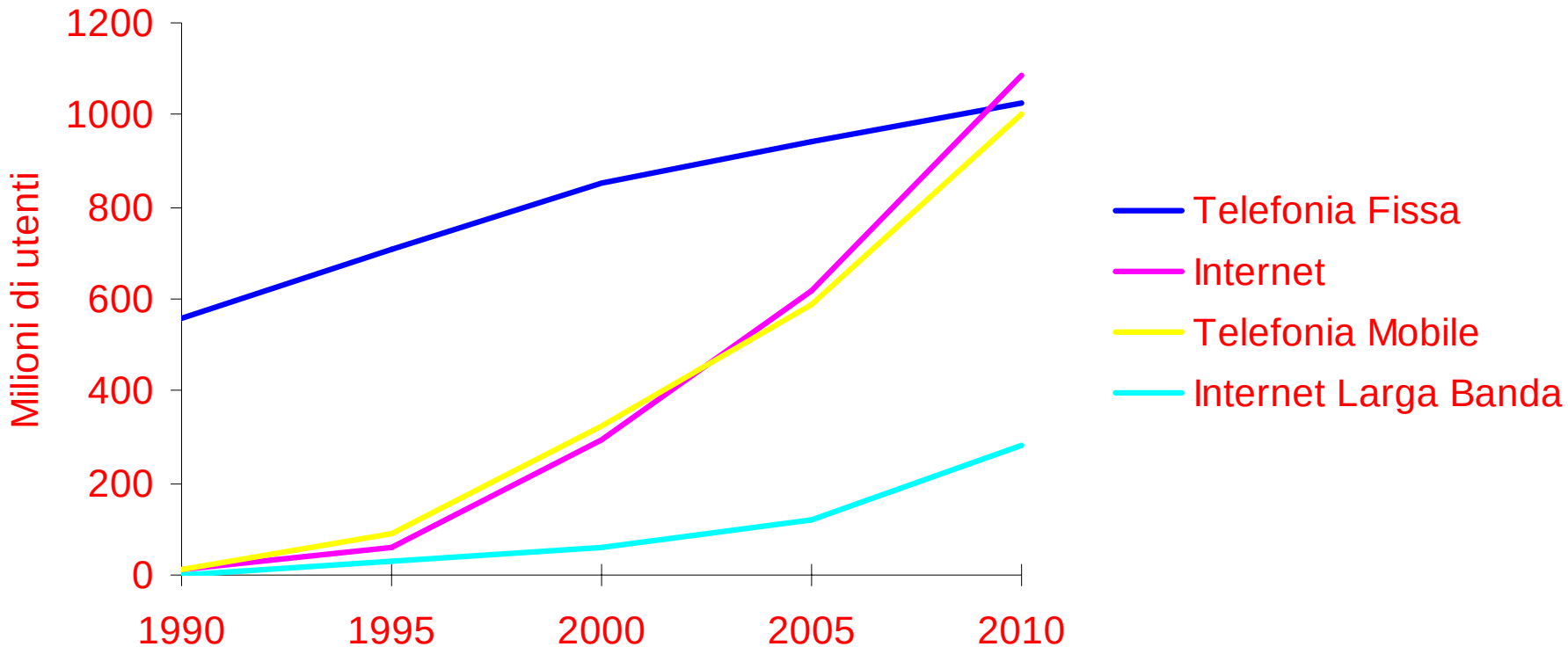
Introduzione alle reti di comunicazione

Date di Partenza

- 1837 (162 anni) : codice di Morse
- 1876 (123 anni) : telefono di Bell
- 1895 (104 anni) : radio di Marconi
- 1968 (31 anni) : ARPANET

Sviluppo dei sistemi di comunicazioni



Rappresentazione dell'Informazione

- **Tutte le informazioni (voce, segnali, dati, immagini fisse e in movimento) possono essere rappresentate mediante una successione di 0 e 1 (bit)**
- **Unità dell'informazione :**
  - **bit;**
  - **Kbit (1000 bit);**
  - **Mbit (1.000.000 bit);**
  - **Gbit (1.000.000.000 bit).**
- **Nel caso di trasmissione di dati, segnali o immagini un parametro importante è la velocità di trasmissione, espressa in bit/s.**
- **Byte (B) = 8 bit**
- **KB = 1000 Byte**
- **MB = 1.000.000 Byte**
- **GB = 1.000.000.000 Byte**

Trasmissione di segnali

- **Il numero di bit necessari per rappresentare un segnale varia molto col tipo di segnale.**

- **Esempio :**
  - segnale telefonico : 64.000 bit/sec
  - immagine fissa a media risoluzione : 2 Mbit/sec
  - immagine fissa ad alta risoluzione : centinaia di bit/sec o Gbit/sec
  - segnali televisivi ad alta risoluzione : Gbit /sec

ESEMPI DI RAPPRESENTAZIONE DI OPERE D'ARTE

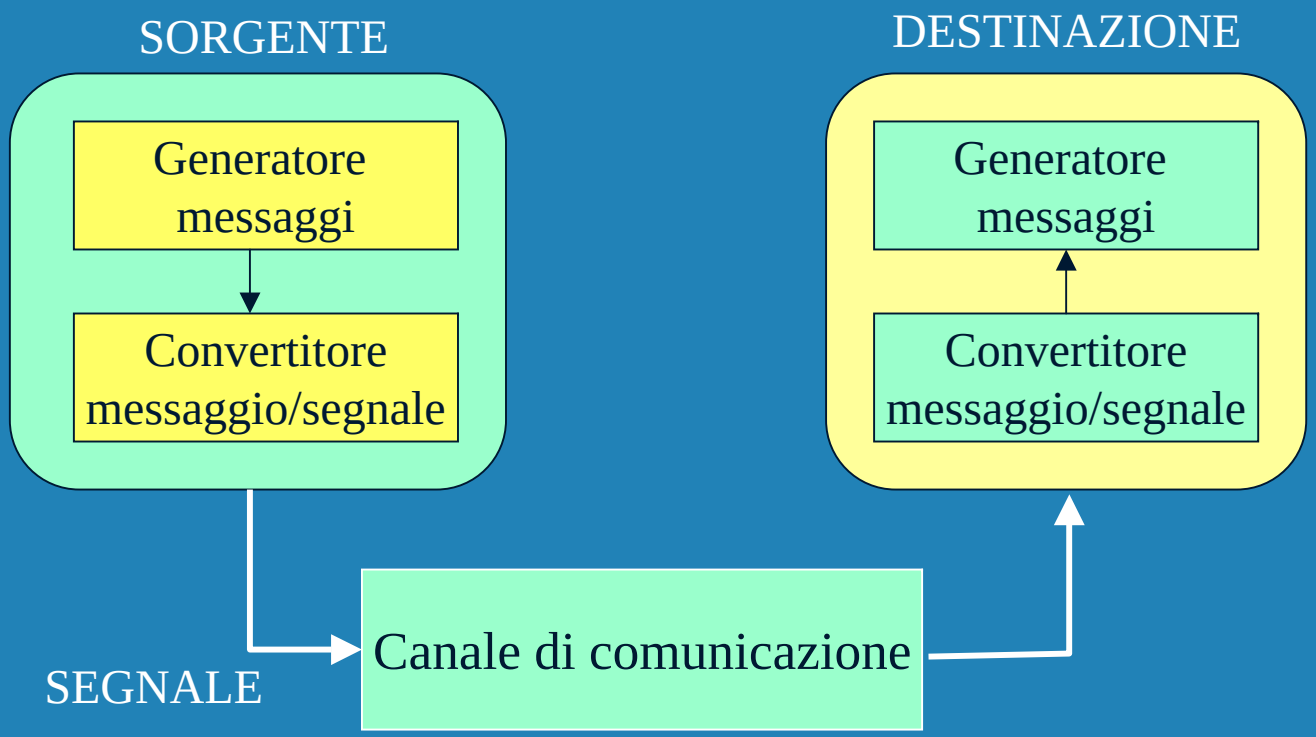
QUADRO	Risoluzione spaziale (pixel /cm)	Risoluzione (bit/pixel)	Memoria
Nascita di Venere Botticelli 172x278 cm Uffizi	40 40 10 10 1 1	24 8 24 8 24 8	1,836 Gbit 612 Mbit 114.4 Mbit 38,4 Mbit 1,12 Mbit 400 Kbit
Madonna in trono Duccio da Boninsegna 290x450 Uffizi	40 40 10 10 1 1	24 8 24 8 24 8	5,012 Gbit 1,67 Gbit 3,128 Gbit 1.04 Gbit 312.8 Mbit 104 Mbit
La Gioconda Leonardo da Vinci 53x77 cm Louvre	40 40 10 10 1 1	24 8 24 8 24 8	156,8 Mbit 52,8 Mbit 9,6 Mbit 3.2 Mbit 80 Kbit 3,2 Kbit

Trasmissione di immagini

Grandezza dell'immagine	64 kbit/sec	2 Mbit/sec	10 Mbit/sec	45 Mbit/sec	155 Mbit/sec
512x512	98 sec	3,14 sec	0,629 sec	0,14 sec	0,04 sec
1024x1024	394 sec	12,5 sec	2,5 sec	1,6 sec	0,16 sec
2048x2048	1575 sec	50,33 sec	10 sec	2,2 sec	0,7 sec
4096x4096	6300 sec	201,3 sec	40 sec	9 sec	2,6 sec
Nascita di Venere	7,9 h	20 minuti	183,6 sec	40,8 sec	11,8 sec

La comunicazione

- Nello studio dei sistemi di telecomunicazione si è soliti fare riferimento a tre entità fondamentali:
  - il **messaggio**, che rappresenta l'oggetto della comunicazione
  - la **sorgente** del messaggio
  - il **destinatario** del messaggio



La comunicazione

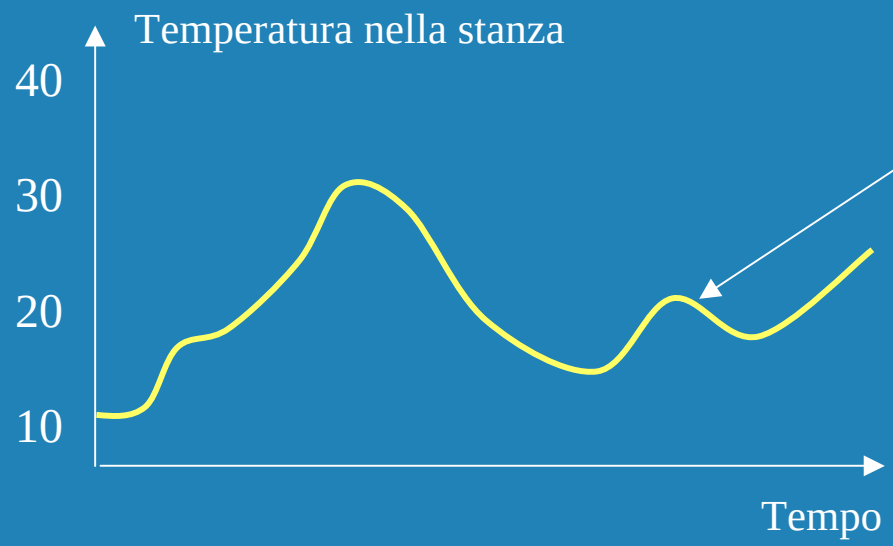
- Affinché il messaggio astratto possa giungere al destinatario è necessario concretizzarlo in una forma fisica:

