

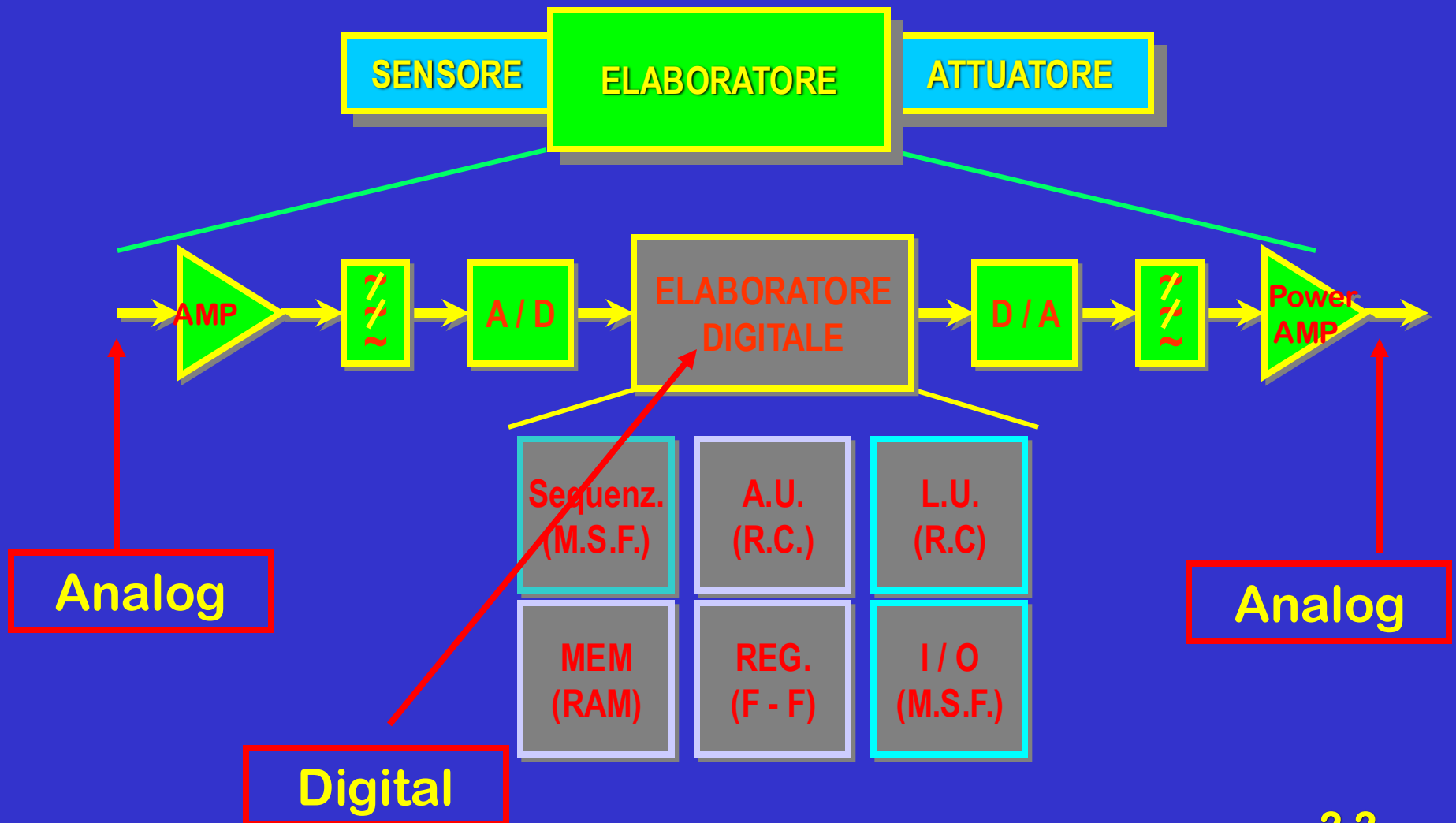
SISTEMI ELETTRONICI PER AUTOMAZIONE E ROBOTICA

LEZIONE N° 2

Prof. Sergio Saponara

- **Conversione analogica-digitale (Convertitori A to D, ADC, e D to A, DAC)**
- **Rumore nei circuiti analogici e digitali**
- **Codifica digitale dei segnali (binaria, gray, ASCII, parity bit, ...)**

SISTEMI ELETTRONICI PER AUTOMAZIONE E ROBOTICA



SISTEMI ELETTRONICI PER AUTOMAZIONE E ROBOTICA

digit vuole dire cifra,

**bit vuole dire binary digit ovvero cifra binaria, cioè
una variabile che può assumere 2 valori logici 0
oppure 1 associati fisicamente ad esempio a
livelli basso e alto di tensione oppure ad
assenza (circuito aperto) o presenza (circuito
chiuso) di corrente**

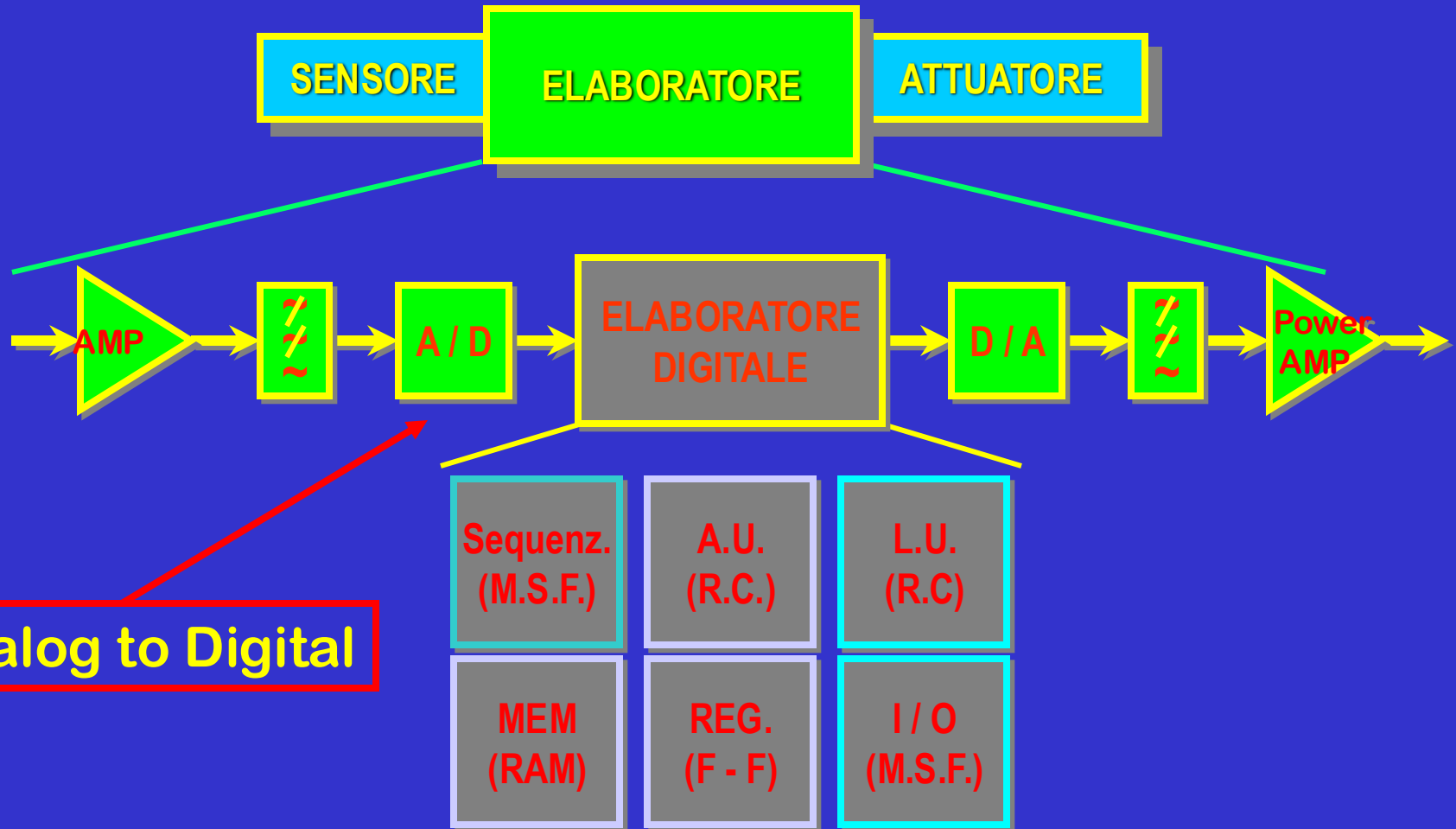
1 Byte= 8 bit

**Parole digitali (word) sono spesso multiple del
Byte. Ad esempio processori gestiscono
istruzioni e operandi a 8 o 16 o 32 o 64 bit**

