



Vittorio Casella

Laboratorio di Geomatica - DIET

Università di Pavia

email: vittorio.casella@unipv.it



GPS

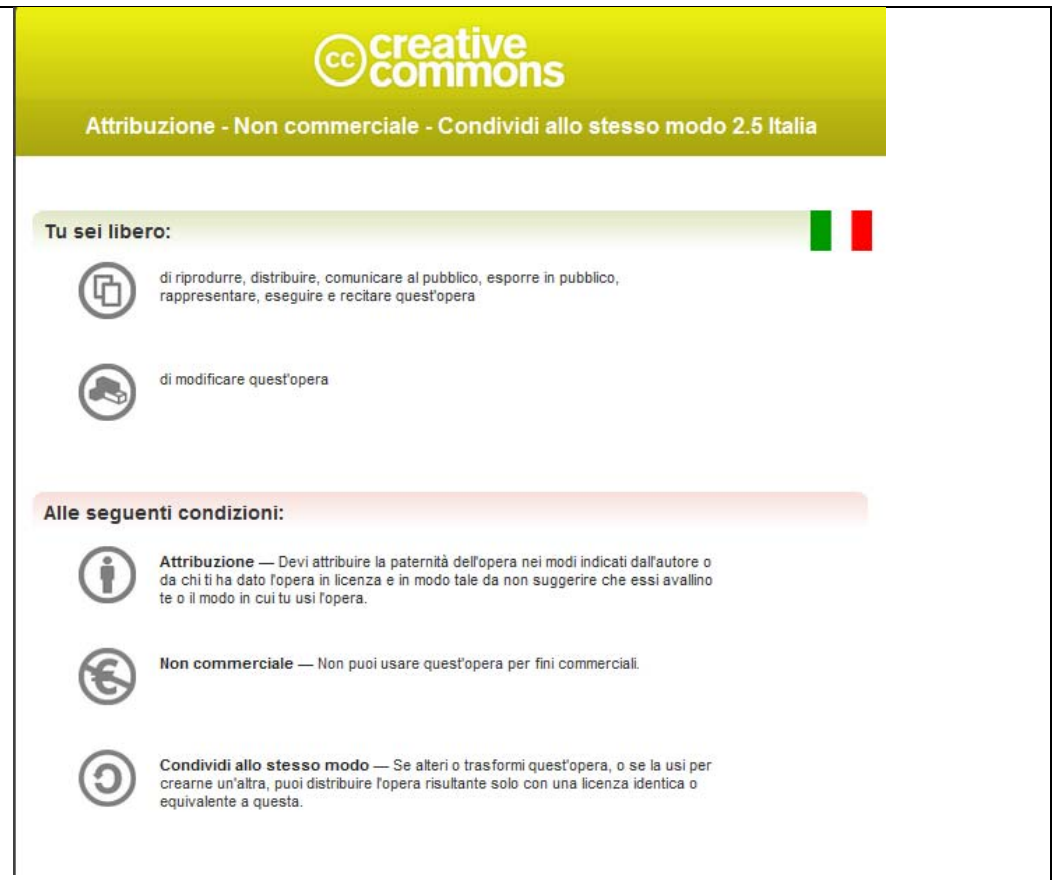
Modulazione analogica e digitale

Dispense

Licenza

Questa presentazione è © 2010 Vittorio Casella (vittorio.casella@gmail.com) disponibile nella modalità **creative commons** (www.creativecommons.org)

Se usi figure o parti della presentazione all'interno di tue presentazioni, articoli o altri scritti, devi sempre citarne l'origine.



The image shows the Creative Commons license logo and text for Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.5 Italia. The logo is a yellow bar with the CC icon and the text 'creative commons'. Below it, the license name is written: 'Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 2.5 Italia'. The license is divided into two sections: 'Tu sei libero:' and 'Alle seguenti condizioni:'. The 'Tu sei libero:' section includes three icons: a document with a plus sign (reproduction), a hand holding a document (modification), and a document with a plus sign (distribution). The 'Alle seguenti condizioni:' section includes three icons: a person (attribution), a crossed-out Euro symbol (non-commercial), and a circular arrow (share-alike).

creative commons

Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 2.5 Italia

Tu sei libero:

- di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera
- di modificare quest'opera

Alle seguenti condizioni:

- Attribuzione** — Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da chi ti ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera.
- Non commerciale** — Non puoi usare quest'opera per fini commerciali.
- Condividi allo stesso modo** — Se alteri o trasformi quest'opera, o se la usi per crearne un'altra, puoi distribuire l'opera risultante solo con una licenza identica o equivalente a questa.

