

Corso di

Misure per l'Automazione e la Produzione Industriale

(Studenti Ingegneria della Produzione Industriale III anno NO)

Lezione introduttiva

Ing. Marco Laracca
m.laracca@unicas.it



*Gruppo Misure Elettriche ed
Elettroniche*

Facoltà di Ingegneria, DAEIMI.

Università degli Studi di Cassino

Il corso

		DATA	DESCRIZIONE	T	E	L	DISP	LEZIONE	ESER	ORE	AULA
LEZ.	1	martedì 26 settembre 2006	INTRODUZIONE + concetti di acquisizione, campionamento, quantizzazione	T			DISP_1	LEZ_MAPI_1		2	T1
LEZ.	2	martedì 26 settembre 2006	MISURA TENSIONE E CORRENTE +CONSUMO STRUM. + IL MULT. DIG.	T			DISP_2	USO DMM HP		3	T1
LEZ.	3	venerdì 29 settembre 2006	IL CONTATORE ELETTRONICO + CALCOLO INCERTEZZA	T						2	T1
LEZ.	4	martedì 3 ottobre 2006	ESERCITAZIONE - Misura di tensione e corrente con il multimetro digitale			L			Es_1	2	T1
LEZ.	5	martedì 3 ottobre 2006	MISURE DI RESISTENZA CON TECNICHE V/A; CONSUMO STRUMENTI	T			DISP_3			3	T1
LEZ.	6	venerdì 6 ottobre 2006	ESERCITAZIONE - Misure di Resistenze (Multimetro e V/A)			L			Es_2	2	T1
LEZ.	7	martedì 10 ottobre 2006	L'OSCILLOSCOPIO ANALOGICO E NUMERICO	T			DISP_4			2	T1
LEZ.	8	martedì 10 ottobre 2006	ESERCITAZIONE - Misure di Tempo e Frequenza con il Contatore Elettronico			L	DISP_5		Es_3	3	T1
LEZ.	9	venerdì 13 ottobre 2006	I SISTEMI AUTOMATICI DI MISURA	T			DISP_6	LEZ_MAPI_2		2	T1
LEZ.	10	martedì 17 ottobre 2006	ESERCITAZIONE - Introduzione all'uso dell'oscilloscopio numerico			L			Es_4	2	T1
LEZ.	11	martedì 17 ottobre 2006	LE PROBLEMATICHE DELL'INTERFACCIAMENTO	T			DISP_6	LEZ_MAPI_3		3	T1
LEZ.	12	venerdì 20 ottobre 2006	I BUS DI COMUNICAZIONE DATI	T			DISP_6	LEZ_MAPI_3		2	T1
LEZ.	13	martedì 24 ottobre 2006	INTRODUZIONE AL LABVIEW	T			DISP_7	LEZ_MAPI_4		2	T1
LEZ.	14	martedì 24 ottobre 2006	ESERCITAZIONE - LabVIEW 1			L			Es_5	3	S1
LEZ.	15	venerdì 27 ottobre 2006	LABVIEW:Strutture di controllo;Grafici; Array e cluster;Formula node	T			DISP_7	LEZ_MAPI_5		2	T1
LEZ.	16	martedì 31 ottobre 2006	ESERCITAZIONE - LabVIEW 2			L			Es_6	2	S1
LEZ.	17	martedì 31 ottobre 2006	LABVIEW:Stringhe; I/O su file;Variabili locali e globali;Property nodes;Appl.	T			DISP_7	LEZ_MAPI_6		3	T1
LEZ.	18	venerdì 3 novembre 2006	ESERCITAZIONE - LabVIEW 3			L			Es_7	2	S1
LEZ.	19	martedì 7 novembre 2006	I BUS DI COMUNICAZIONE SERIALI:RS232;RS485;RS422	T			DISP_8	LEZ_MAPI_7		2	T1
LEZ.	20	martedì 7 novembre 2006	ESERCITAZIONE - II BUS seriale			L			Es_8	3	S1
LEZ.	21	venerdì 10 novembre 2006	ESERCITAZIONE - II BUS seriale			L			Es_9	2	S1
LEZ.	22	martedì 14 novembre 2006	ESERCITAZIONE - II BUS seriale			L			Es_10	2	S1
LEZ.	23	martedì 14 novembre 2006	SENSORI - Caratteristiche statiche e dinamiche	T			DISP_9	LEZ_MAPI_8		3	T1
LEZ.	24	venerdì 17 novembre 2006	SENSORI - Principi di funzionamento	T			DISP_9	LEZ_MAPI_8		2	T1
LEZ.	25	martedì 21 novembre 2006	SENSORI - Circuiti di condizionamento	T			DISP_9	LEZ_MAPI_8		2	T1
LEZ.	26	martedì 21 novembre 2006	ESERCITAZIONE - Condizionamento di un sensore			L			Es_10	3	S1
LEZ.	27	venerdì 24 novembre 2006	ESERCITAZIONE - Condizionamento di un sensore			L			Es_10	2	S1



Le dispense

<http://webuser.unicas.it/dweb>

<http://www.unicas.it>

...

Didattica

...

Facoltà di Ingegneria

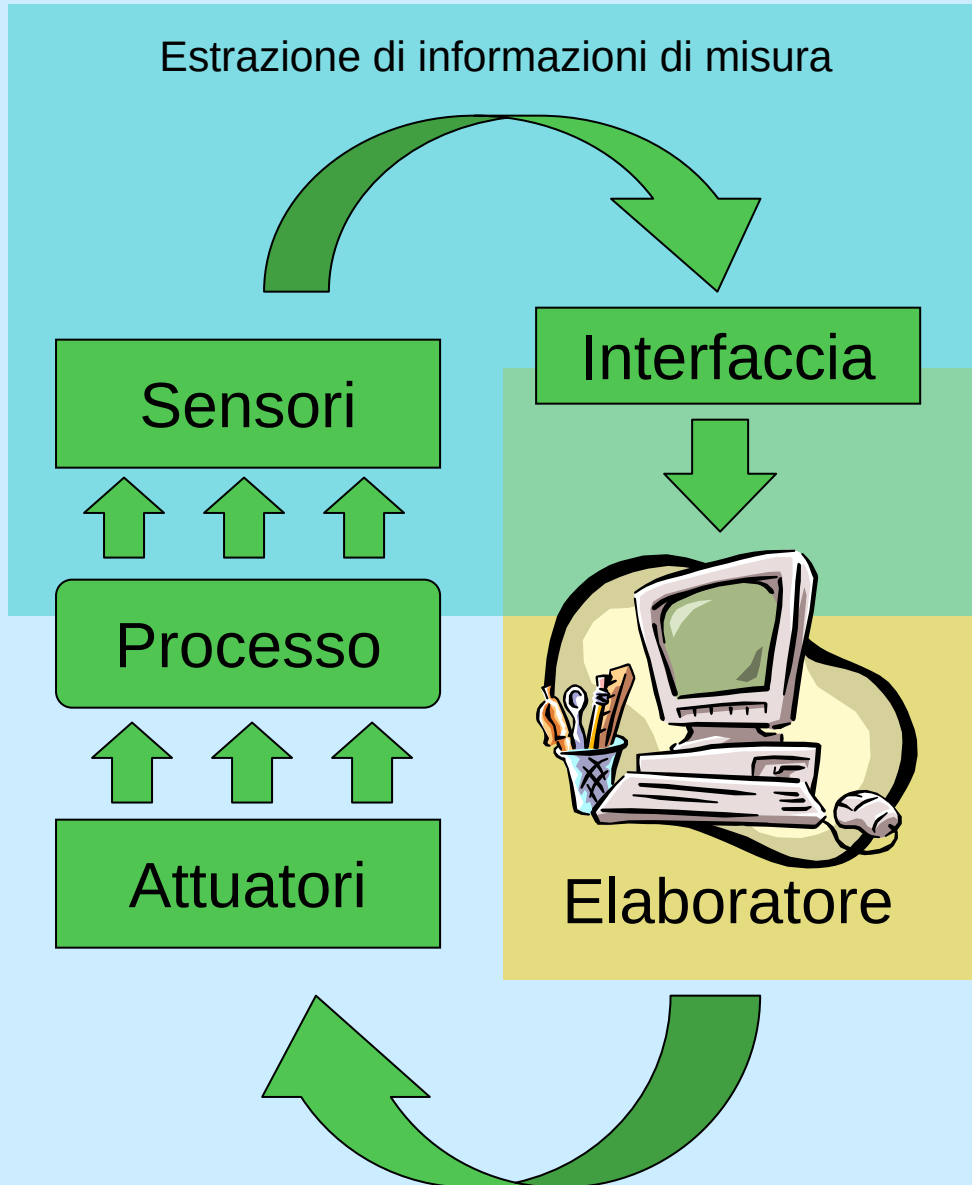
...