CODICI

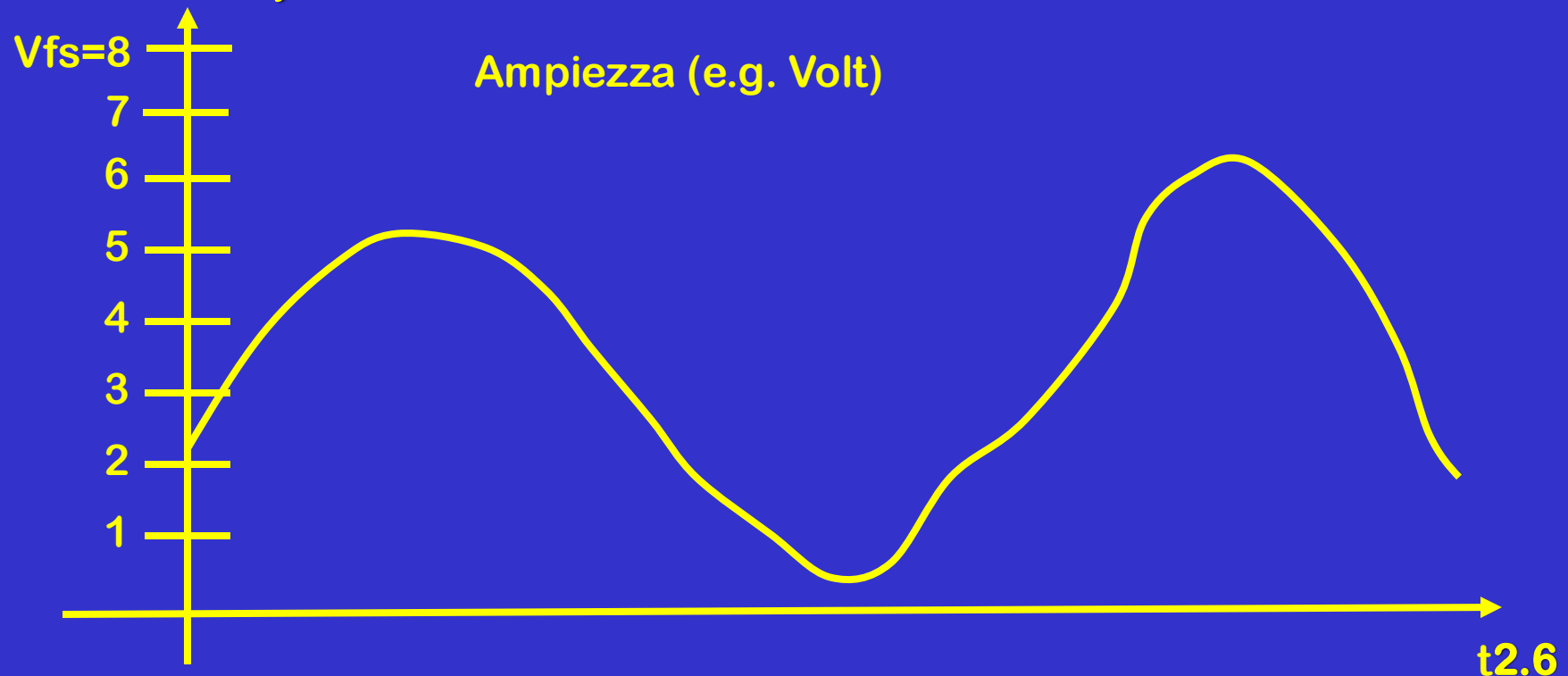
- Numeri binarii OK per sistemi elettronici digitali
- Numeri decimali OK per sistema “uomo”
- Necessità di rappresentare anche non numeri
- Codifica binaria di informazioni varie
- Esempio
 - Codifica binaria di numeri decimali

Sistema Elettronico



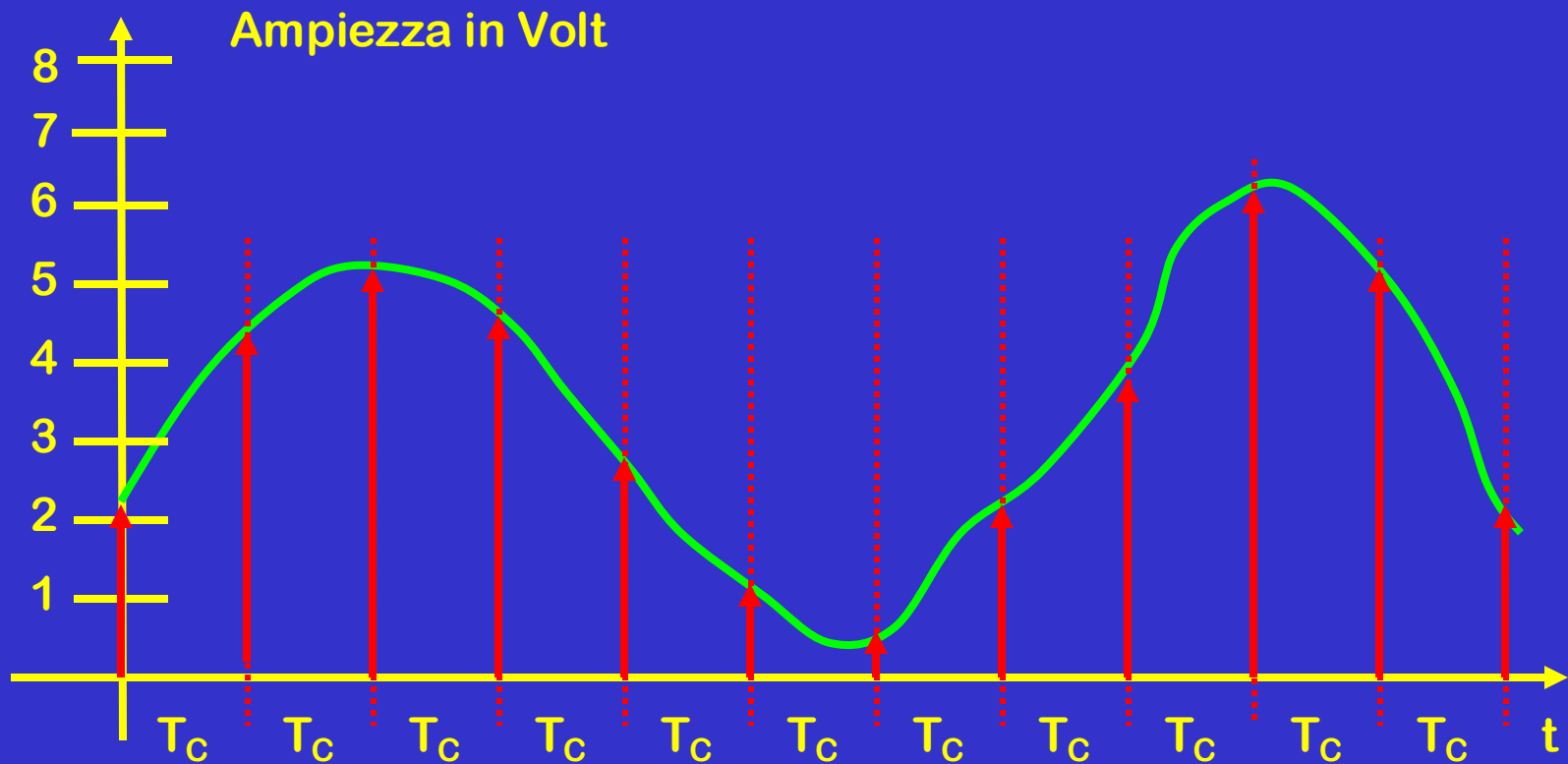
Il mondo esterno è caratterizzato da variabili analogiche

- Un segnale analogico ha un'ampiezza che varia in maniera continua nel tempo in un range dinamico (da 0 a $V_{fs}=8$ V nell'esempio riportato, $V_{fs}=V_{fondo\ scala}$)