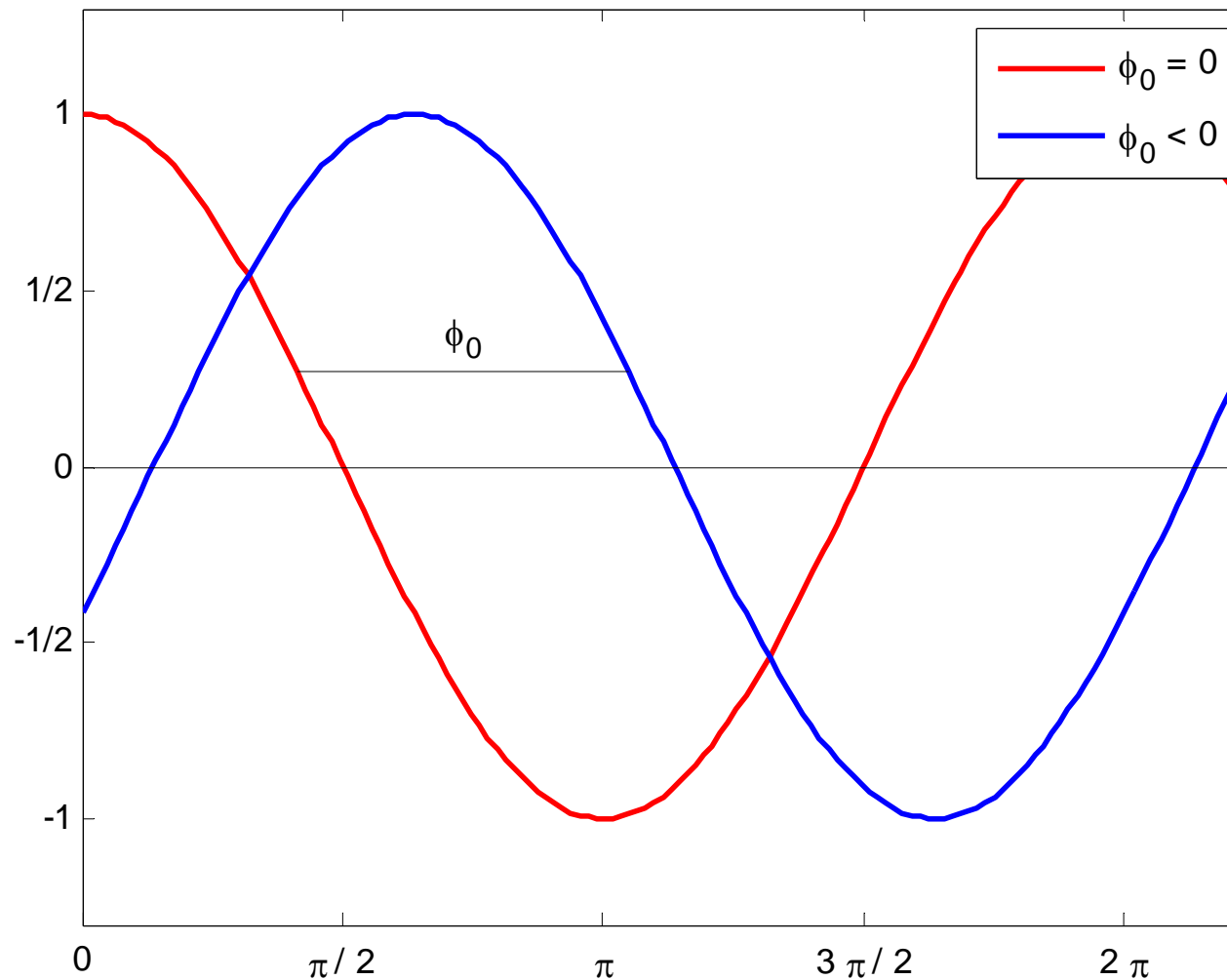
I segnali elettromagnetici

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.

Onda piana

Variazione nel tempo di un'onda piana osservata in un punto dello spazio

$$y(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (1)$$



Onda piana – 2

La grandezza ω è detta frequenza angolare.