D@web

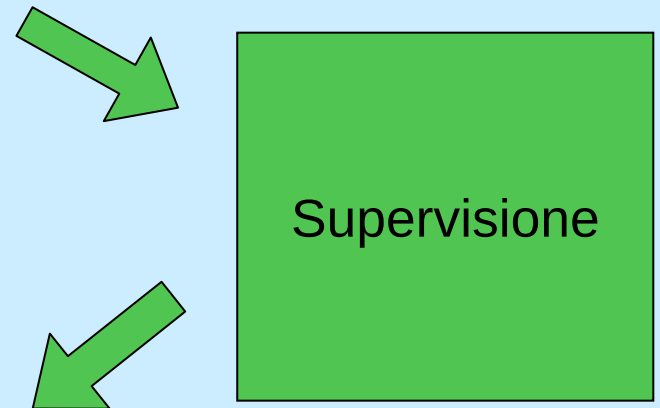


Le misure nel processo industriale

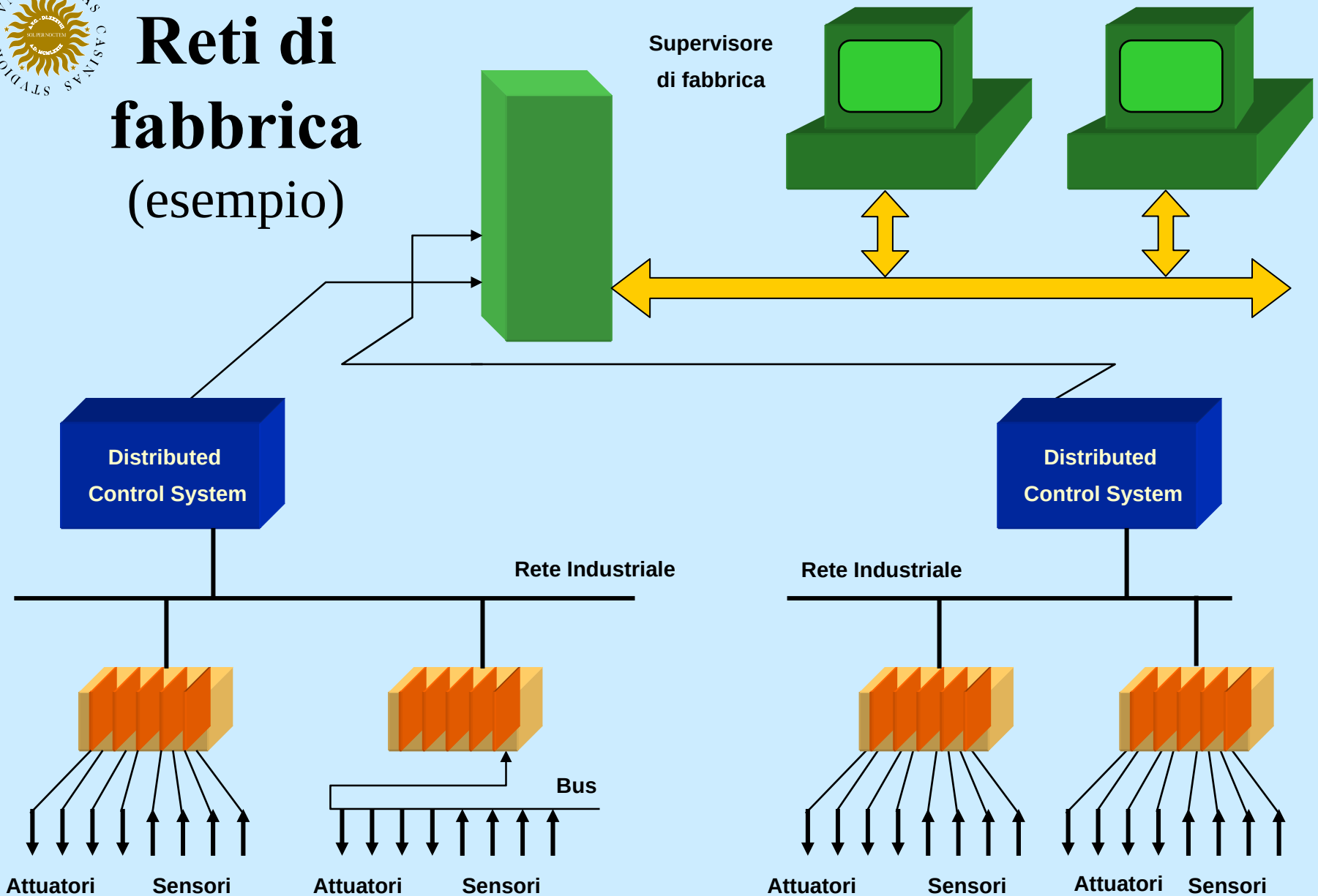
- Il prodotto finale si ottiene mediante azioni su materiali o grandezze fisiche.
- La corretta gestione delle azioni svolte durante il processo produttivo richiede una **verifica contemporanea al loro svolgersi**, attraverso opportune **misurazioni**.
- I risultati di tali verifiche consentono la modifica delle azioni nelle fasi successive (**controllo**).
- Il controllo può essere effettuato da un operatore umano oppure da un sistema automatico (**controllo automatico**).



Il controllo di processo



Reti di fabbrica (esempio)





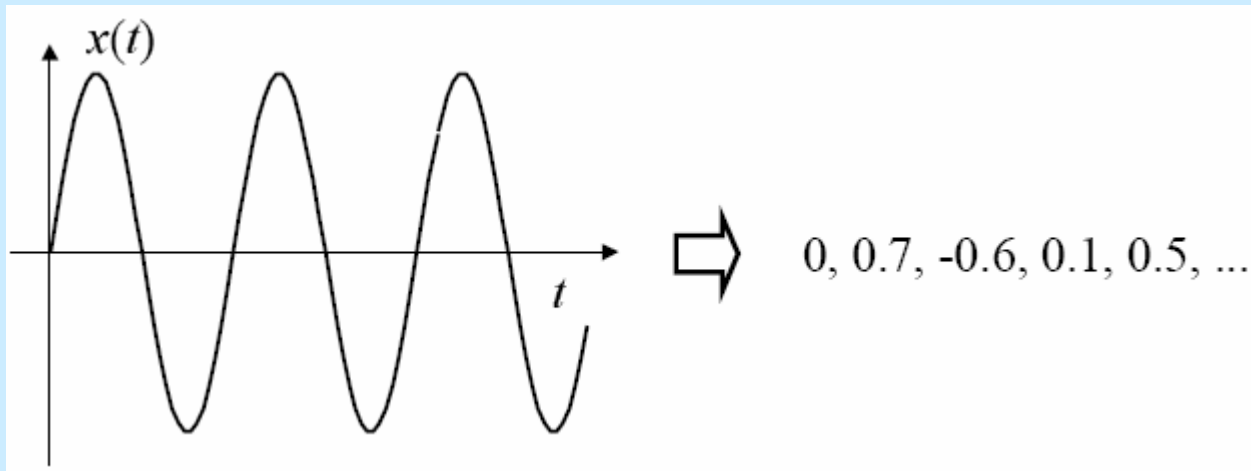
Requisiti per il sistema di misura

- Tempi di misura inferiori a quelli caratteristici del processo
 - ✓ Costante di tempo dei sensori
 - ✓ Velocità di trasmissione dei dati tra sensori ed unità di elaborazione / supervisione
 - ✓ Tempi di elaborazione del *software* di misura
- Elevata affidabilità
 - ✓ Impiego di sensori adatti alle particolari condizioni ambientali
 - ✓ Canale di trasmissione con rapporto S/N adeguato
 - ✓ Assenza di malfunzionamenti nel software di misura
- Riferibilità

Segnali analogici o digitali?