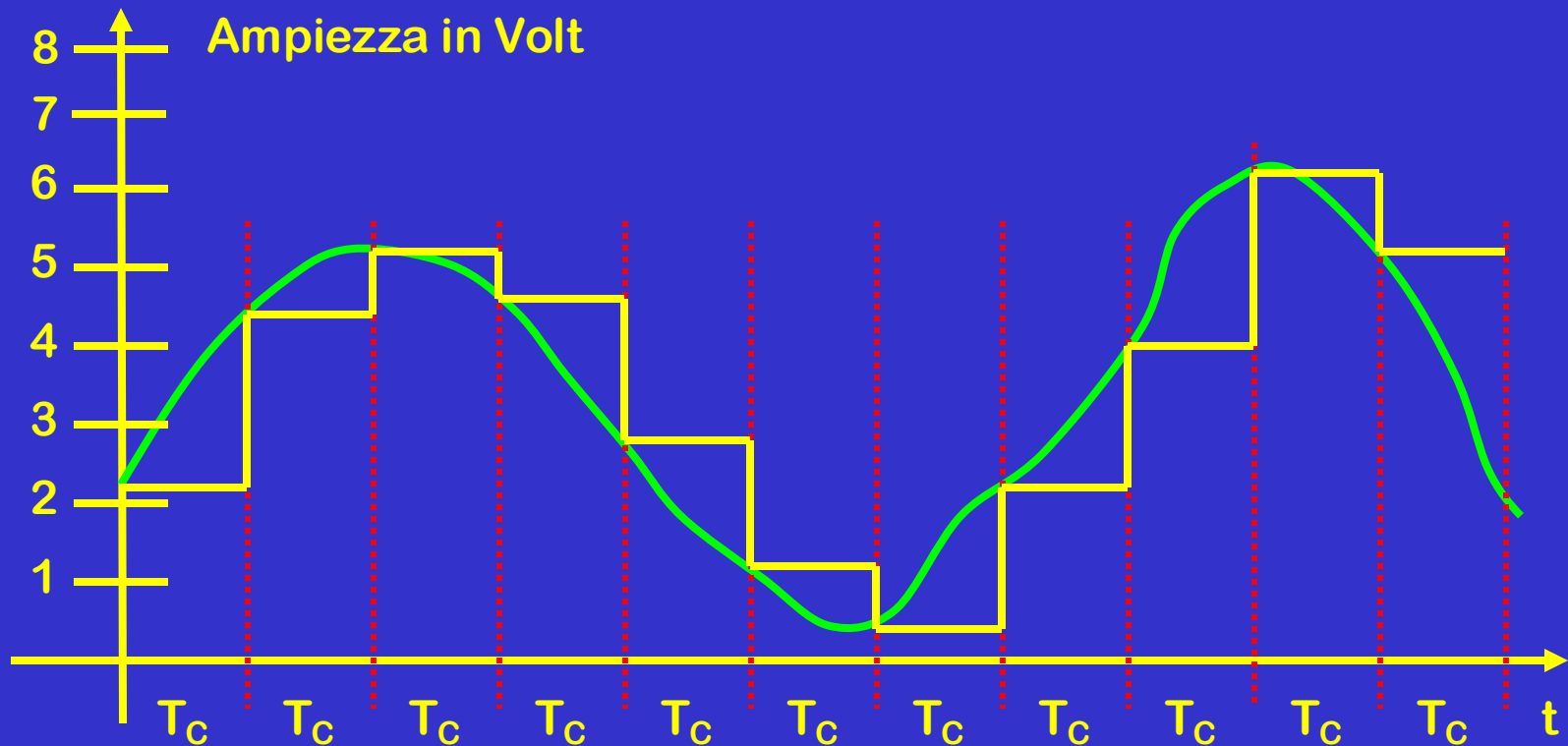
Segnale campionato 1

- Viene “associato” il valore che il segnale analogico assume nell’istante di campionamento



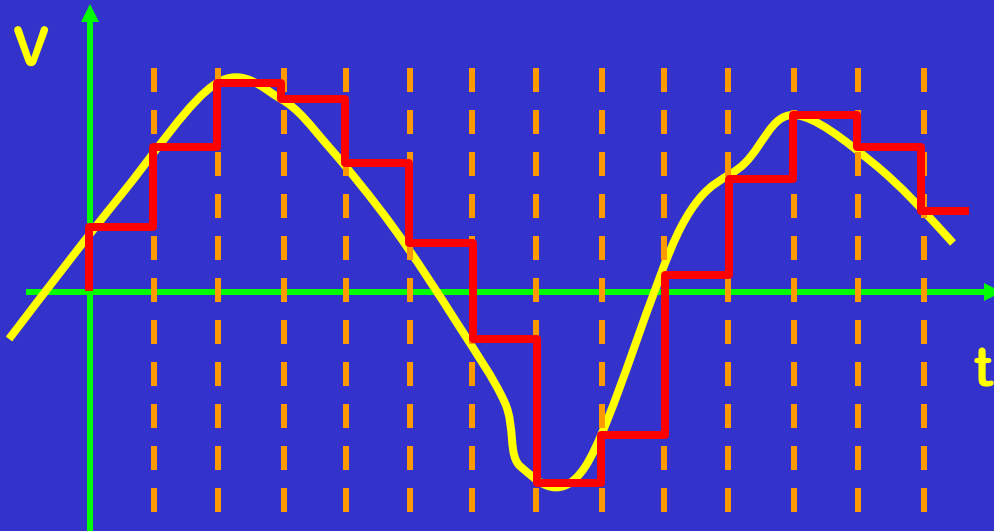
Segnale campionato 2

- Viene “congelato” il valore che il segnale analogico assume a intervalli regolari di tempo (Sample & Hold)
- F_c (frequenza campionamento in Hz) = $1/T_c$.
- $F_c > 2B_{max}$, B_{max} è banda (in Hz) massima del segnale



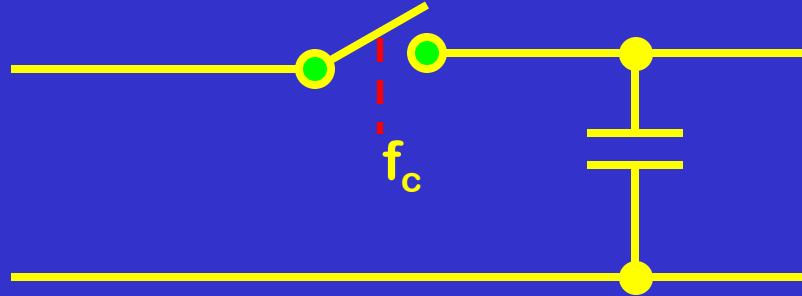
Sampling – Hold 1

- Per effettuare la conversione A / D occorre un certo tempo T_C
- Durante T_C il segnale deve essere costante

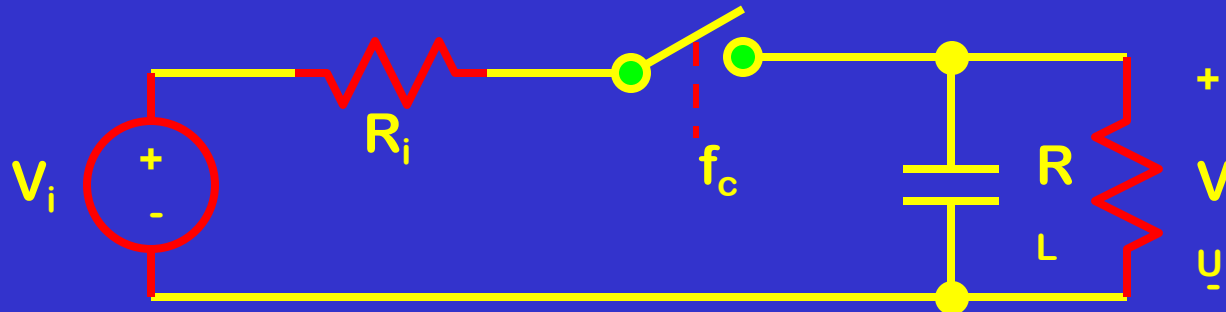


Sampling – Hold 2

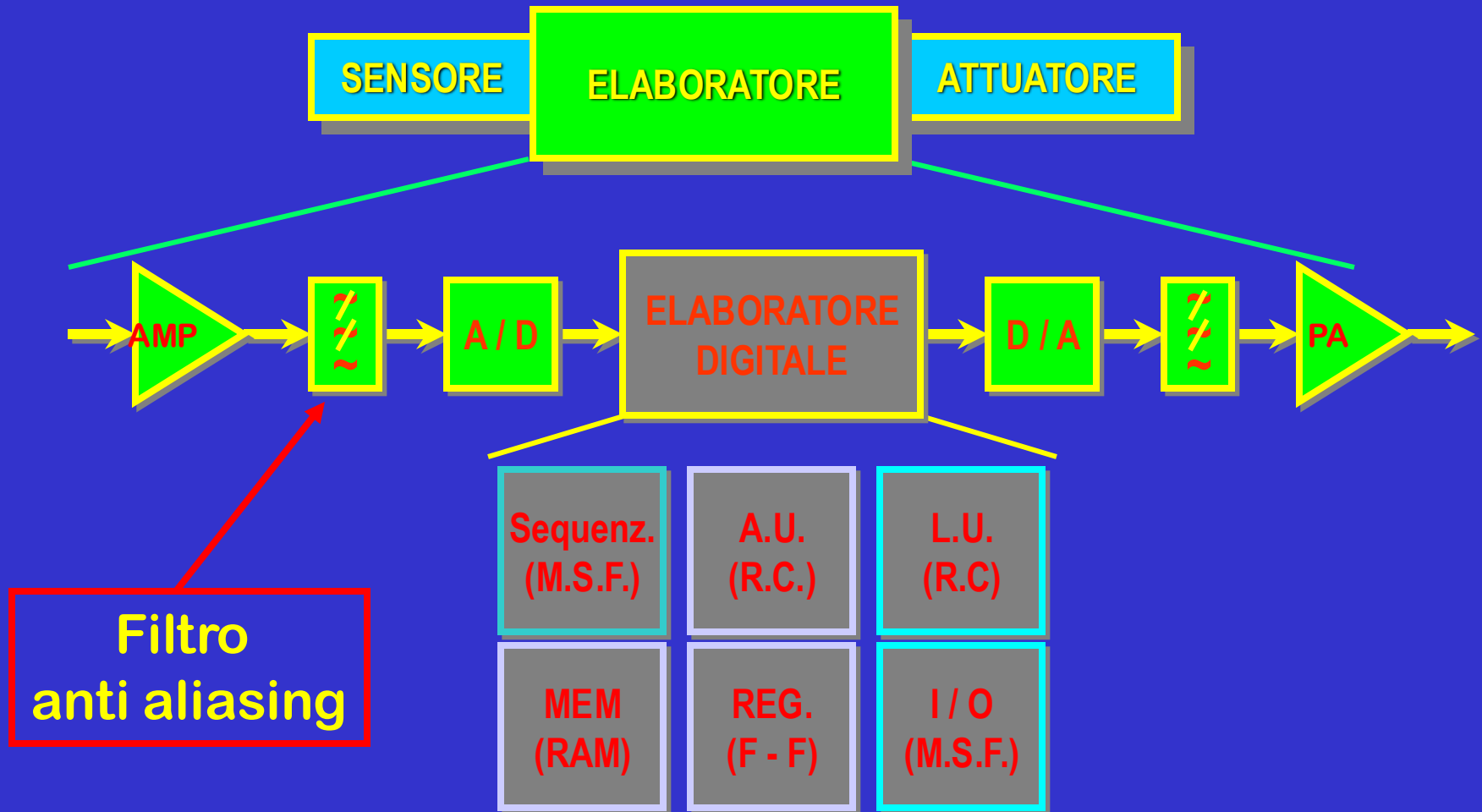
- Campionamento e memorizzazione
- Schema di principio