IL SEGNALE



Classificazione dei segnali

Un segnale può essere definito come una grandezza fisica che varia nel tempo



Forma d'onda del segnale: rappresenta l'andamento temporale del segnale

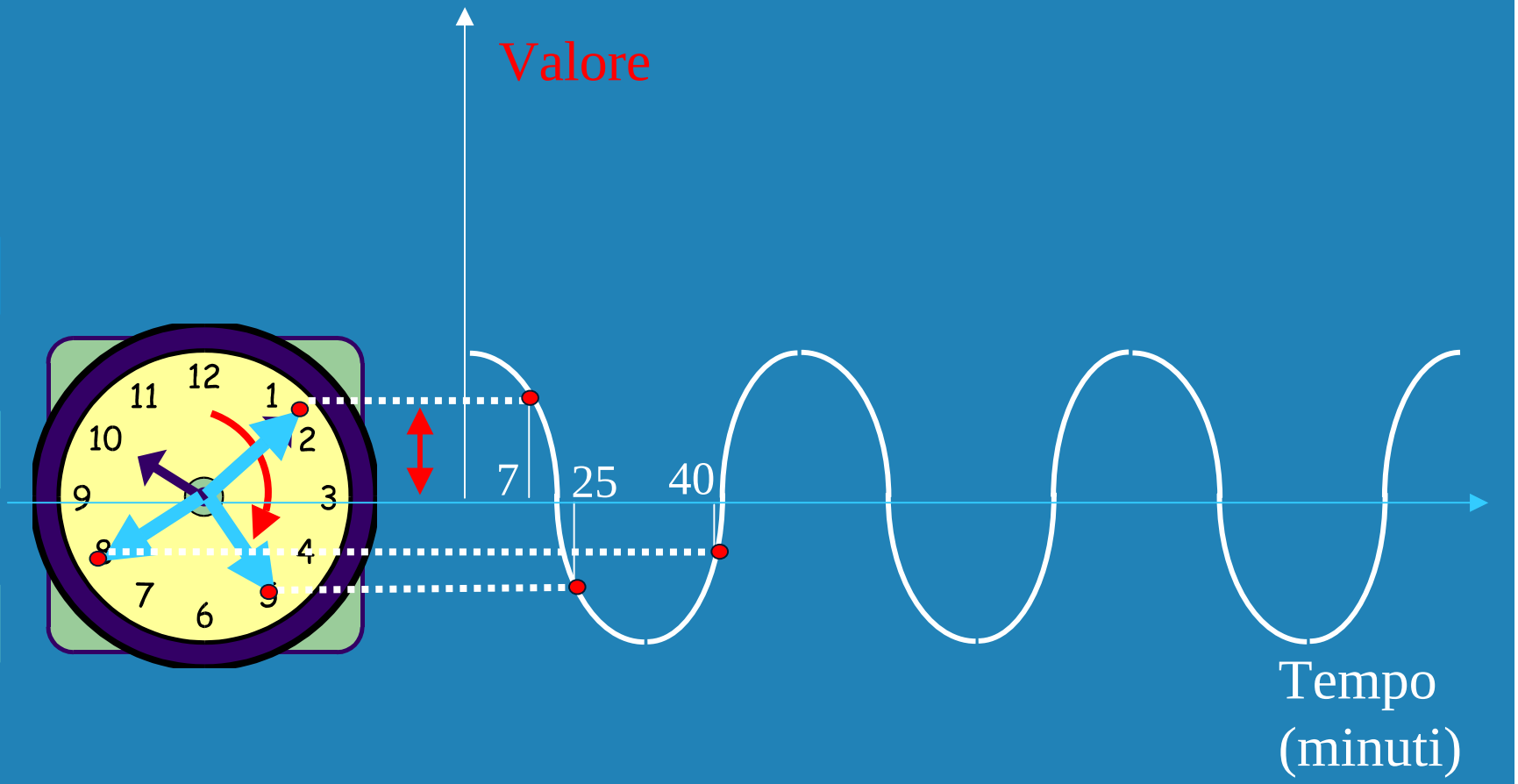
Segnali analogici

segnali definiti per ogni valore del tempo.

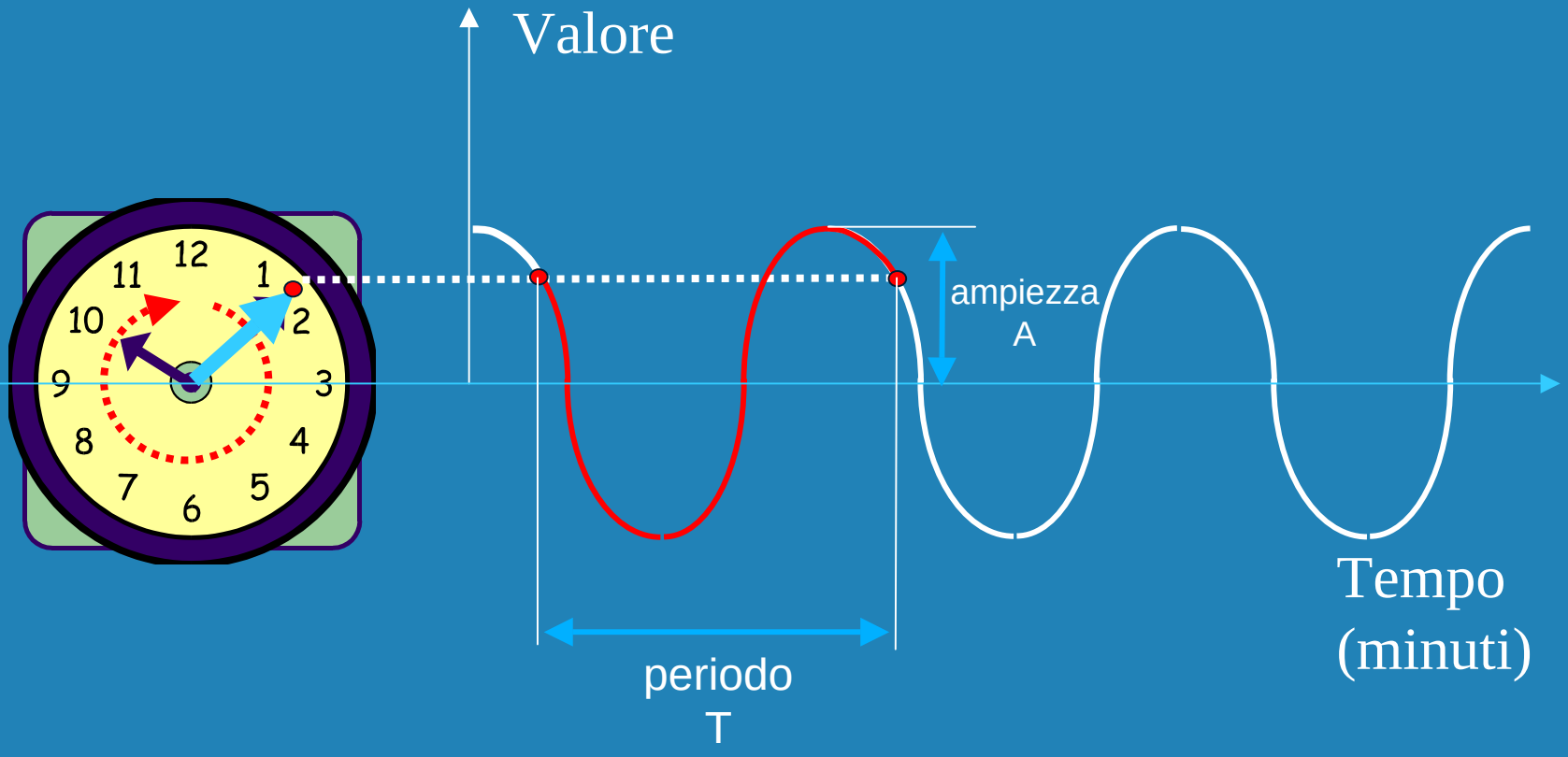
Segnali digitali o numerici

segnali formati da numeri di un alfabeto finito,
ad esempio una sequenza di 0 e 1.