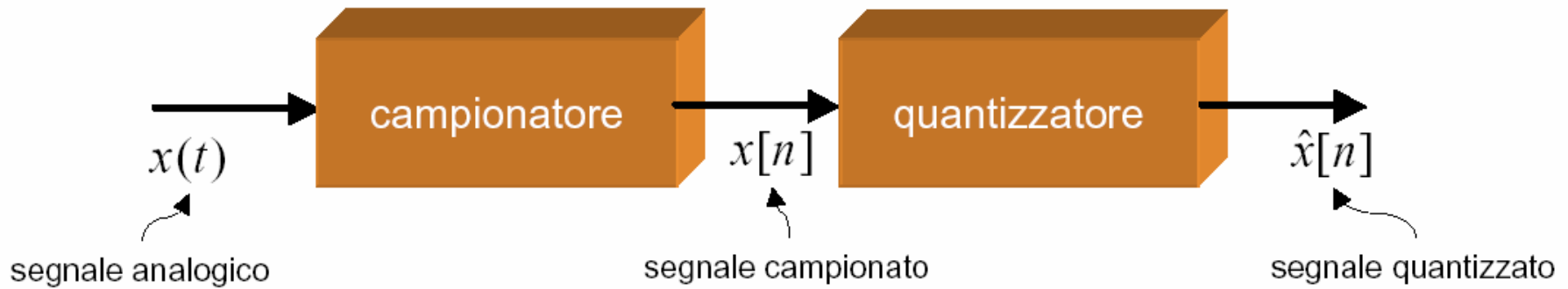
Prima di poter essere elaborati da un personal computer i segnali di misura debbono essere convertiti in forma numerica.

Il problema: trasformare un segnale analogico in un flusso numerico di dati senza perdita di informazione



Lo strumento che effettua questa operazione è l'unità di conversione o convertitore Analogico digitale (ADC).

La conversione A/D



- La conversione A/D effettua **due** distinte operazioni:
 - **campionamento**: discretizzazione dei tempi (dal tempo continuo al tempo discreto);
 - **quantizzazione**: discretizzazione delle ampiezze (dalle ampiezze continue alle ampiezze discrete).



Il campionamento: introduzione

Con il termine “campionamento” si indicano, in generale, le modalità di raccolta di una quantità discreta di informazioni che sia **rappresentativa** di un fenomeno.

Esempi:

Scelta di 1000 persone alle quali sottoporre un questionario da cui dedurre (“*inferire*”) le preferenze della popolazione di una città.

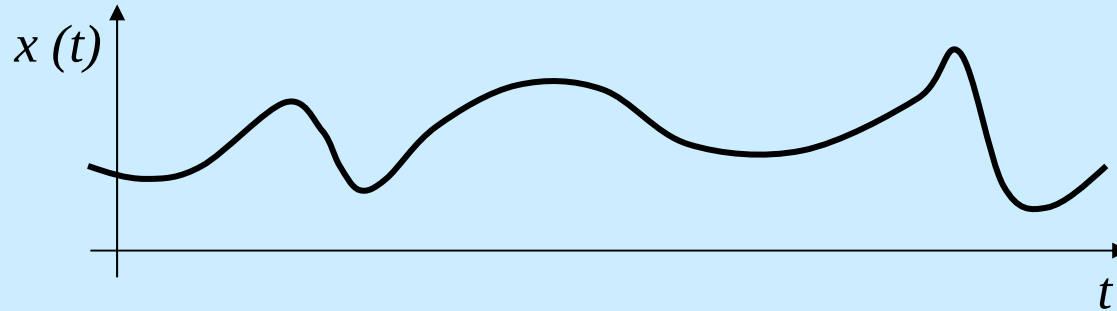
Raccolta dei valori della concentrazione di una sostanza inquinante lungo un fiume. Problema: in quali e quanti punti raccolgo i dati?

Monitoraggio della temperatura corporea di un paziente. Problema: con che cadenza (“*frequenza*”) raccolgo le misure?

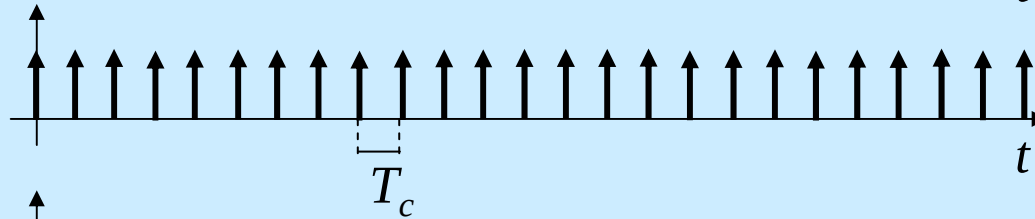
Ricostruire nel migliore dei modi l’andamento di una grandezza fisica rispetto al tempo (“*segnale*”) nella memoria (che è discreta e limitata) di un calcolatore o di uno strumento numerico.

Campionamento

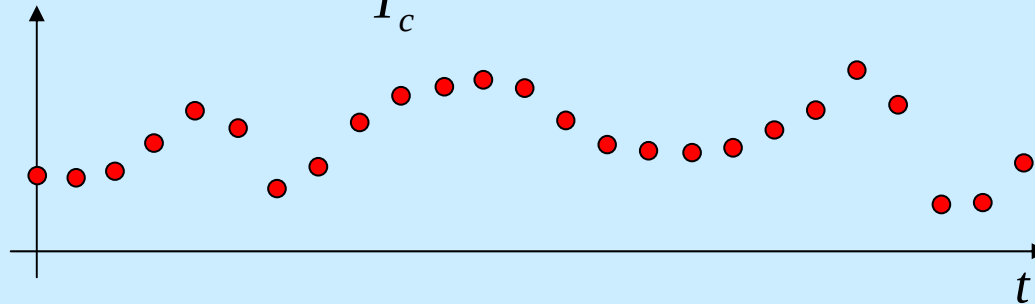
Segnale
analogico



Impulsi di
campionamento



Segnale
campionato



Il segnale $x(t)$ è un segnale continuo nel tempo e nelle ampiezze. Cioè qualsiasi sia l'intervallo di osservazione tale segnale è sempre rappresentato da un numero infinito di punti.

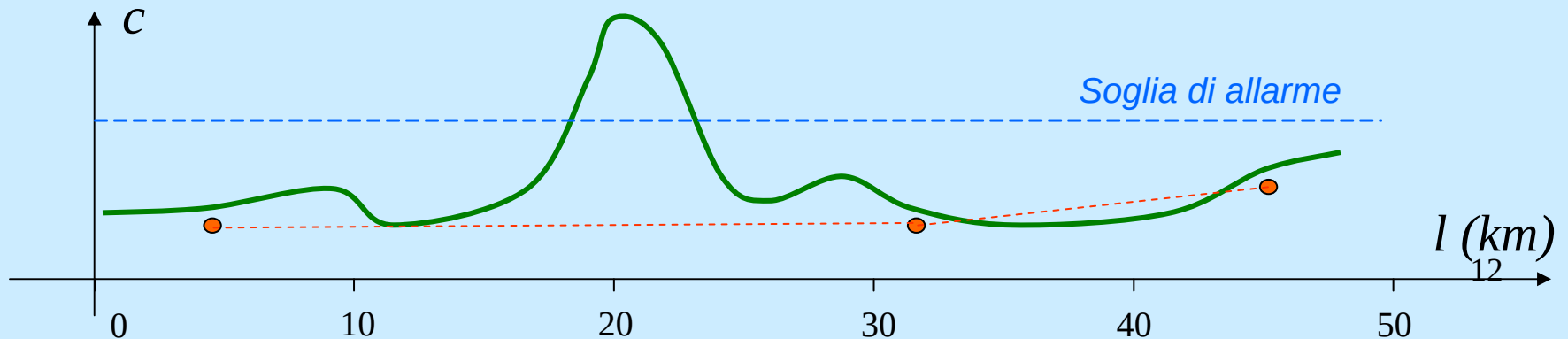
Quando si effettua un campionamento quello che si cerca di fare è di rappresentare lo stesso segnale con un numero finito di punti.

