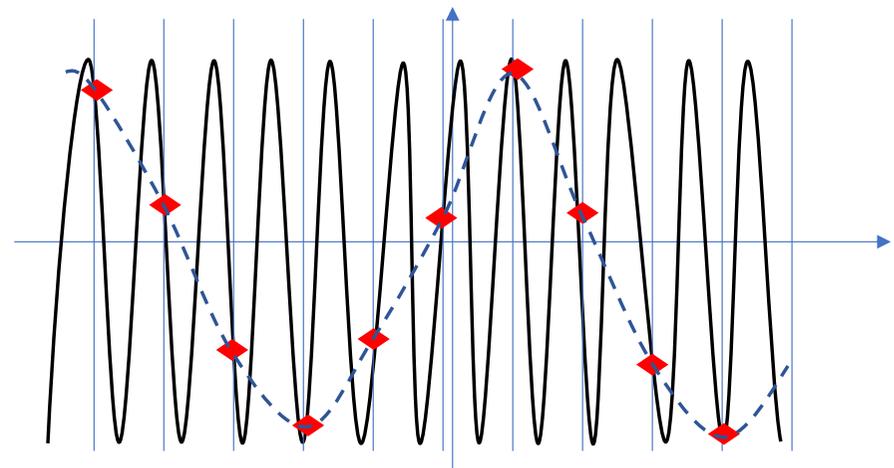
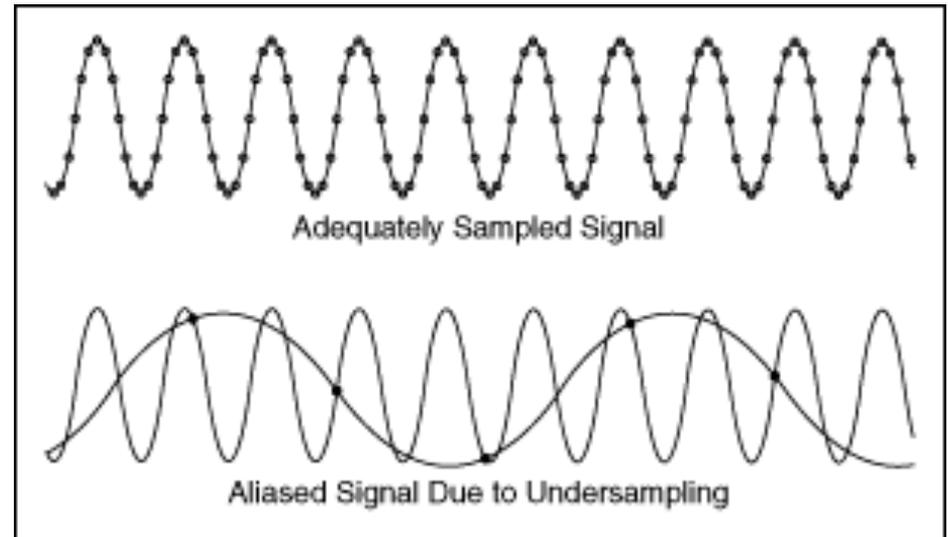
Teorema del campionamento (Whittaker–Kotel'nikov–Shannon)

- Ogni segnale è ottenibile come sovrapposizione di componenti sinusoidali di frequenza e ampiezza e fase variabili
- L'intervallo di frequenze $[0, f_B]$ in cui il segnale possiede componenti è detto la banda del segnale
- C'è una banda di ampiezza ed una banda di fase, pensiamo alle sole ampiezze (non che la fase delle componenti non sia importante!)
- Teorema del campionamento: un segnale può essere fedelmente ricostruito da un suo campionamento se la frequenza di campionamento è $\geq 2 f_B$
- $2 f_B$ è un limite teorico (check ad esempio wikipedia oppure insegnamento Elaborazione numerica dei segnali), siccome i filtri ricostruttori reali non hanno pendenza infinita ci vuole un coefficiente ingegneristico di sicurezza (3 – 5 volte)
- Esempio: telefonia paesi occidentali, esperimento USSR, audio alta fedeltà ha una banda di circa 20 KHz; la frequenza di campionamento dei CD audio è di 44,1 KHz