La equazione (1) descrive un fenomeno periodico nel tempo con periodo

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Si può definire anche la frequenza

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Onda piana – 3

Propagazione nello spazio. Osserviamo l'onda nell'origine, da dove ha iniziato a propagarsi, e in un punto avente distanza x . L'onda ha, nel punto x e al tempo t il comportamento, che aveva nel punto O al tempo $t - \frac{x}{c}$, dove c è la velocità di propagazione

$$\begin{aligned}y(x,t) &= y(0, t - x/c) = A \cos\left(\omega(t - x/c) + \varphi_0\right) \\ &= A \cos\left(\omega t - \frac{\omega x}{c} + \varphi_0\right)\end{aligned}$$

Periodicità nello spazio

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{2\pi c}{\omega} \\ &= Tc\end{aligned}$$

Il nesso distanza-sfasatura

Un'onda piana che nell'origine ha l'equazione

$$y(0,t) = A\cos(\omega t + \varphi_0)$$

in un qualunque punto x ha equazione

$$\begin{aligned} y(x,t) &= y(0, t - x/c) = A\cos(\omega(t - x/c) + \varphi_0) \\ &= A\cos\left(\omega t - \frac{\omega x}{c} + \varphi_0\right) \end{aligned}$$

Misurando la sfasatura del segnale posso risalire alla distanza?