Il problema della frequenza di campionamento

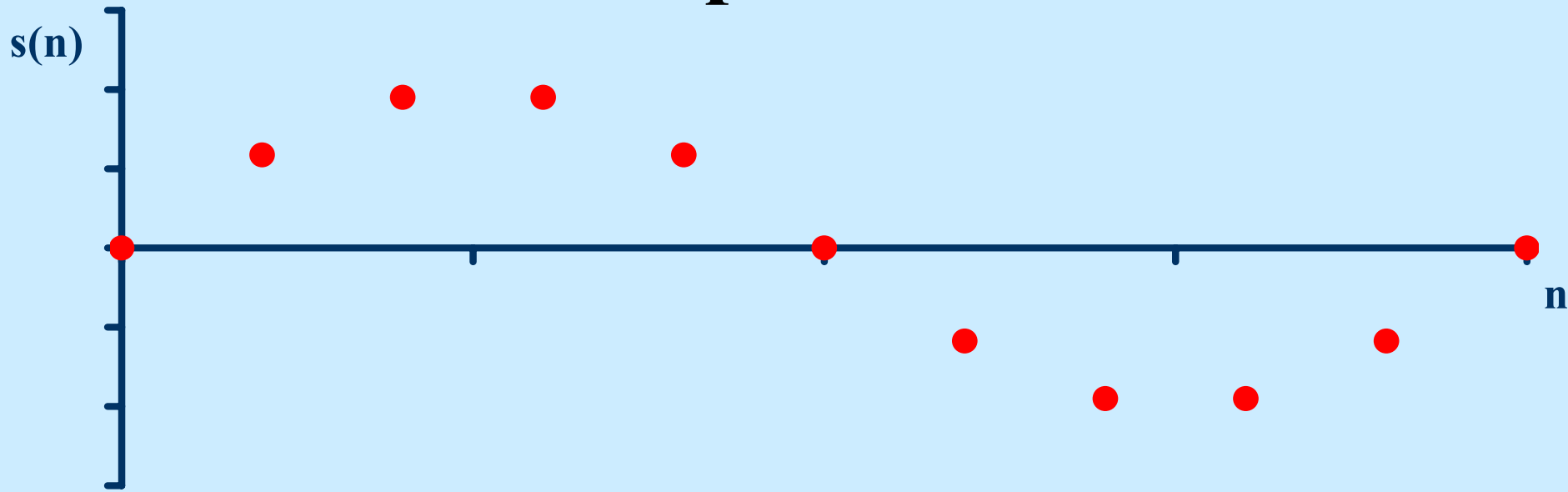
Quando si raccolgono valori discreti e si desidera che siano rappresentativi della grandezza continua dalla quale sono estratti, è fondamentale che i punti o gli istanti di campionamento siano **sufficientemente vicini** tra loro.

Punti di campionamento troppo distanti possono dare luogo a significative **perdite di informazione**.

Punti di campionamento troppo vicini comportano uno **spreco di risorse** (tempo di misura, memoria per la conservazione dei dati).



Il problema della frequenza di campionamento



Il problema fondamentale dell'elaborazione numerica di segnali è stabilire se e come una sequenza, ottenuta dal campionamento di un segnale tempo continuo, contiene le stesse informazioni del segnale di partenza. Bisogna, cioè, verificare se il contenuto informativo associato al segnale nel dominio del tempo continuo si mantiene inalterato attraverso l'operazione di campionamento. Bisogna quindi verificare se è possibile estrarre dal segnale ottenuto nel dominio del tempo discreto le stesse informazioni associate al segnale nel dominio del tempo continuo



Il problema della frequenza di campionamento

Se così non fosse, possono verificarsi due condizioni:

alterazione del contenuto informativo;

aggiunta di informazioni ridondanti.

Per superare tali problemi viene in aiuto un importantissimo teorema detto “***del campionamento***” od anche “***Teorema di Shannon***”

Questo teorema garantisce che se il segnale di partenza ha spettro limitato alla frequenza f_0 , cioè se la massima frequenza presente nel segnale da campionare è f_0 , allora la sequenza campionata contiene le stesse informazioni del segnale di partenza se la frequenza f_c di campionamento è tale che sia:

$$f_c > 2 f_0$$



Teorema di Fourier

Una qualunque funzione periodica $x(t)$ è sviluppabile in una serie costituita da un termine costante e da una somma di infinite sinusoidi:

$$x(t) = A + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\omega_0 t)$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \quad A = \frac{T}{2\pi} \int_0^{2\pi} x(t) dt$$

$$f_0 = \frac{1}{T} \quad A_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(n\omega_0 t) dt$$

$$f_n = n f_0 \quad B_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$

Dove:



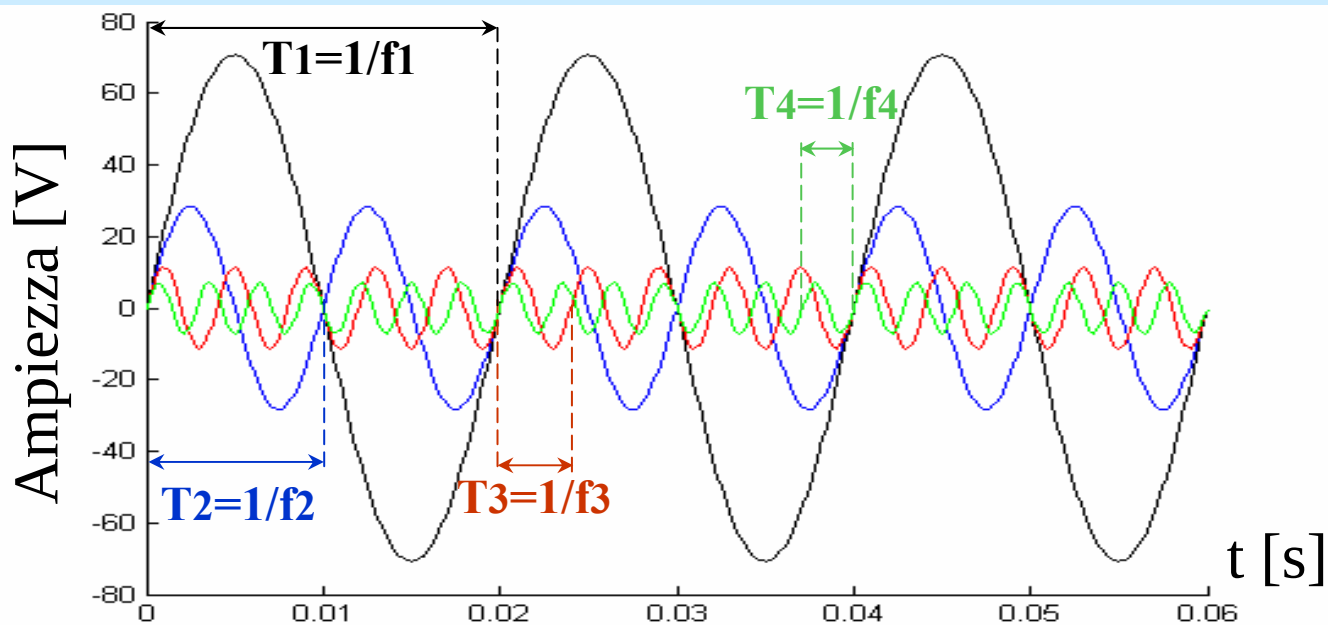
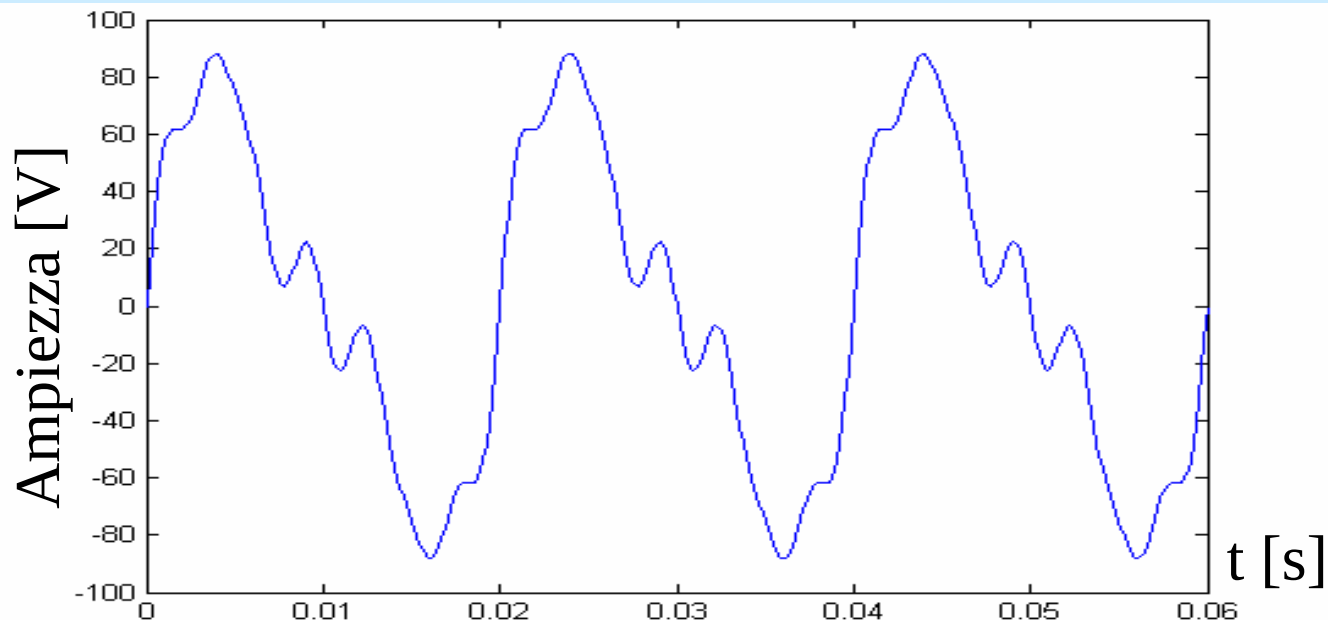
La rappresentazione nel dominio del tempo