- Schema reale

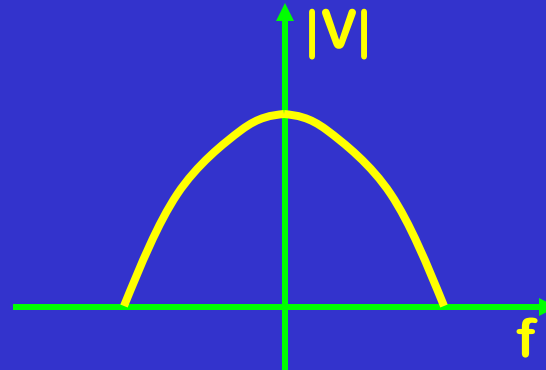
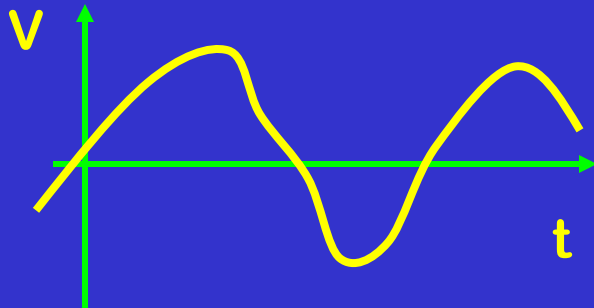


Sistema Elettronico

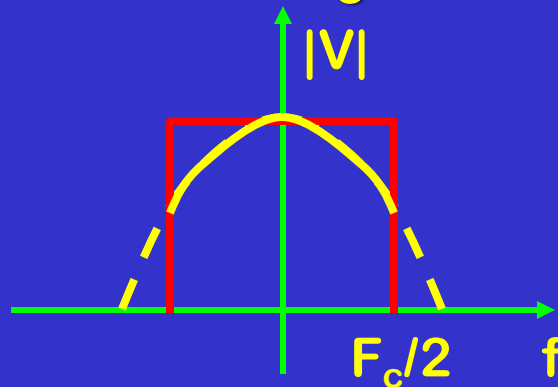


Spettro

- Spettro del segnale

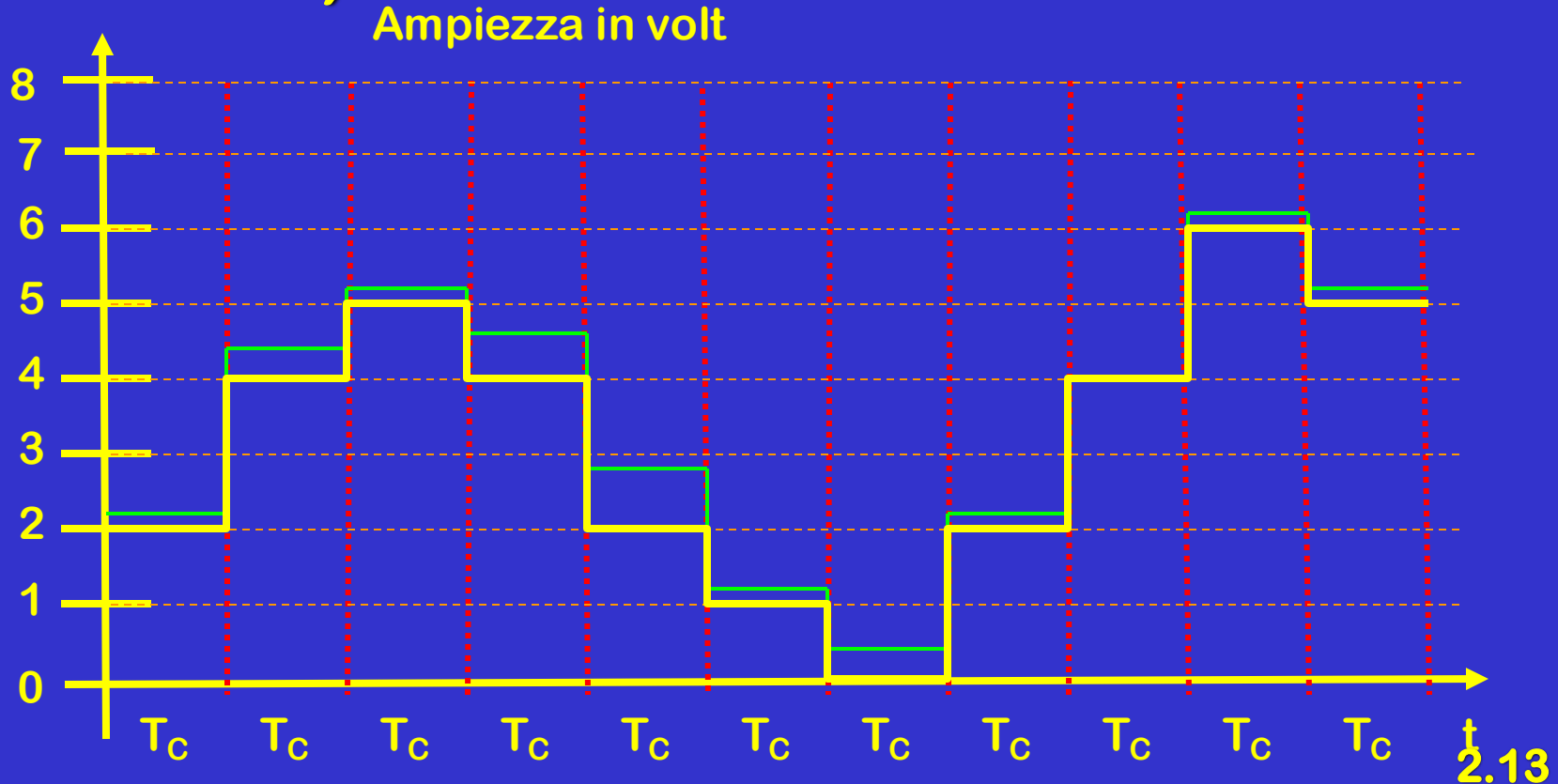


- La frequenza max del segnale B_{\max} deve essere minore di $F_c/2$



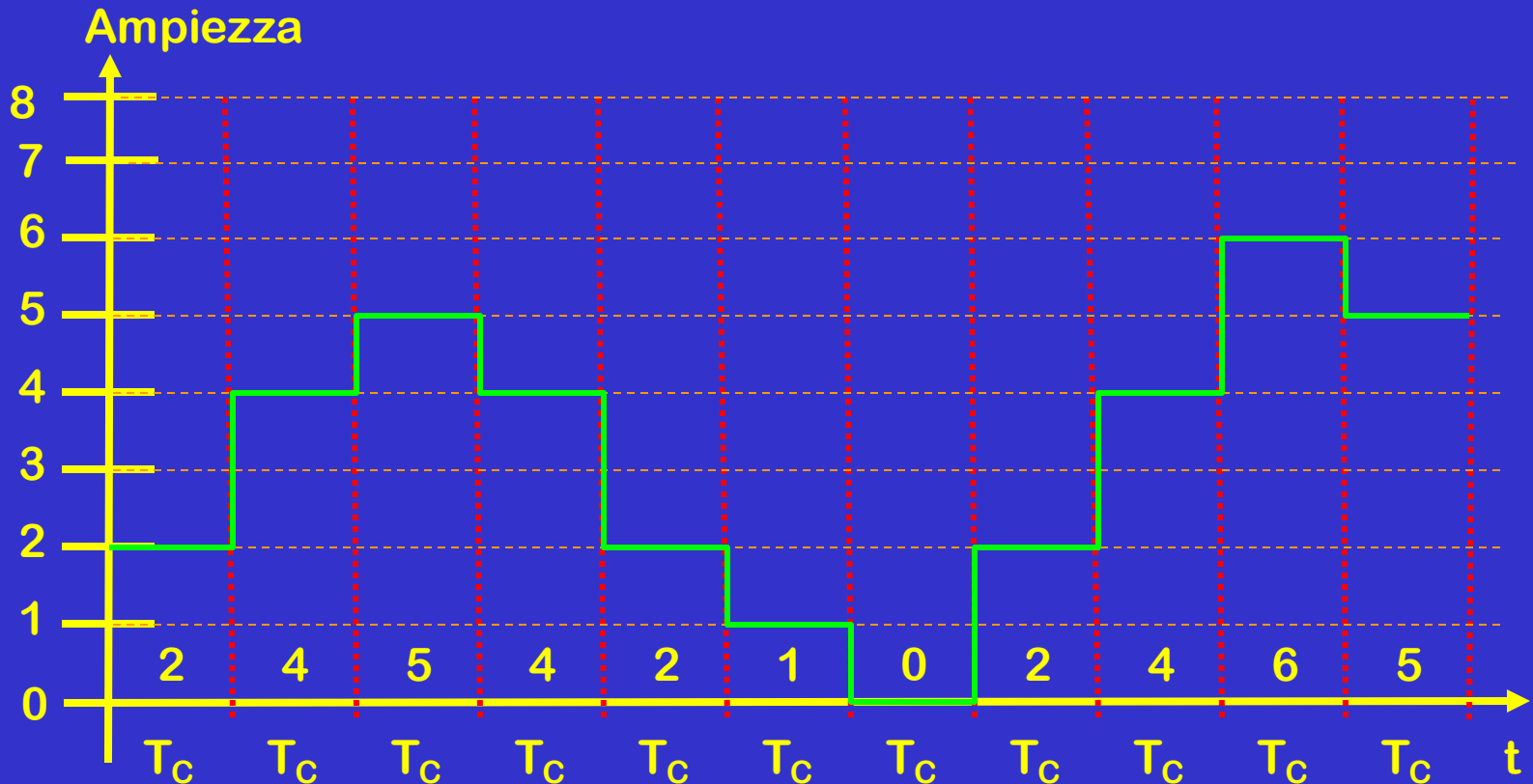
Segnale numerico 1

- Viene assegnato al segnale campionato il valore numerico relativo all'intervallo di appartenenza (es. associazione a limite inferiore)



