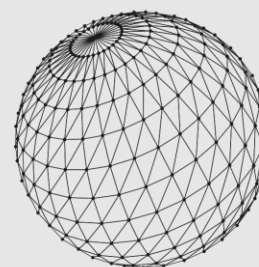
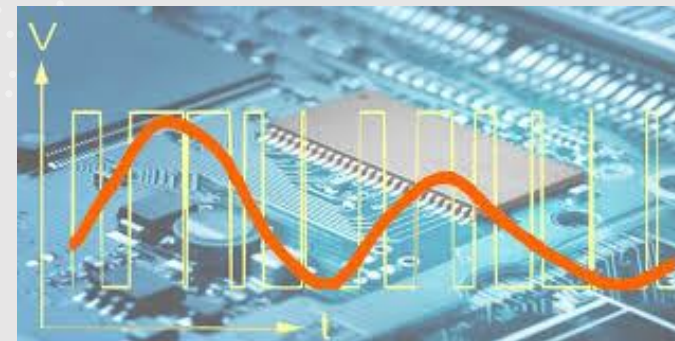


CONDIZIONAMENTO DEI SEGNALI

Lezione 4



ITS ACADEMY
MECCATRONICO VENETO
ISTITUTO TECNOLOGICO SUPERIORE



**Riepilogo delle puntate
precedenti**

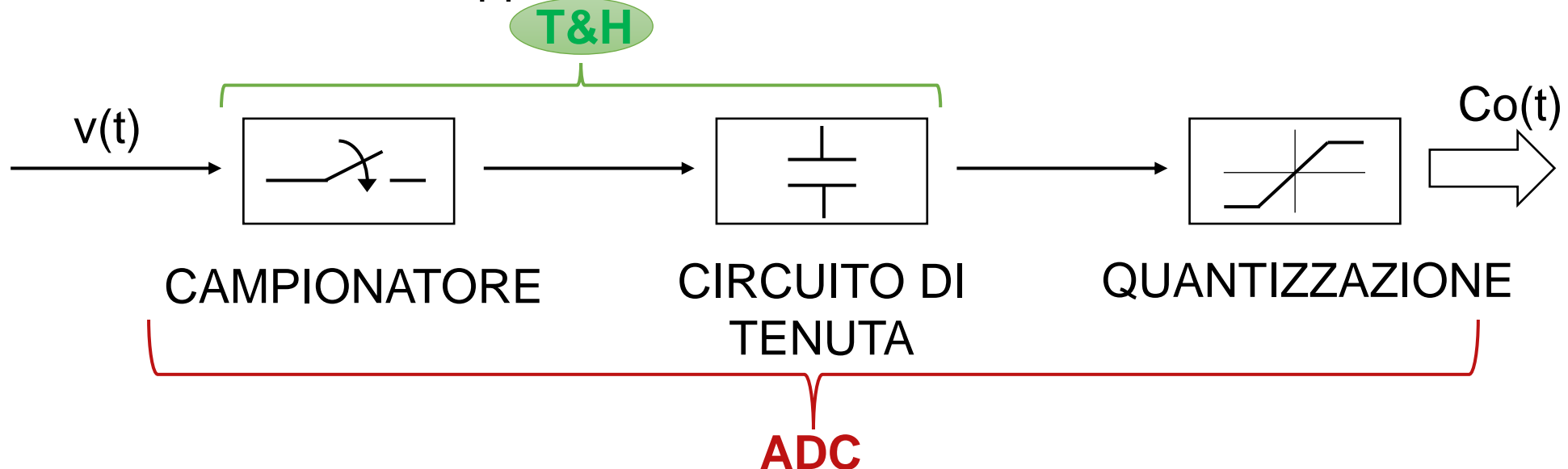
Conversione analogico digitale ADC

Per realizzare la conversione da $v(t)$ a $Co(t)$ sono necessarie 3 operazioni:

1. CAMPIONAMENTO (*SAMPLING*)
2. TENUTA (*HOLD*)
3. QUANTIZZAZIONE DELLE AMPIEZZE (*QUANTIZATION*)



Ogni fase è svolta da un opportuno circuito elettronico:

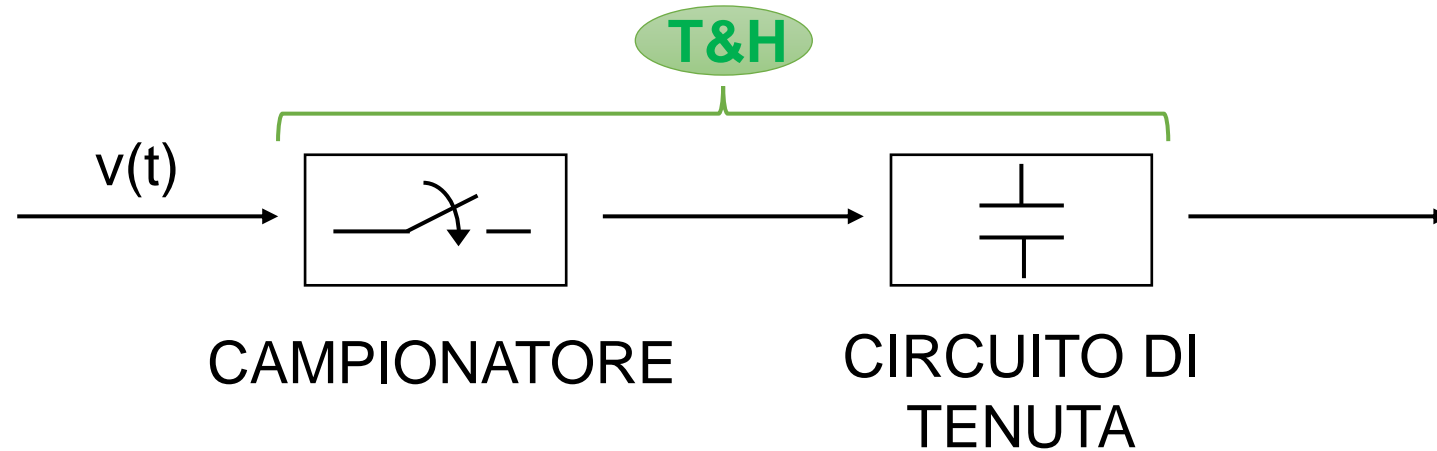


CAPITOLO 1



Teorema di Nyquist-Shannon

TEOREMA DI NYQUIST- SHANNON



Del circuito Track and Hold, il parametro più importante è la **frequenza di campionamento R_s** .

Maggiore è R_s e maggiore è il numero di campioni che vengono acquisiti!



Quanto grande va presa R_s ?

Acquisire più campioni implica avere una ricostruzione migliore?

TEOREMA DI NYQUIST- SHANNON

Per rispondere a queste domande si deve far riferimento al teorema NYQUIST-SHANNON:

Teorema:

La ricostruzione senza ambiguità del segnale originale $v(t)$, a partire da una sua versione campionata $v_s(t)$, è possibile solamente nel caso di frequenza di campionamento R_s superiore a due volte la più alta frequenza f_{MAX} del segnale di interesse $v(t)$


$$R_s > 2 f_{MAX}$$

TEOREMA DI NYQUIST- SHANNON

Facciamo chiarezza con dei numeri:

*Supponiamo di avere in ingresso all'adc un segnale sinusoidale di periodo 25ms.
Che frequenza di campionamento serve per ricostruire il segnale integralmente?*

Svolgimento:

$$T = 0,025 \text{ s} \quad \longrightarrow \quad \text{Periodo del segnale}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,025} = 40 \text{ Hz} \quad \longrightarrow \quad \text{Frequenza massima del segnale}$$

$$R_S \geq 2 * f \geq 2 * 40 \geq 80 \text{ Hz} \quad \longrightarrow \quad \text{Minima frequenza di campionamento che soddisfa il teorema di Nyquist}$$

TEOREMA DI NYQUIST- SHANNON



Acquisire più campioni implica avere una ricostruzione migliore?

