



**Marica Franzini**

**Laboratorio di Geomatica - DICAr**

**Università di Pavia**

**email: [marica.franzini@unipv.it](mailto:marica.franzini@unipv.it)**



# Il segnale GPS/GNSS

## Premessa - 1

---

I segnali GNSS giocano un ruolo chiave nell'architettura del sistema e sono costituiti da onde elettromagnetiche che si propagano dal satellite verso il ricevitore.

La propagazione di un segnale elettromagnetico viene descritta dalla Fisica per mezzo delle equazioni di Maxwell, in termini di variazioni nello spazio e nel tempo dei campi elettrico e magnetico.

Tali fenomeni sono estremamente complessi, tuttavia è possibile dare una descrizione semplificata ma molto rappresentativa, basata sulle onde piane.

## Premessa - 2

---

Un'onda piana è un'onda a frequenza costante e la cui ampiezza picco-picco è anch'essa costante.

Un fenomeno sinusoidale che si ripete nel tempo con esatta ciclicità è descritto dalla seguente equazione:

$$A(t) = A_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$$

dove  $A_0$  è l'ampiezza del segnale,  $\omega$  è la pulsazione e  $\varphi_0$  è la fase iniziale.

Un'onda piana può pertanto essere descritta tramite pochi e semplici parametri.

## Richiami

- Periodo  $T$ : tempo in cui viene emesso un ciclo completo  $\rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$
- Frequenza  $f$ : numero di cicli completi emessi nell'unità di tempo  $\rightarrow f = \frac{1}{T}$
- Lunghezza d'onda  $\lambda$ : distanza percorsa dall'onda nel tempo  $T \rightarrow \lambda = T \cdot c$

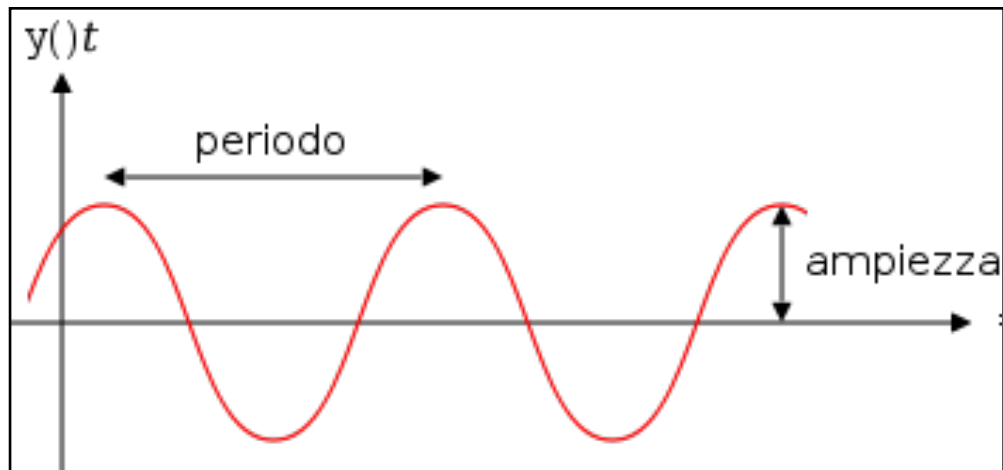


Grafico nel tempo

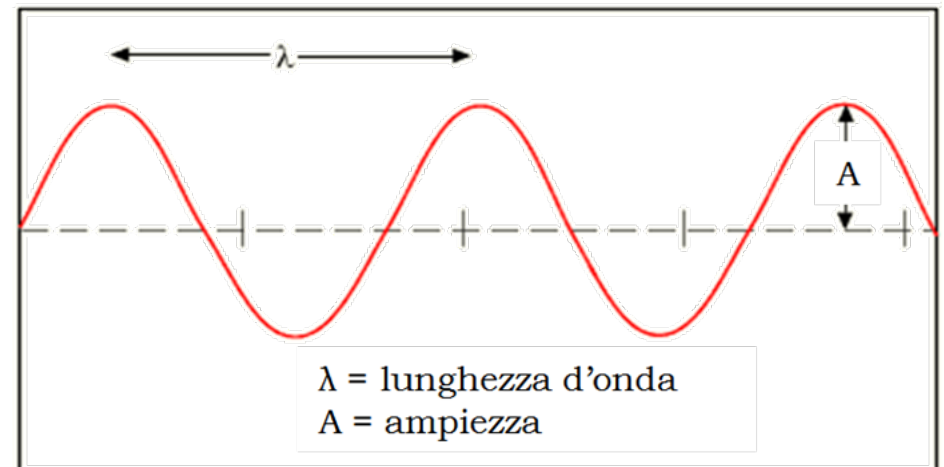


Grafico nello spazio

## Trasmettere informazioni

---

Le onde piane sono il cardine delle tecniche di trasmissione del segnale poiché sono facili da generare e da ricevere.

Hanno però una bassa capacità di trasmettere informazioni: fissata l'ampiezza e la lunghezza d'onda si possono trasmettere al più due numeri (informazioni).

Ma se devo trasmettere informazioni, come ad esempio:

- un messaggio mail
  - un file
  - un'immagine
  - una registrazione audio
  - l'andamento in funzione del tempo di un qualsiasi fenomeno fisico
- ... devo modificare l'onda piana attraverso la modulazione del segnale.