Una particolare forma d'onda: la sinusoide



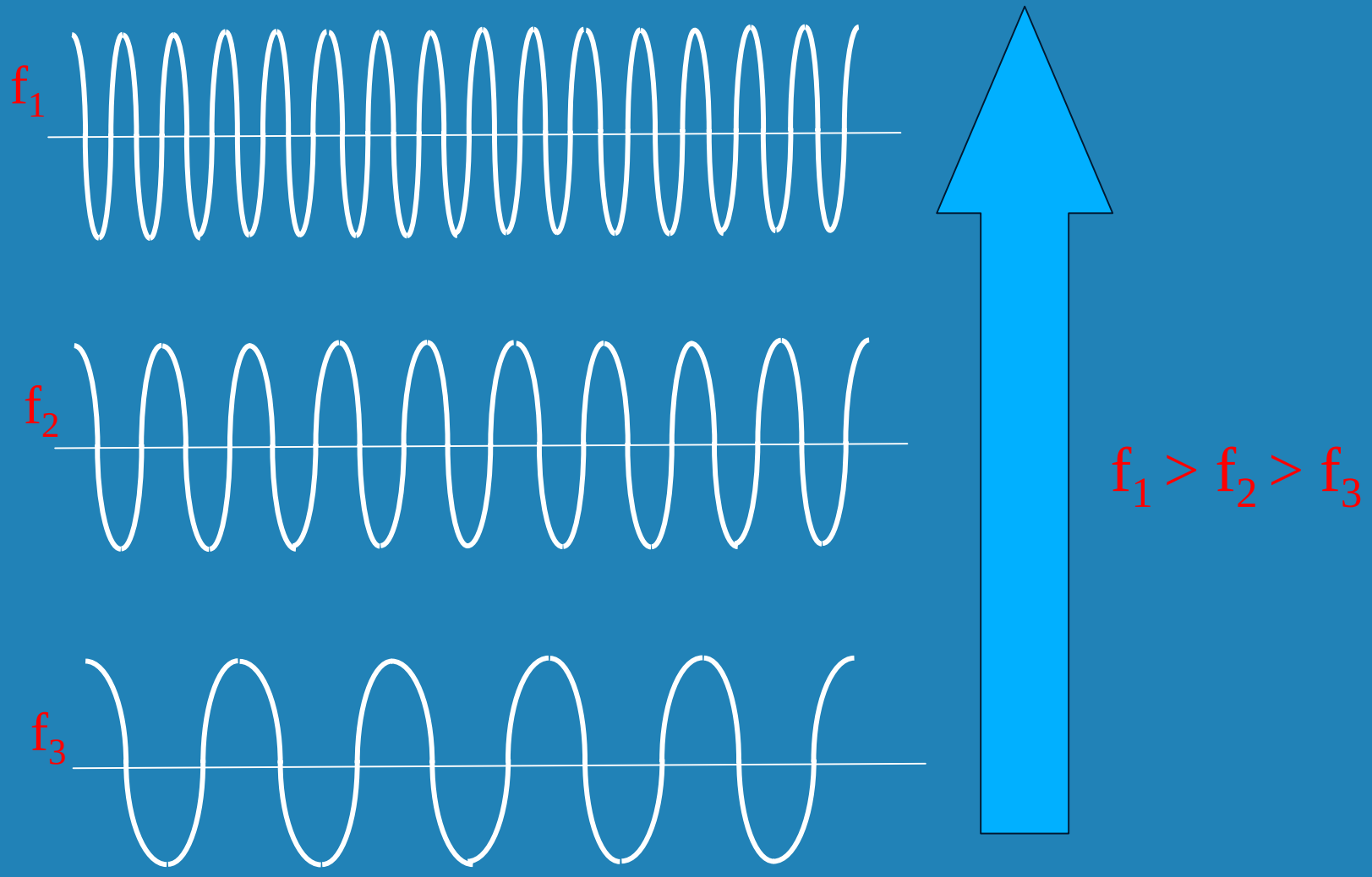
I parametri della sinusoide



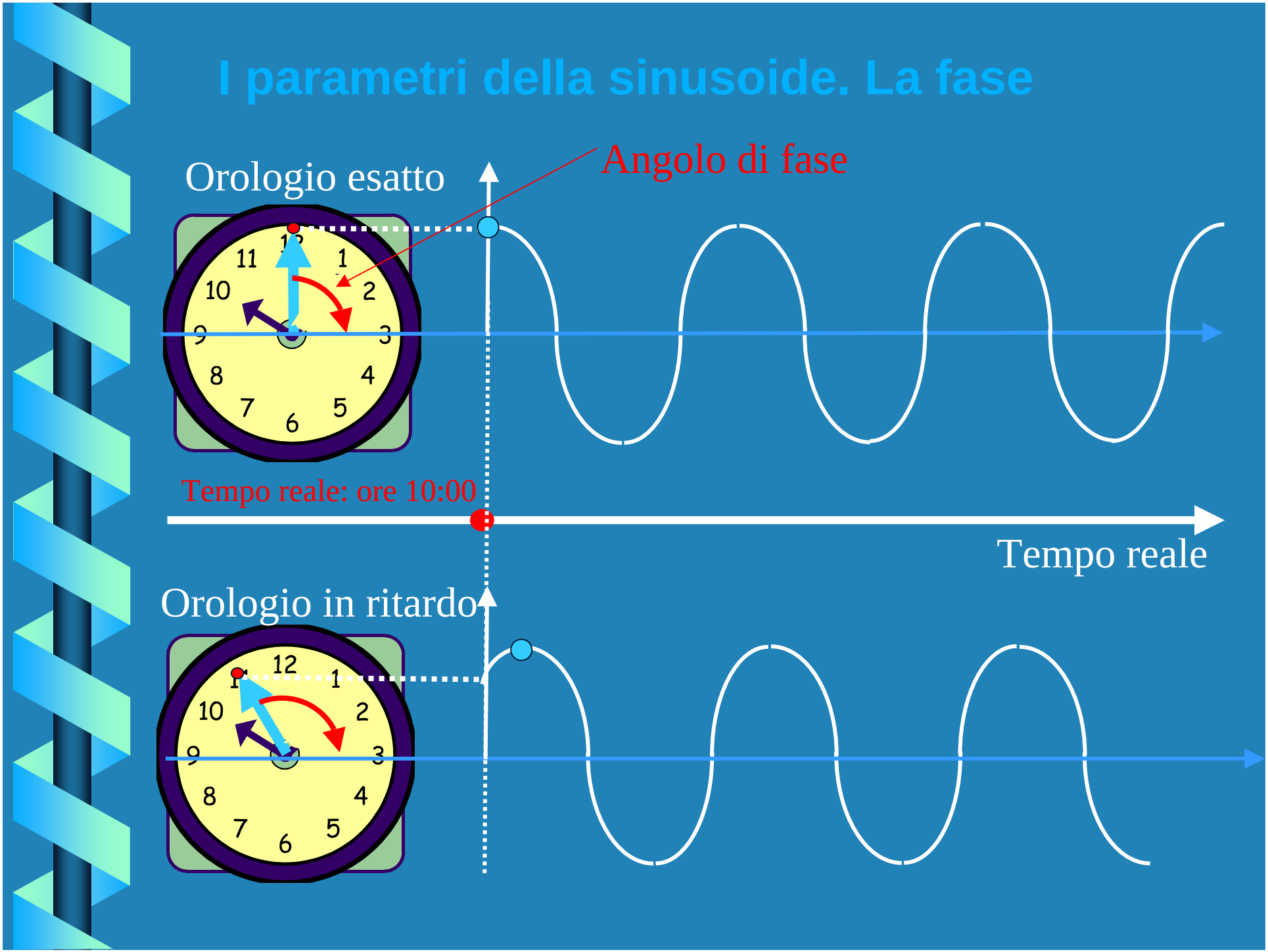
Nell'esempio il periodo T è pari ad un'ora.

Frequenza (f) = 1/T. Rappresenta il numero di oscillazioni nell'unità di tempo.
Nell'esempio la frequenza è di una oscillazione all'ora.

La frequenza

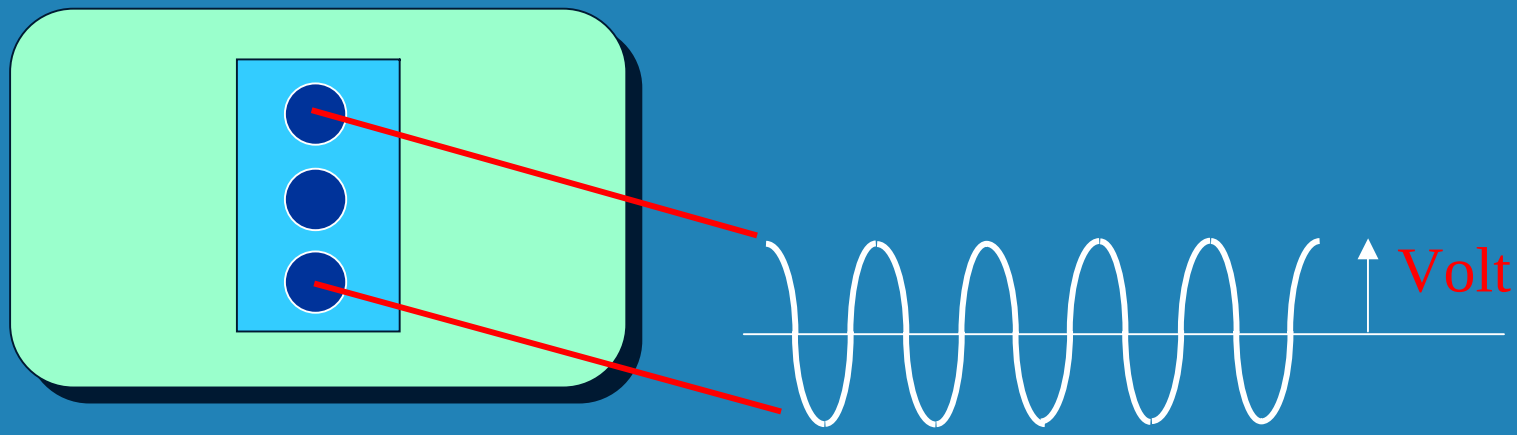


I parametri della sinusoide. La fase



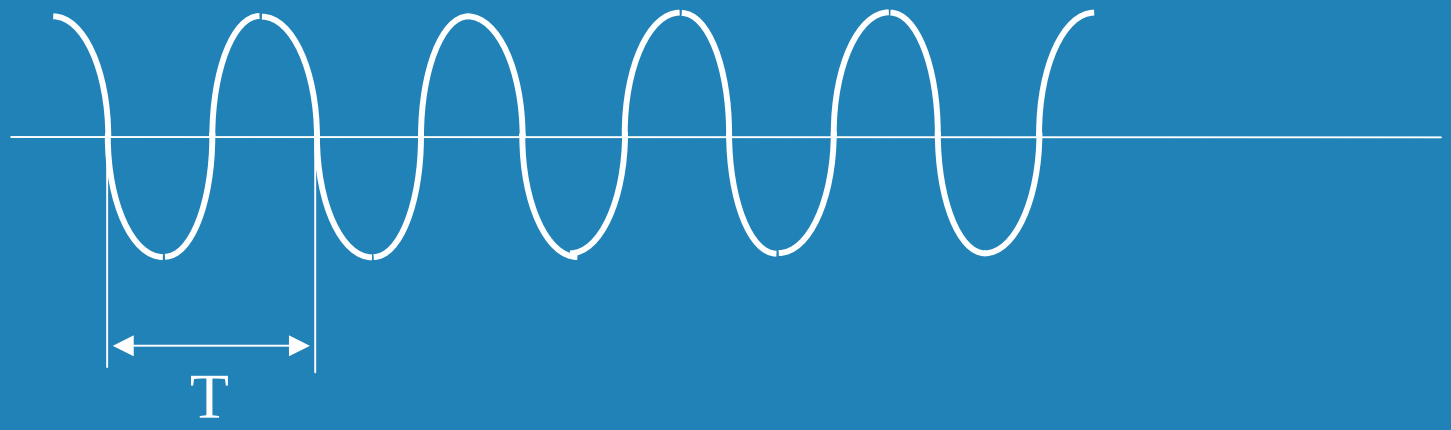
Unità di misura

Se misurassimo la tensione fra i due poli di una presa domestica avremmo che l'andamento temporale di tale tensione è sinusoidale. In questo caso l'ampiezza è misurata in volt.



L' unità di misura dell'ampiezza di un segnale dipende dalla natura stessa del segnale

Unità di misura



Il periodo, T, si misura, per convenzione, in SECONDI (s)

Segue che la frequenza: $$f = \frac{1}{T}$$

si misura in s^{-1}. L'inverso di un secondo si chiama Hertz (Hz). La frequenza si misura quindi in Hz.

La fase, essendo rappresentata da un angolo, si misura in gradi o in radianti.

Unità di misura: multipli e sottomultipli

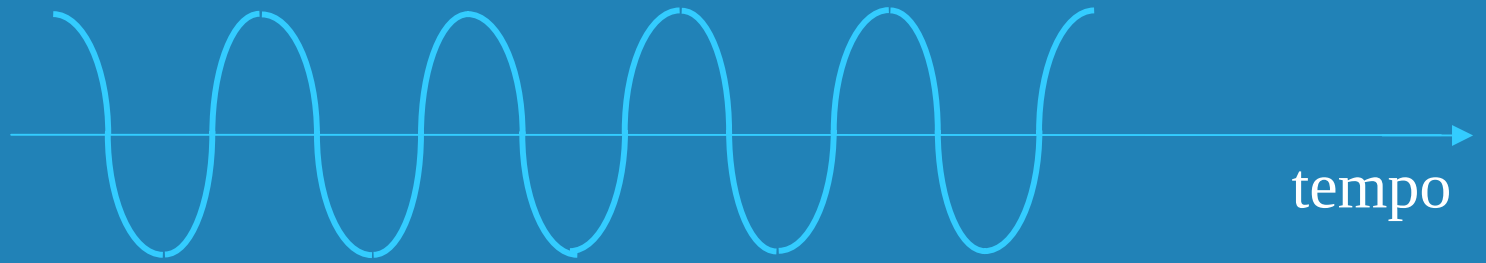
esempio

Kilo (k) : x 10^3……3000 Hz = 3 kHz
Mega (M) : x 10^6 ……. 3000000 Hz = 3 MHz = 3000 kHz
Giga (G) : x 10^9 ……3000000000 = 3 GHz = 3000 MHz ...
Tera (T) : x 10^{12} …

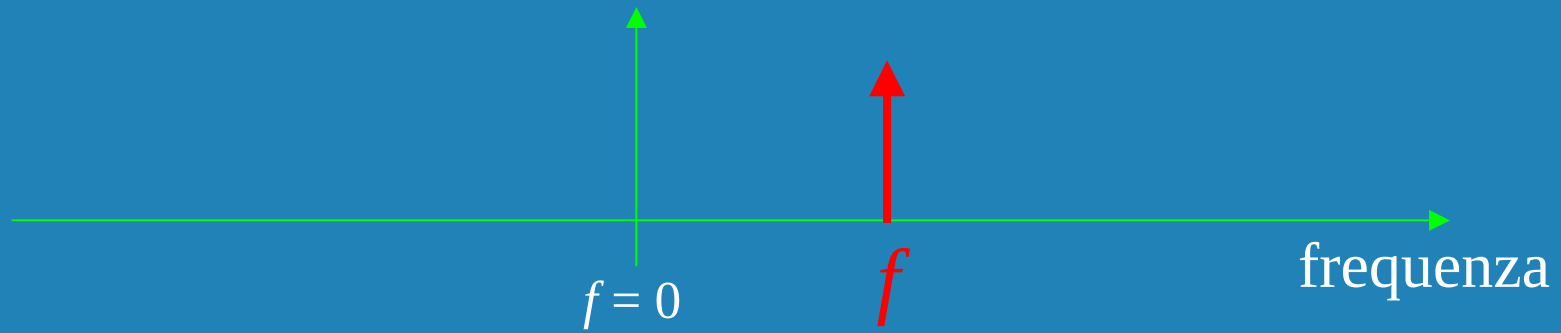
milli (m) : x 10^{-3}……0,003 s = 3 ms
micro (μ) : x 10^{-6} ……. .0.000003 s = 3 μs = 0.003 ms
nano (n) : x 10^{-9} ……...0.000000003 = 3 ns = 0.003 μs ...
pico (p) : x 10^{-12} …