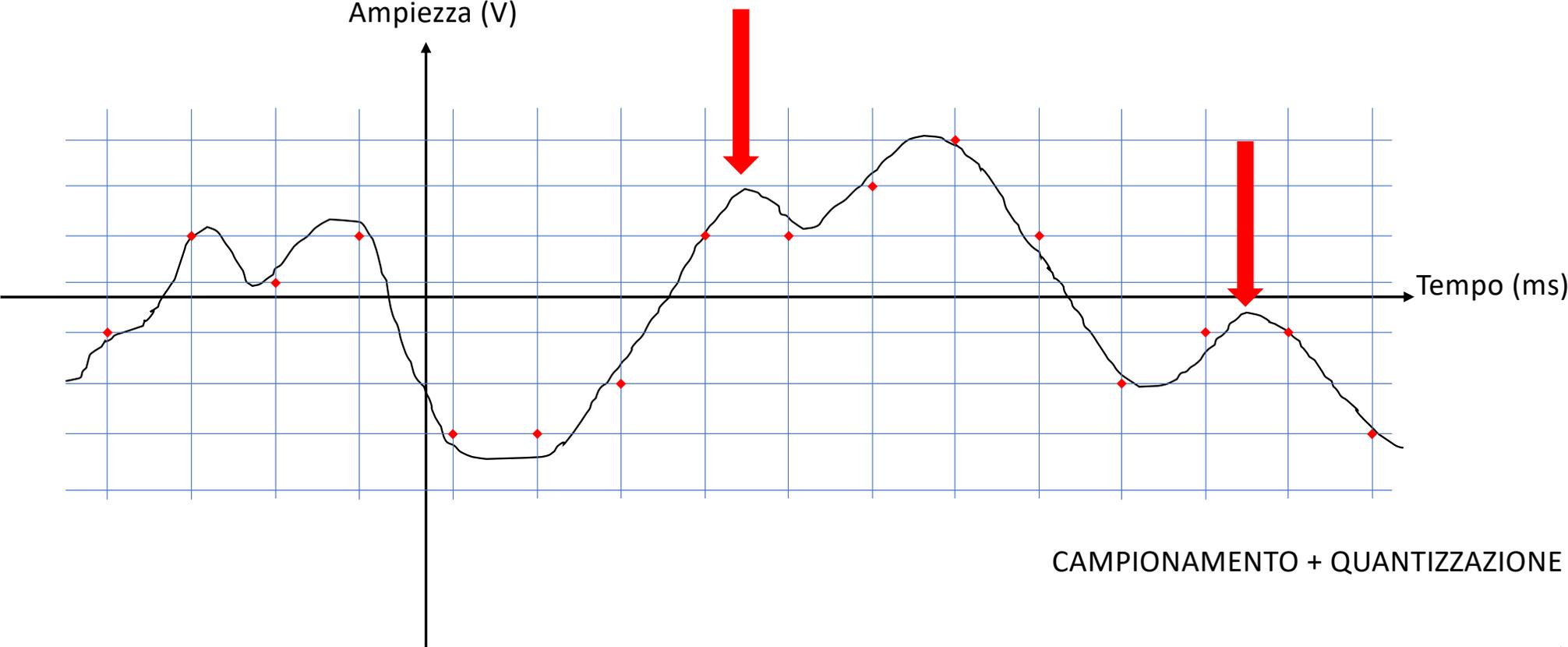


Aliasing

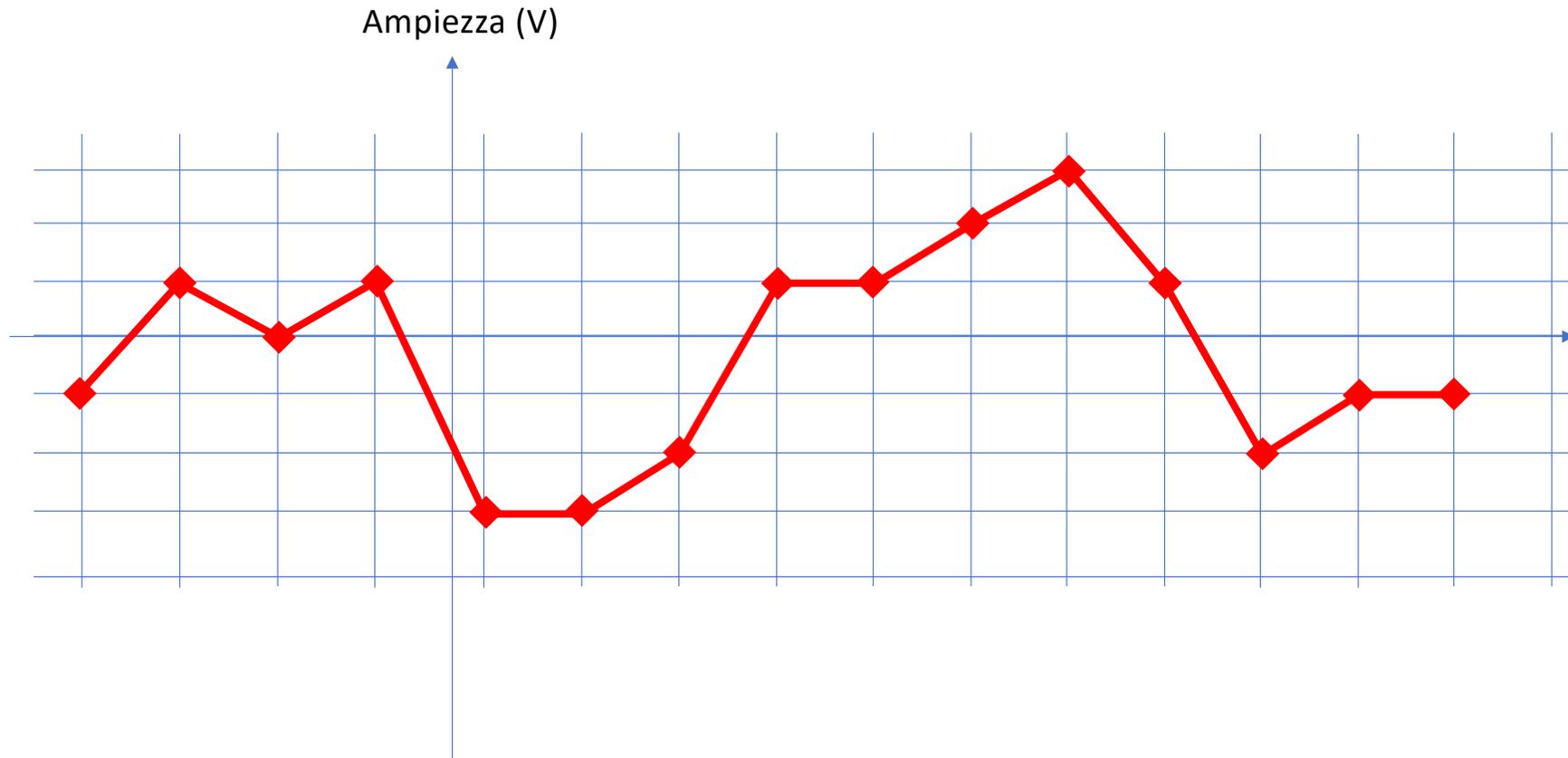
- Se il campionamento viene effettuato ad una frequenza minore della frequenza di Nyquist, il segnale ricostruito può essere molto diverso dall'originale
- Tale fenomeno è detto aliasing
- Se campiono a frequenza non sufficiente (o se non conosco la banda del segnale) devo prima eliminare le frequenze che so di non poter ricostruire con un filtro passabasso, precedentemente alla raccolta dei campioni