Utilizzare una frequenza di campionamento molto elevata NON PORTA VANTAGGIO, anzi costa di più (perché devo avere un'adc più performante) e produce più disturbi elettromagnetici in quanto clock ad alte frequenze producono tanto rumore



Quanto grande va presa R_s ?

La R_s deve almeno rispettare la condizione di Nyquist-Shannon, ossia $R_s > 2f_{MAX}$ altrimenti la ricostruzione del segnale di ingresso $v(t)$ non è possibile.



Vediamo perché...

TEOREMA DI NYQUIST- SHANNON

Poiché il teorema ci parla di frequenza di campionamento, e non di periodo, vediamo come trasformare un segnale dal dominio del tempo al dominio delle frequenze. Per effettuare questa operazione, si ricorre alla **TRASFORMATATA DI FOURIER:**

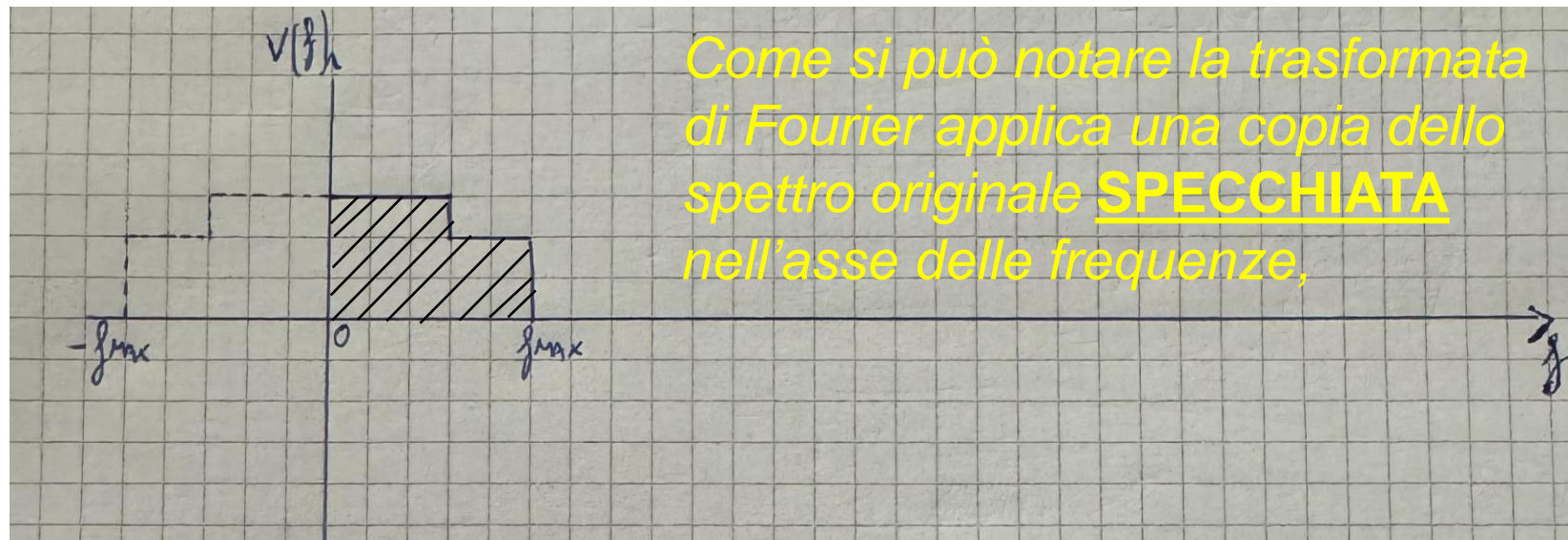
$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$



La presenza dell'integrale in questa formula ha degli effetti particolari sullo spettro in frequenza del segnale.
Ora lo vediamo nel dettaglio...

TEOREMA DI NYQUIST- SHANNON

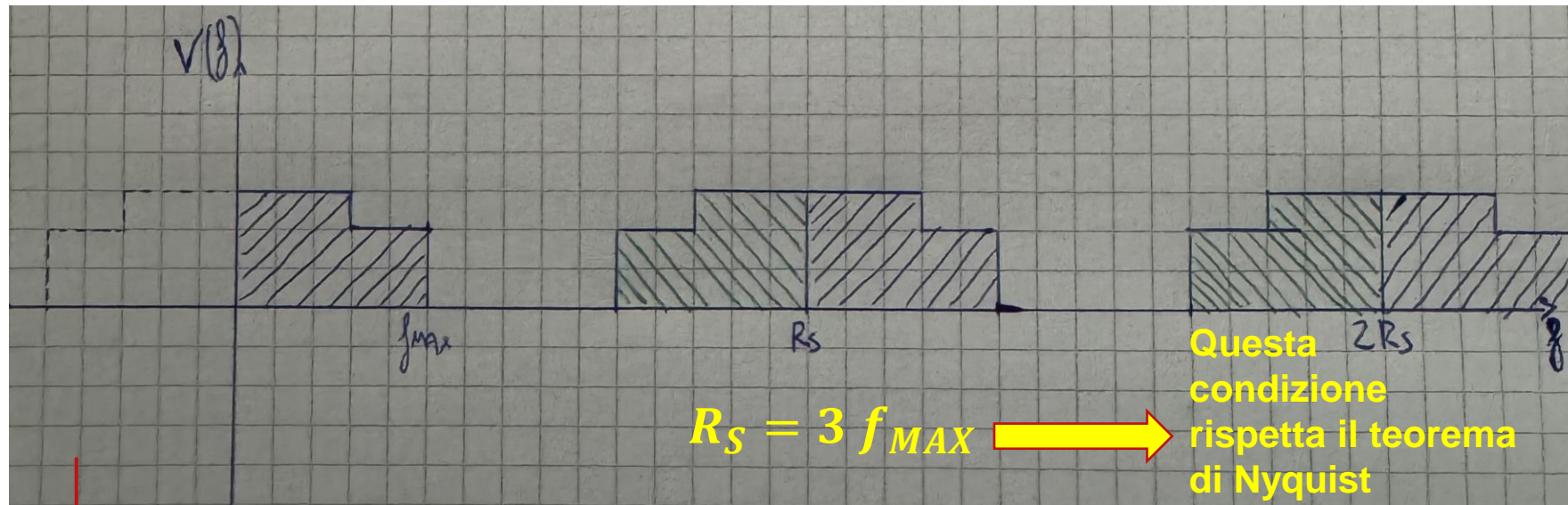
Ipotizziamo di avere un segnale, il cui andamento in frequenza, ottenuto tramite la formula di fourier, sia il seguente:



Questo segnale entra ora nell'adc passando per il campionatore

TEOREMA DI NYQUIST- SHANNON

Passando per il campionamento nel tempo del segnale, l'effetto nel dominio delle frequenze è quello di avere una copia specchiata dell'intero spettro del segnale campionato a tutti i MULTIPLI della FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO R_s