Dominio della frequenza

Rappresentazione di una sinusoide di frequenza f nel tempo

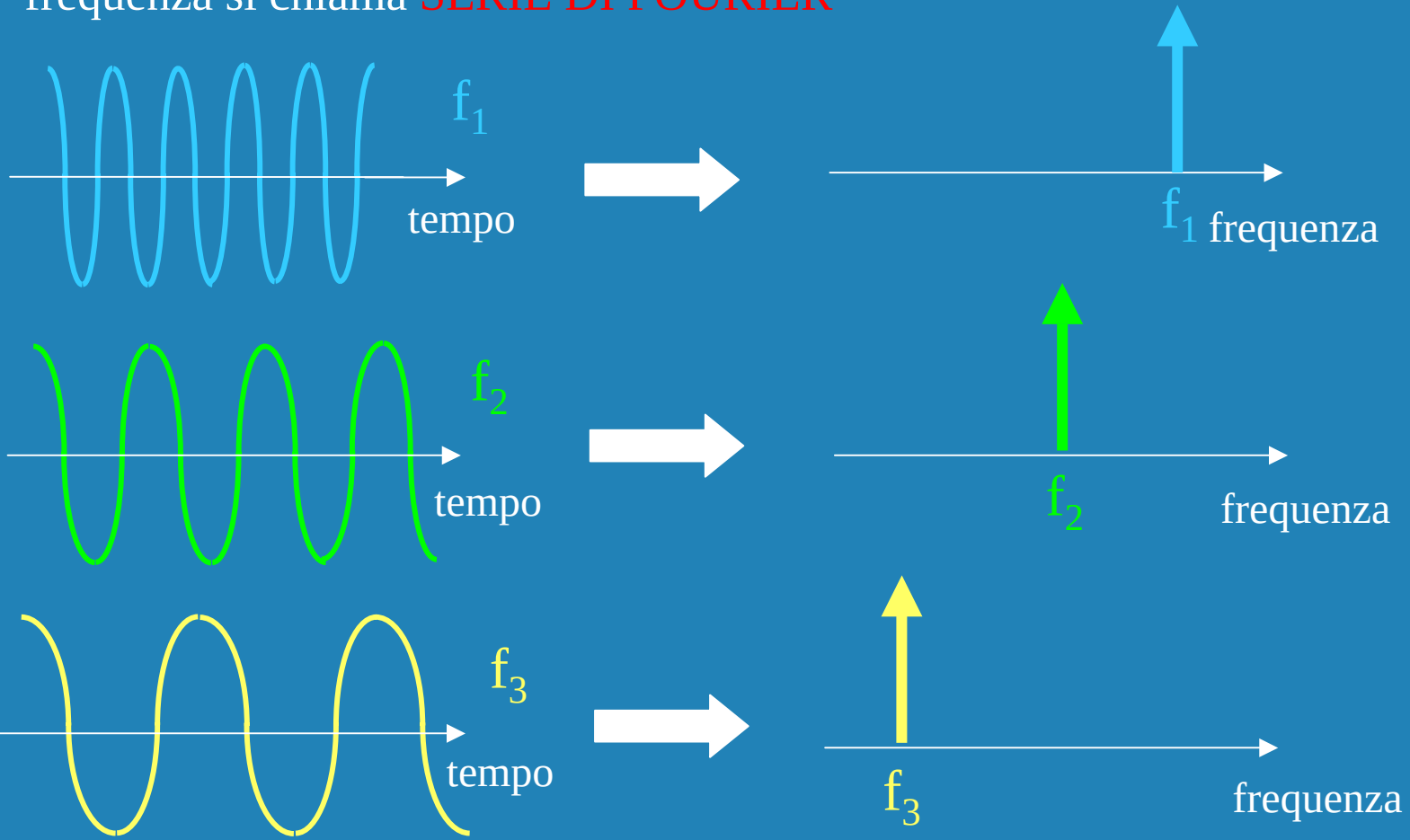


Rappresentazione di una sinusoide di frequenza f nel dominio della frequenza



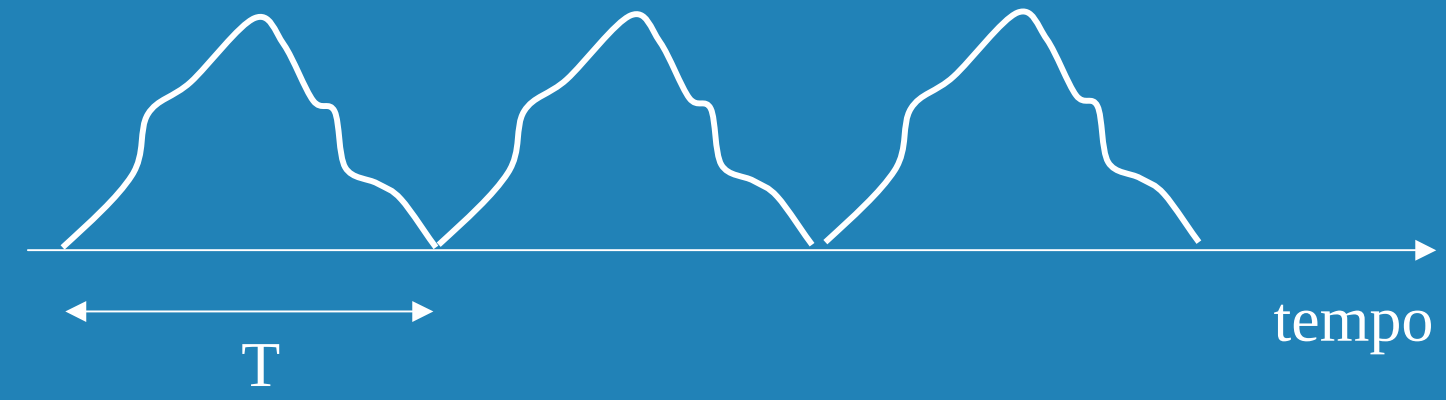
Dominio della frequenza

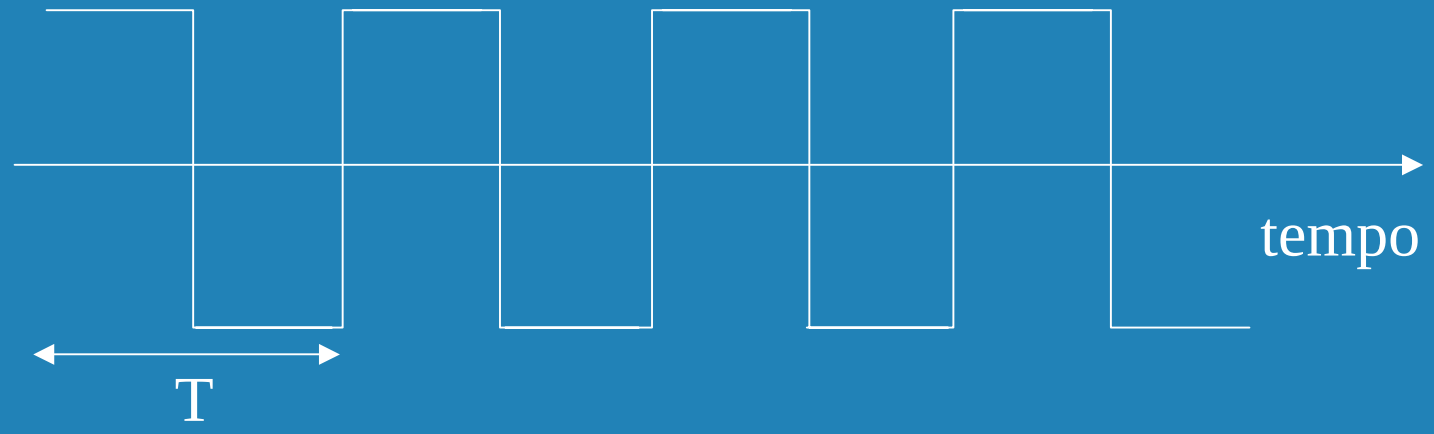
L’operazione che permette di passare dalla rappresentazione temporale di un segnale sinusoidale alla sua rappresentazione nel dominio della frequenza si chiama SERIE DI FOURIER



Segnali periodici

Un segnale si dice periodico di periodo T se ripete periodicamente lo stesso andamento in un intervallo di estensione T.

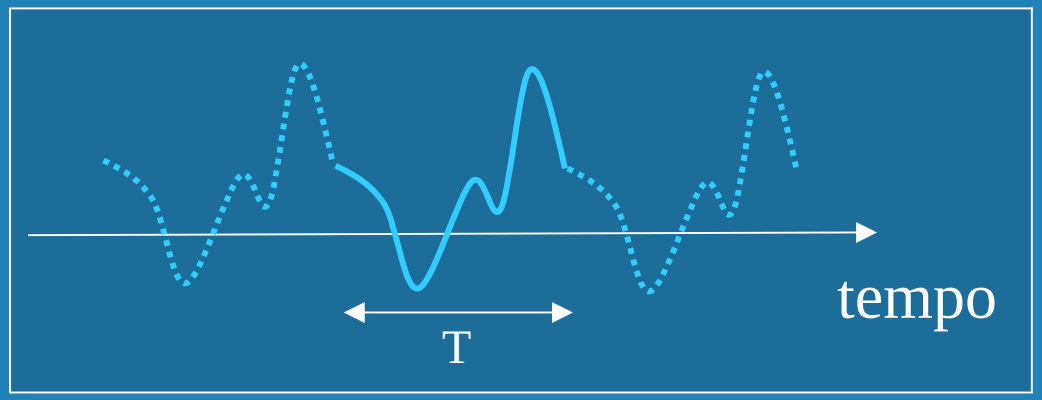


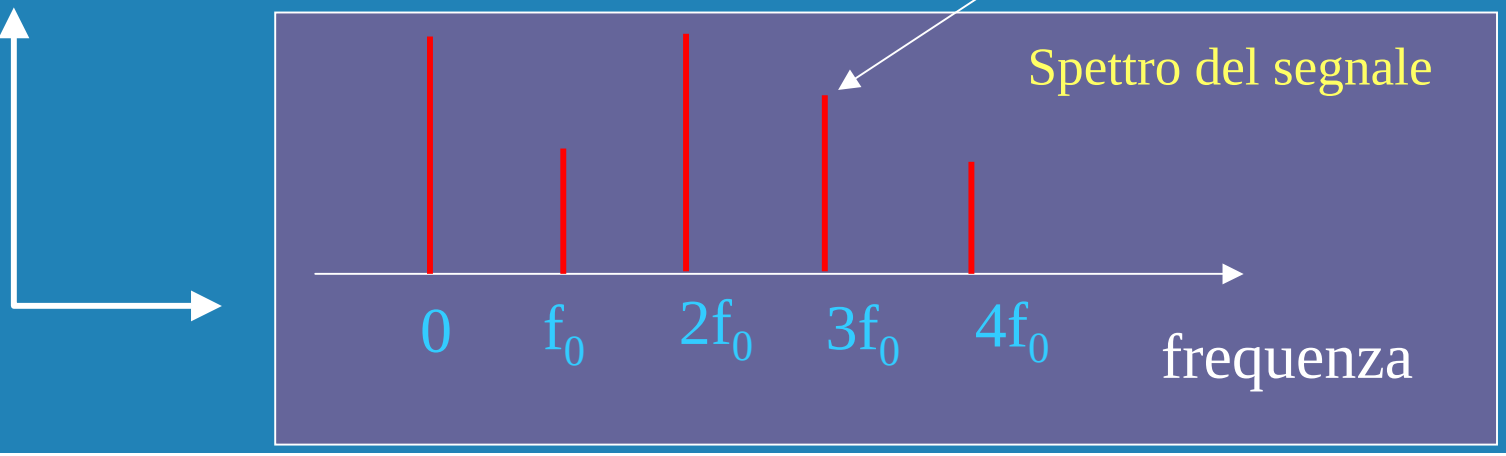


Segnali periodici nel dominio della frequenza

Ogni segnale periodico di periodo T può essere espresso come la somma di infiniti segnali sinusoidali ciascuno caratterizzato da particolari valori di ampiezza e fase e con frequenza multipla della frequenza:

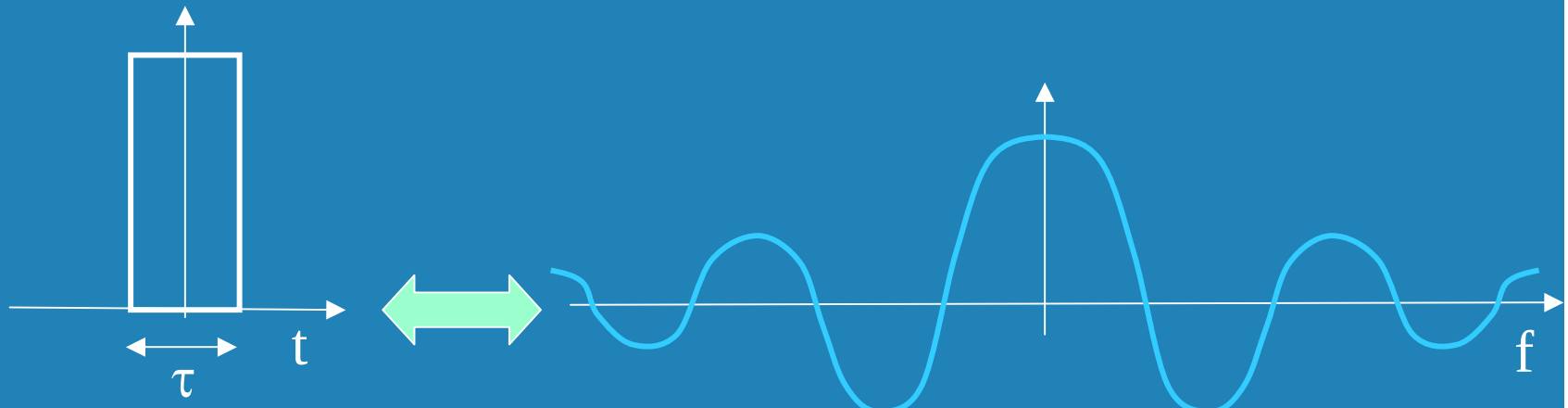
$f_0 = 1/T$ detta frequenza fondamentale





Segnali non periodici

Molti dei segnali utilizzati nei sistemi di telecomunicazione non sono periodici. Anche per i segnali non periodici è possibile, sotto opportune ipotesi, una rappresentazione come somma di infinite sinusoidi le cui frequenze non sono discrete ma continue.