Campionamento e quantizzazione

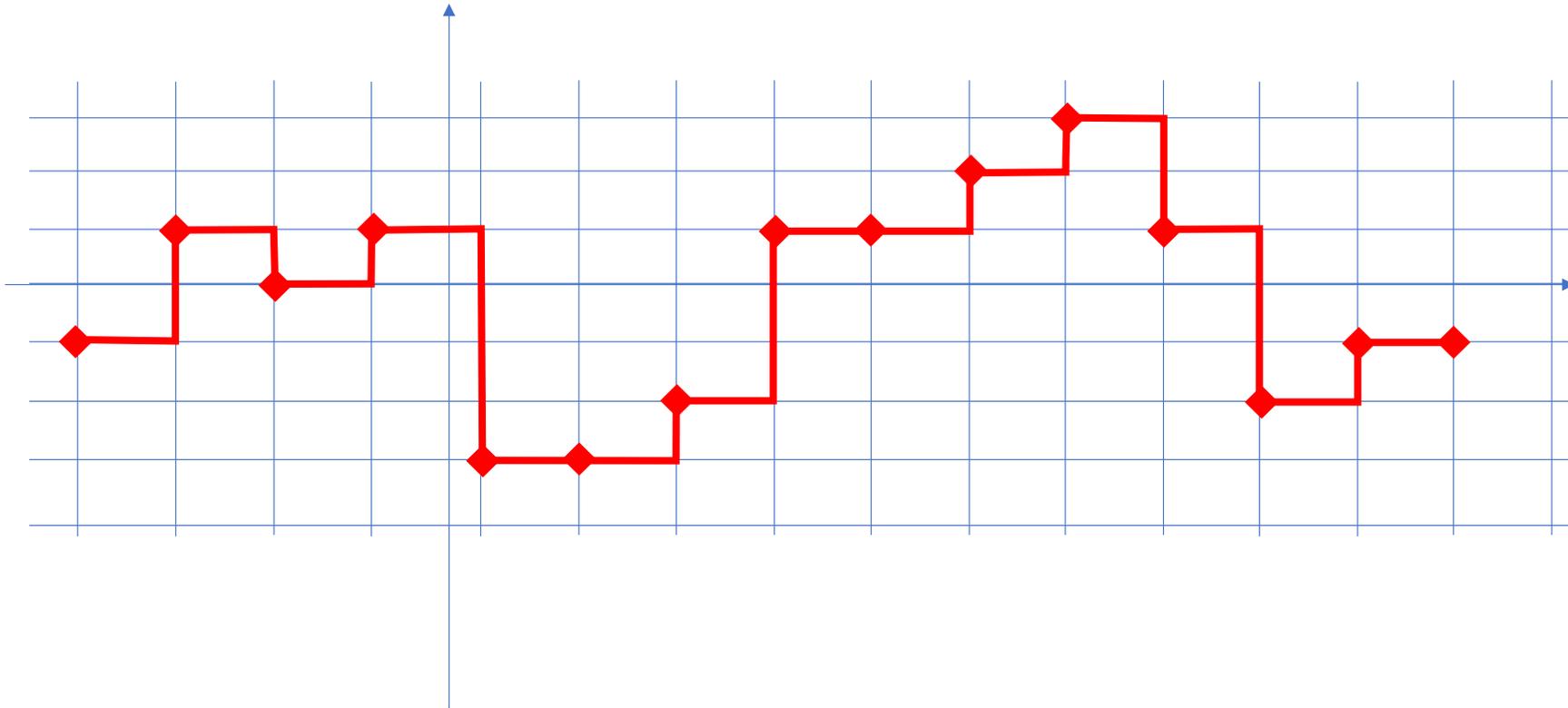


Ricostruzione (conversione D/A) – linear int.