Segnale numerico 2

- Al segnale quantizzato si può associare il valore numerico “codificato”



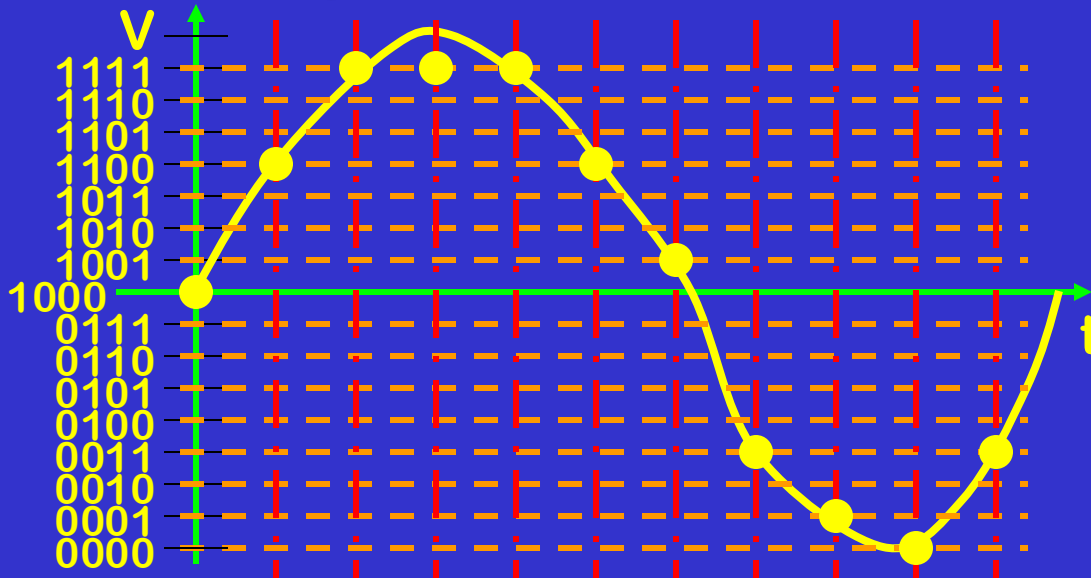
Codifica Binaria

- Un valore numerico può essere codificato in un numero N di segnali digitali, i bit (e.g. N=3 in tabella; N bit codificano 2^N valori; Es. con un ADC a N=8 bit rappresento 256 intervalli, con N=20 bit sono circa 1 milione di intervalli)

Numero	A	B	C
	MSB		LSB
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

Conversione A to D

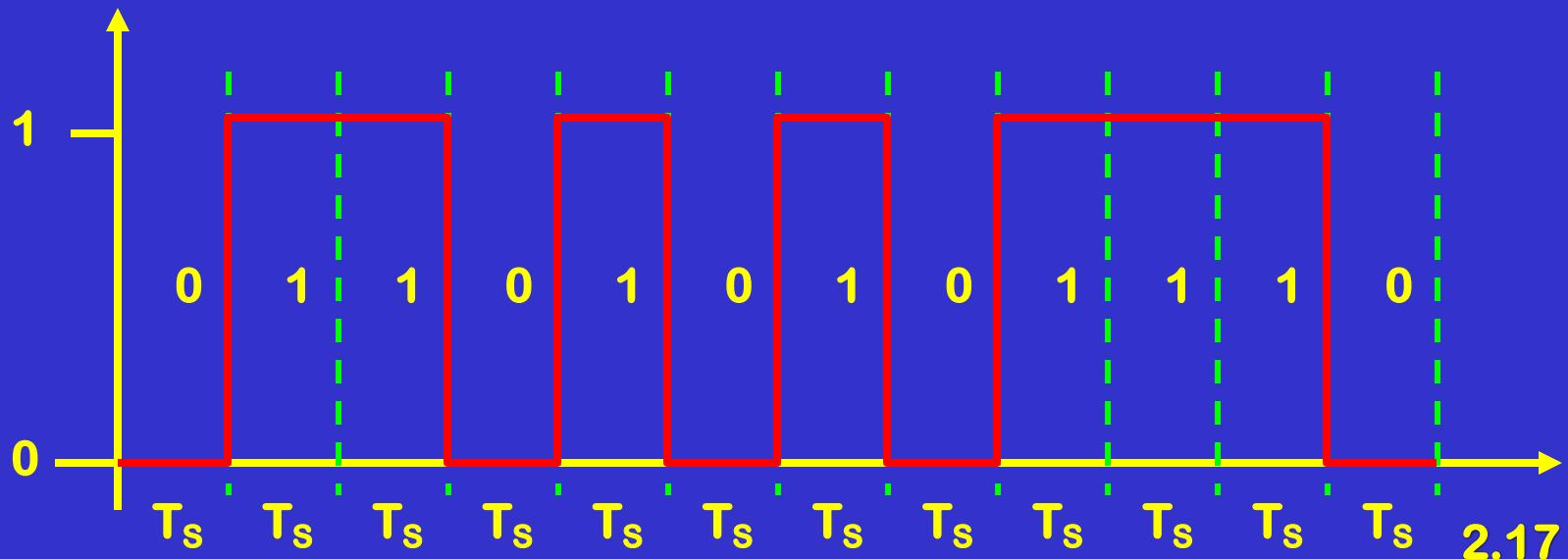
- Codifica PCM (Pulse Code Modulation)
- Rappresentazione in traslazione con segnali positivi e negativi



Segnale Digitale (da Digit=cifra)

- Segnale numerico che può assumere solo due valori “0” e “1”
 - Al valore “0” si associa, per esempio, la grandezza elettrica 0 V
 - Al valore “1” si associa, per esempio, la grandezza elettrica V_{lim} (per “1” si trovano valori tra 1V e 5V come compromesso tra consumo di potenza e robustezza a disturbi)

Nell'esempio di trasmissione seriale (come es. in USB, CAN, I2C,...)
 T_s (bit) diverso da T_c (sample), $T_s = T_c/N$ con N numero di bit



Errore di Quantizzazione

- Il segnale “Numerico” può assumere solo un numero finito di valori
 - Discretizzazione
- Il segnale Analogico può variare con continuità
- Il segnale numerico rappresenta il segnale analogico solo in certi istanti, in altri istanti si commette un errore

Caratteristica di trasferimento

- Grafico della grandezza d'uscita in funzione della grandezza d'ingresso
- Esempio rampa lineare con intervallo quantizzazione
 $\Delta = V_{fs}/2^N = 8 \text{ Volt}/8 \text{ intervalli} = 1 \text{ V}$

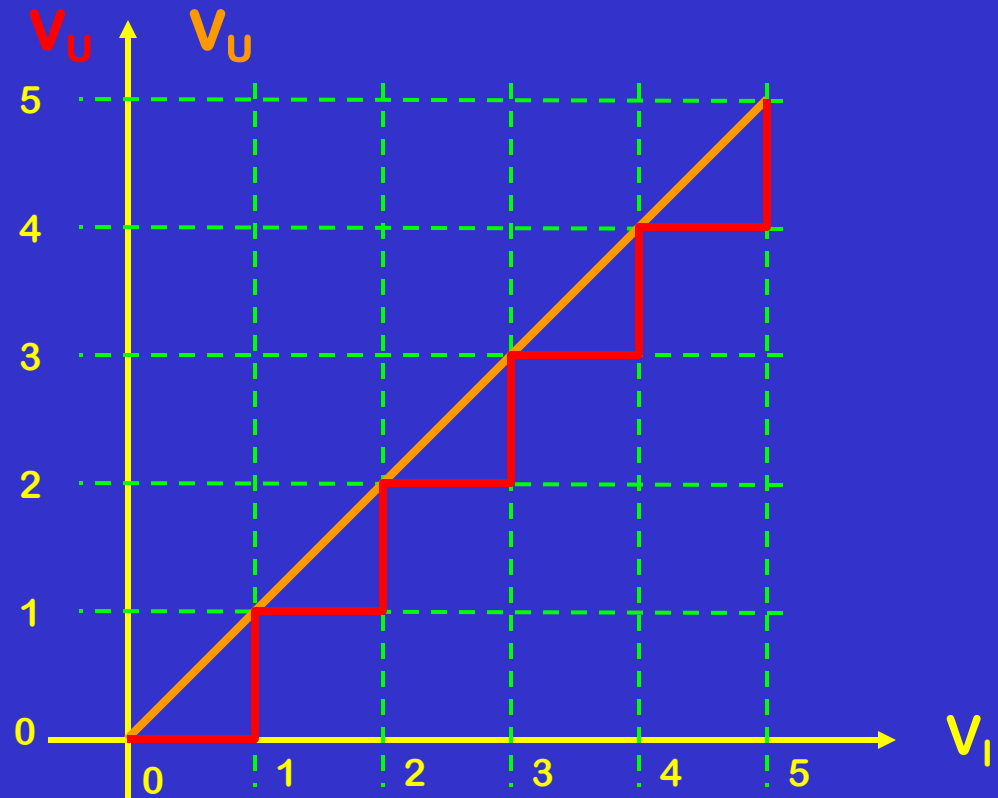
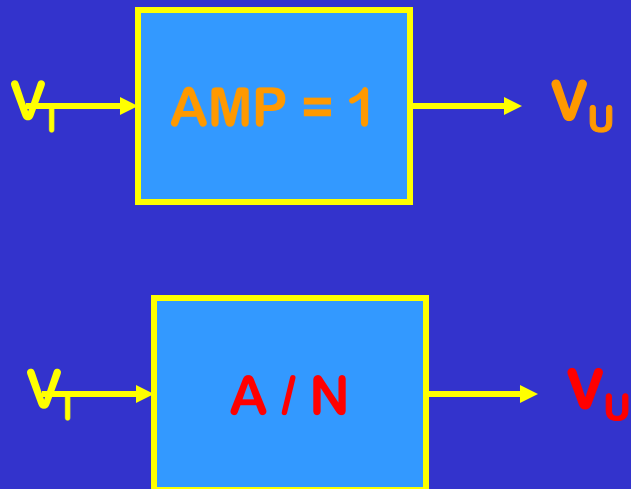