Trasformata
di Fourier

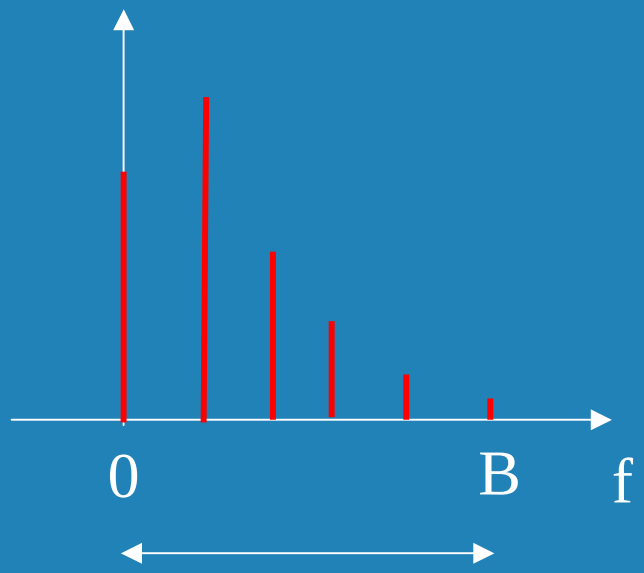
La banda di un segnale

Nelle telecomunicazioni sono particolarmente importanti quei segnali per i quali tutte le armoniche di frequenza superiore ad un certo valore B risultano di ampiezza nulla o trascurabile.

I segnali di questo tipo si dicono limitati in banda ed il valore B prende il nome di larghezza di banda del segnale.

In generale si chiama banda l'insieme delle frequenze comprese in un certo intervallo

La banda di un segnale (periodico)



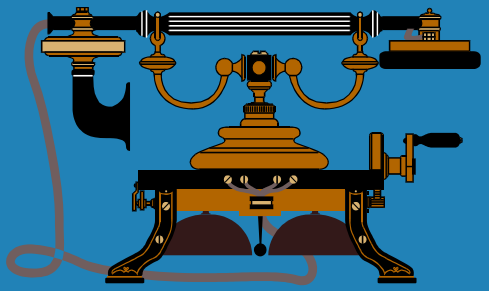
Larghezza di banda
o banda

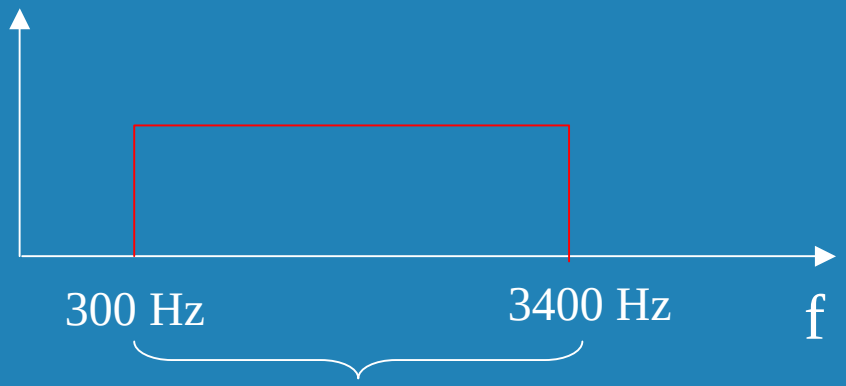
Regola generale:

Più un segnale varia velocemente nel tempo, tanto più lentamente decrescono le ampiezze delle sue componenti armoniche e quindi tanto maggiore è la sua banda.

Esempi

L’intervallo di frequenze in cui è definito il segnale telefonico è 300 Hz - 3400 Hz. L’ ampiezza di banda risulta quindi pari a 3100 Hz.





W = 3100 Hz = 3,1 kHz

Il segnale radio di una emittente televisiva occupa una banda di circa 6 MHz.

Campionamento

Nel mondo reale tutti i segnali sono analogici.

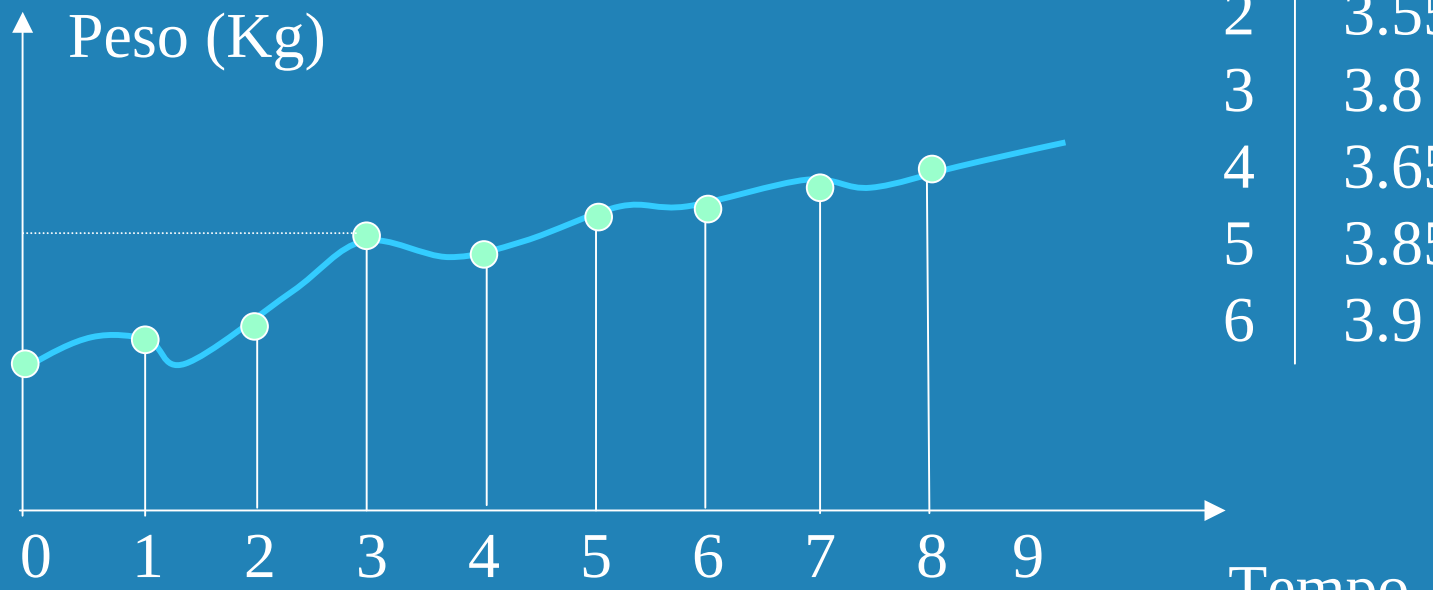


Consideriamo ad esempio il peso di un neonato.

Si tratta ovviamente di una grandezza continua nel tempo: ad ogni istante temporale il bambino avrà un ben preciso peso.
Tuttavia, il peso del bambino viene misurato una volta al giorno, ad esempio alle 20:00 di ogni giorno.
Ogni valore di peso misurato si chiama CAMPIONE e l'operazione di pesatura giornaliera prende il nome di CAMPIONAMENTO

Campionamento

giorno	peso
0	3.4
1	3.5
2	3.55
3	3.8
4	3.65
5	3.85
6	3.9



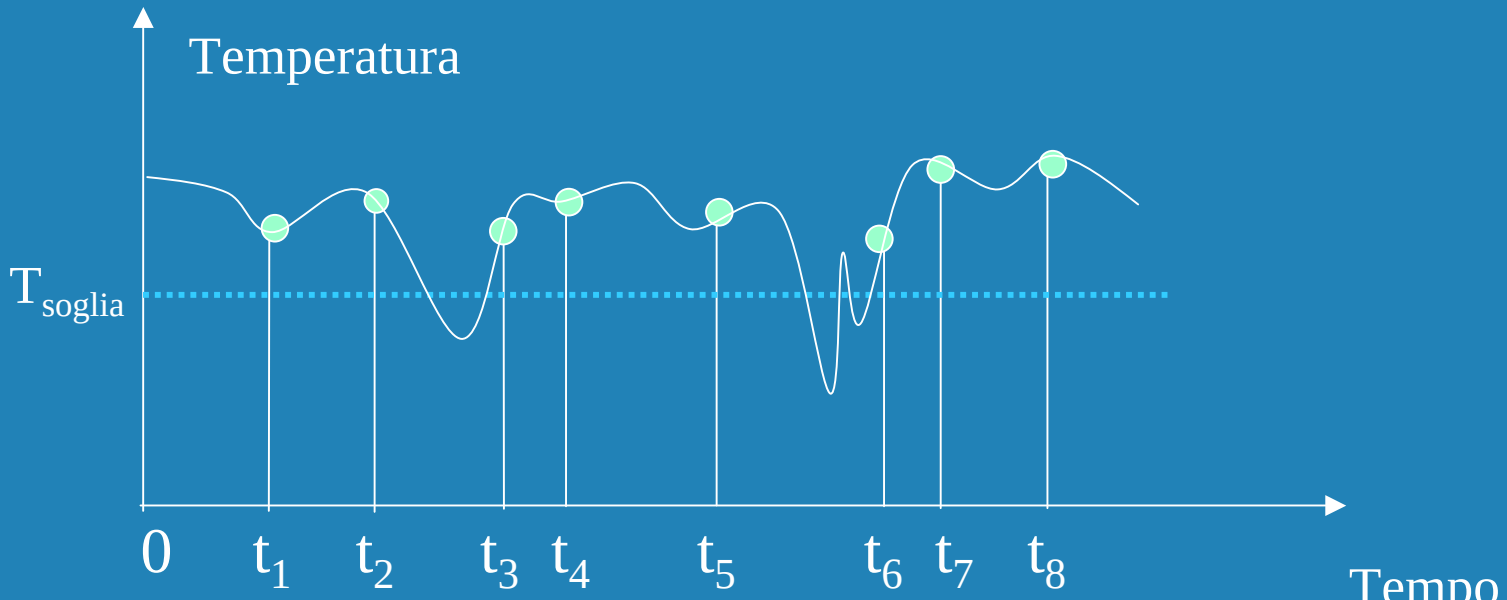
In generale, campionare un segnale è un metodo per registrare un valore istantaneo di quel segnale

Frequenza di campionamento

Supponiamo che un tecnico debba monitorare la temperatura di un acquario attraverso periodiche letture del termometro per calcolare il numero di volte che la temperatura scende sotto un valore di soglia T_{soglia} critico per la sopravvivenza dei pesci.