Ricostruzione (conversione D/A) - ZOH

Ampiezza (V)



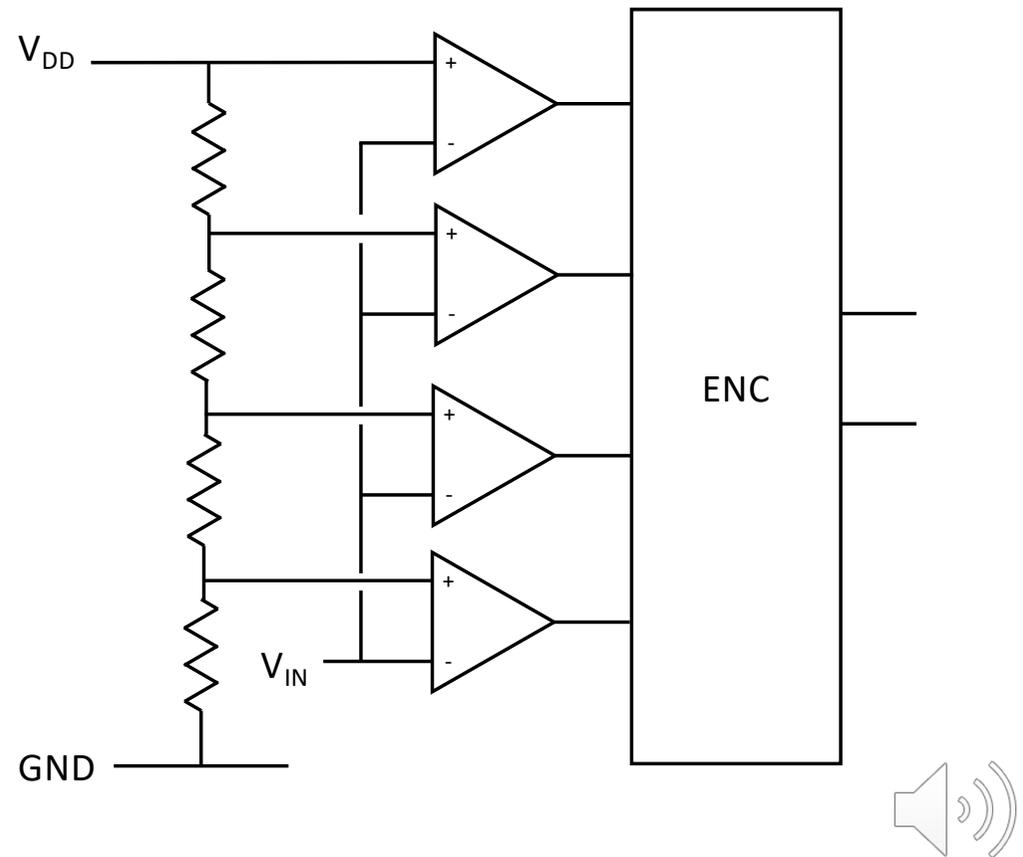
Il rumore di quantizzazione

- La quantizzazione di un segnale analogico ha un effetto equivalente all'introduzione di un segnale spurio che si sovrappone al segnale che viene quantizzato
- Tale segnale spurio è detto **rumore di quantizzazione**
- Il rumore di quantizzazione è distribuito uniformemente nell'intervallo $\pm \frac{1}{2} LSB$
 - Valore medio nullo
 - Deviazione standard = $A_{LSB} / \sqrt{12} \simeq 0,29 A_{LSB}$



Il convertitore flash

- Complesso da realizzare
- Molto rapido
- Non molto accurato



Altri tipi di convertitori A/D

- Diversi tipi:
 - Per approssimazioni successive: ricerca binaria negli intervalli di tensione
 - Delta: ricerca lineare negli intervalli di tensione
 - Rampa: confronto con una rampa
 - Delta-sigma: complesso
- Caratteristiche rispetto al convertitore flash:
 - In genere più precisi
 - Maggior tempo per la conversione
 - Quindi minore frequenza massima di campionamento



Codec

- Una coppia di trasformazioni A/D e D/A secondo un certo standard è anche detta codec
- Noi abbiamo visto il codec lineare:
 - La quantizzazione è omogenea su tutto l'intervallo della dinamica di ingresso
 - La relazione tra segnale analogico e digitale è lineare
- Altri esempi: A-law e μ -law per segnali audio
 - Quantizzazione non lineare, più precisa in prossimità dello zero
 - Riduce il rumore di quantizzazione con segnali a basso volume