# Modulazione del segnale

---

## NOMENCLATURA:

- modulazione - tecnica per cui un messaggio viene trasmesso tramite modifica di un'onda piana
- portante - onda piana sfruttata
- segnale - risultato della modulazione

Esistono diverse tecniche per la modulazione del segnale.

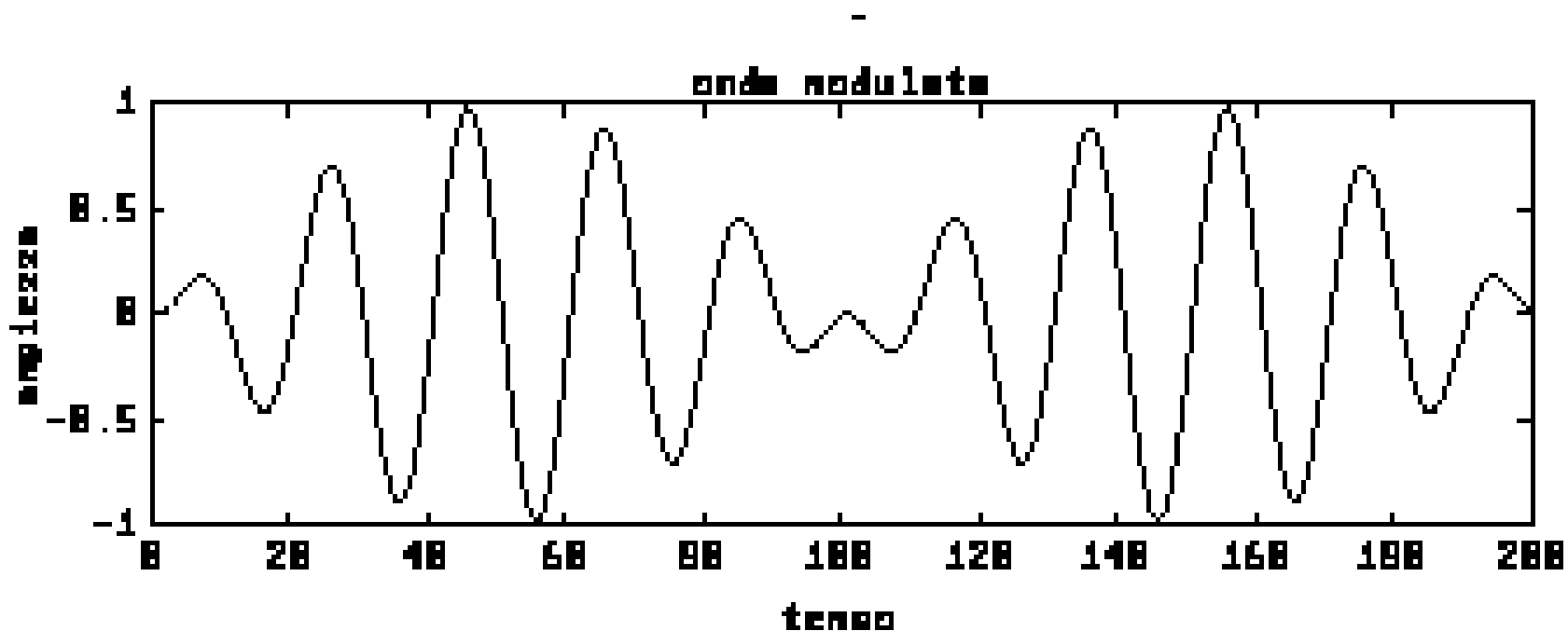
Le principali sono:

1. modulazione d'ampiezza
2. modulazione di frequenza
3. modulazione di fase

## Modulazione di ampiezza

---

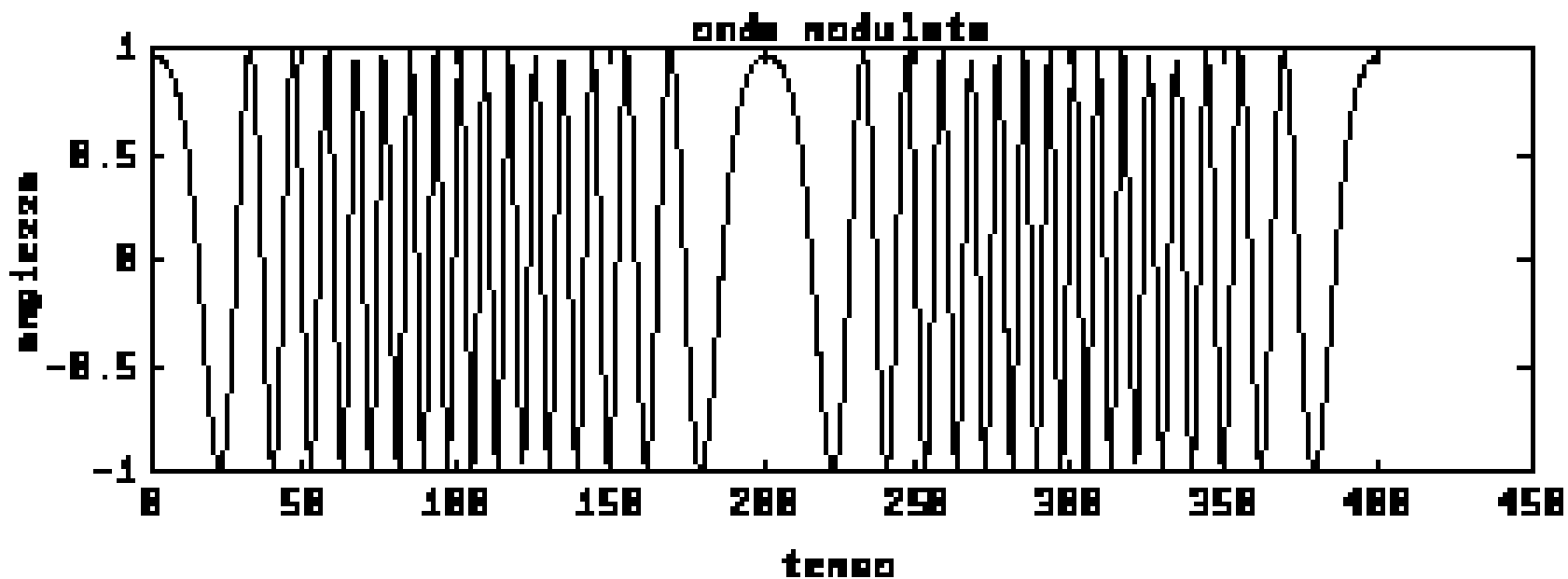
In questa tecnica di modulazione, l'ampiezza dell'onda piana varia in funzione del tempo.



## Modulazione di frequenza

---

In questa tecnica di modulazione, la frequenza dell'onda piana varia in funzione del tempo.

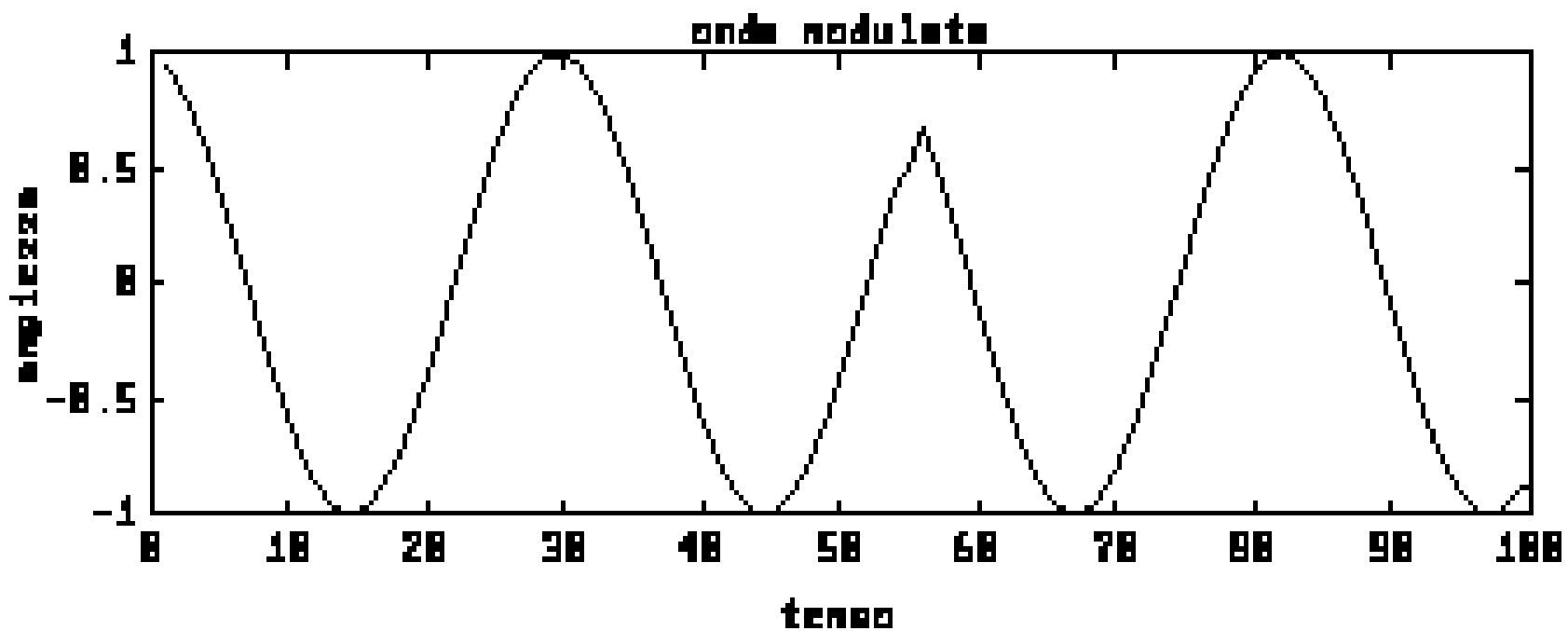




## Modulazione di fase

---

In questa tecnica di modulazione, la fase dell'onda piana varia in funzione del tempo.