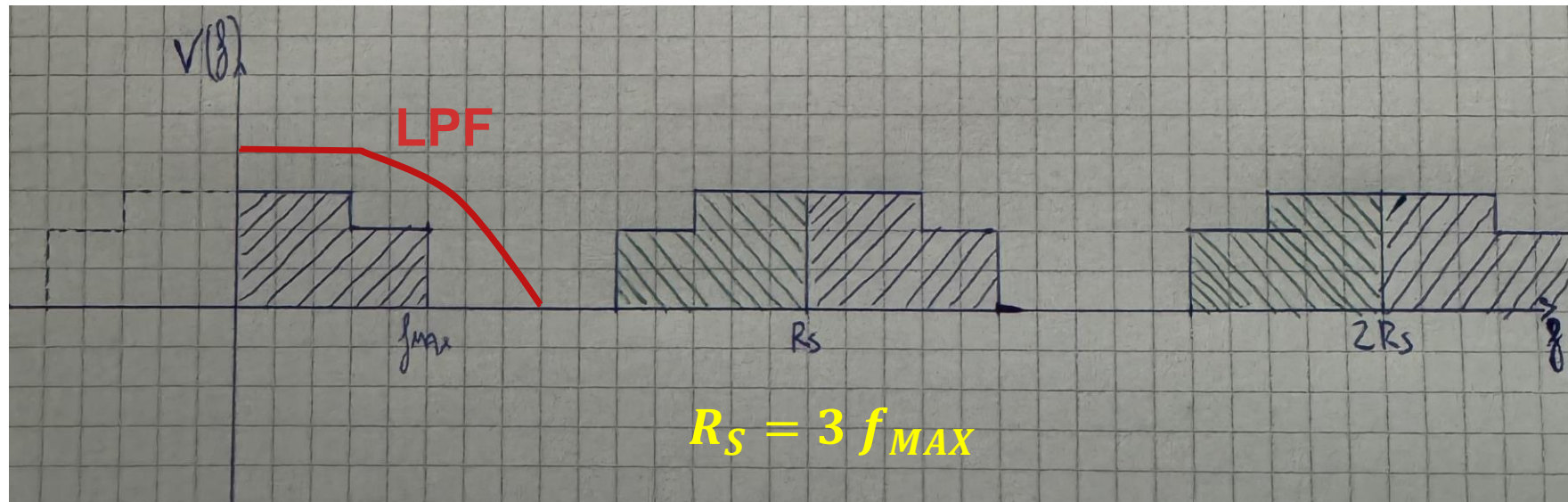


Il segnale non è più come l'originale! Passando per il campionatore, lo spettro in frequenza del segnale originale cambia! Ha delle COPIE SPECCHiate ad alte frequenze



TEOREMA DI NYQUIST- SHANNON

Per risalire ora al corretto segnale campionato si deve utilizzare un apposito **FILTRO PASSA BASSO (LPF)** che vada ad eliminare tutti i multipli dello spettro originale. Una volta ottenuto il solo spettro originale il segnale può essere riconvertito nel dominio del tempo, ottenendo così il segnale originale di partenza



TEOREMA DI NYQUIST- SHANNON

Ricapitolando:

1. Il segnale $v(t)$ entra nell'adc. Quando entra ha un suo spettro in frequenza.
2. Passando attraverso il CAMPIONATORE (primo componente dell'adc) lo spettro del segnale viene copiato e specchiato ad ogni MULTIPLO della frequenza di campionamento R_s .
3. Per ricostruire il segnale adeguatamente è necessario inserire un filtro passa basso LPF in modo da eliminare le copie dello spettro che si sono create per l'effetto del campionamento.



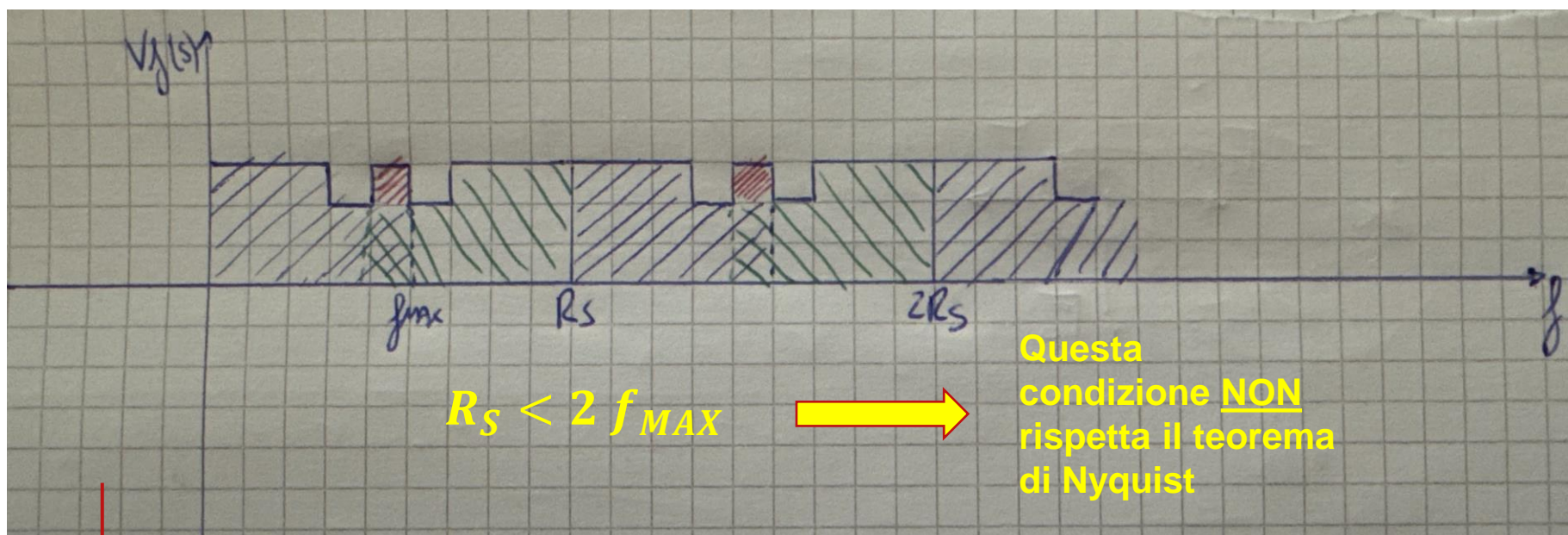
CAPITOLO 2



Aliasing

ALIASING

Nel caso in cui il SAMPLING RATE (R_s) sia scorretto, cioè non rispetti la condizione di Nyquist, cosa accade?

