

# **Cenni di propagazione e tecniche di trasmissione Parte 1**

Renato Lo Cigno

[www.dit.unitn.it/locigno/didattica/wn/](http://www.dit.unitn.it/locigno/didattica/wn/)

# ...Copyright

Quest'opera è protetta dalla licenza *Creative Commons NoDerivs-NonCommercial*. Per vedere una copia di questa licenza, consultare:  
<http://creativecommons.org/licenses/nd-nc/1.0/>  
oppure inviare una lettera a:  
*Creative Commons, 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA.*

This work is licensed under the *Creative Commons NoDerivs-NonCommercial* License. To view a copy of this license, visit:  
<http://creativecommons.org/licenses/nd-nc/1.0/>  
or send a letter to  
*Creative Commons, 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA.*



# Propagazione nello spazio libero (vuoto)

- La potenza ricevuta e` funzione solamente della distanza tra trasmettitore e ricevitore

$$P_R = K \cdot P_T \cdot (1/D)^2$$

- D e` la distanza
  - K include tutte le grandezze non dipendenti dalla distanza
- La relazione e` di tipo quadratico



# Propagazione reale

- Mezzi di trasmissione diversi dal vuoto
- Presenza di ostacoli che assorbono il segnale
- Presenza di superfici che riflettono il segnale
- Ostacoli in movimento e variabili nel tempo
- **MOBILITA'**



# Aria e propagazione

- Le molecole dell'aria assorbono e diffondono le onde elettromagnetiche
- L'effetto dipende dalla frequenza
- Diventa piu' evidente al diminuire della lunghezza d'onda
- Nelle reti di nostro interesse dominano gli effetti del vapor d'acqua intorno a 2GHz



# Aria e propagazione

- L'umidità dell'aria non è costante nel tempo
- Il risultato è una attenuazione che non dipende più dal quadrato della distanza ma da un esponente variabile (in funzione della frequenza e dell'umidità dell'aria) tra il cubo e la quarta potenza, in funzione della lunghezza d'onda e dell'ambiente

$$P_R \approx K \cdot P_T \cdot (1/D)^{3 \div 4}$$



# Ostacoli

- Tutto cio` che assorbe il segnale
- Fissi: dalle montagne alle case
- Variabili: dalle nuvole (nebbia) alla pioggia (neve) agli alberi che crescono e d'estate hanno le foglie
- Possono attenuare fortemente il segnale o semplicemente assorbirlo del tutto