Il problema

Come far viaggiare informazione su un'onda piana

Modulazione analogica: l'informazione è analogica

Portante

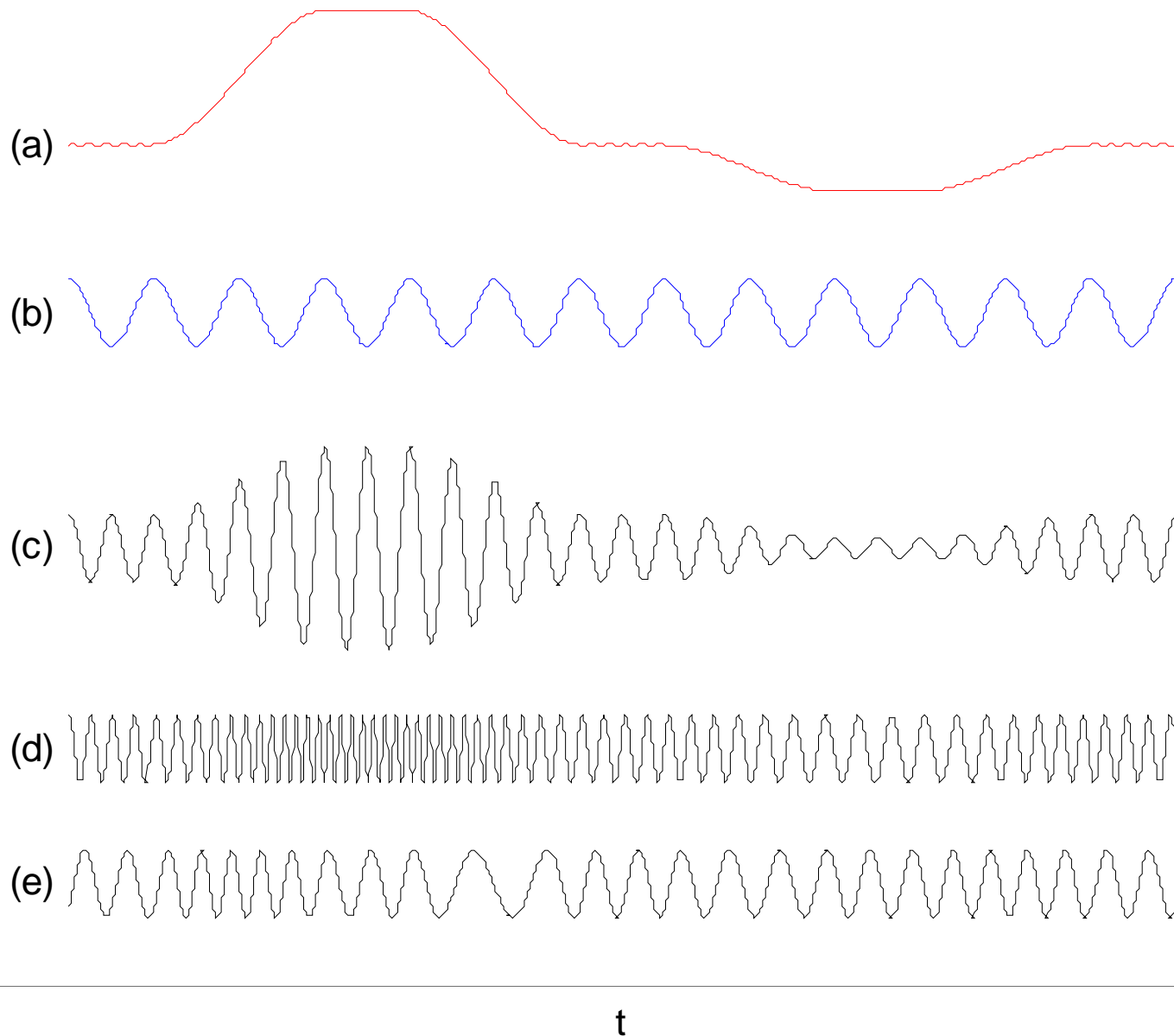
Messaggio

Segnale

Modulazione

- di ampiezza
- di frequenza
- di fase

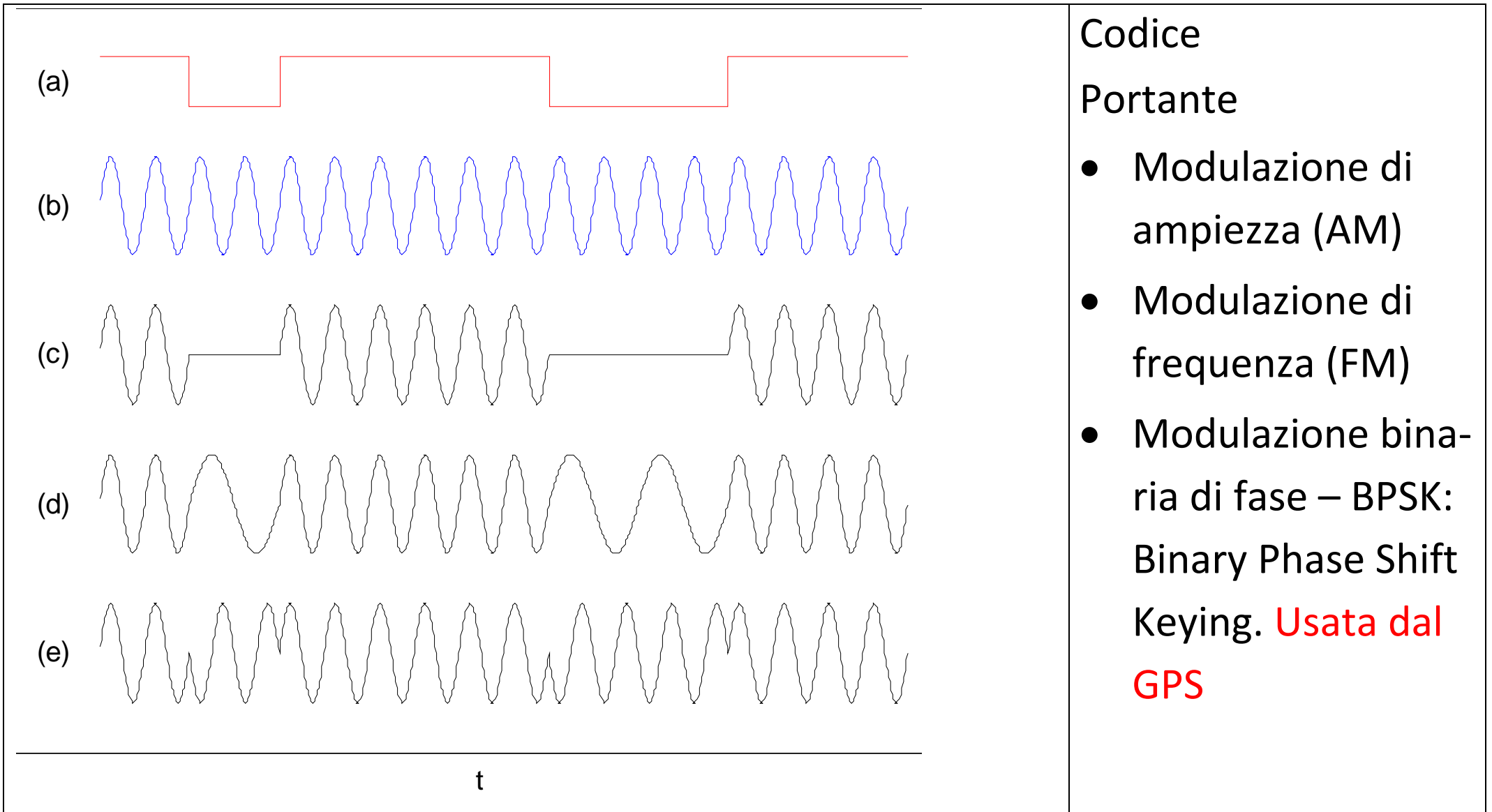
Esempi di modulazione analogica



- Messaggio
- Portante
- Modulazione di ampiezza (AM)
- Modulazione di frequenza (FM)
- Modulazione di fase (PM)

Modulazione digitale

Messaggio digitale o codice: sequenza di 0 e 1, detti anche bit o chip



Segnali analogici e digitali

Segnali analogici (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 λ : distanza percorsa dall'onda nel tempo T

Segnali digitali

- Periodo T^* : tempo in cui viene emesso un chip
- Frequenza f^* : numero di chip emessi nell'unità di tempo
- Lunghezza d'onda λ (chip length): distanza percorsa dall'onda nel tempo T^*

Il segnale GPS

Nel sistema GPS esiste una frequenza fondamentale

$$f_0 = 10.23 \text{ Mhz}$$

e il compito degli orologi montati a bordo dei satelliti è quello di garantire una elevata precisione nella generazione di tale frequenza. Da f_0 vengono generate due frequenze

$$f_1 = 154 f_0 = 1.575420 \text{ Ghz}$$

$$f_2 = 120 f_0 = 1.227600 \text{ Ghz}$$

I satelliti GPS emettono un segnale complesso caratterizzato da due portanti dette L_1 e L_2 aventi frequenze f_1 e f_2 , rispettivamente. Tali frequenze corrispondono alle seguenti lunghezze d'onda

$$\lambda_1 \cong 0.19 \text{ m}$$

$$\lambda_2 \cong 0.24 \text{ m}$$

Il segnale GPS - 2