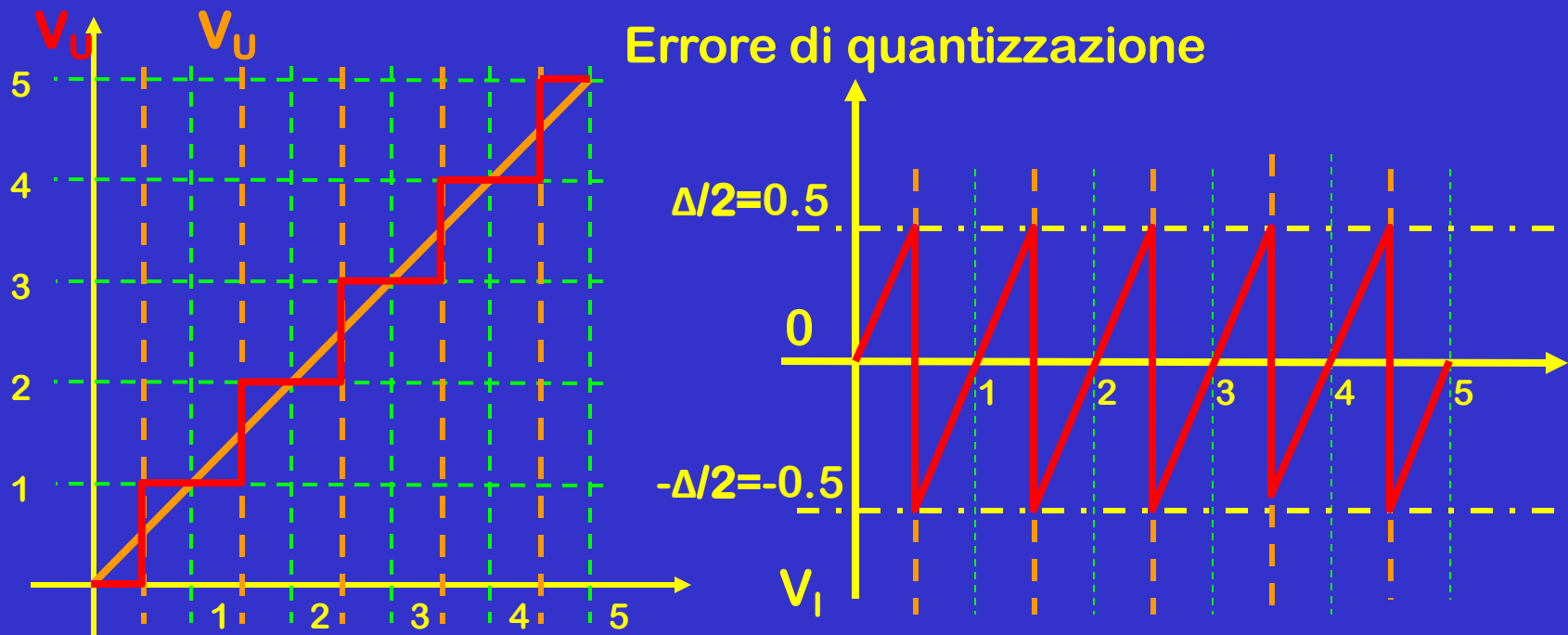
Grafico dell'Errore di Quantizzazione

- Errore di Quantizzazione
 - Differenza, in un determinato istante, fra il valore del segnale analogico e valore del segnale numerico



Minimizzazione dell'ERRORE

- Scegliendo il valore di commutazione in corrispondenza $n+0.5$ si ha il modulo dell'errore al massimo è pari a $\Delta/2$



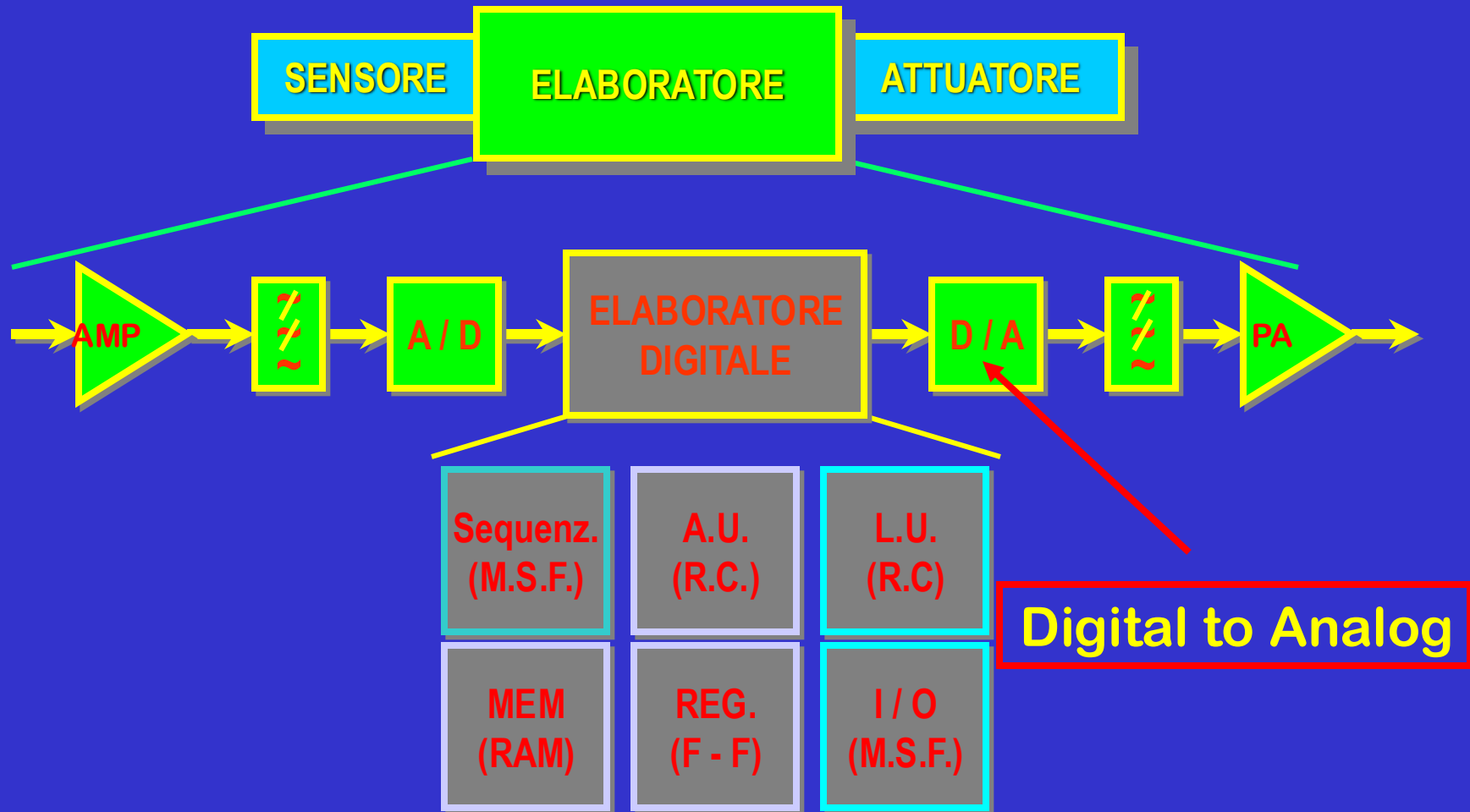
Riepilogo

- Segnale analogico
 - Un segnale analogico ha un'ampiezza che varia in maniera continua nel tempo
- Segnale campionato
 - Viene “congelato” il valore che il segnale analogico assume a intervalli regolari di tempo (Sample & Hold – S&H)
- Segnale numerico 1
 - Viene assegnato al segnale campionato il valore numerico relativo all'intervallo di appartenenza
- Segnale numerico 2
 - Al segnale quantizzato si può associare il valore numerico “codificato”
- Segnale Digitale
 - Particolare segnale numerico che può assumere solo due valori “0” e “1”,
 - Al valore “0” si associa, per esempio, 0 V
 - Al valore “1” si associa, per esempio, 5 V

Numero bit e specifiche di errore

- N e' il numero di bit, V_{fs} è la tensione di fondo scala
- Specifica Errore Assoluto (E_{ass}) $\leq V_{fs}/2^{N+1}$
- Specifica Errore Relativo $= (E_{ass}/V_{fs}) \leq 1/2^{N+1}$
- SQNR (Signal to Quantization Noise Ratio) $= 6 \text{ dB} \cdot N$