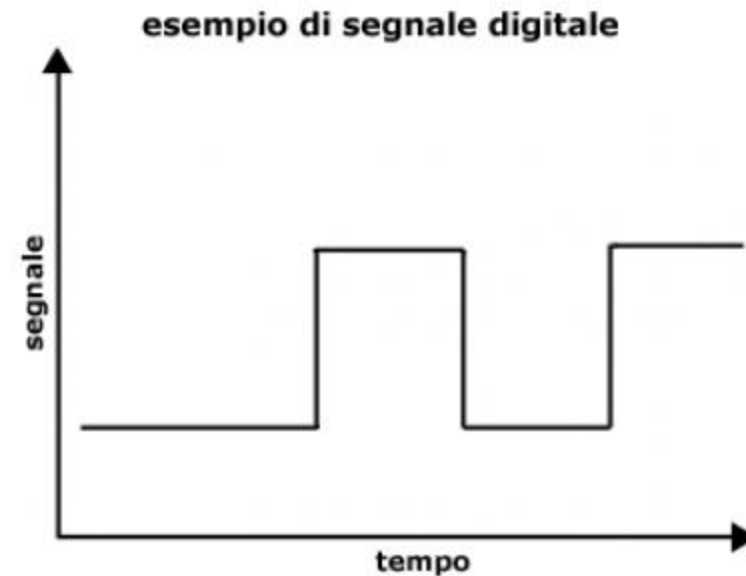


## Segnali analogici e segnali digitali - 1

Il segnale, ossia il prodotto della modulazione, può essere di due tipi:

**Segnale analogico** - è un segnale continuo nel tempo che può assumere tutti gli infiniti valori della grandezza fisica osservabile, sia essa una tensione, una corrente, una temperatura o altro.

**Segnale digitale** - È un segnale che può assumere solo un numero discreto (numerabile) di valori. Ad esempio un'onda quadra che assume i valori logici 1 e 0.



## Segnali analogici e segnali digitali - 2

---

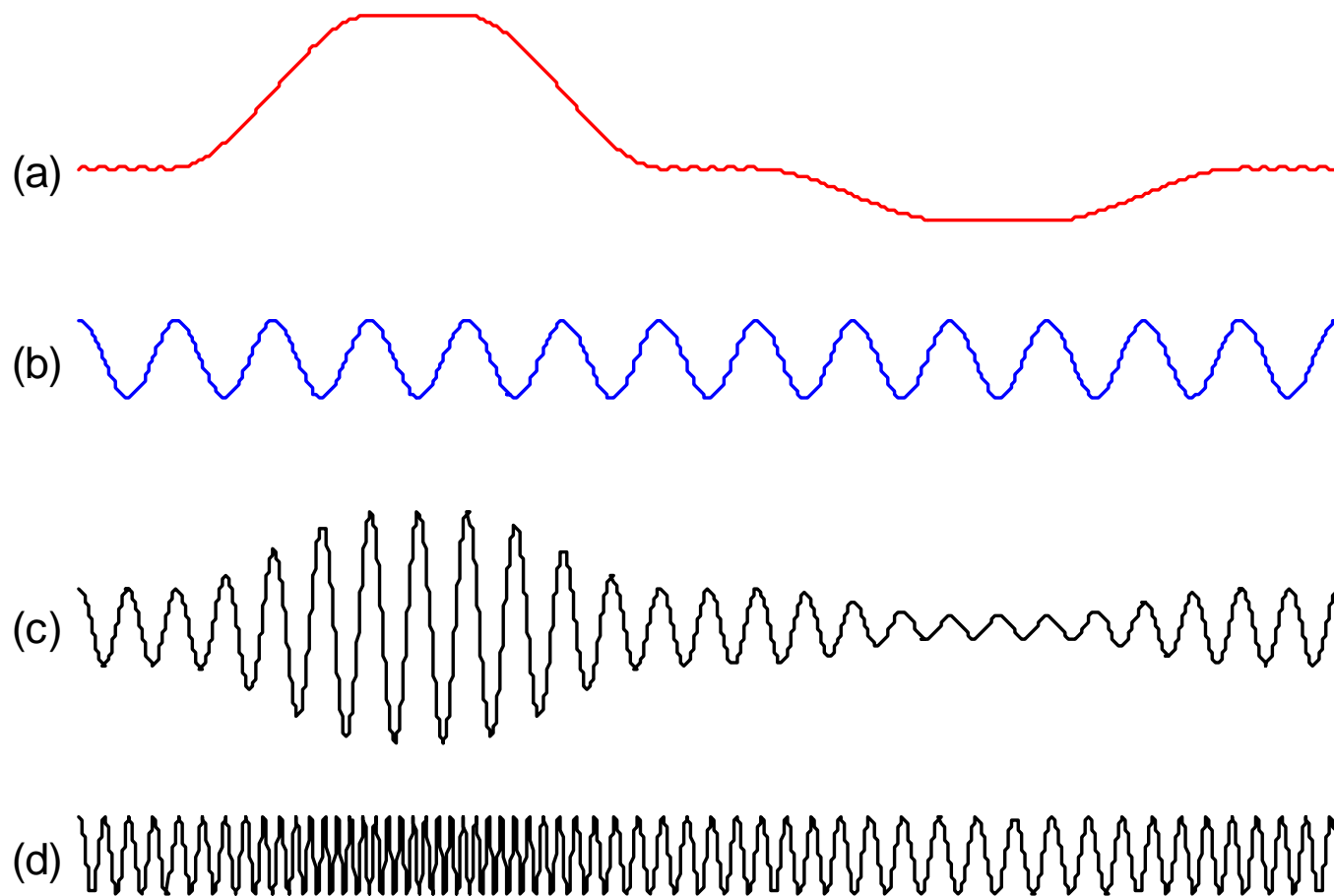
Segnali analogici: abbiamo già visto i parametri principali per descrivere un'onda piana:

- periodo  $T$ : tempo in cui viene emesso un ciclo completo
- frequenza  $f$ : numero di cicli completi emessi nell'unità di tempo
- lunghezza d'onda  $\lambda$ : distanza percorsa dall'onda nel tempo  $T$

E' possibile descrivere un segnale digitale utilizzando gli stessi parametri ed istituendo un'analogia:

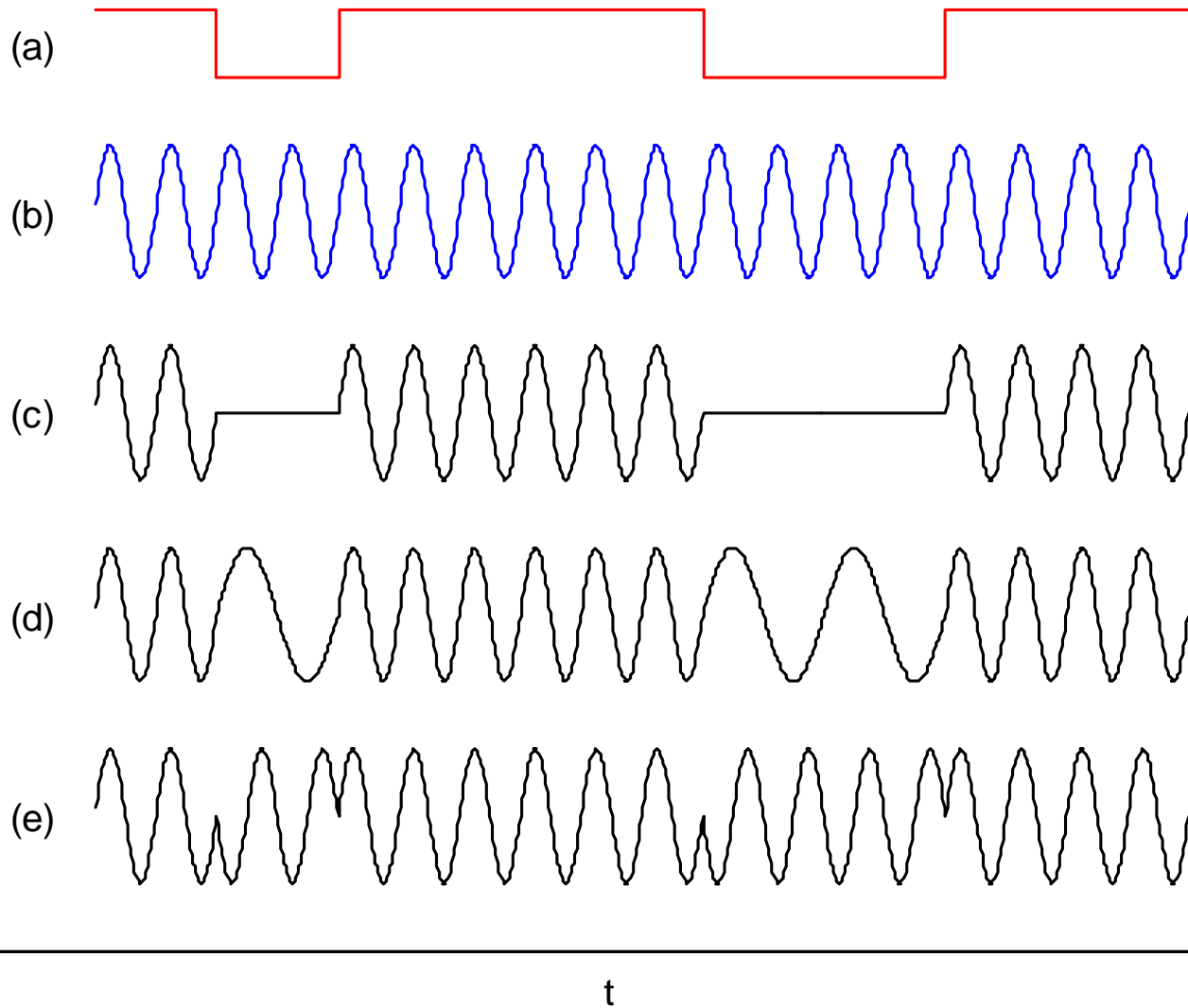
- periodo  $T^*$ : tempo in cui viene emesso un singolo bit
- frequenza  $f^*$ : numero di bit emessi nell'unità di tempo
- lunghezza d'onda (bit length)  $\lambda^*$ : lunghezza nello spazio di un singolo bit

## Esempi di modulazione analogica



- a) Messaggio
- b) Portante
- c) Modulazione di ampiezza (AM)
- d) Modulazione di frequenza (FM)