Sulle portanti del messaggio vengono modulati due codici (C/A, P), cioè messaggi digitali aventi lo scopo di permettere la misura della distanza satellite-ricevitore, e il messaggio navigazionale (D), un altro messaggio digitale contenente una serie di informazioni complementari.

Il codice C/A

Coarse acquisition

Accessibile da tutti

Frequenza: 1.023 Mbps

$$\lambda_{C/A}^* = \frac{1}{f_{C/A}} c = 293.05 \text{ m}$$

Potrebbe essere utile considerare anche la *code length*, cioè la distanza coperta dal segnale nel tempo necessario per una ripetizione completa del codice C/A

$$\Lambda_{C/A} = 1023 \lambda_{C/A}^* = 299.79 \text{ Km}$$

Il codice P

Precision

$$f_p^* = f_0 = 10.23 \text{ Mbps}$$
$$= \frac{f_1}{154} = \frac{f_2}{120}$$

e la chip length vale in questo caso esattamente un decimo di quella del C/A

$$\lambda_p^* = \frac{1}{f_p} c = 29.30 \text{ m}$$

Più preciso

In generale criptato, e in tal caso prende il nome Y

Il messaggio navigazionale

Informazioni riguardanti l'intera costellazione

- l'*almanacco dei satelliti*, cioè un modello semplificato che permette di prevedere la posizione approssimativa di tutti i satelliti nei giorni successivi;
- informazioni sullo *stato di salute* di tutti i satelliti della costellazione.

Informazioni riguardanti il singolo satellite

- le *effemeridi predette*, cioè le informazioni necessarie a calcolare in modo preciso la posizione del satellite;
- una stima degli *errori degli orologi* di bordo del satellite rispetto al tempo GPS.