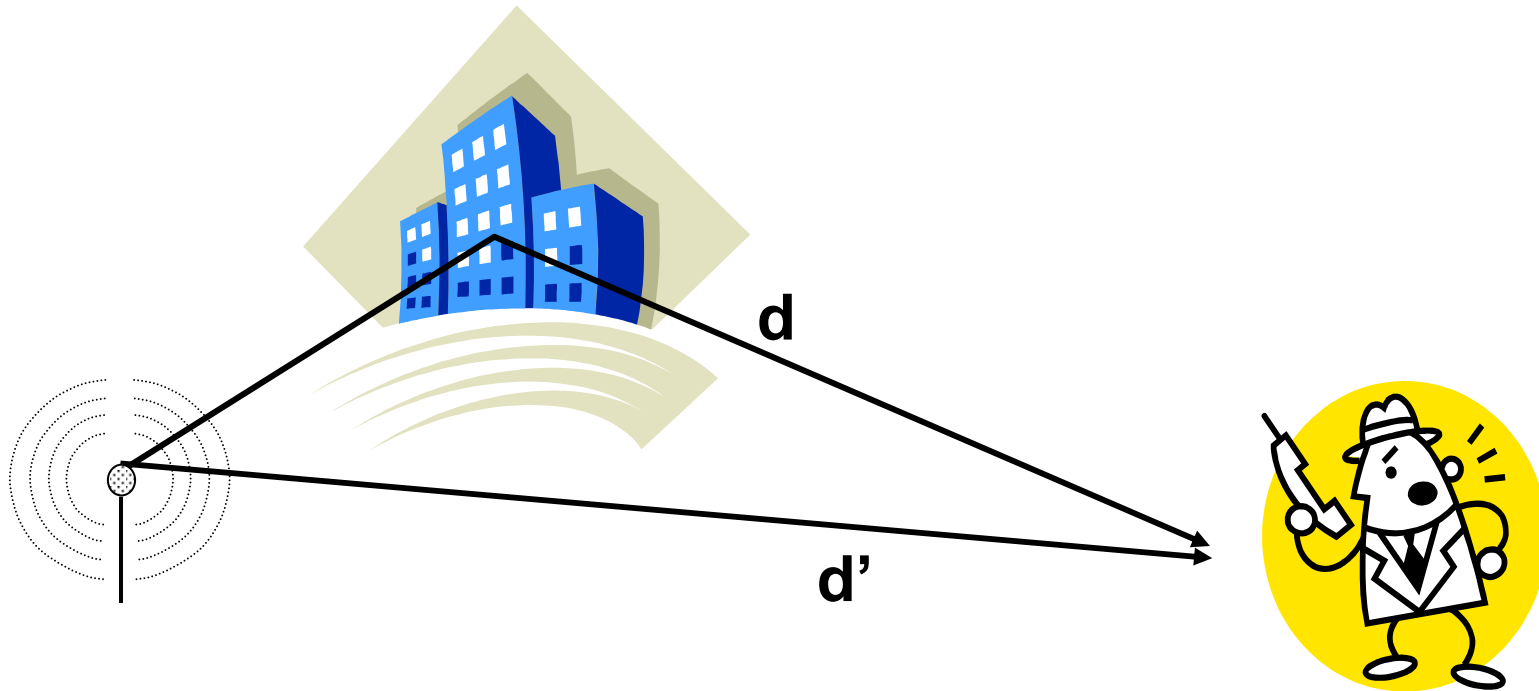
# Superfici riflettenti

- Il terreno, specchi d'acqua
- Ostacoli che non assorbono completamente il segnale (edifici, montagne, colline, ... )
- Tutti possono generare cammini multipli tra il trasmettitore e il ricevitore