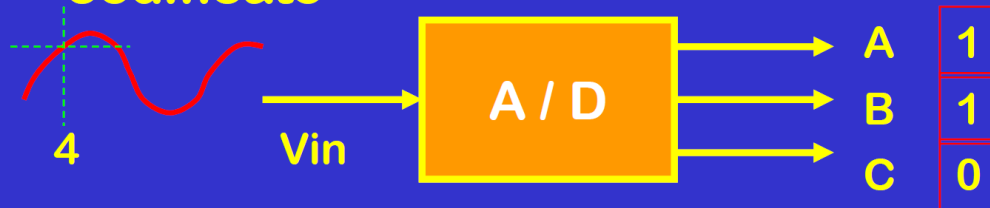
Sistema Elettronico



Conversione D to A

✧ Convertitore A/D

- segnale analogico \Rightarrow segnale digitale codificato



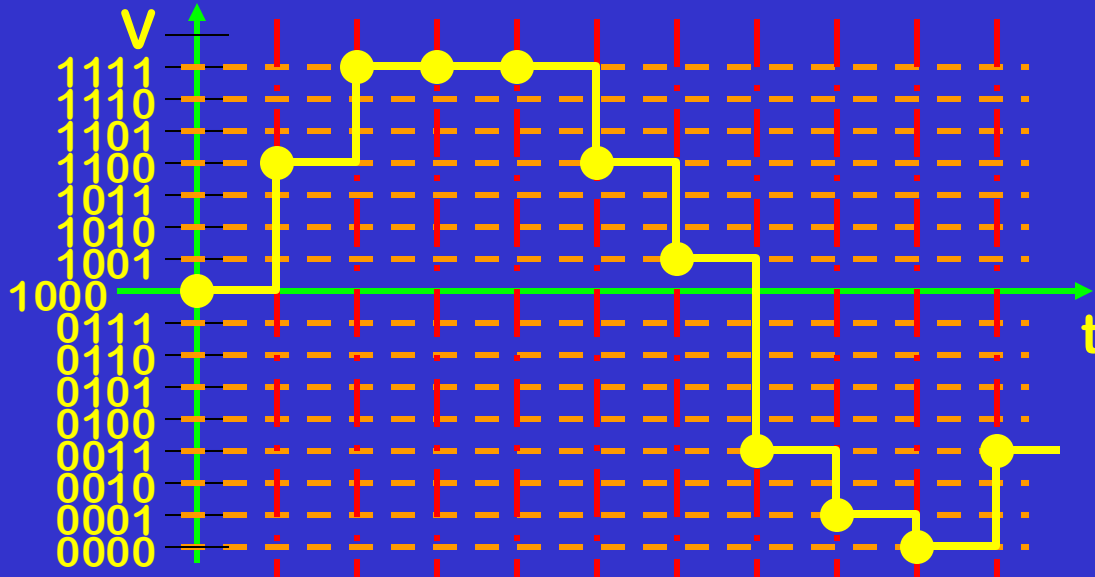
✧ Convertitore D/A

- segnale digitale codificato \Rightarrow segnale analogico



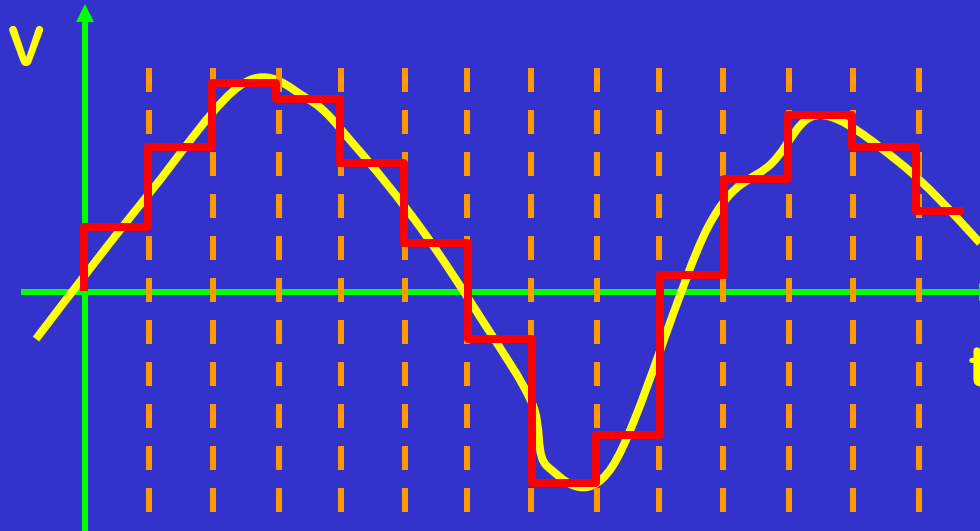
Conversione D to A

- **Convertitore PAM (Pulse Amplitude Modulation)**
- **Complementare al PCM**



Filtro d'uscita

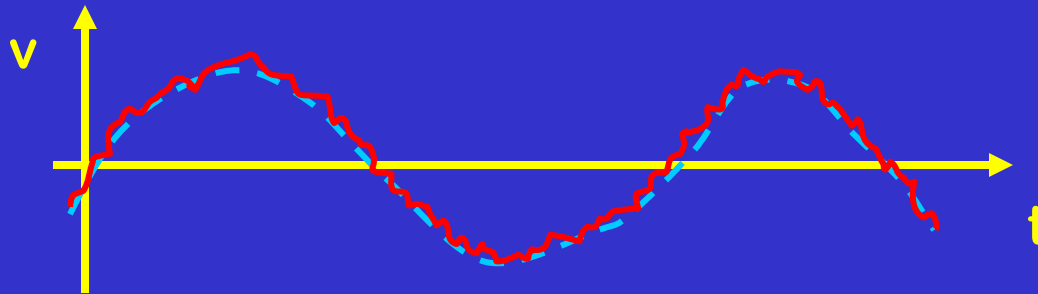
- La ricostruzione mediante gradinata presenta uno spettro con alte frequenze



- Per eliminare la “scalinata” si deve filtrare le alte frequenze (si inserisce un filtro passa-basso in uscita accordato alle frequenze in cui attuatore può lavorare)

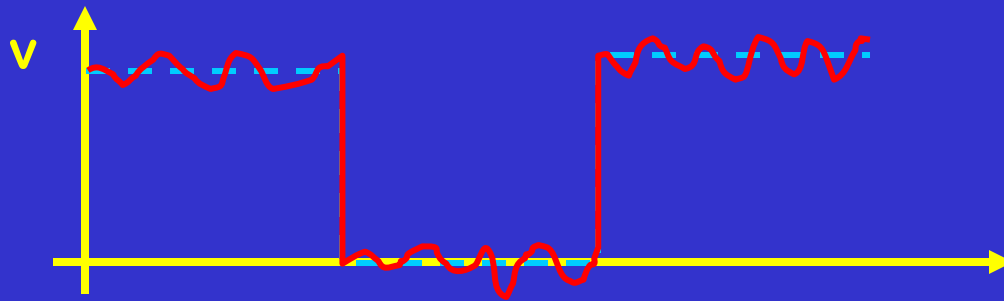
Rumore nei Sistemi Analogici

- **DEFINIZIONE**
 - Segnale estraneo dovuto a:
 - Agitazione termica degli elettroni in resistenze
 - Accoppiamento induttivo o capacitivo con segnali di altri sistemi
- Il rumore si somma direttamente al segnale analogico e quindi lo deteriora
 - Il rumore viene amplificato insieme al segnale

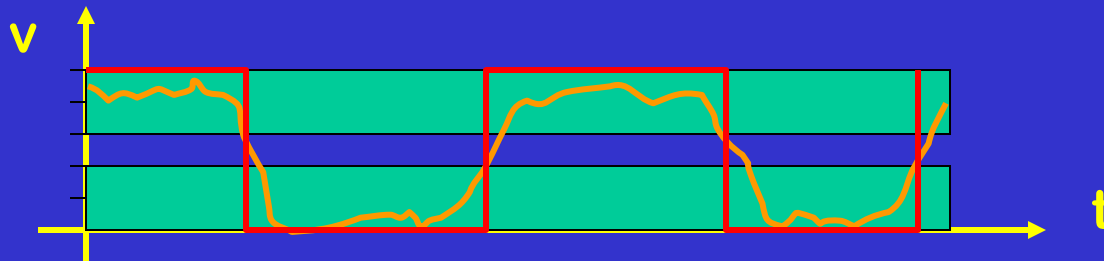


Rumore nei Sistemi Digitali

- Il rumore si somma direttamente al segnale digitale e quindi lo deteriora



- È possibile ricostruire il segnale definendo gli intervalli entro i quali si attribuisce il valore alto e il valore basso
 - $0V > \text{basso} > 2V$; $3V > \text{alto} > 5$



Rumore nei Sistemi Digitali

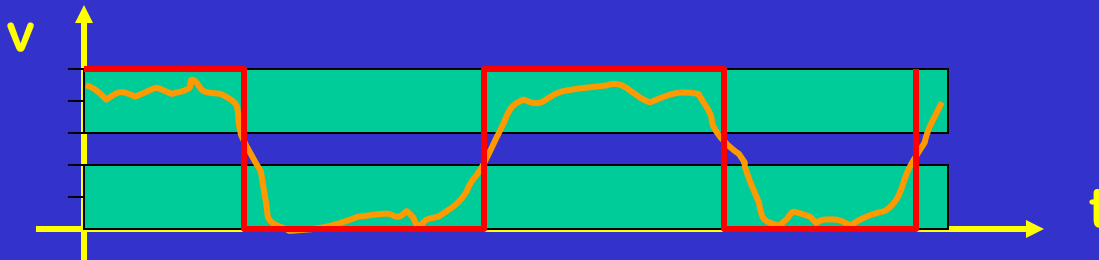
- Segnale digitale più robusto a disturbi di analogico grazie a margini di rumore. Più è grande range dinamico segnale digitale (es livello 1 associato a 5V invece che 1 V) e più immunità ai disturbi è elevata (ma consumo più potenza).
- È possibile ricostruire il segnale definendo gli intervalli entro i quali si attribuisce il valore alto e il valore basso