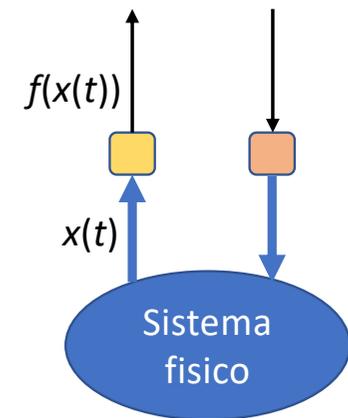
Sensori e attuatori

- Connettono il sistema computazionale con il mondo fisico
- Stabiliscono una relazione tra valori numerici trattati nel sistema computazionale e le grandezze fisiche



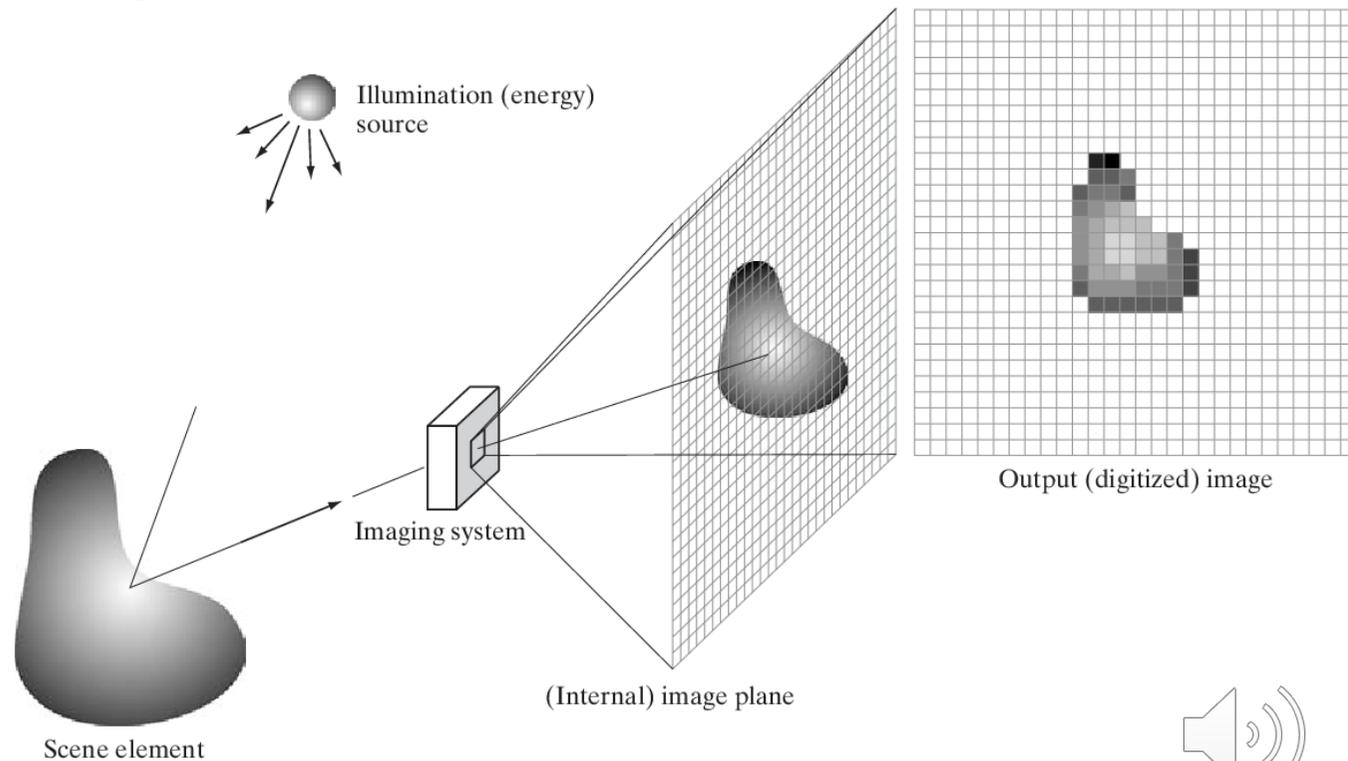
Modelli di sensori e attuatori

- Sia $x(t)$ una quantità fisica, variabile nel tempo
- Sensori e attuatori stabiliscono una relazione tra la quantità fisica e una grandezza misurabile/controllabile dal sistema computazionale, di solito la tensione elettrica
- Indichiamo tale relazione con $f(x)$