Supponiamo che il tecnico sia poco diligente e che effettui i rilevamenti ad istanti di tempo casuali.



Frequenza di campionamento

Dall'esempio precedente possiamo concludere che:

- è necessario campionare un segnale ad intervalli di tempo regolari
- la frequenza di campionamento (numero di campioni registrati al secondo) deve essere sufficientemente elevata.

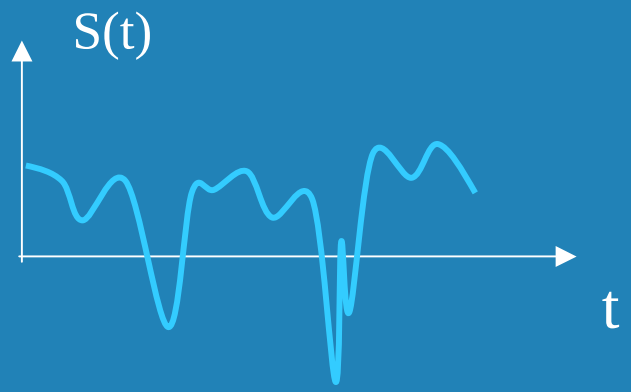
Questo problema è stato formalizzato nel 1948 da Shannon tramite il

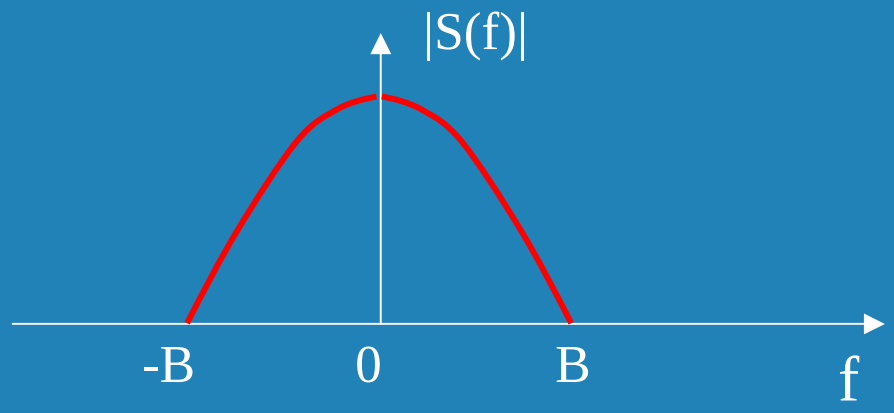
Teorema del campionamento

che consente di descrivere un segnale analogico con banda finita mediante un numero finito di valori, detti campioni del segnale.

Teorema del campionamento

Sia dato un segnale s(t) con spettro diverso da zero nella banda (-B,B). Il segnale s(t) risulta completamente determinato una volta noti i suoi valori s(iT) agli istanti discreti t=iT separati l'uno dall'altro da un intervallo di durata T purche' T sia minore o uguale a 1/2B.

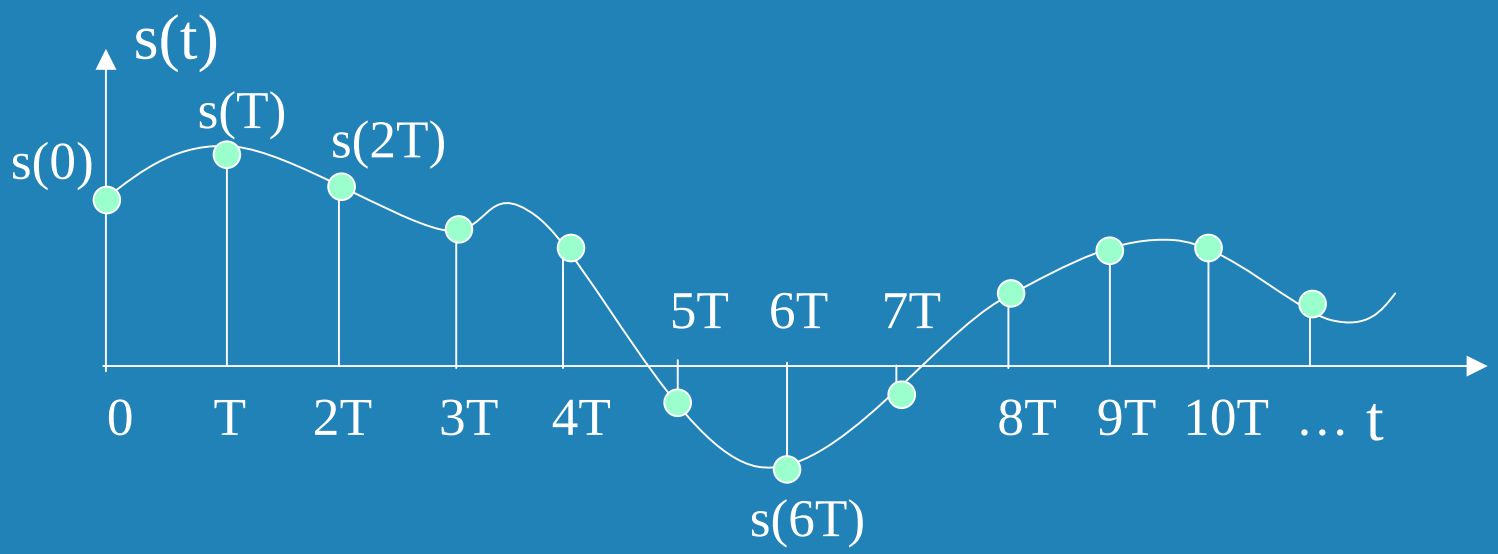




$T = \frac{1}{2B}$ Periodo di campionamento

$f_s = \frac{1}{T} = 2B$ Frequenza di Campionamento o freqenza di Nyquist.

Teorema del campionamento



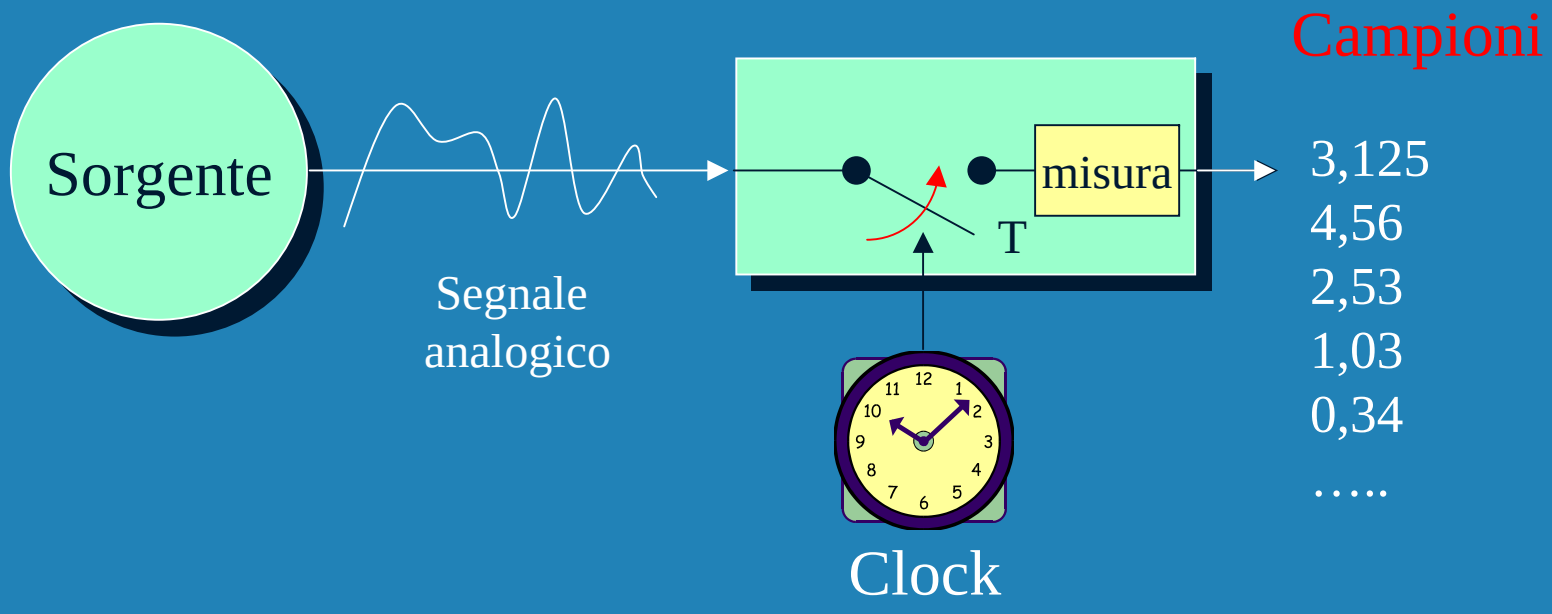
Come conseguenza del teorema del campionamento si ha che non e' necessario trasmettere il segnale s(t), ma e' sufficiente conoscere il valore che esso assume ad istanti discreti separati da un intervallo di ampiezza T. *Il valore s(iT) prende il nome di campione di s(t)* all'istante t=iT. L'intervallo T viene detto *intervallo di campionamento* e *fc=1/T prende il nome di frequenza di campionamento o frequenza di Nyquist.*

Se i campioni sono stati collezionati rispettando il teorema di Shannon, il ricevitore potrà ricostruire il segnale dalla conoscenza dei campioni.

Esempio

Abbiamo visto che il segnale telefonico ha una banda netta di 3100 Hz. A fronte di questa banda netta, si considera una banda lorda di 4 kHz.

Assumendo quindi B = 4 kHz, si ha che la frequenza di campionamento deve essere pari a $f_s = 2B = 8$ kHz e quindi occorre campionare il segnale telefonico ogni $T = 1/(2B) = 125$ μs.



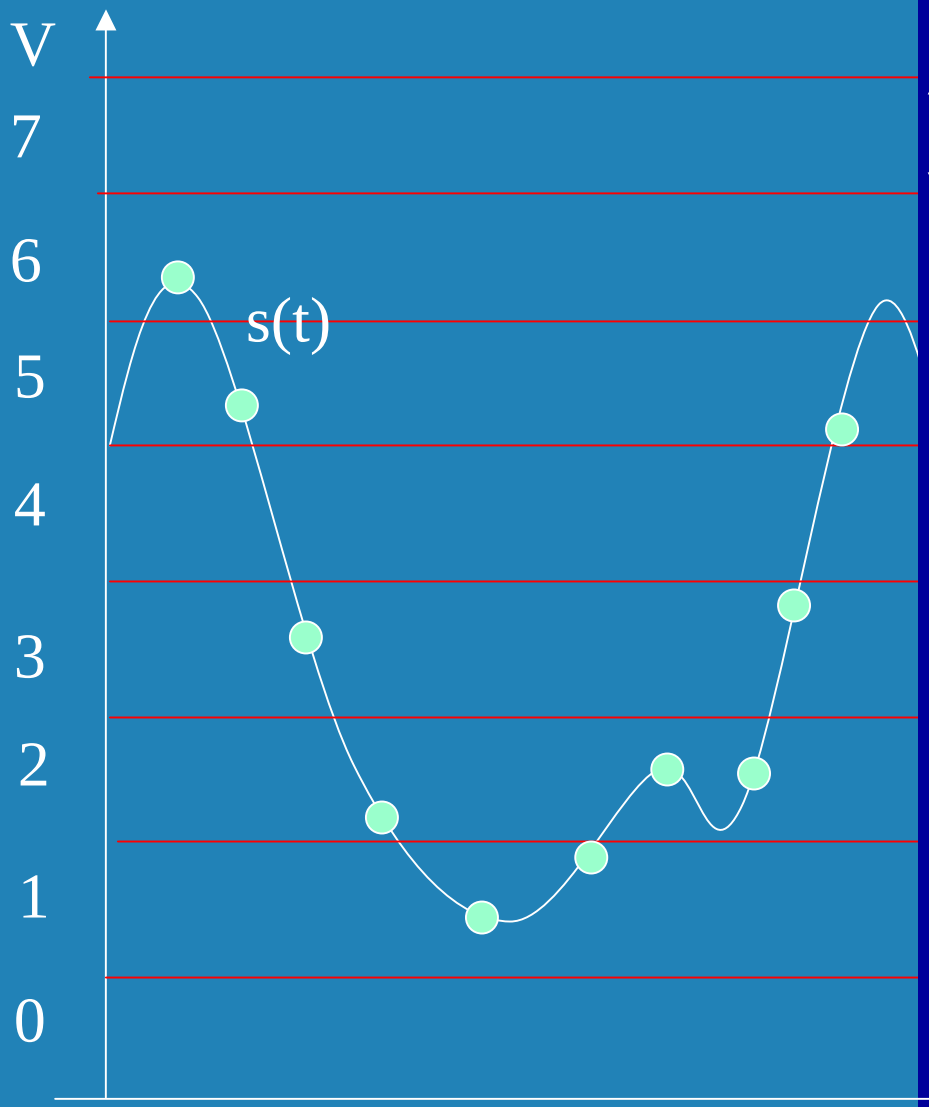
I campioni sono numeri reali che possono assumere qualsiasi valore fra un minimo ed un massimo

Quantizzazione

Il rumore e le distorsioni presenti in un canale di comunicazione limitano la qualità con cui può essere ricostruito un segnale. Per questo motivo non è in generale richiesto una riproduzione esatta del segnale trasmesso, ma solo una sua versione approssimata. I campioni del segnale trasmesso possono perciò essere approssimati mediante numeri interi; questo processo di approssimazione prende il nome di quantizzazione. La quantizzazione si dice lineare se tutti gli intervalli hanno la stessa ampiezza.