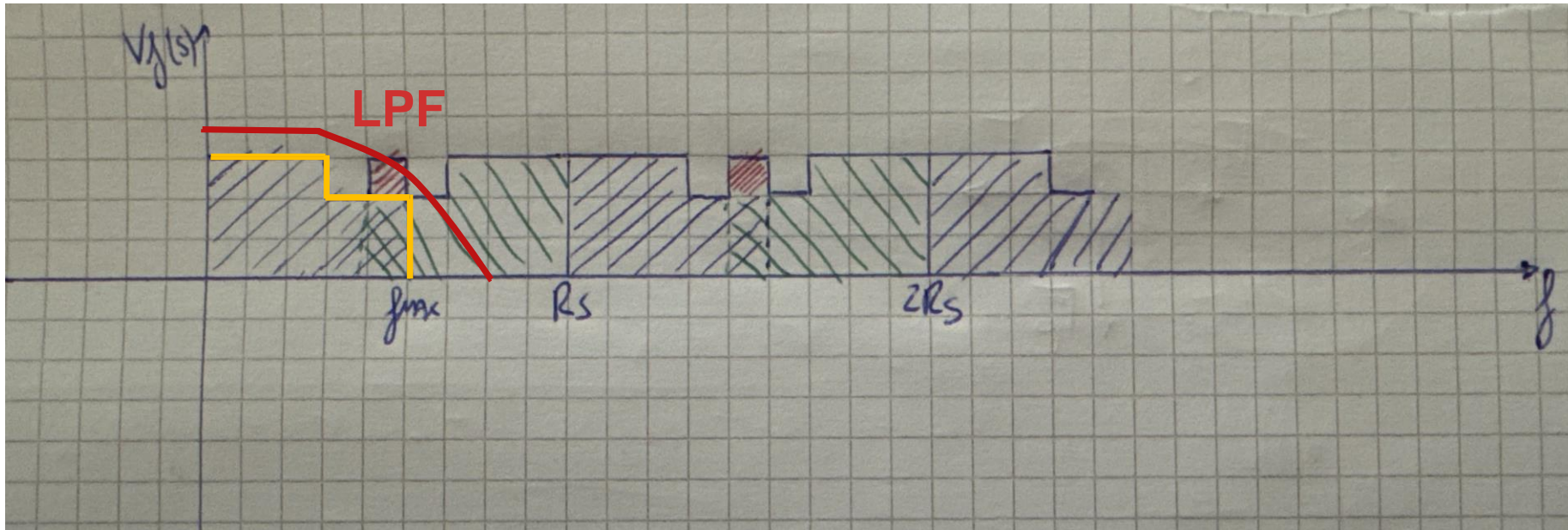


In questo caso le ripetizioni periodiche dello spettro, vanno a **SOVRAPPORSI** allo spettro originale!!



ALIASING

Nel momento in cui applico il filtro passa passo NON riesco a risalire al segnale originale perché nelle frequenze del segnale originale si sono SOVRAPPOSTE LE SUE COPIE!



Gli elementi SPURI presenti nello spettro originale prendono il nome di ALIAS. Da qui prende il nome il fenomeno dell'ALIASING.

ALIASING

Definizione

ALIASING è quel fenomeno di distorsione della TDF (trasformata di fourier) dovuto ad un campionamento con R_s inferiore a quella imposta dal teorema di Nyquist

$$R_s < 2 f_{MAX}$$

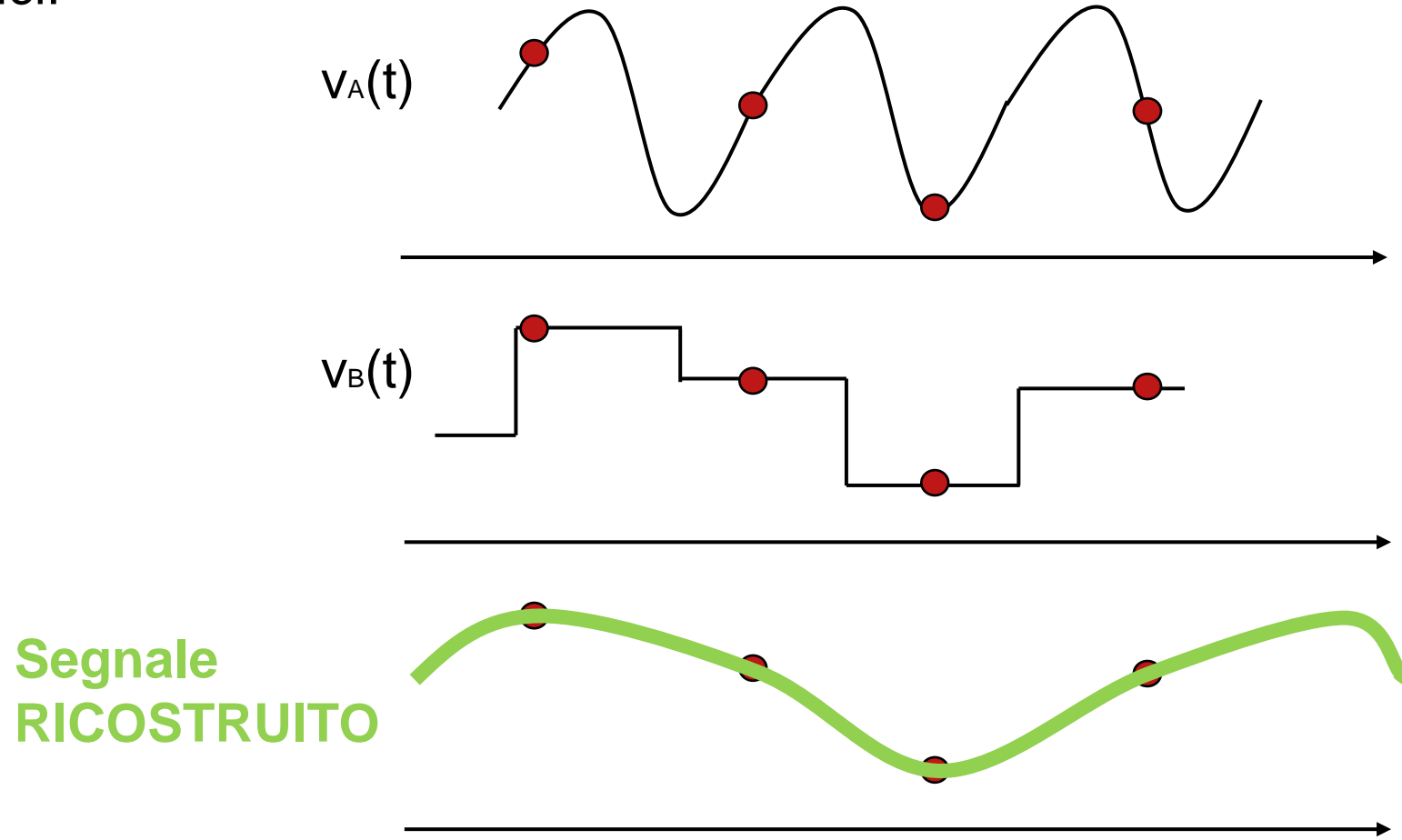
L'ALIASING può produrre diverse conseguenze tra cui l'impossibilità di ricostruire fedelmente il segnale di partenza!

Questi fenomeni sono dannosi, soprattutto nell'ambito audio!

https://www.meldaproduct.com/tutorials/processing-audio-aliasing-explained?gad_source=2&gclid=Cj0KCQiAtOmsBhCnARIsAGPa5yZm6hCurD25-FQXpx5Qx-_uVEdlGfMoSW919wRu5ouZFhe9_M30dsAaAnRDEALw_wcB

ALIASING

Ciò che può capitare è anche che due segnali diversi vengano riconosciuti come identici!



Non solo i campioni del segnale A e del segnale B sono identici, ma hanno anche una ricostruzione che è diversa da entrambi.

ALIASING

È anche possibile calcolare a quale frequenza si presentano le componenti di alias. Si supponga infatti di avere un segnale la cui frequenza massima sia $f_{\text{MAX}} = 70\text{Hz}$, e di avere poi un'adc con frequenza di campionamento $R_s = 100\text{Hz}$.

Come si può notare non viene rispettata la condizione del teorema di Nyquist perché R_s dovrebbe essere almeno superiore a 140Hz .