Esempio: telecamera

la tensione letta da ciascun pixel (picture element) è in una relazione nota (ad esempio lineare) con la grandezza fisica “energia accumulata nel pixel durante il periodo di esposizione”



Modelli affini

- $f(x(t))$ è una funzione **affine** quando:

$$f(x(t)) = ax(t) + b$$

- $f(x(t))$ è una funzione **lineare** quando è affine e $b = 0$:

$$f(x(t)) = ax(t)$$

- Le quantità a e b sono sufficienti per descrivere esattamente un sensore il cui modello è affine
- a viene detta **sensitività**
- b viene detto **offset**



Saturazione

- In pratica sensori e attuatori funzionano in maniera affine solo entro un certo range di valori della grandezza fisica che misurano
- Al di fuori del range vi è tipicamente saturazione, ossia il valore riportato diventa costante
- Per un modello affine, entro un range $[L, H]$, $f(x(t))$:

$$f(x(t)) = \begin{cases} ax(t) + b & \text{se } L \leq x(t) \leq H \\ aH + b & \text{se } x(t) > H \\ aL + b & \text{se } x(t) < L \end{cases}$$



Distorsione armonica

- È una forma di non linearità
- Ha luogo quando la sensitività non è costante ma dipende dall'ampiezza del segnale

$$f(x(t)) = b + ax(t) + d_0x^2(t) + d_1x^3(t) + \dots$$

Distorsione di seconda armonica

Distorsione di terza armonica



Precisione e range dinamico del segnale

- La **precisione** p di un sensore è la minima differenza tra due valori di $x(t)$ che sono distinguibili dal sensore
- Il **range dinamico** DR è il rapporto tra H ed L , il range di un sensore
- DR viene frequentemente espresso in decibel:

$$DR_{dB} = 20 \log_{10} \frac{H}{L}$$



Decibel

- Il bel è un'unità di misura per il rapporto di potenza
 - 1 bel = 10 volte più potente
 - 2 bel = 10 * 10 volte più potente = 100 volte più potente
- Il decibel è un decimo di bel:
 - 3 decibel = circa 2 volte più potente
 - 10 decibel = 10 volte più potente
 - 20 decibel = 100 volte più potente
- Notare che la potenza di un segnale è proporzionale al quadrato del segnale
 - Esempio: quadrato della tensione e della corrente
 - Quindi in decibel è $10 \log_{10}(x_1(t)/x_2(t))^2 = 20 \log_{10}(x_1(t)/x_2(t))$



Rumore

- Sorgenti di rumore inquinano la misura
- Se $n(t)$ è rumore additivo, il sensore misura $x'(t) = x(t) + n(t)$ invece di $x(t)$
- Il **rapporto segnale/rumore (SNR)** è dato dal rapporto tra la potenza del segnale e quella del rumore:

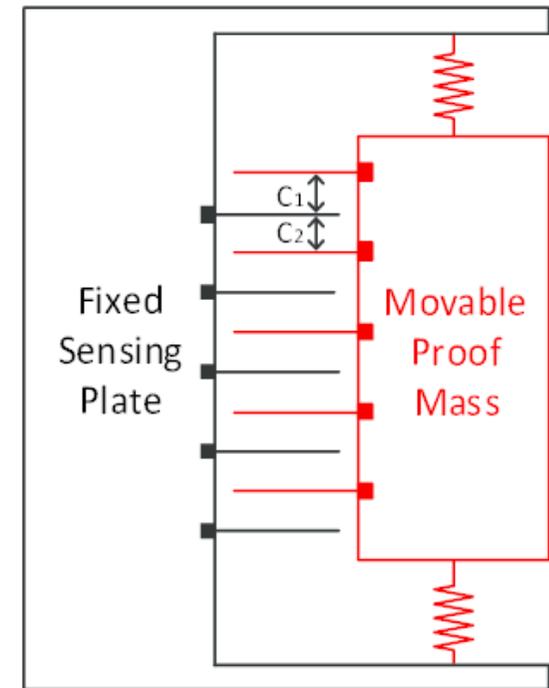
$$SNR_{dB} = 20 \log_{10} \frac{x_{RMS}}{n_{RMS}}$$