Il segnale complessivo

$$S_1(t) = C(t) \otimes D(t) \otimes A_{C/A} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) + \\ + P(t) \otimes D(t) \otimes A_p \sin(2\pi f_1 t + \varphi_1)$$

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

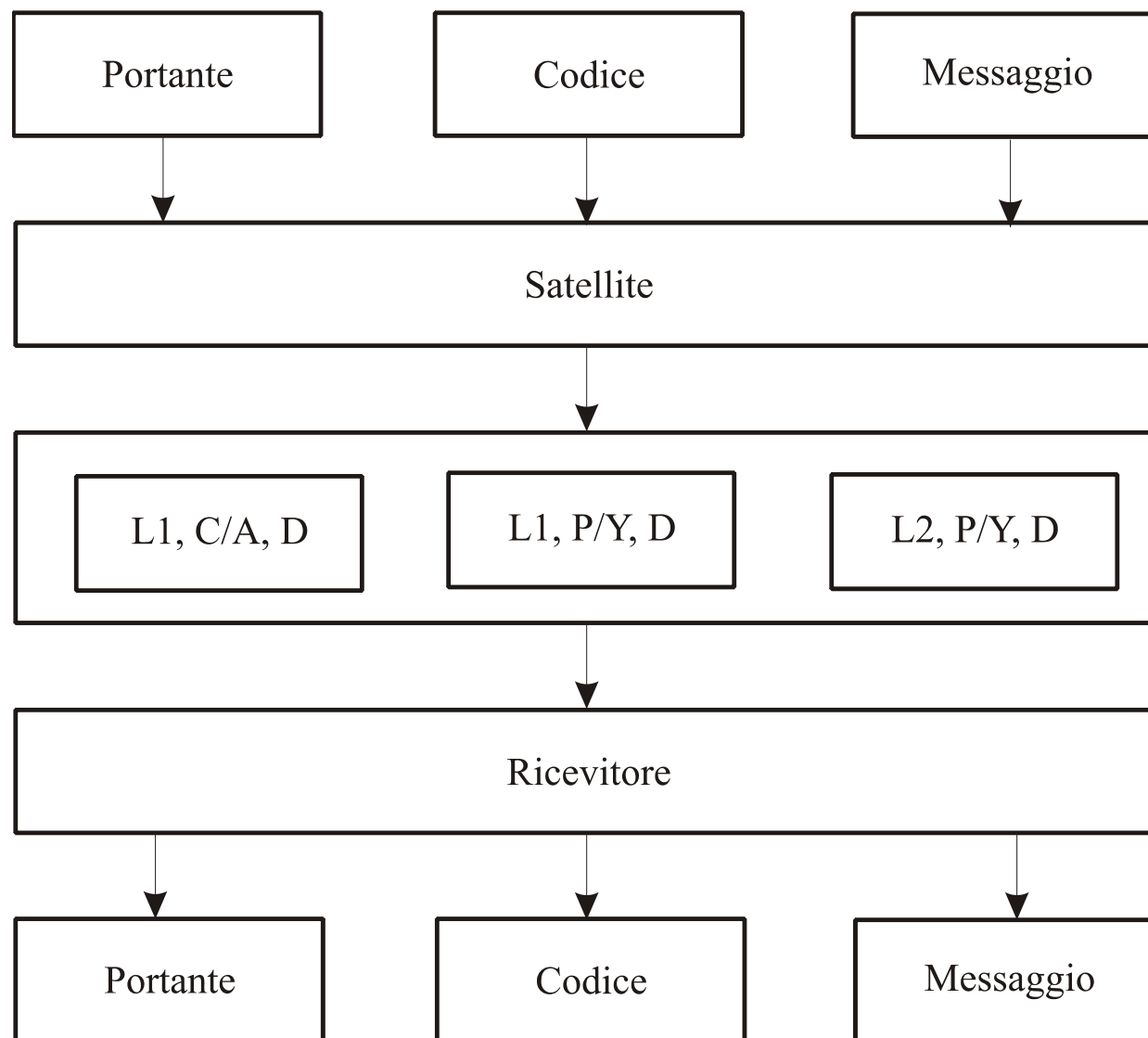
$$S_{GPS}(t) = S_1(t) + S_2(t)$$

In caso di crittatura

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

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

Modulazione e demodulazione



Come il GPS misura le distanze

Con i codici

Con le fasi

L'uso delle fasi consente misure della distanza estremamente precise, ma è incompatibile con il tempo reale

L'uso dei codici consente il posizionamento in tempo reale (e dunque la navigazione), ma è meno accurato

Il posizionamento con C/A è meno buono che con P