$f_0=50\text{Hz}$ $A_0=50\text{V}$

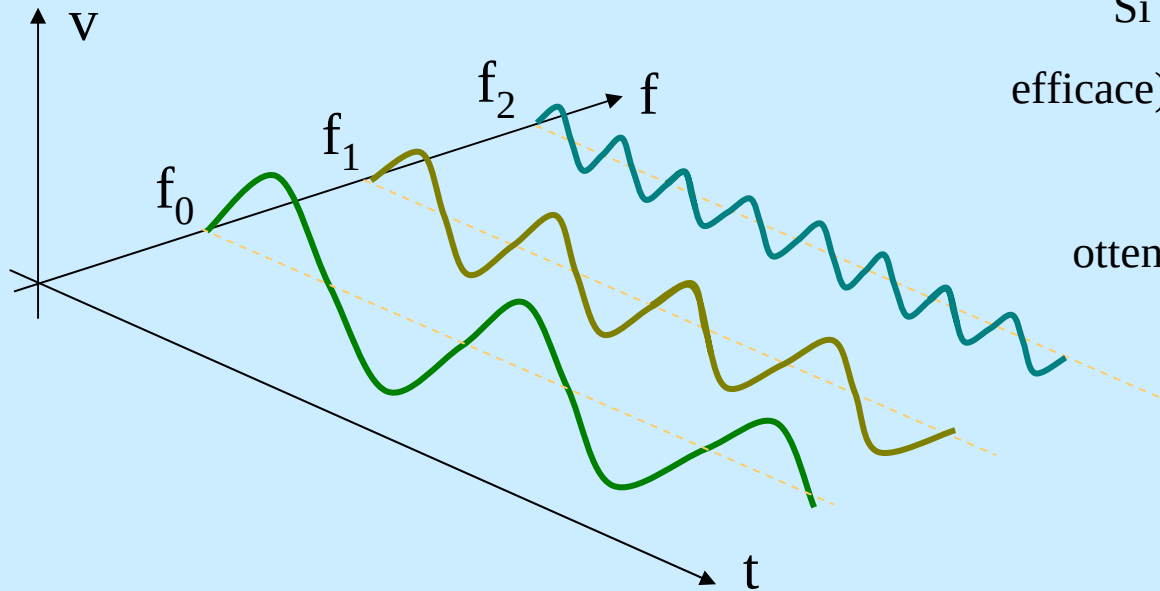
$f_1=100\text{Hz}$ $A_1=20\text{V}$

$f_2=250\text{Hz}$ $A_2=8\text{V}$

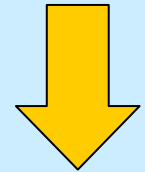
$f_3=350\text{Hz}$ $A_3=5\text{V}$



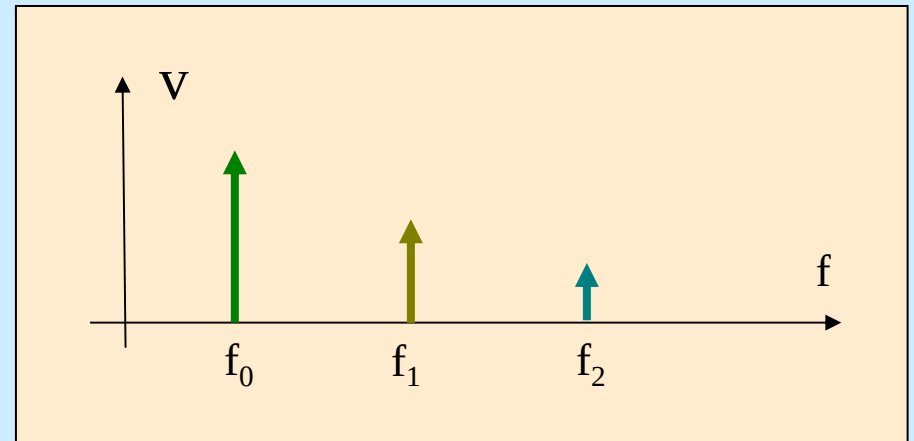
La rappresentazione nel dominio della frequenza



Si rappresenta il valore (massimo o efficace) di ampiezza di una componente armonica rispetto alla frequenza, ottenendo lo **spettro di ampiezza** del segnale.



La frequenza più elevata alla quale si trova una componente significativa del segnale individua la **banda** del segnale.





Teorema di Shannon

Dato un segnale a banda limitata $x(t)$, la cui trasformata di Fourier $X(f)$ soddisfi la condizione:

$$|X(f)| = 0 \quad \text{per} \quad |f| > B$$

il segnale è **completamente determinato** a partire dalla sequenza $x(nT)$ dei suoi campioni acquisiti ad intervalli uniformi di durata:

$$T_c \leq 1/2B \quad \text{ovvero} \quad F_c \geq 2B$$

dove: $-\infty < n < +\infty$.

T_c = periodo di campionamento

F_c = frequenza di campionamento

N.B.: un segnale a banda limitata **non può** avere durata limitata, quindi la sequenza ha **infiniti** campioni.



Il campionamento e l'aliasing

Tale frequenza di campionamento dovrà allora essere considerata come la minima frequenza per cui è possibile estrarre dal segnale campionato $s(n)$ le stesse informazioni presenti nel segnale analogico (continuo) $s(t)$.

Una volta fissata la minima frequenza di campionamento resta aperto il problema se essa è *maggiore* del doppio della massima frequenza presente nello spettro del segnale, cioè se la banda dei segnali che si vogliono studiare è maggiore di $f_c/2$.

Questa condizione di funzionamento conduce ad un fenomeno di distorsione del segnale acquisito chiamato *aliasing*. Tale fenomeno fa apparire nello spettro del segnale campionato frequenze che non sono presenti nel segnale reale.

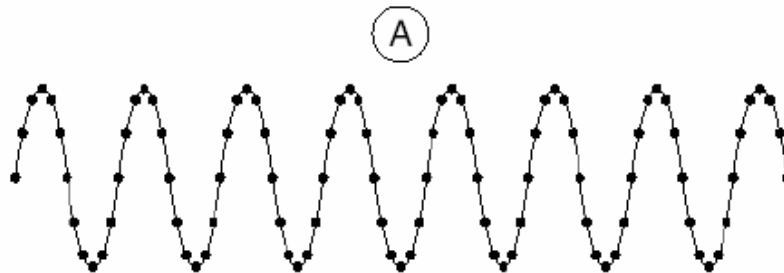


Aliasing: esempi

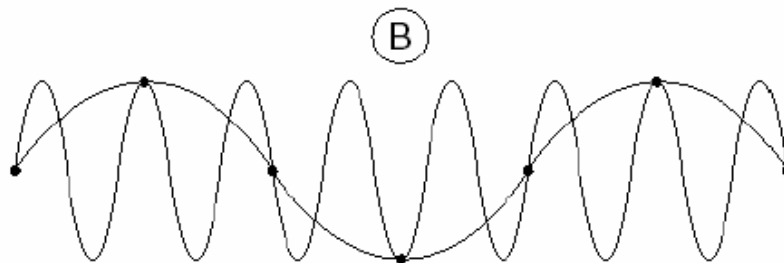
- Cosa accade se la frequenza di campionamento è uguale alla frequenza del segnale?
- Cosa accade variando l'istante in cui inizio a campionare?
- Cosa accade in generale su di un segnale con una banda $> f_c/2$?