- I cammini multipli possono generare interferenza distruttiva nel segnale





# Cammini multipli



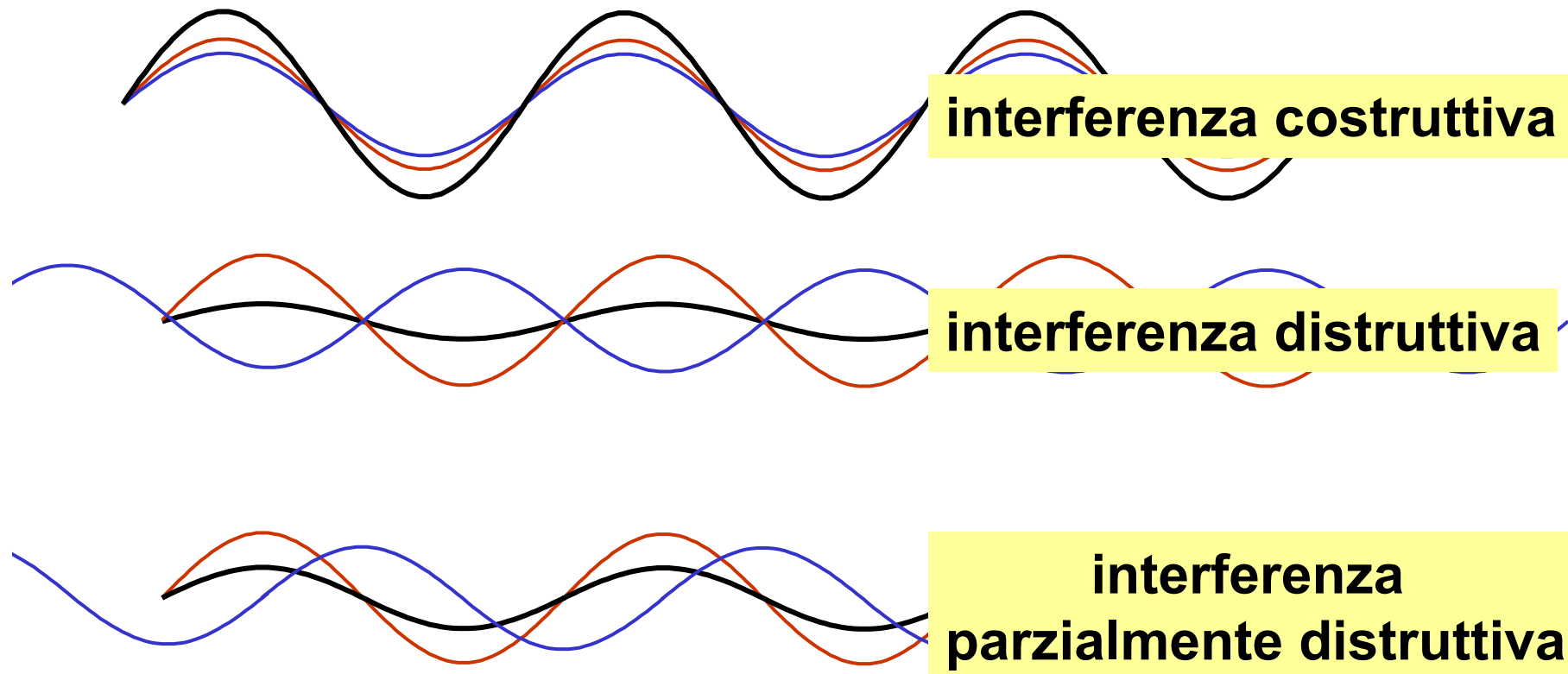
$d - d' = \lambda/2 \rightarrow$  interferenza distruttiva