Ciò che si potrà notare è che il segnale ricostruito presenterà delle componenti spurie alla seguente frequenza:

$$f_{\text{ALIAS-1}} = R_s - f_{\text{MAX}} = 100 - 70 = 30\text{Hz}$$

ALIASING → COME EVITARLO?



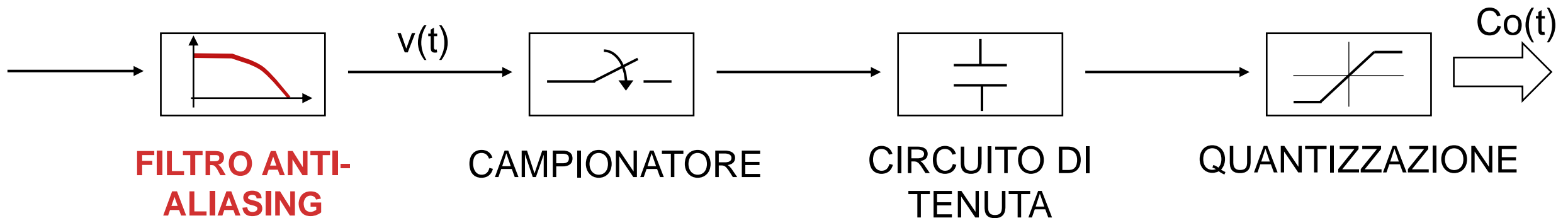
Il problema principale che abbiamo è questo:
Devo misurare un fenomeno fisico, ma proprio perché
devo misurarlo significa che **NON LO CONOSCO!!**

Come posso quindi sapere quale sarà la sua
frequenza massima?

ALIASING → COME EVITARLO?

Non disponendo di queste si decide anticipatamente di utilizzare un'adc con una frequenza di campionamento f_s adeguata alla dinamica dell'applicazione.

Sulla base dell'adc scelto si posiziona un **FILTRO ANTI-ALIASING** prima del circuito di campionamento, in modo da tagliare eventuali frequenze spurie che potrebbero generare degli ALIAS





Fine primo tempo

CAPITOLO 3

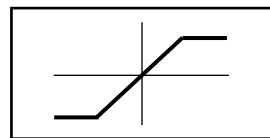
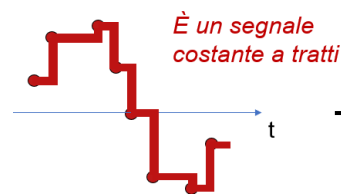
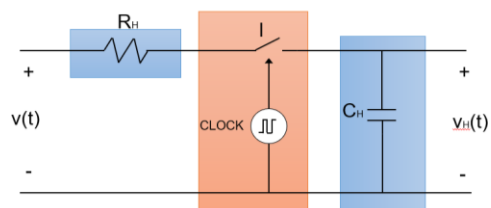


Quantizzazione

Quantizzazione

Definizione:

La quantizzazione sul dominio delle ampiezze è l'operazione attraverso la quale il segnale campionato $v_H(t)$, all'uscita dal circuito T&H, viene trasformato in una sequenza di codice $Co(t)$, uno per ogni campione.



0	0	1	0	1
1	1	0	1	1
1	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	0	0	1	0

QUANTIZZAZIONE

Ad ogni livello di tensione $v_H(t)$ viene associato il codice $Co(t)$ in bit più vicino ad esso

Quantizzazione

IMPORTANTEEEEE

La quantizzazione è un'operazione che modifica l'asse y del segnale, ossia il suo valore effettivo! E' in questo processo che il segnale diventa effettivamente digitale!

Ad un certo valore di tensione, si associa un numero!



In base al numero di bit di cui dispone l'ADC, si avrà una distanza Q tra i livelli pari a:

$$Q = \frac{R}{2^B}$$

R= input range dell'adc

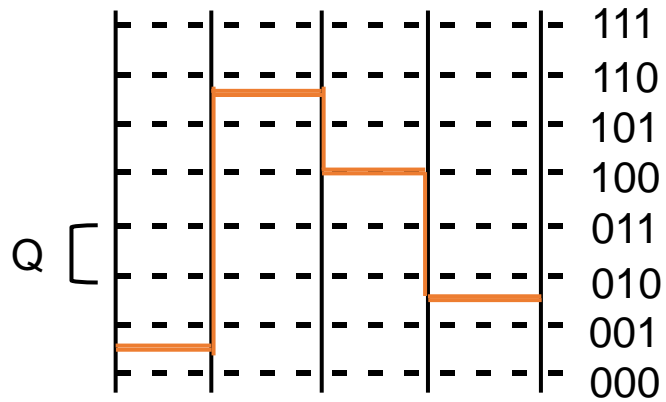
B = numero di bit dell'adc

dove Q prende il nome di PASSO DI QUANTIZZAZIONE

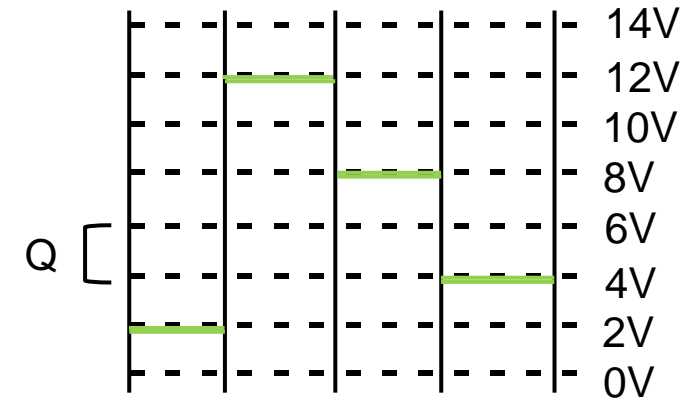
Quantizzazione

Esempio

Considerando un'adc a 3 bit e un range che va da 0-16 V il passo di quantizzazione sarà:



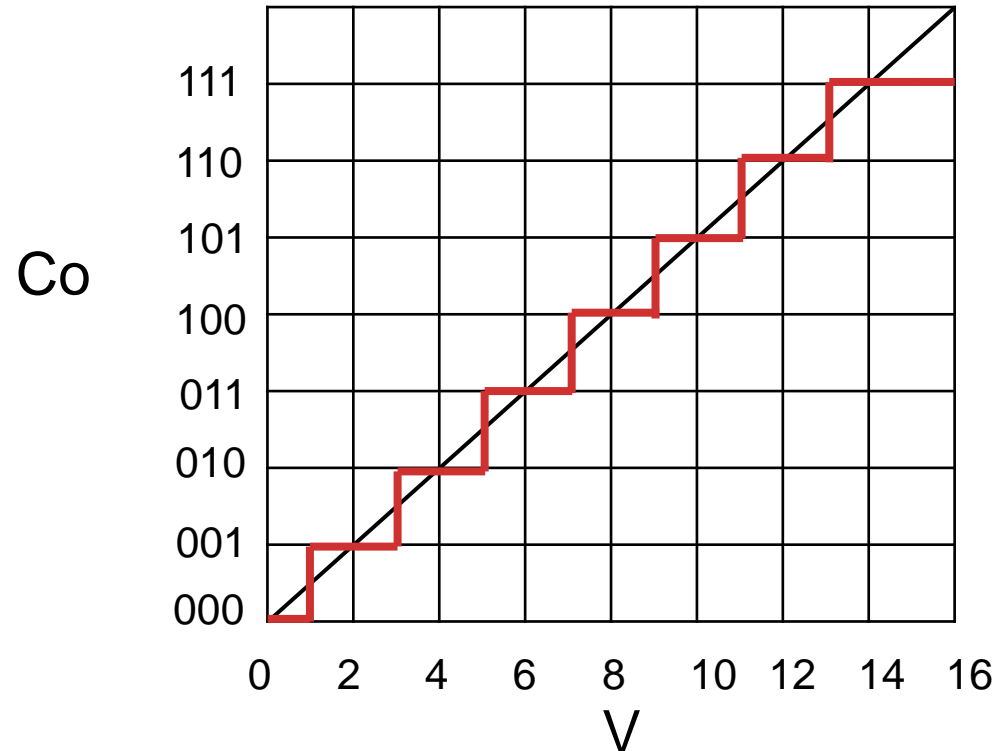
$$Q = \frac{16-0}{2^3} = 2V$$



Transcaratteristica

Definizione:

La transcaratteristica dell'ADC è una funzione che associa ad ogni livello del segnale $v_H(t)$ un opportuno codice Co



E' un diagramma costante a tratti, che presenta sull'asse orizzontale la tensione di ingresso all'ADC e mantenuta dal circuito di hold, e sull'asse verticale la codifica in bit del relativo livello di tensione

Transcaratteristica



Il **parametro più importante è il NUMERO di BIT**

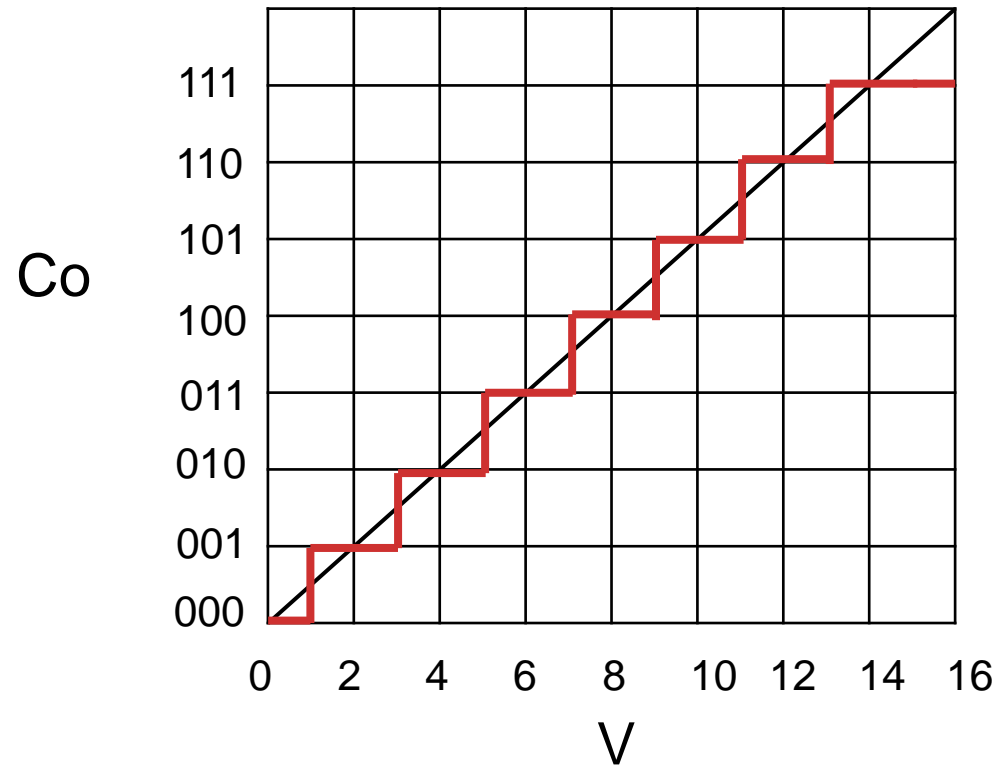
È da lui che dipende maggiormente la risoluzione di tutto il sistema di acquisizione dati!

Più il numero di bit aumenta e più la curva costante a tratti tende ad essere lineare, diventando quasi una retta

L'errore generato dalla transcaratteristica è detto **ERRORE di QUANTIZZAZIONE**. Esso si genera perché la transcaratteristica è definita a tratti, perciò al variare del livello di tensione $v_H(t)$ varia anche l'errore.

Vedere schema.....

Transcaratteristica



Errore di quantizzazione

L'errore di quantizzazione e_q è quindi pari alla differenza tra il valore in volt e il corrispondente codice numerico associato.

$$e_q = C_o - v$$

Tale errore assume un valore massimo e un valore minimo a seconda della tipologia di transcaratteristica:

Transcaratteristica UNIPOLARE:
l'input dell'adc va da 0 a R (ha solo valori positivi)

L'errore di quantizzazione va da $-Q/2$ a $+Q/2$.

Eccetto per l'ultimo gradino dove l'errore è $3/2Q$

Transcaratteristica BIPOLARE:
l'input dell'adc va da $-R/2$ a $+R/2$

L'errore di quantizzazione in questo caso va da $-Q$ a $+Q$

CAPITOLO 4



Risoluzione

Risoluzione

Definizione:

La RISOLUZIONE in un sistema di acquisizione dati digitale, è la **più piccola variazione del segnale** di ingresso **che il dispositivo è in grado di rilevare** in modo affidabile.

Essa dipende da 3 fattori:

1. N° di BIT a disposizione dell'ADC
2. N° di cifre decimali sul display per la visualizzazione
3. Il rumore generato internamente all'ADC

Il modo in cui si può esprimere la risoluzione sono:

- RISOLUZIONE DIMENSIONALE (Δ) → più specifica
- RISOLUZIONE ADIMENSIONALE (δ) → legata al display



Risoluzione dimensionale

Rappresenta la MINIMA VARIAZIONE della grandezza di ingresso v che il dispositivo può rilevare.

La risoluzione Δ soddisfa la seguente formula:

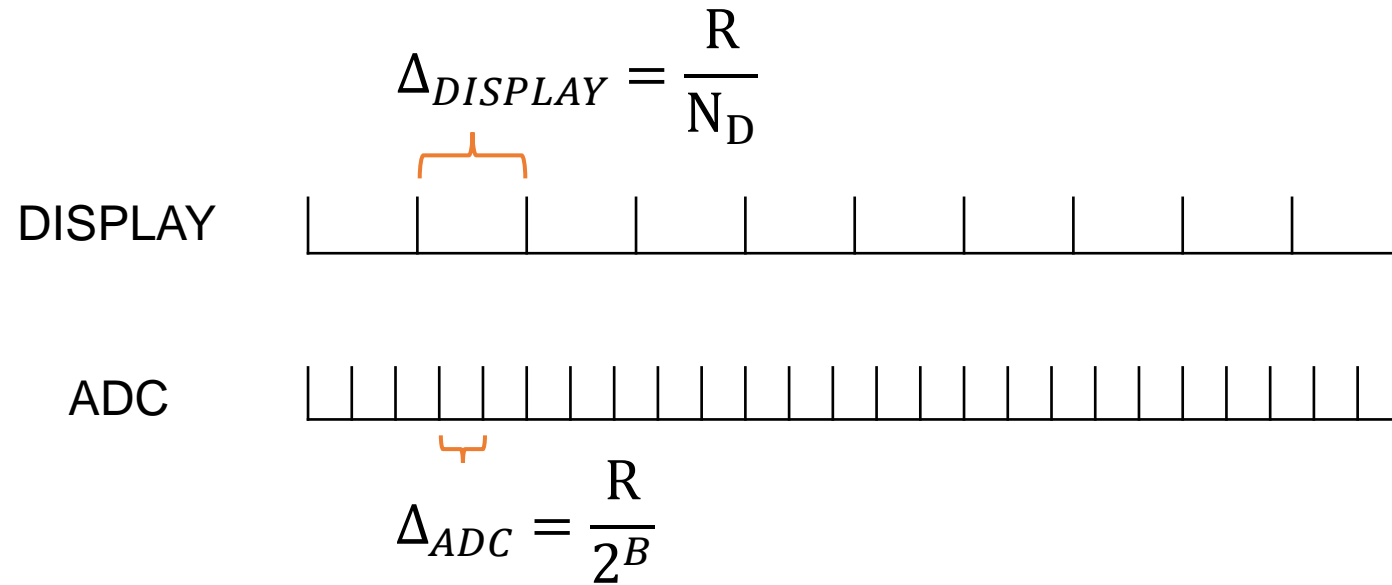
$$\Delta > \frac{R}{2^B} = Q$$

R = input range dell'adc
B = numero di bit dell'adc

La disuguaglianza sottolinea il fatto che la risoluzione di un sistema non dipende sola da R e da B (quindi dall'ADC), ma dipende anche da:

1. RISOLUZIONE DISPLAY
2. RUMORE SOVRAPPOSTO AL SEGNALE

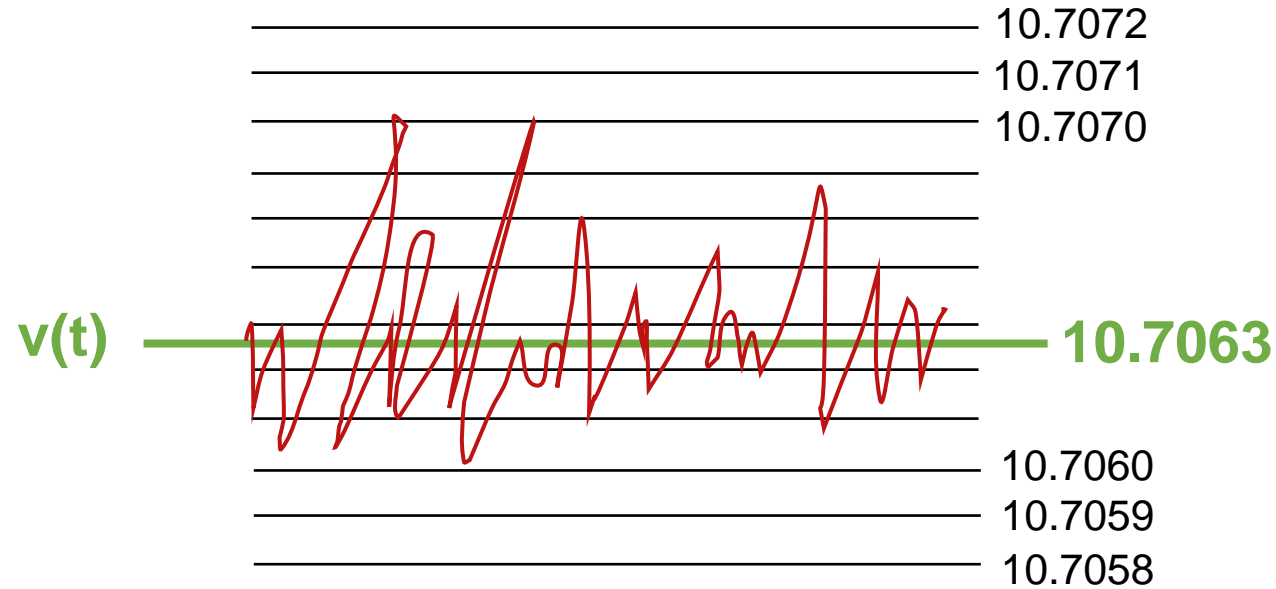
Risoluzione display



Poiché $N_D < 2^B$ allora: $\Delta_{DISPLAY} > \Delta_{ADC}$

Per questo motivo: $\Delta_{SISTEMA} = \Delta_{DISPLAY}$

Rumore sovrapposto



La risoluzione, in assenza di rumore è pari a 0,0001V.
Poiché l'intensità del rumore è 10 volte superiore alla risoluzione, l'ultima cifra significativa viene persa.

10.7063 → 10.706X

$\Delta_{SISTEMA} = 0,0001V$ → $\Delta_{SISTEMA} = 0,001V$

Risoluzione adimensionale

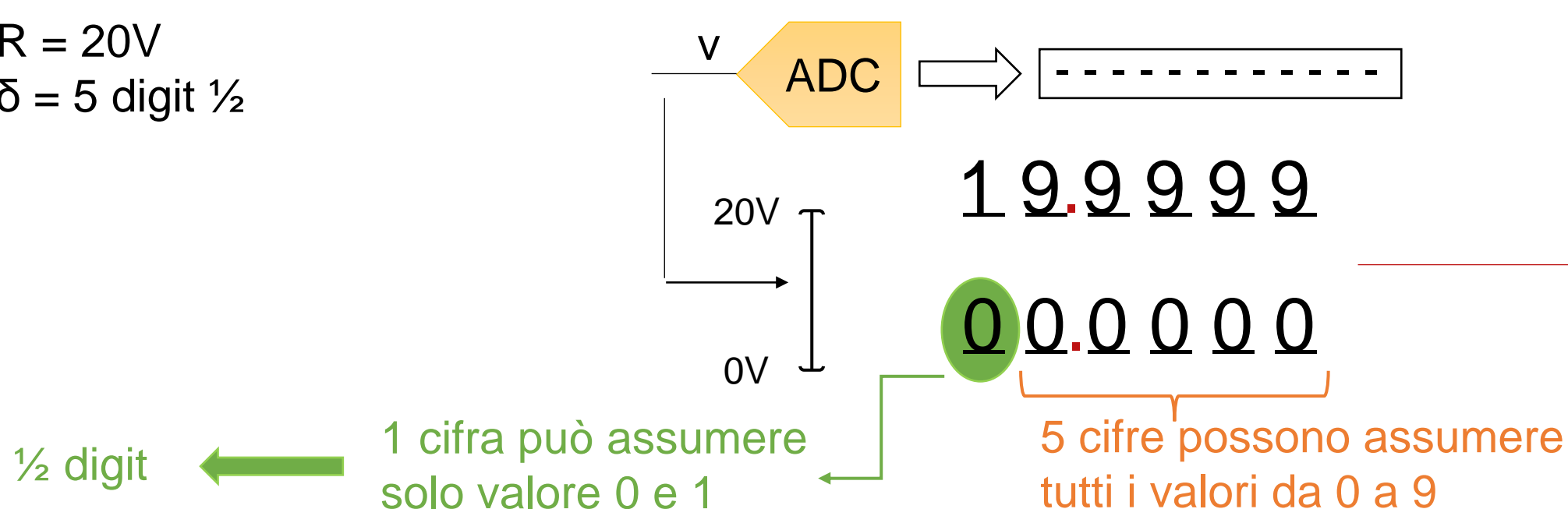
È una forma diversa e più sintetica per esprimere la risoluzione Δ , Si utilizza per i display, ad esempio quelli dei multimetri.

Essa si esprime in **DIGIT**.