Aliasing: esempi

$f=520$ Hz
 $f_c=6240$ Hz



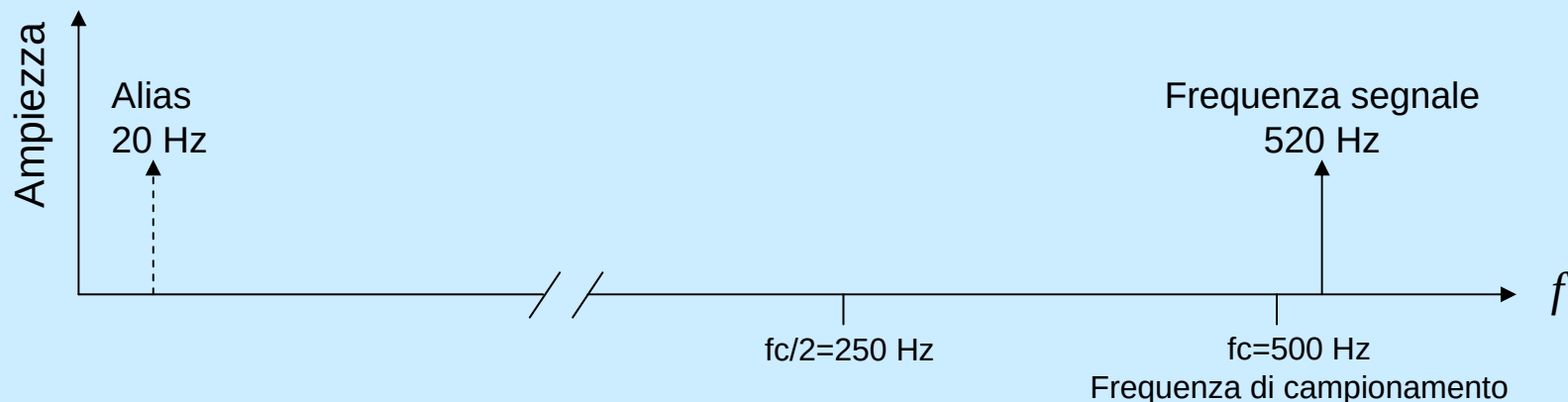
$f=520$ Hz
 $f_c=500$ Hz



A Campionato adeguatamente

B Aliasing da sottocampionamento

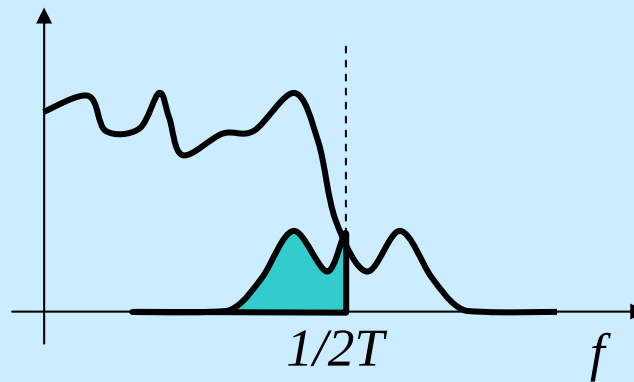
Frequenza replica = ABS (multiplo intero più vicino ad f_c – frequenza d'ingresso)



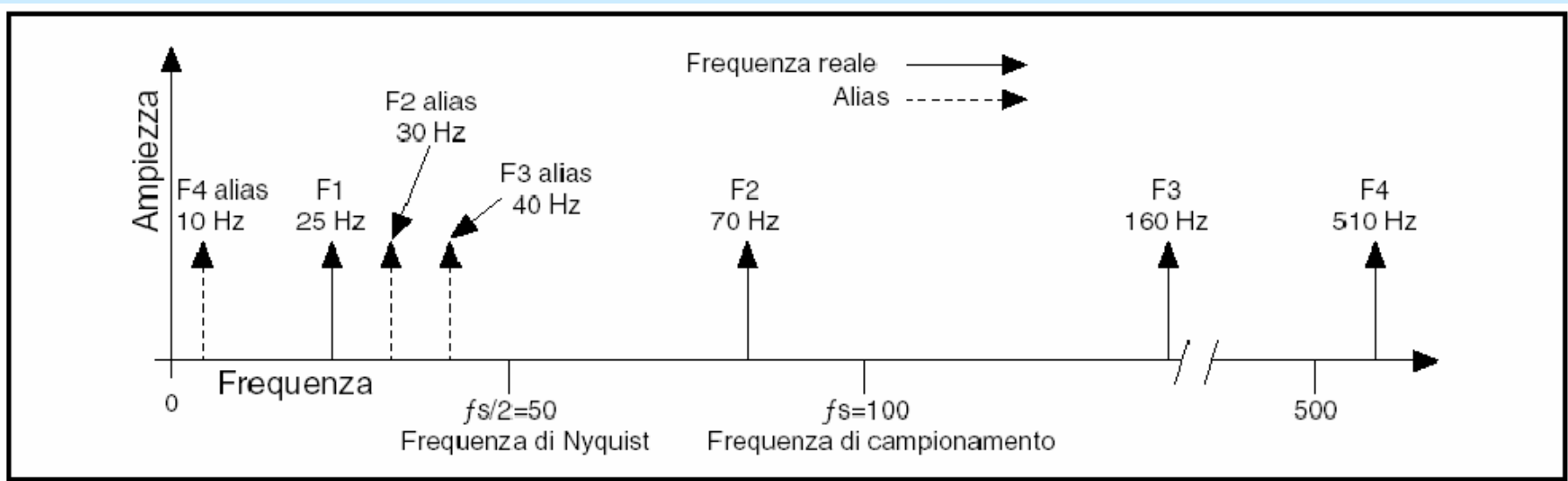
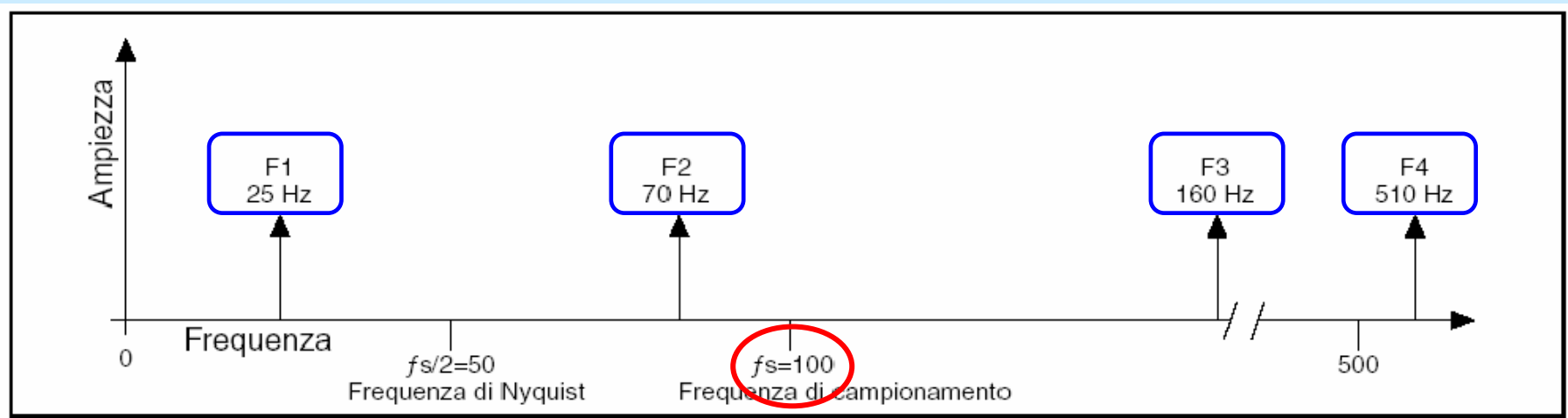
Aliasing