- Il range dinamico gestibile dal sensore è il SNR tra massimo segnale che non satura il sensore e il minimo segnale individuabile (rumore di quantizzazione)



Sensori: accelerometri

- Misurano l'accelerazione propria (ossia relativa alla caduta libera) in una certa direzione
- Funzionamento: misura posizione rispetto ad un'intelaiatura fissa di una massa mobile fissata con una molla
- 3-axis accelerometer: misura le accelerazioni in 3 direzioni
- Confrontando l'accelerazione misurata con quella di gravità si può misurare l'inclinazione rispetto alla verticale



Sensori: posizione e velocità

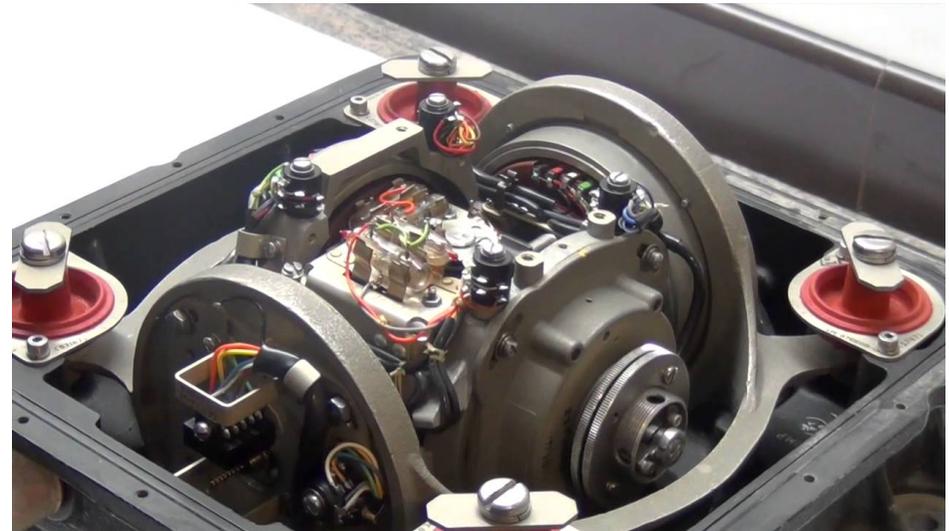
- La misura diretta della posizione di un osservatore è difficile
- Il sistema GPS usa la distanza da diversi satelliti per calcolare la posizione attraverso triangolazione
- Alcuni strumenti possono essere usati per calcolare la velocità relativa ad un mezzo (es. anemometri per velocità relativa all'aria)
- Infine si può utilizzare un accelerometro per stimare velocità e posizione integrando l'accelerazione $x(t)$ nel tempo:

$$p(t) = p(0) + \int_0^t v(t) dt, \quad v(t) = v(0) + \int_0^t x(t) dt$$



Sensori: giroscopi

- Misurano velocità angolare di rotazione
- Funzionamento:
 - Elemento rotante che mantiene il suo orientamento (conservazione momento angolare)
 - Esistono altre tecnologie (MEMS, laser, quantistici)
- Giroscopi a 3 assi: misurano la velocità angolare lungo 3 direzioni
- integrando i dati di 3 giroscopi si può ottenere l'orientamento di un corpo rigido
- Grandi derive dell'orientamento usando giroscopi "comuni"
- Giroscopi e accelerometri sono usati in congiunzione per la navigazione inerziale



Sensori: magnetometri

- Misurano la componente del campo magnetico ortogonale all'asse di torsione
- Magnetometri a 3 assi: misurano le componenti del campo magnetico lungo 3 direzioni
- I magnetometri, ipotizzando essere presente solo il campo magnetico terrestre, sono usati per limitare la deriva dei giroscopi "consumer"