ESEMPIO : Consideriamo il caso di quantizzazione di un segnale con valore minimo 0 e valore massimo V mediante 8 intervalli di quantizzazione di uguale ampiezza D.

Quantizzazione

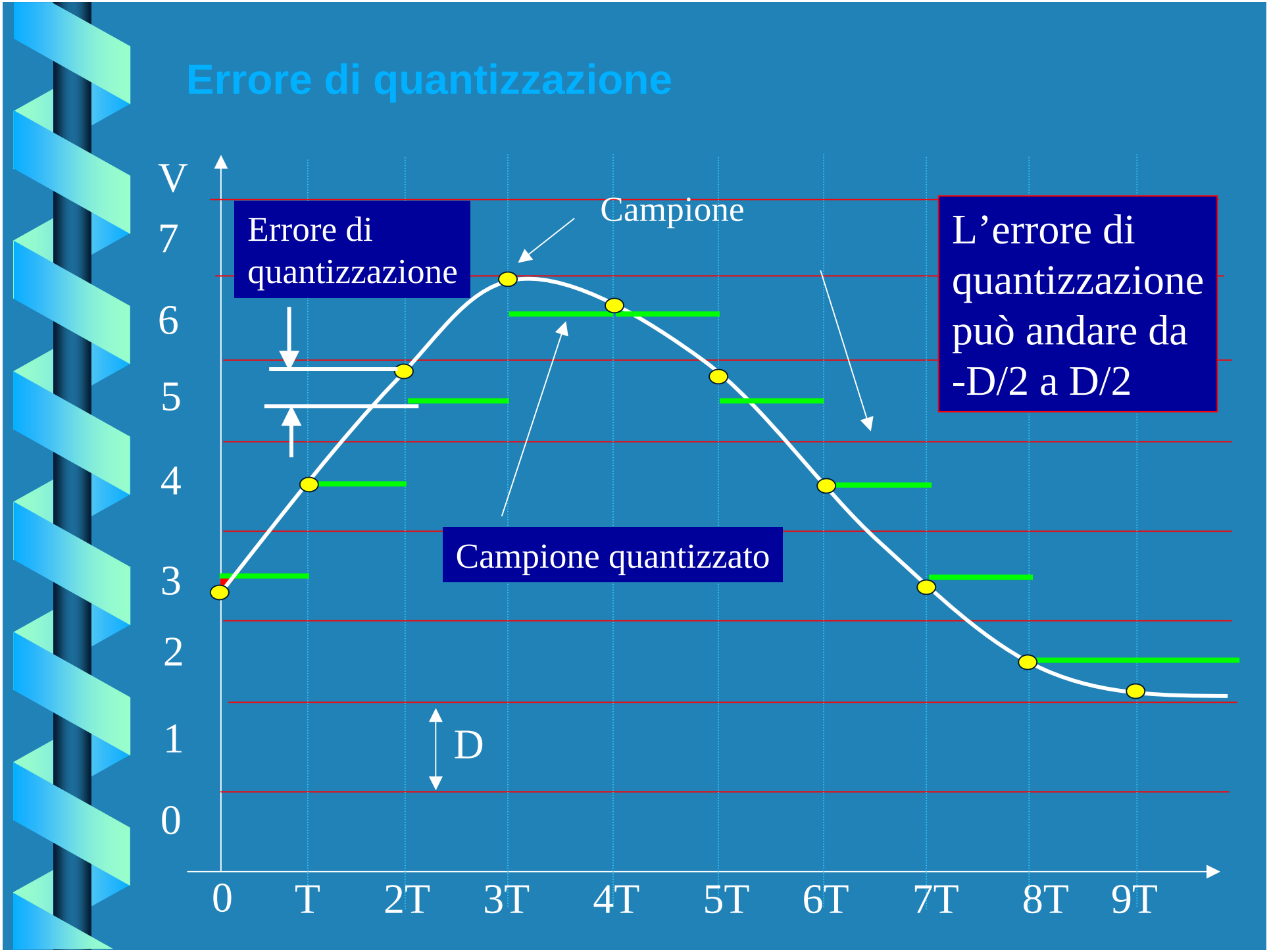


D Intervallo di quantizzazione

Al posto dei campioni s(iT) del segnale sono trasmessi i numeri: (valori quantizzati):

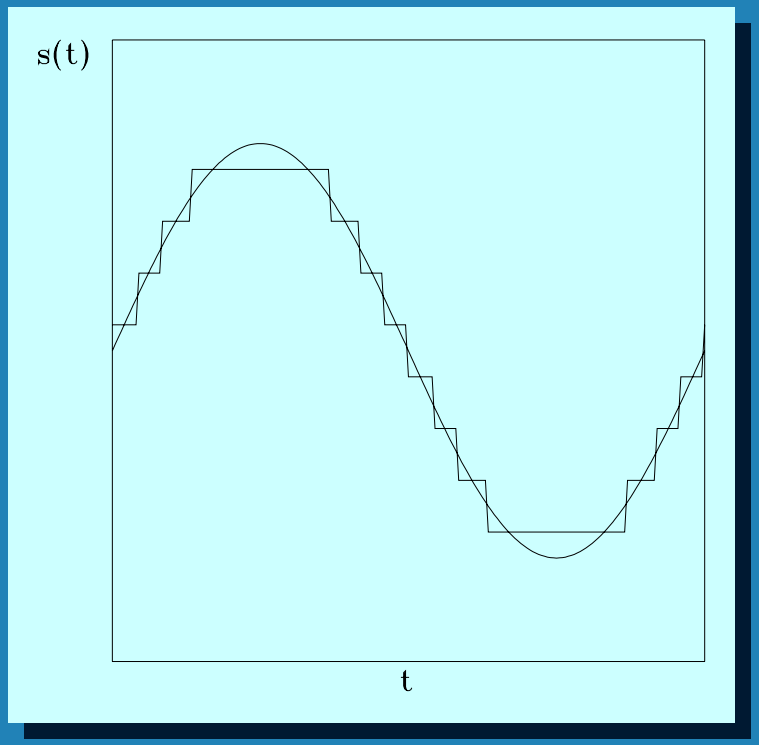
6 5 3 2 1 1 2 2 3 5

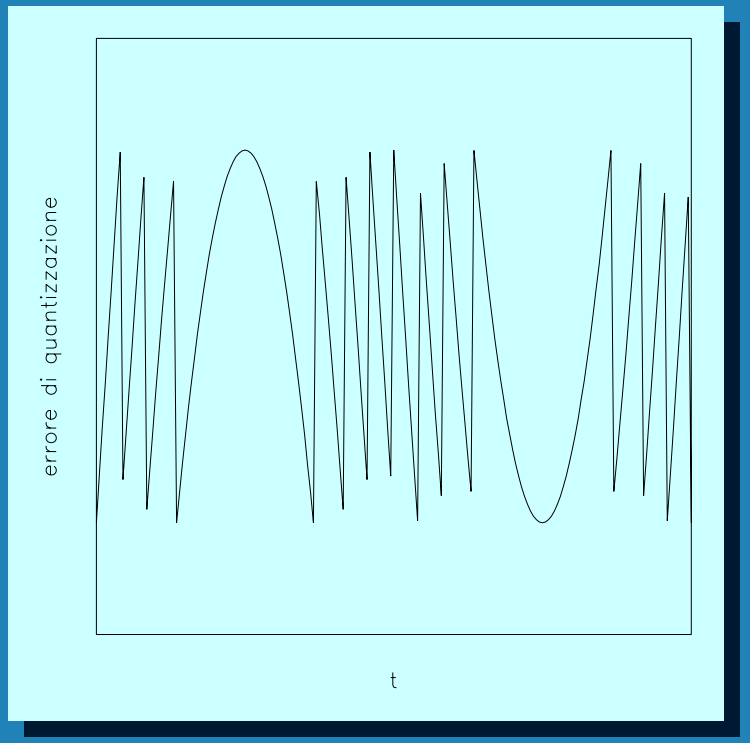
Errore di quantizzazione



Esempio di quantizzazione lineare di una sinusoide

Errore di quantizzazione





Perché la quantizzazione non introduca distorsioni sul segnale

Errore (= rumore) di quantizzazione << rumore del canale

Digitalizzazione

Tramite il campionamento e la quantizzazione, abbiamo che il segnale quantizzato può assumere solo certi valori.
Ad esempio, se il quantizzatore ha 8 livelli, i campioni quantizzati potranno assumere solo uno di 8 possibili valori.

Possiamo rappresentare ciascuno di questi valori tramite una sequenza di bit ……

Ma che cos'è un bit?

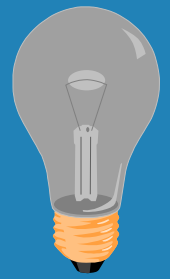
BIT: Binary Digit

Il BIT è una unità di informazione che può esprimere uno fra due possibili stati



LAMPADINA

ACCESA **SPENTA**



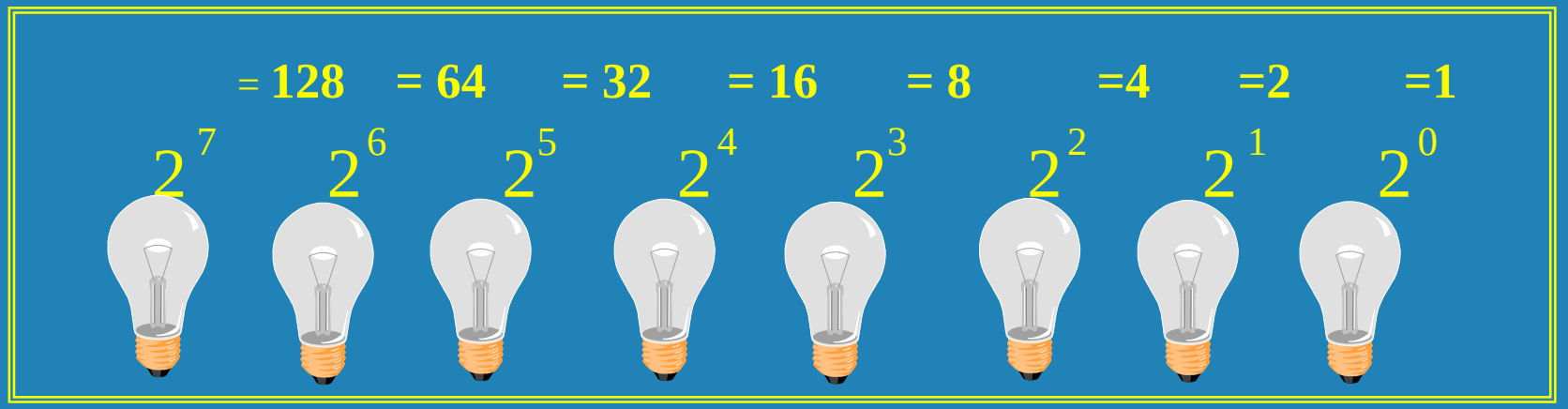
SIMBOLI

+ **POSITIVO** **NEGATIVO** **-**

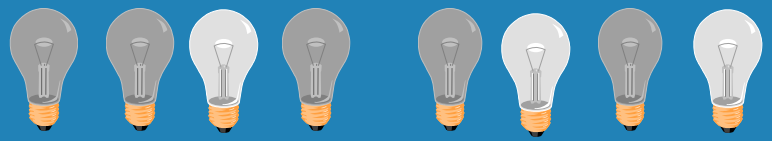
MICROINTERRUTTORI

ON **ACCESO** **SPENTO** **OFF**

La rappresentazione binaria



NUMERAZIONE POSIZIONALE ,
DOVE OGNI BIT ASSUME IL VALORE DI 2 ELEVATO AL NUMERO DELLA SUA POSIZIONE



0 0 1 0 0 1 0 1

0 + 0 + 32 + 0 + 0 + 4 + 0 + 1 = 37

Alcuni esempi

Vediamo la rappresentazione binaria dei numeri decimali da 0 a 7 utilizzando 3 bit