◆ se il segnale non è a banda limitata, o la frequenza di campionamento è $f_c < 2B$, alcune componenti spettrali vengono riprodotte in modo errato

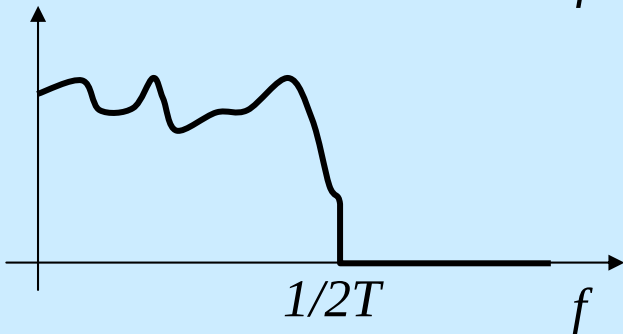
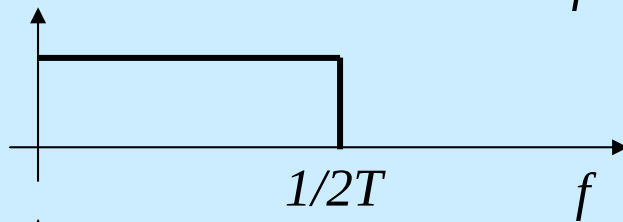
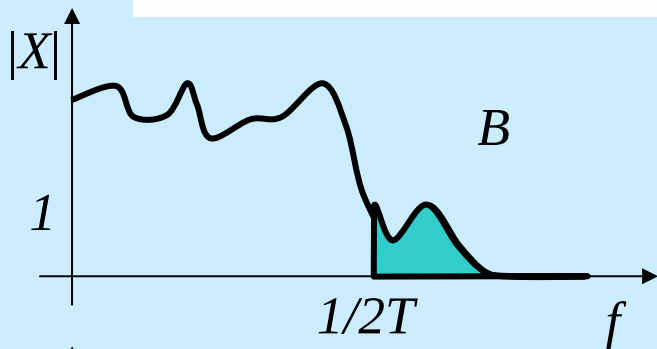
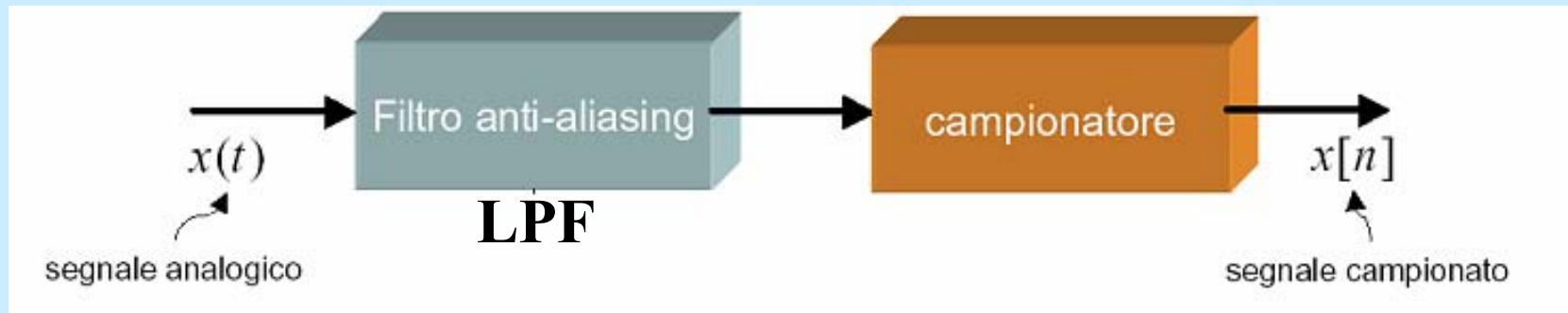
◆ effetto: componenti a frequenza $|f_1| > f_c/2$ vengono riportate alle frequenze: $K \cdot (f_c/2) \pm f_1$ (frequency folding); i relativi campioni sono indistinguibili



Aliasing: esempi



Filtro anti-aliasing

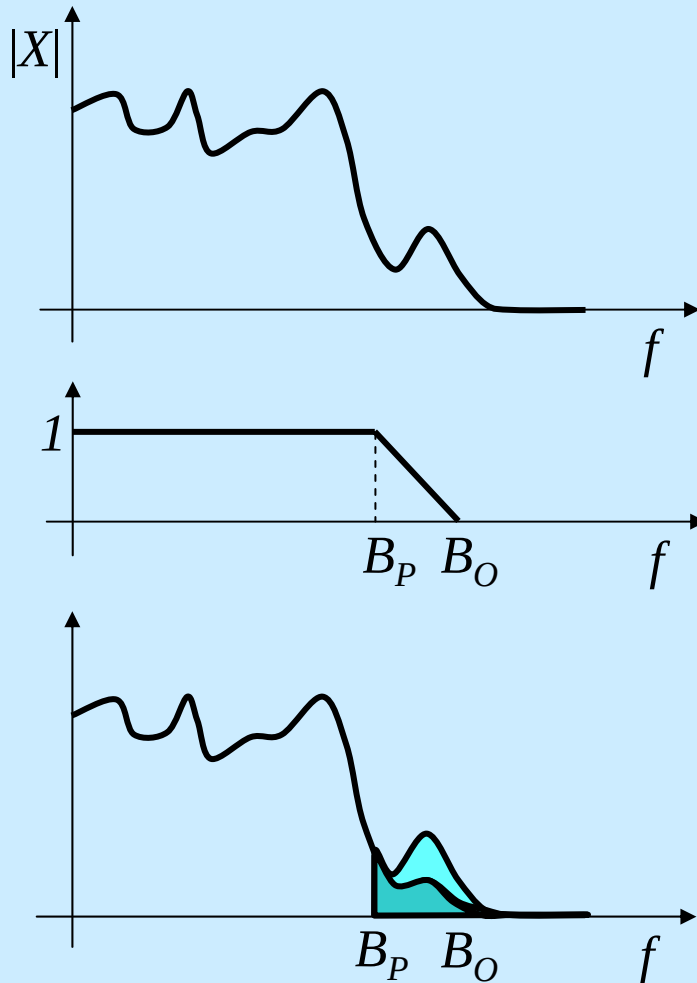


Nella forma enunciata, il teorema del campionamento si riferisce a segnali **a banda limitata**.

Filtro anti-aliasing

Limita la banda del segnale all'intervallo $(-1/2T, +1/2T)$. La ricostruzione in questo intervallo di frequenze è univoca.

Filtro anti-aliasing reale



Realizzabilità

un filtro reale ha una banda di transizione con estensione non infinitesima.