$d - d' = \lambda \rightarrow$  interferenza costruttiva



# Interferenza costruttiva e distruttiva

— segnale utile    — interferente    — risultante

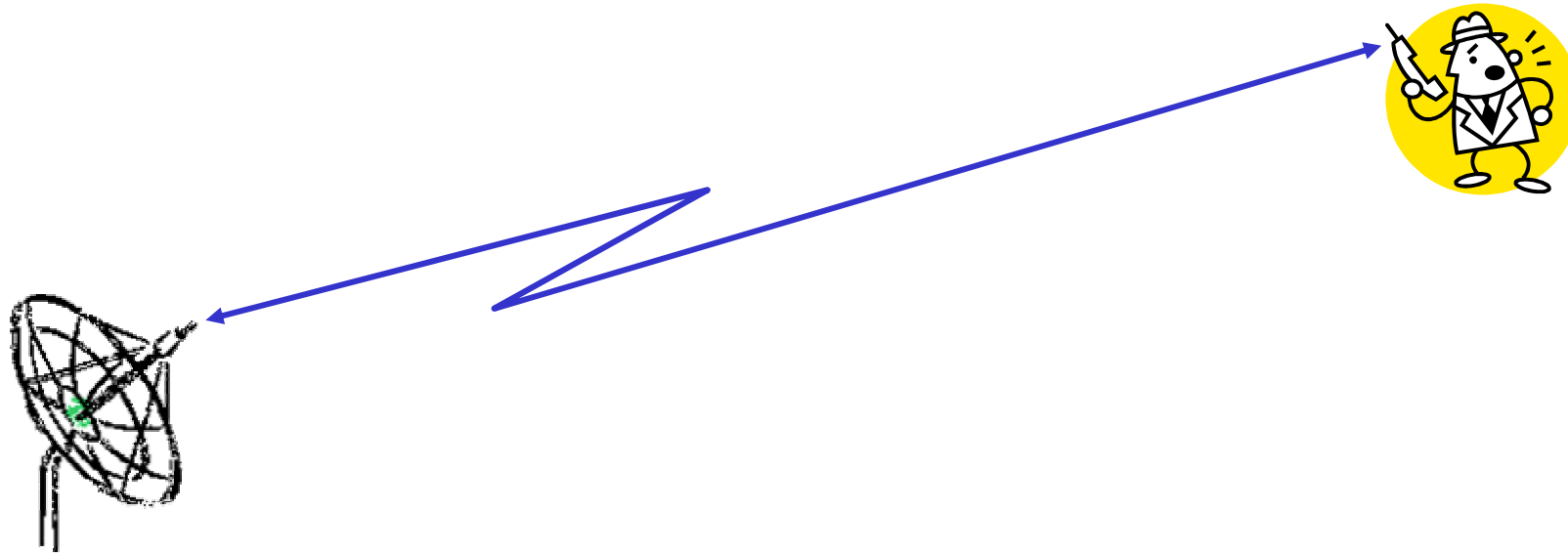
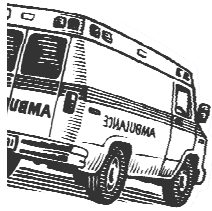