# Esempi di modulazione digitale



- a) Messaggio
- b) Portante
- c) Modulazione di ampiezza (AM)
- d) Modulazione di frequenza (FM)
- e) Modulazione di fase (PM)

## La modulazione ed i GNSS

---

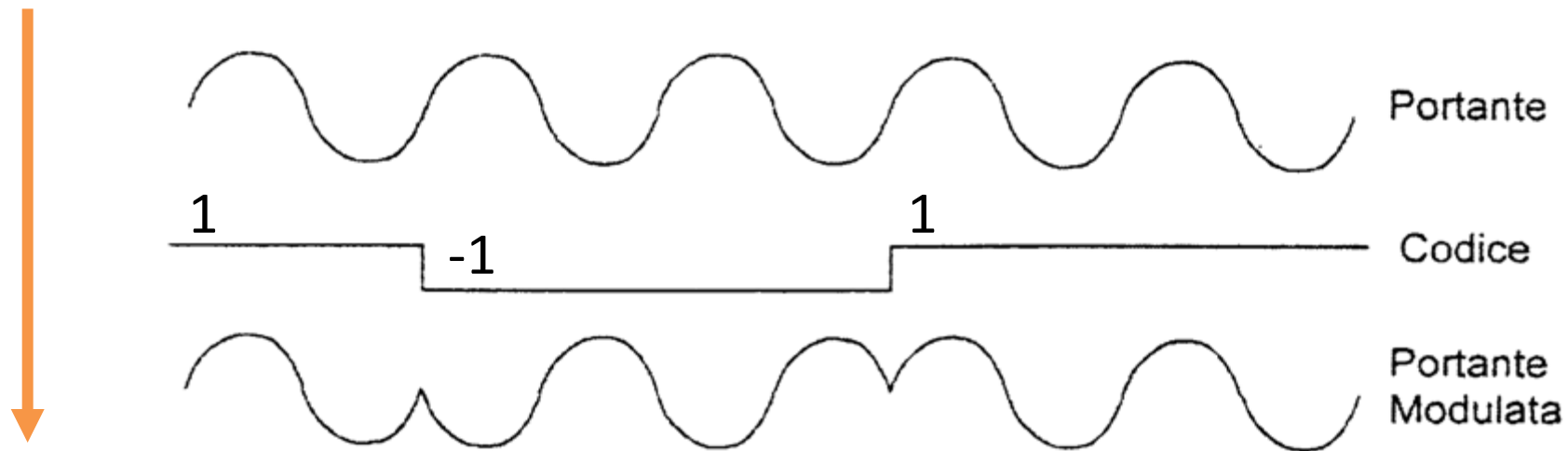
Le informazioni che i satelliti inviano verso i ricevitori contengono una miriade di informazioni non descrivibili tramite un fenomeno continuo; è quindi necessario l'utilizzo di messaggi digitali - chiamati anche codici.

Abbiamo visto che esistono diverse tecniche per la modulazione di messaggi digitali su onde piane: modulazione d'ampiezza, di frequenza e di fase.

I GNSS utilizza la modulazione binaria di fase (BPSK – Binary Phase Shift Keying).

## BPSK - 1

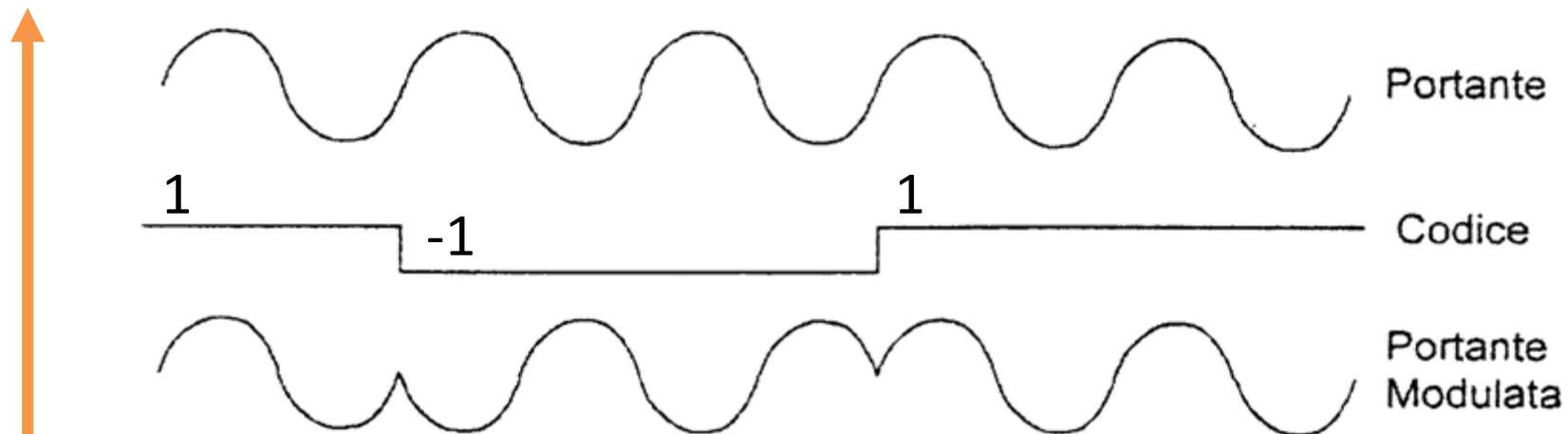
Nella BPSK ogni transizione del codice (passaggio da -1 a 1 o viceversa) provoca una variazione nella fase della portante di  $\pi$ .