banda passante: B_P

banda attenuata: $B_O > B_P$

Filtro anti-aliasing reale

segnale “nullo” per $|f| > B_O$

segnale attenuato per

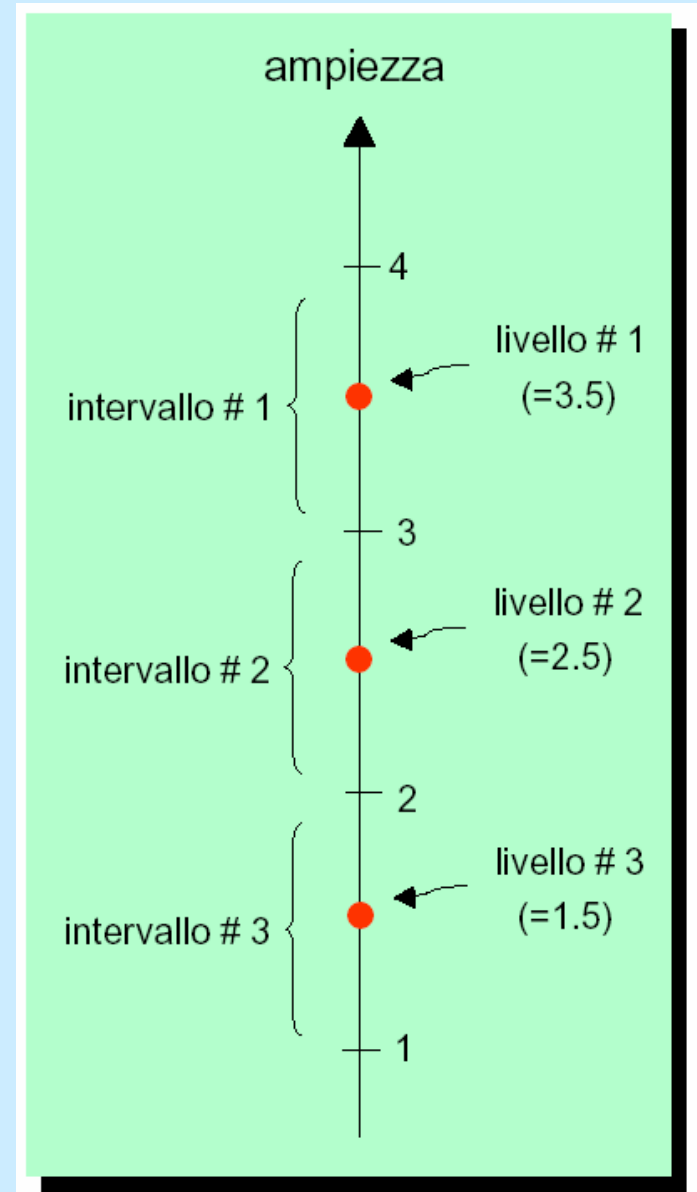
$$B_P < |f| < B_O$$

Quantizzazione

- Dopo avere discretizzato i tempi con il campionamento, è necessario **discretizzare le ampiezze**:

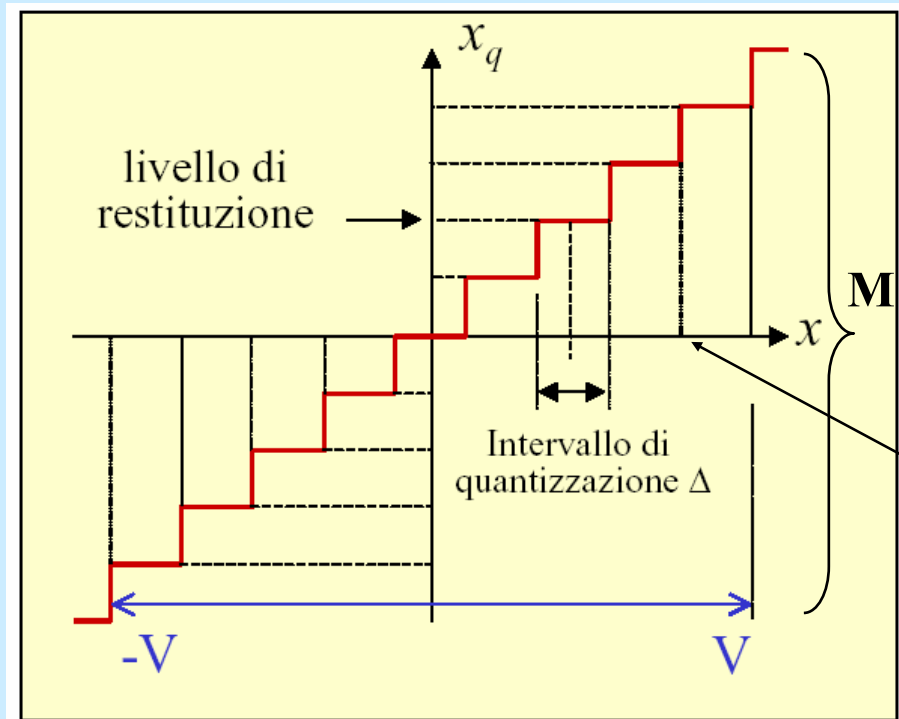
QUANTIZZAZIONE

- In pratica l'intervallo di ampiezze del segnale (dinamica) viene suddiviso in **intervalli di quantizzazione**: tutti i valori di ampiezza appartenenti allo stesso intervallo vengono rappresentati con un **unico livello di quantizzazione**
- Esempio: Tutte le ampiezze appartenenti all'intervallo $[1,2]$ vengono restituite con valore 1.5



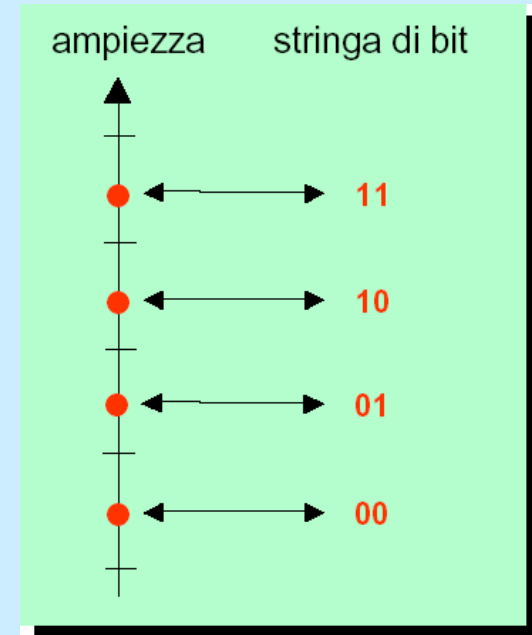
Quantizzazione

- Il quantizzatore è descritto da **due** parametri fondamentali:
 - 1) L'ampiezza Δ degli intervalli di quantizzazione
 - 2) Il numero **M** degli intervalli di quantizzazione
- Gli **M** livelli di quantizzazione possono essere rappresentati con stringhe di bit. Occorrono **$b = \log_2 M$** bit per rappresentare **M** livelli.



Soglie di transizione

Esempio: $M=4$ $b=2$ bit

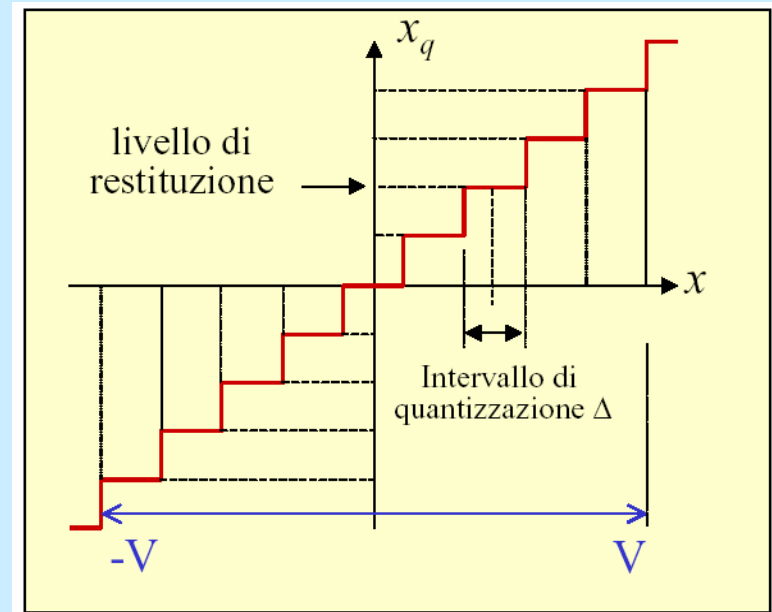


Quantizzazione

$V = V_{FS}$ = Tensione di fondo scala

$$\Delta = \frac{2V_{FS}}{M} = \frac{2V_{FS}}{2^N} = \frac{V_{FS}}{2^{N-1}} = \text{Risoluzione} = \text{LSB}$$

- A parità di V_{FS} la risoluzione migliora se aumenta N
- A parità di N la risoluzione migliora se diminuisce V_{FS}



- La precisione di un quantizzatore **aumenta** al crescere M dei livelli di quantizzazione ma **aumenta** anche il numero di bit e quindi l'ingombro in memoria
- Esempio: 1 minuto di audio HI-FI (stereo) campionato a 44.1 kHz (qualità CD) e con 16 bit/canale corrisponde a:

$$2 \text{ canali} * 60 \text{ s} * 44100 \text{ campioni/s} * 16 \text{ bit} = \mathbf{84\ 672\ 000} \text{ bit}$$

$$\text{N.B. } 84\ 672\ 000 \text{ bit} = 10\ 584\ 000 \text{ byte} = 10\ 335 \text{ kB} = \mathbf{10\ MB}$$