# Ostacoli in movimento

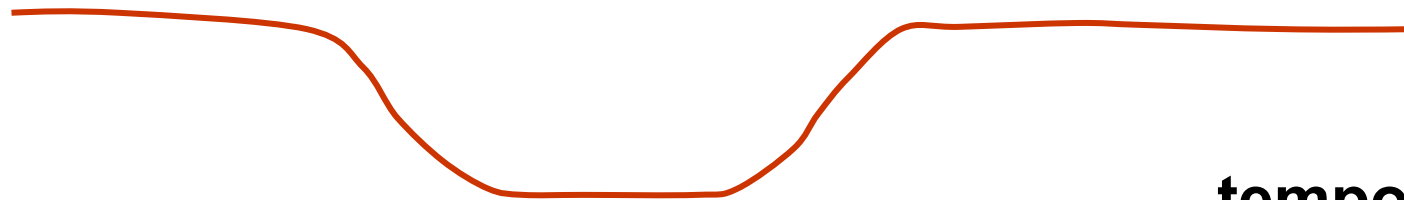
- Veicoli, altre persone che camminano
- Attenuano il segnale tra la BS e il terminale mobile
- Generano variazioni "lente" delle condizioni di propagazione che sono alla radice del fenomeno noto come *shadowing*



# Shadowing



**intensita` del segnale**



**tempo**

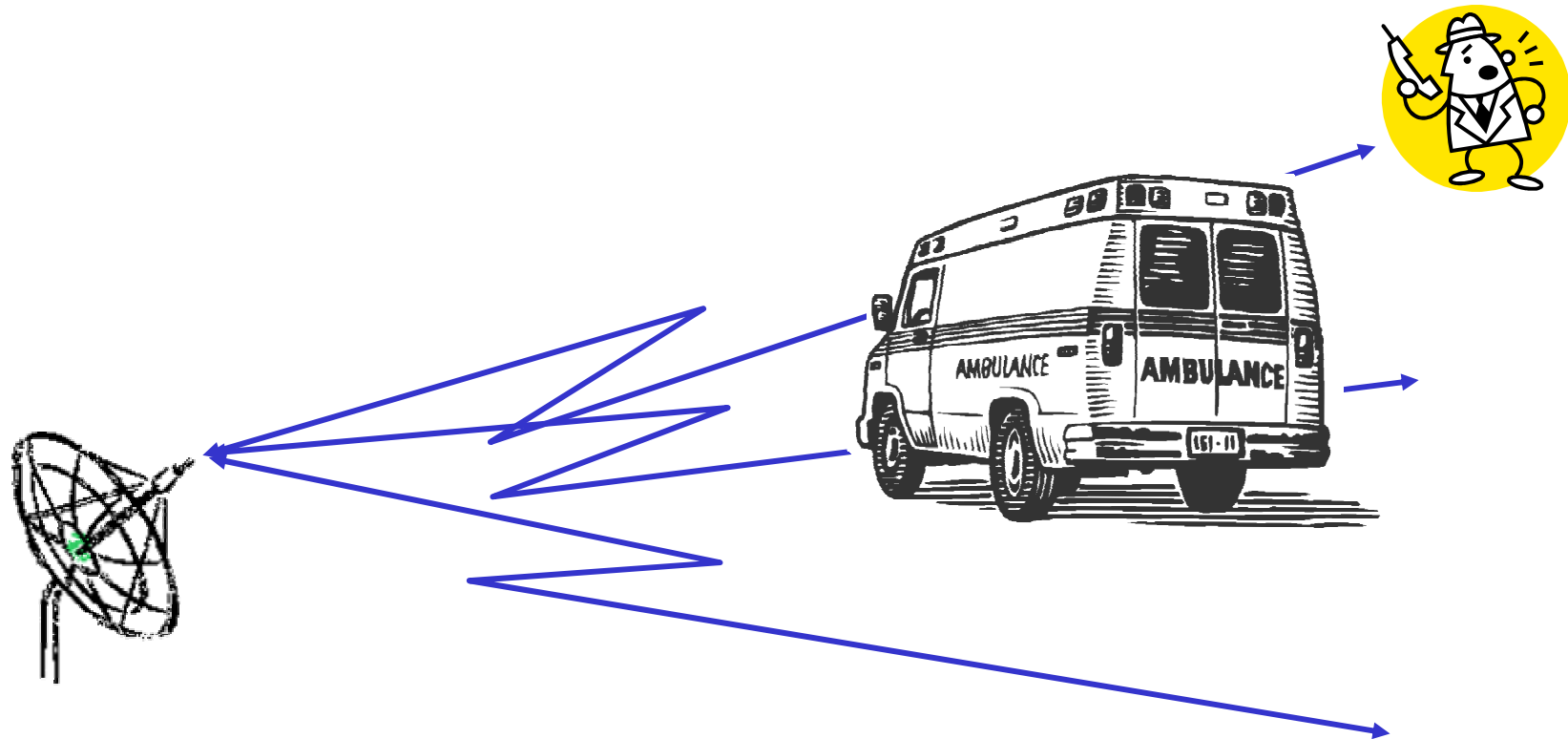


# Mobilità

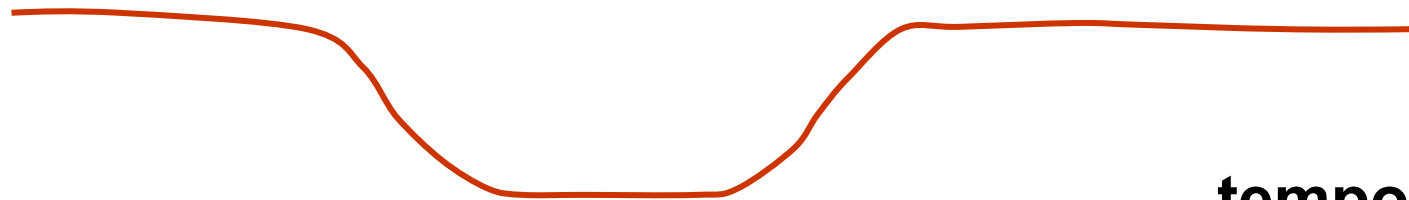
- Il movimento stesso del terminale genera variazioni delle condizioni di propagazione
  - shadowing, concettualmente identico a quello dovuto agli ostacoli in movimento
  - fading, fenomeno legato all'interferenza da commini multipli, agisce su scale temporali molto veloci, legate al rapporto tra la lunghezza d'onda e la velocità di movimento