NB - Insieme al metodo di modulazione deve esistere anche quello di demodulazione; il ricevente deve riuscire ad interpretare il segnale in modo da poter risalire al messaggio originario.

## BPSK - 2

Per demodulare un segnale ottenuto con BPSK è sufficiente modularlo una seconda volta con lo stesso codice:



Modulando due volte la BPSK con lo stesso codice, il risultato è la portante pura o, in altri termini, la seconda modulazione elimina la prima.



## BPSK - 3

---

Una caratteristica importante della BPSK è che può essere reiterata in modo da modulare più codici sulla stessa portante.

Nel caso di due codici:

1. si modula il primo codice;
2. si modula il secondo codice sul risultato della prima modulazione.

Queste due caratteristiche - la capacità di demodulazione e quella di modulare più codici sulla stessa portante - sono due caratteristiche fondamentali alla base del posizionamento GPS/GNSS.

## Il segnale GNSS - 1

---

Alcuni punti chiave:

- il GPS utilizza la BSPK per inviare messaggi
- i satelliti generano onde piane e le modulano per inviare verso terra le informazioni necessarie ai ricevitori per il posizionamento
- gli orologi atomici di bordo vengono sfruttati per generare onde piane di una prefissata frequenza

Nei GNSS esiste quindi una frequenza fondamentale generata dagli orologi atomici presenti a bordo dei satelliti.

## Il segnale GNSS – 2

---

Da questa frequenza fondamentale si originano tre parti fondamentali del segnale trasmesso:

1. Componente portante: onde sinusoidali generate moltiplicando la frequenza fondamentale per coefficienti noti
2. Componente impulsiva (codici): onde quadre formate da transazioni di valori +1 e -1, generati da un algoritmo che si ripete periodicamente nel tempo. Vengono detti, per questo motivo, “pseudo-casuali” o PRN (Pseudo Random Noise)
3. Componente messaggio (codice di navigazione): contiene importanti informazioni come le effemeridi dei satelliti, il loro stato di salute, informazioni sugli errori degli orologi dei satelliti e sui ritardi del segnale nello strato ionosferico

# 1 - Il segnale GPS

## Il segnale GPS

---

La frequenza fondamentale GPS è pari a  $f_0 = 10.23 \text{ Mhz}$ .

Da questa frequenza fondamentale si originano tre parti fondamentali del segnale trasmesso e precisamente:

- Componente portante: 3 onde sinusoidali chiamate  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_5$
- Componente impulsiva: codici C/A, P e  $L_2C$
- Componente messaggio: codice NAV (codice D), codice CNAV

## Le portanti - 1

---

Da  $f_0$  vengono generate due frequenze storiche,  $L_1$  e  $L_2$  :

- $f_1 = 154 \cdot f_0 = 1.57542 \text{ Ghz}$
- $f_2 = 120 \cdot f_0 = 1.22760 \text{ Ghz}$

A partire dai satelliti del blocco IIR è trasmessa la terza frequenza  $L_5$ :

- $f_5 = 115 \cdot f_0 = 1.17645 \text{ Ghz}$

Alle frequenze  $f_1$ ,  $f_2$  e  $f_5$  corrispondono le tre lunghezze d'onda:

- $\lambda_1 = \frac{c}{f_1} \cong 19 \text{ cm}$
- $\lambda_2 = \frac{c}{f_2} \cong 24 \text{ cm}$
- $\lambda_5 = \frac{c}{f_5} \cong 25 \text{ cm}$

## I codici PRN - 1

---

La componente impulsiva del segnale, i codici PRN, permettono la misura della distanza satellite-ricevitore, necessaria per il posizionamento.

Essi sono formati da sequenze di bit con una determinata lunghezza; esaurita la sequenza il codice si ripete periodicamente.

Nel GPS esistono tre codici:

- C/A (Coarse Acquisition - acquisizione grezza): ha una lunghezza di 1023 bit ed è trasmesso con una frequenza pari a:

$$f_{C/A}^* = 1.023 \text{ Mbps.}$$

Ne risulta una lunghezza d'onda pari a:

$$\lambda_{C/A}^* = \frac{c}{f_{C/A}^*} \cong 293.05 \text{ m.}$$

Si ripete periodicamente ogni millisecondo.

## I codici PRN - 2

---

- P (Precision - precisione): ha una lunghezza di  $6.1871 \cdot 10^{12}$  bit ed è trasmesso con una frequenza pari a:

$$f_P^* = 10.23 \text{ Mbps.}$$

Ne risulta una lunghezza d'onda pari a:

$$\lambda_P^* \cong 29.31 \text{ m.}$$

Si ripete periodicamente ogni settimana.

- L<sub>2</sub>C: ha due distinte componenti PRN (CM – Civil Moderate length e CL – Civil Long length) trasmesse entrambe sulla portante L<sub>2</sub>.

Entrambe hanno frequenza pari a:

$$f_{L_2C}^* = 0.5115 \text{ Mbps.}$$

Ne risulta una lunghezza d'onda pari a:

$$\lambda_{L_2C}^* \cong 586.1 \text{ m.}$$



## I codici PRN - 3

---

I codice C/A e L<sub>2</sub>C sono codici civili sempre disponibili.