Esempi:

R = 20V
 $\delta = 5 \text{ digit } \frac{1}{2}$

$$\Delta_{SISTEMA} = 0,0001V$$



Risoluzione adimensionale

R = 200V
 $\delta = 5 \text{ digit } \frac{1}{2}$

1 9 9 . 9 9 9

0 0 0 . 0 0 0

$$\Delta_{SISTEMA} = 0,001V$$



Quando nel multimetro
cambio il range
muovendo la manopola
sto sostanzialmente
spostando il punto della
risoluzione



R = 1k Ω
 $\delta = 4 \text{ digit}$

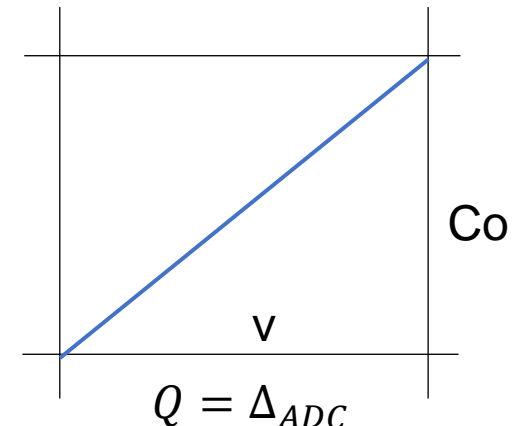
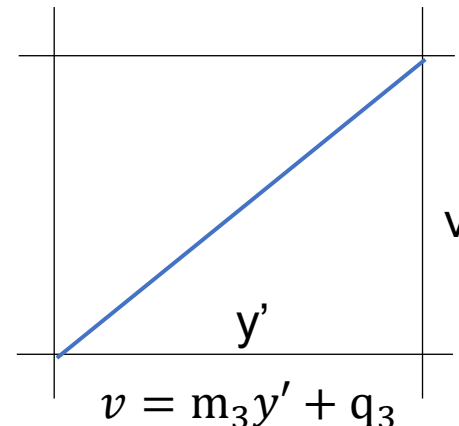
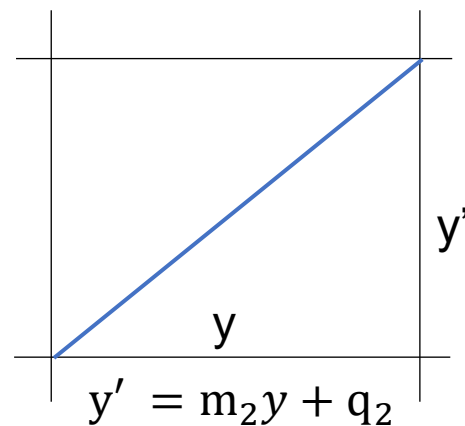
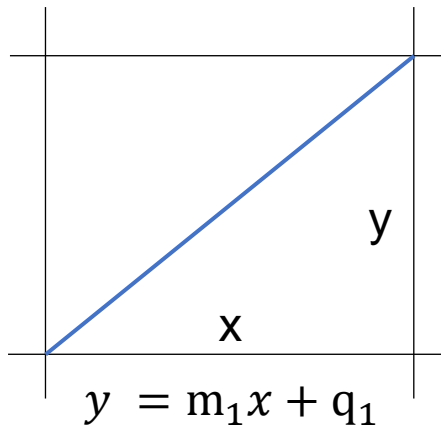
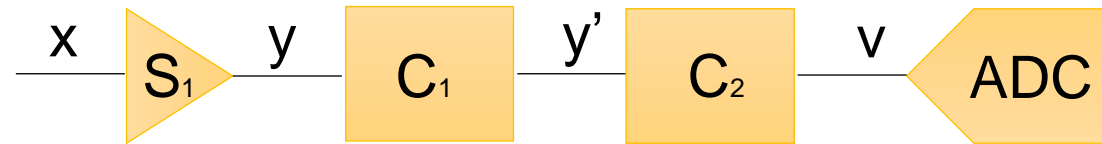
9 9 9 . 9

0 0 0 . 0

$$\Delta_{SISTEMA} = 0,1\Omega$$

Risoluzione dell'intero sistema di sensing

Per risalire alla risoluzione dell'intero sistema, in funzione della grandezza in ingresso misurata, è necessario considerare l'effetto che ogni blocco del sistema di sensing attua al passaggio del segnale.



Risoluzione dell'intero sistema di sensing

Attraverso ogni blocco il segnale viene amplificato e traslato, tuttavia ad agire sull'ampiezza della RISOLUZIONE è soltanto l'amplificazione (ossia il contributo dei coefficienti angolari)

$$\left(\begin{array}{c} \text{RISOLUZIONE} \\ \text{ADC} \\ \Delta_{ADC} = \frac{R}{2^B} = Q \end{array} \right)$$

$$\Delta_X = \frac{\Delta_{ADC}}{m_1 \cdot m_2 \cdot m_3}$$



RISOLUZIONE DELL'INTERO SISTEMA

Esercizio 1

Calcolare la risoluzione dell'ADC



Dato un sistema di sensing in cui l'ADC ha un range che va da -4V a +4V, si calcoli la risoluzione di quest'ultimo sapendo che il n° di bit è pari a 8

CAPITOLO 5



**Simulazione esercizio
d'esame**

SIMULAZIONE ESERCIZIO ESAME

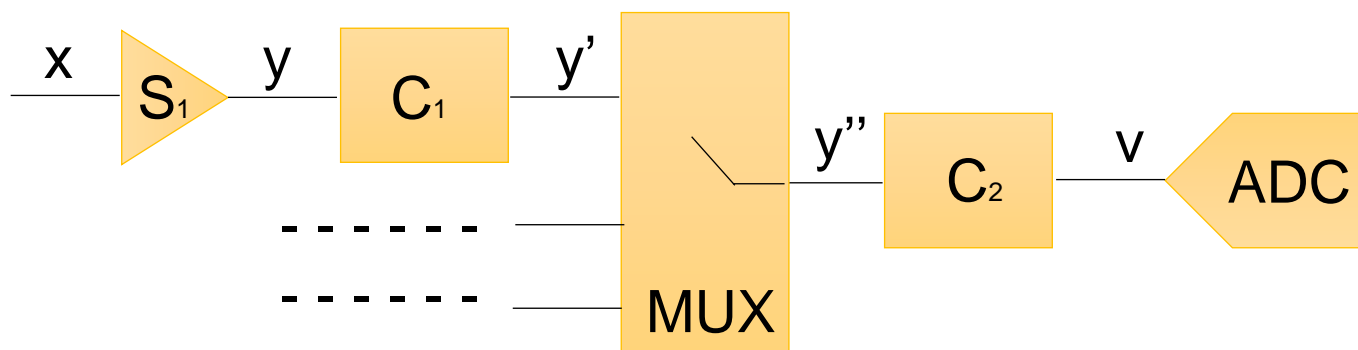
Sia dato il seguente schema circuitale:

In esso è presente un sensore (encoder) che misura grandezze all'interno di un range che va da 0° a 720° .

Quando il sensore misura 360° in uscita si ha una tensione di 0V. Inoltre il range di uscita del sensore è pari a 1,44V.

Tenendo conto delle operazioni di adattamento di scala svolti da blocchi circuitali per permettere il funzionamento del mux e ottimizzare quello dell'adc, si risponda ai seguenti quesiti:

1. Disegnare la transcaratteristica del sensore e determinarne l'equazione (il sensore si considera lineare)
2. Progettare C1 e C2
3. Calcolare la risoluzione dell'adc
4. Calcolare la risoluzione dell'intero sistema di sensing in funzione di Δx





Vi ringrazio per l'attenzione