$0V > \text{basso} > 2V$; $3V > \text{alto} > 5V$ (caso alimentazione a 5 V)

Margini di 2V

$0V > \text{basso} > 0.4V$; $0.6V > \text{alto} > 1V$ (caso alimentazione a 1 V)

Margini di 0.4V



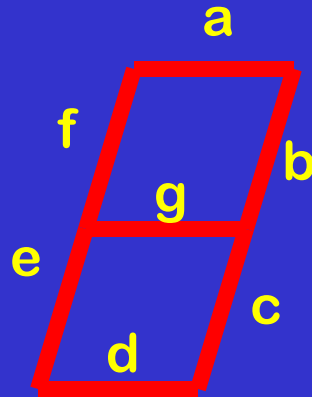
BCD (Binary-Coded Decimal numbers)

- Necessità di rappresentare i numeri decimali in codice binario
- 8421 BCD
- si codifica in binario ciascuna cifra decimale utilizzando i primi 10 numeri binari su 4 bit
- Esempio
- 453_{10}
- 010001010011
- è possibile eseguire somme e sottrazioni in BCD

4	5	3
0100	0101	0011

BCD – Sette Segmenti

- Per visualizzare le cifre decimali si usa frequentemente un Display a sette segmenti



- È possibile realizzare un codificatore
 - BCD SETTE SEGMENTI

Tabella di “Corrispondenze”

base 10					a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1

Codice Gray

- **Codici a distanza unitaria**
 - La codifica di n e $n+1$ differiscono sempre di un solo bit

1

0
1

2

0	0
0	1
1	1
1	0

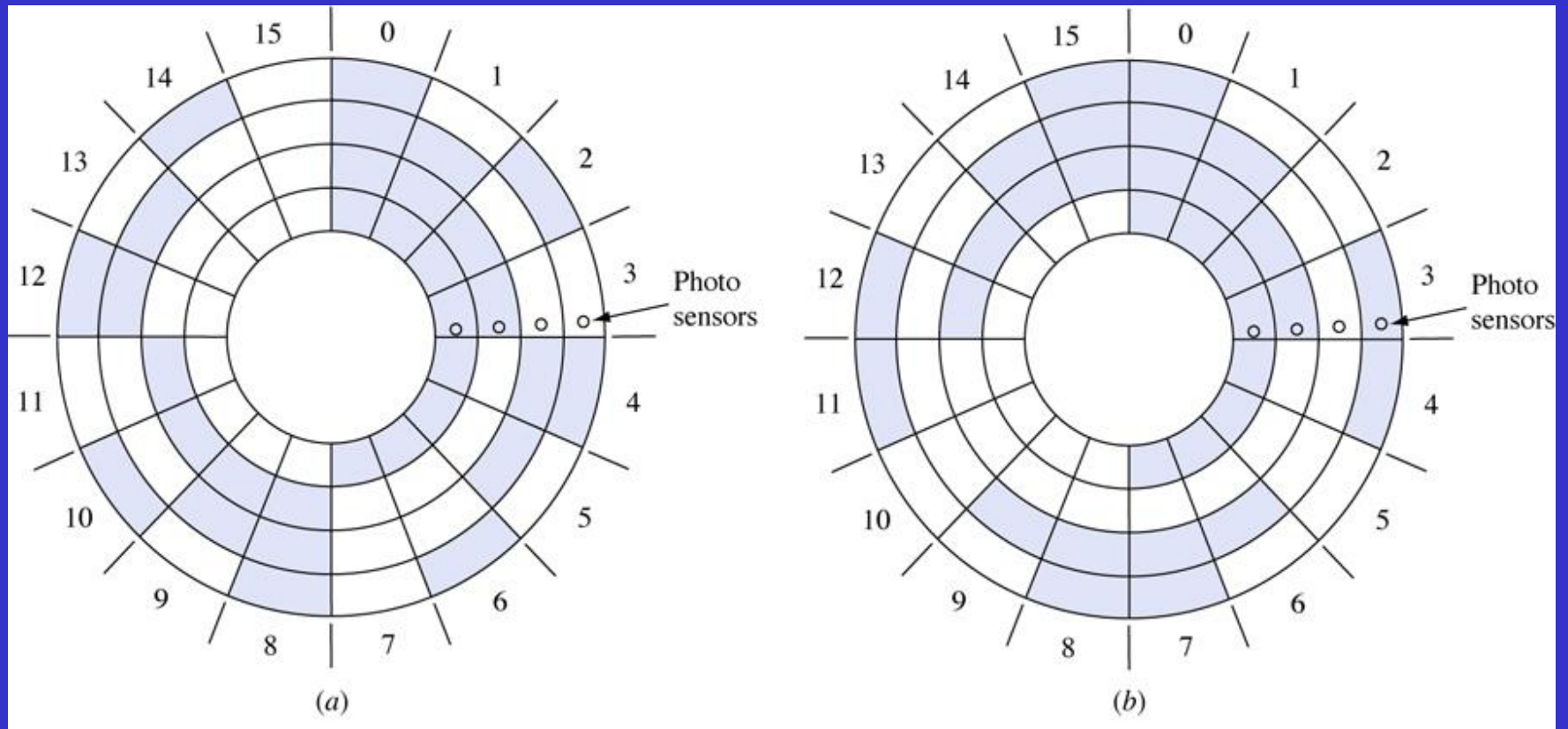
3

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

Codice Gray a 4 bit

Dec	ExD	Binario				Gray			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	3	0	0	1	1	0	0	1	0
4	4	0	1	0	0	0	1	1	0
5	5	0	1	0	1	0	1	1	1
6	6	0	1	1	0	0	1	0	1
7	7	0	1	1	1	0	1	0	0
8	8	1	0	0	0	1	1	0	0
9	9	1	0	0	1	1	1	0	1
10	A	1	0	1	0	1	1	1	1
11	B	1	0	1	1	1	1	1	0
12	C	1	1	0	0	1	0	1	0
13	D	1	1	0	1	1	0	1	1
14	E	1	1	1	0	1	0	0	1
15	F	1	1	1	1	1	0	0	0

ENCODER 1



Codici alfanumerici

- **Necessità di rappresentare caratteri alfabetici con un codice binario**
- **Alfabeto = 26 simboli diversi**
- **Necessità di maiuscole e minuscole**
- **Numeri = 10 simboli**
- **Caratteri speciali**
- **Codice ASCII a 128 simboli**
- **UNICODE 16 bit simboli e ideogrammi
(universale)**

Codice ASCII

				$b_6 b_5 b_4$							
b_3	b_2	b_1	b_0	000	001	010	011	100	101	110	111
0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
0	0	0	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1	1	0	1	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1	1	1	0	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1	1	1	1	SI	US	/	?	O	—	o	DEL

Riconoscimento d'errore

- Errore di trasmissione a distanza (Disturbi)
- Stringa digitale di “0” e “1”
- L'errore si manifesta nel convertire uno 0 in 1 o viceversa
- Su una parola di “K” bit la probabilità che ci siano due errori è molto bassa
- Codici a ridondanza (già visti “5043210” e due su cinque)
- Esempio
 - Numero 7 \Rightarrow 1000100 ricevuto 1010100

Bit di parità

- Necessità di individuare eventuali errori di trasmissione
- Si aggiunge un bit (rappresentazione su 8 bit)
- Il numero complessivo di “1” è sempre pari

Simbolo	Codice ASCII	Parità PARI	
T	1010100	11010100	
7	0110111	10110111	
-	0101101	00101101	

Esempio riconoscimento errore con bit di parità

- Sto usando 1 bit su 8 bit come protezione
- Riconoscimento di errore possibile se sbaglio 1 o in genere un numero dispari di bit

Codice trasmesso	Codice ricevuto	Parità al ricevitore	Per ricevitore
11010100	11010100	1 1010100	OK
11010100	11000100	0 1000100	errore
10110111	10111111	0 0111111	errore
00101101	10101101	0 0101101	errore

Esempio non riconoscimento errore con bit di parità

- Sto usando 1 bit su 8 bit come protezione
- Riconoscimento di errore non possibile se sbaglio 2 o in genere un numero pari di bit

Codice trasmesso	Codice ricevuto	Parità al ricevitore	Per ricevitore
10110111	11111111	11111111	OK
00101101	11101101	11101101	OK

Esempio non riconoscimento errore con bit di parità

- Sto usando 1 bit su 8 bit come protezione
- Riconoscimento di errore non possibile se sbaglio 2 o in genere un numero pari di bit
- Per codici lunghi e dove serve alta safety si usano tecniche più complesse del bit di parità
- Si parla di Error Detection And Correction (EDAC)
- Comunicazione seriale CAN (Controller Area Network) usa codici CRC (Cyclic Redundant Code) a 15 bit per proteggere fino a 64 bit dati oltre a meccanismo di ack (acknowledgment)
- Comunicazione seriale RS232 usa 1 bit di parità per proteggere 8 bit di dati