0 → 0 0 0	infatti	$0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 0 + 0 + 0 = 0$
1 → 0 0 1	infatti	$0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 0 + 0 + 1 = 1$
2 → 0 1 0	infatti	$0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 0 + 2 + 0 = 2$
3 → 0 1 1	infatti	$0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 0 + 2 + 1 = 3$
4 → 1 0 0	infatti	$1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 4 + 0 + 0 = 4$
5 → 1 0 1	infatti	$1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 4 + 0 + 1 = 5$
6 → 1 1 0	infatti	$1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 4 + 2 + 0 = 6$
7 → 1 1 1	infatti	$1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 4 + 2 + 1 = 7$

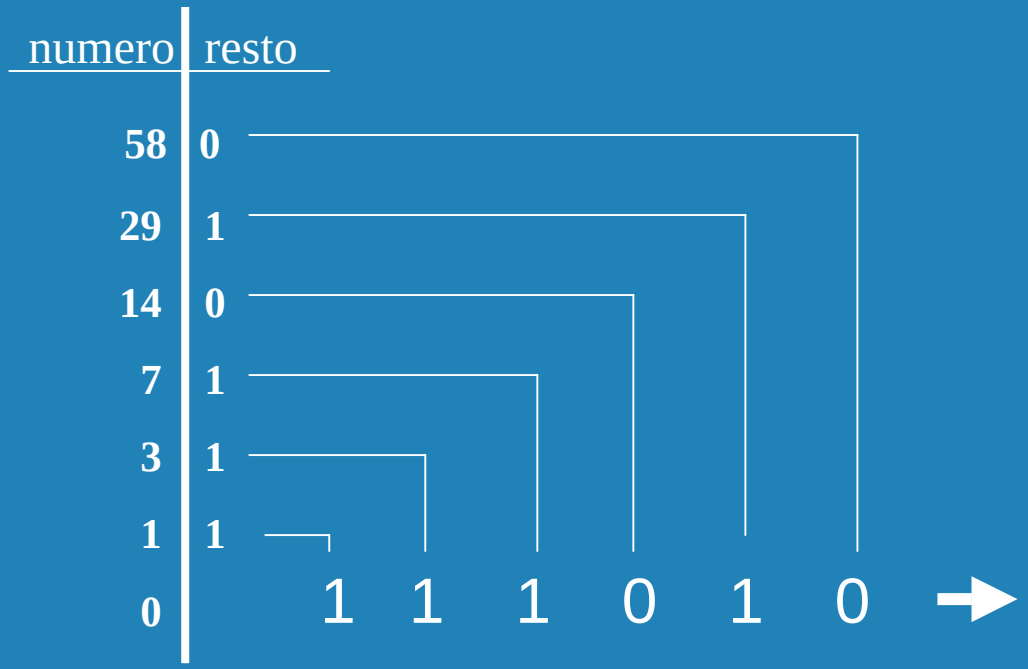
Attenzione! Per rappresentare il numero 8 occorre un numero maggiore di bit

8 → 1 0 0 0

In generale con N bit possiamo rappresentare i numeri da 0 a 2^N-1

Un semplice metodo di conversione

CONVERSIONE DECIMALE \ BINARIO:



Bisogna dividere il numero decimale per due fino ad arrivare a zero e prendere il resto ribaltandolo dall'alto a destra.

$1 \times 2^5 \quad 1 \times 2^4 \quad 1 \times 2^3 \quad 0 \times 2^2 \quad 1 \times 2^1 \quad 0 \times 2^2$

Unità di misura utilizzate nel mondo digitale

8 BIT = 1 BYTE

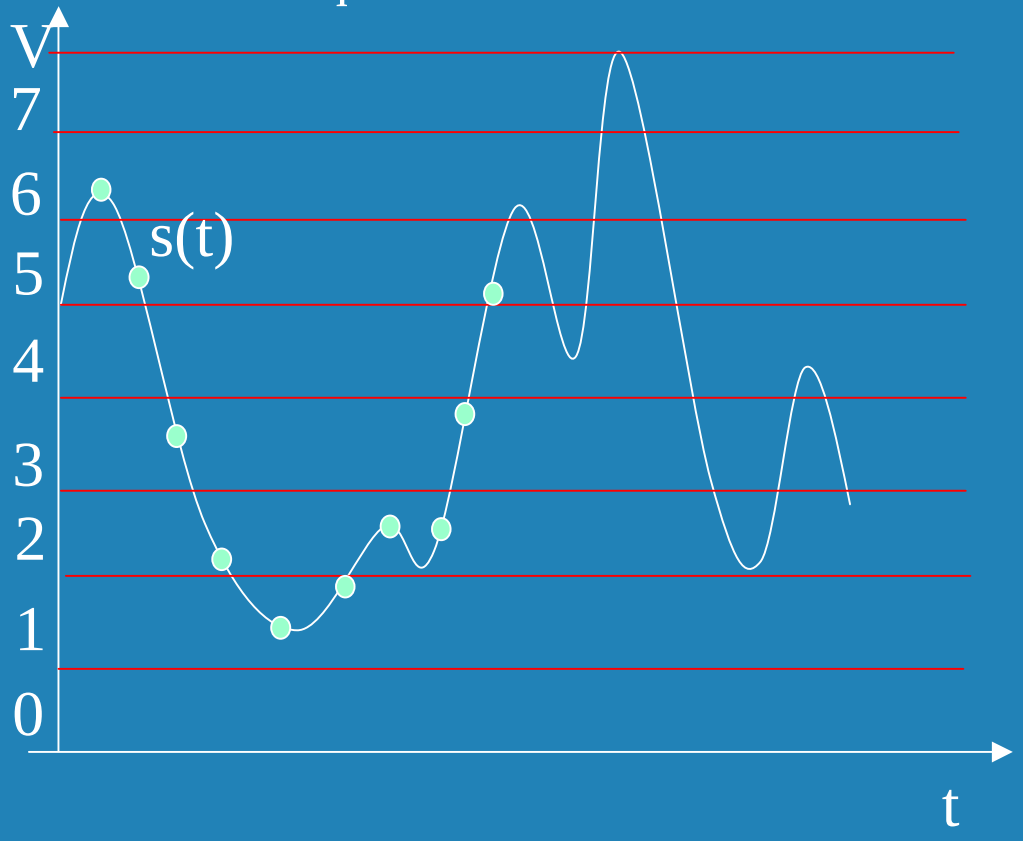
1024 BYTE = 1 KILO BYTE = 2^{10} BIT

1024 KILO BYTE = 1 MEGA BYTE = 2^{20} BIT

1024 MEGA BYTE = 1 GIGA BYTE = 2^{30} BIT

Rappresentazione binaria dei livelli di quantizzazione

Supponiamo di campionare un segnale e di quantizzare i campioni tramite un quantizzatore ad 8 livelli



Possiamo indicare ciascun livello tramite una sequenza di tre bit. Infatti con tre bit possiamo rappresentare i numeri da 0 a 7 (sono 8 valori)

La sequenza dei campioni quantizzati: 6 5 3 2 1 1 2 2 3 5 diventa

6	5	3	2	1	1	2	2	3	5
110	101	011	010	001	001	010	010	011	101

Segnale digitale

Ricapitolando ……..



Segnale analogico

Convertitore analogico/digitale (A/D)

Campionatore

2,34 1,45 ….

Quantizzatore

0010011010101001

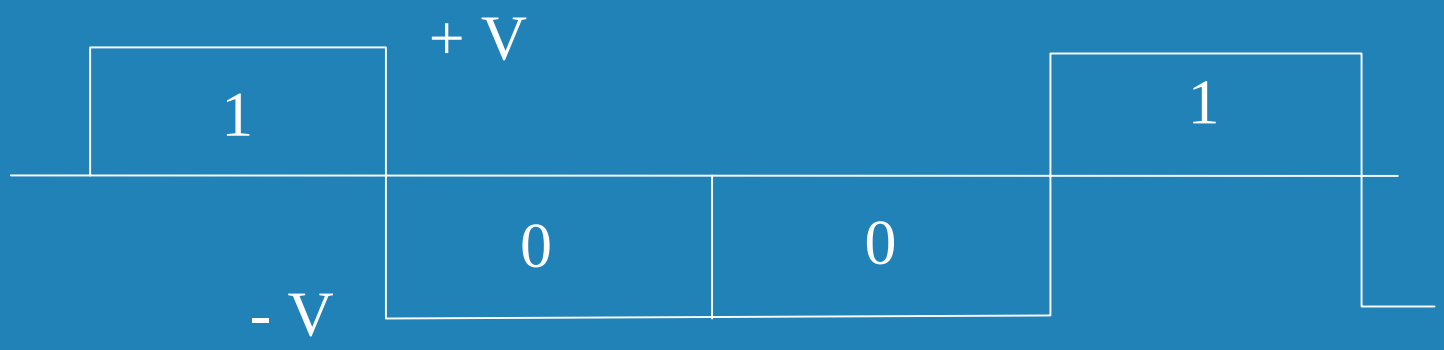
Segnale digitale

Trasmissione di segnali digitali

Il convertitore A/D permette di trasformare un segnale analogico In una sequenza di bit.

Ogni bit può essere rappresentato fisicamente da un valore di tensione, dallo stato di un circuito, dalla polarizzazione di un materiale magnetico.

Per trasmettere un bit occorre associargli una forma d'onda, ad esempio:



Un sistema di trasmissione digitale



Segnale analogico

Convertitore A/D

01001

Modulatore / trasmettitore

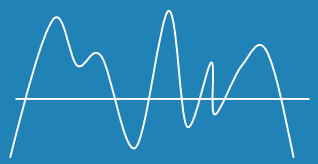


Canale

Demodulatore/ ricevitore

01001

Convertitore D/A



Segnale analogico

Perché digitale?

VANTAGGI

• Lo sviluppo tecnologico ha reso possibile realizzare apparati e sistemi elettronici in forma di *circuiti integrati* che risultano vantaggiosi dal punto di vista del costo, affidabilità e compattezza. Tali vantaggi sono conseguibili soprattutto nella costruzione di di circuiti atti all'esecuzione di operazioni logiche.

• Sviluppo dei sistemi di elaborazione digitale dei segnali (DSP).

• Minore sensibilità dei segnali digitali ai disturbi introdotti dal canale.

• Possibilità di utilizzare ripetitori rigenerativi.

• La multiplazione di segnali numerici ha un costo inferiore rispetto alla multiplazione di segnali analogici.

• Con l'avvento dei computer, molta dell'informazione da trasferire nasce già in forma digitale.

Perché digitale?

SVANTAGGI

• La trasmissione di segnali digitali comporta la conversione A/D e viceversa, il cui costo è comunque molto limitato.

• La trasmissione numerica di segnali originariamente analogici comporta una maggiore larghezza di banda (capacità) del canale trasmissivo.

• Nei sistemi numerici i vari componenti della catena di trasmissione devono essere sincronizzati tra loro.