Il codice C/A è trasmesso sulla sola frequenza L<sub>1</sub>.

Il codice L<sub>2</sub>C è trasmesso sulla sola frequenza L<sub>2</sub> dai satelliti del blocco II-RM.

Il codice P è noto e documentato, per cui è disponibile all'utenza civile, ma normalmente viene criptato con un codice riservato W (attivo dal 1994 con il termine *anti-spoofing*).

Nel prossimo futuro è previsto un altro segnale civile L<sub>1</sub>C sulla frequenza L<sub>1</sub> e un nuovo codice M (Military) che modulerà entrambe le frequenze.

## Il codice di navigazione - 1

---

Il codice NAV o D, o messaggio navigazionale, ha lo scopo di fornire ai ricevitori una lunga serie di informazioni necessarie per effettuare il posizionamento.

E' un codice a bassa frequenza:

- frequenza  $f_{NAV}^* = 50 \text{ bps}$
- lunghezza d'onda  $\lambda_{NAV}^* \cong 5996 \text{ Km}$

Le informazioni principali trasmesse sono:

- l'almanacco dei satelliti, cioè un modello semplificato che permette di prevedere la posizione approssimativa di tutti i satelliti (utile per il *planning*)
- informazioni sullo stato di salute
- le effemeridi predette
- una stima dello sfasamento degli orologi di bordo del satellite

## Il codice di navigazione – 2

---

E' un recente aggiornamento del segnale di navigazione NAV.

Caratteristiche:

- frequenza  $f_{CNAV}^* = 300 \text{ bps}$
- lunghezza d'onda  $\lambda_{CNAV}^* \cong 1000 \text{ Km}$

Oltre alle informazioni contenute nel codice NAV, sono presenti più dati relativi all'asincronismo delle scale di tempo tra i vari sistemi (questo migliora l'interoperabilità).

E' anche presente un *Flag* (un indicatore) di allertamento se un satellite non è usabile a lungo.

## La struttura finale del segnale - 1

---

La struttura del segnale (considerando solo i codici C/A e P) emesso dai satelliti può essere scritto come:

$$S_1 = C/A(t) \otimes D(t) \otimes A_1 \cos(2\pi f_1 f + \varphi_1) + P(t) \otimes D(t) \otimes A_1 \sin(2\pi f_1 f + \varphi_1)$$

$$S_2 = P(t) \otimes D(t) \otimes A_2 \cos(2\pi f_2 f + \varphi_2)$$

dove il simbolo  $\otimes$  indica la modulazione binaria di fase.

Due segnali modulati su due portanti  $L_1$  ed  $L_2$ :

- sulla portante  $L_1$  vengono modulati tutti e tre i codici (C/A, P e D)
- sulla portante  $L_2$  vengono modulati due codici (P e D)

## La struttura finale del segnale - 2

---

In realtà, poiché il codice P è criptato, quello che un ricevitore GPS capta è:

$$S_1 = C/A(t) \otimes D(t) \otimes A_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) + Y(t) \otimes D(t) \otimes A_1 \sin(2\pi f_1 t + \varphi_1)$$

$$S_2 = Y(t) \otimes D(t) \otimes A_2 \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2)$$

dove il Y compare al posto del codice P (enCrYpted).

## La struttura finale del segnale - 3

---

Perché il segnale è così complesso?

- deve permettere di inviare un elevato numero di informazioni
- nato come sistema militare non permette una comunicazione “a due vie” che invece permetterebbe un’eventuale semplificazione del segnale. La presenza dei codici permette di effettuare posizionamento utilizzando solo le informazioni provenienti dai satelliti
- la struttura del segnale – la presenza di due onde portanti – permette la modellazione di alcuni fenomeni legati all’attraversamento atmosferico (in particolare lo strato ionosferico) che sono causa della principale fonte di errore nel posizionamento

## 2 - GLONASS

## Il segnale GLONASS - 1

---

Come nel caso del GPS, la comunicazione tra satelliti e utenti avviene attraverso un segnale radio composto di componenti sinusoidali modulate da codici.

Ogni satellite trasmette un segnale che si origina da una frequenza fondamentale:

$$f_0 = 5.0 \text{ Mhz}$$

Da questa si originano le portanti  $L_1$  ( $\sim 1.6$  GHz) e  $L_2$  ( $\sim 1.25$  GHz). A questa si aggiunge la nuova frequenza  $L_3$  ( $\sim 1.2$  GHz), disponibile sui nuovi satelliti del blocco K.

Ogni satellite varia poi ogni portante di una piccola quantità proporzionale al proprio numero: pertanto, ogni satellite ha una propria frequenza di portante.



## Il segnale GLONASS - 2

---

Le portanti sono poi modulate con due codici:

- PR rating code: sequenza trasmessa con una velocità di 511kbit/s che si ripeta ogni millisecondo
- Messaggio di navigazione: trasmesso a una velocità di 50 bit/s, contiene informazioni connesse al numero del satelliti, differenze tra le scale temporali, effemeridi, almanacchi della costellazione, indicatori dello stato di salute, sfasamento orologi.

# Sintesi