# Shadowing



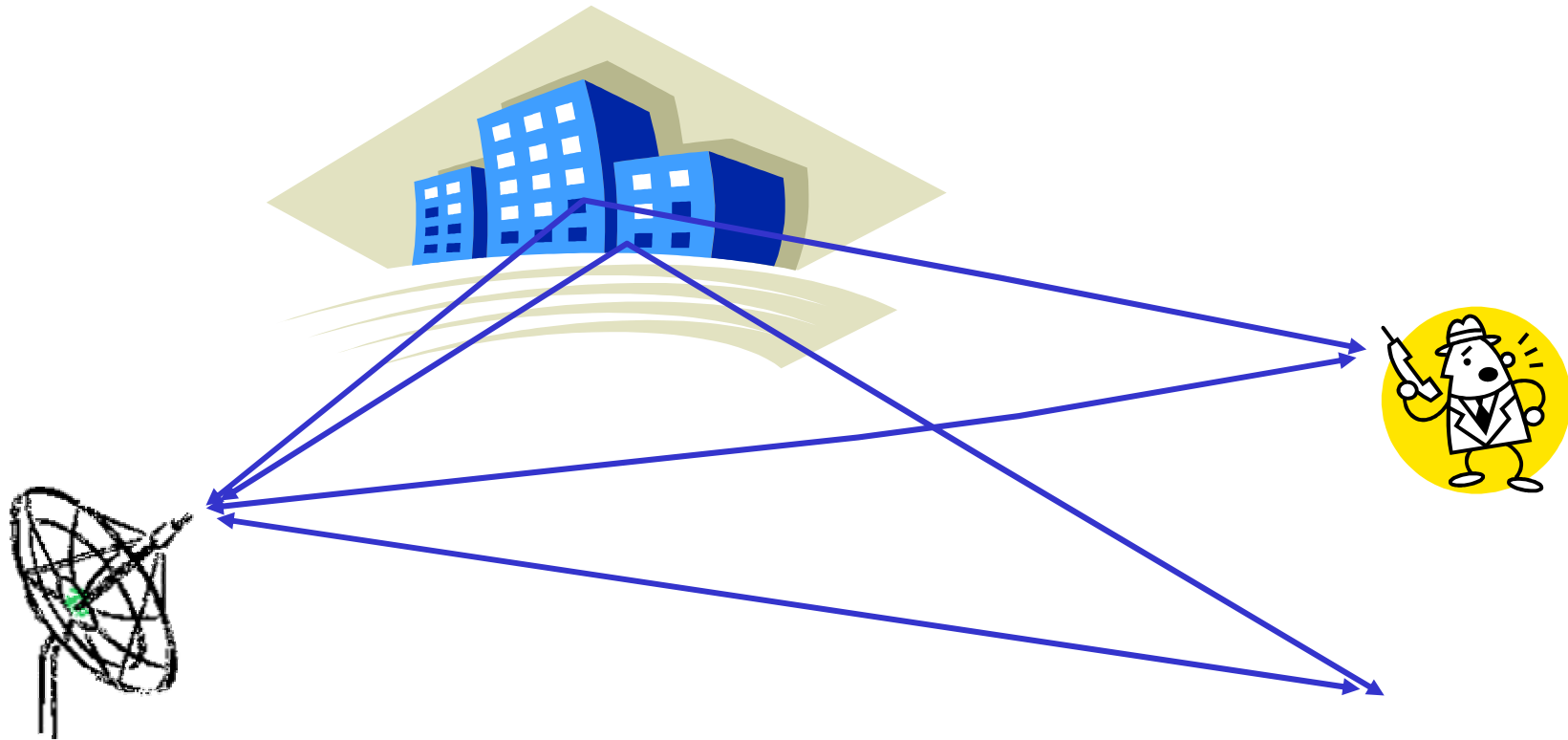
**intensita` del segnale**



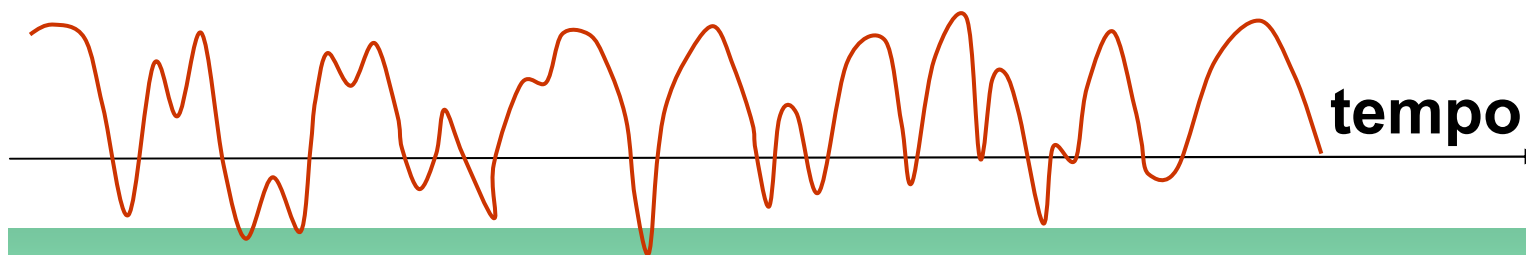
**tempo**



# Fading



**intensita` del segnale**



# Fading

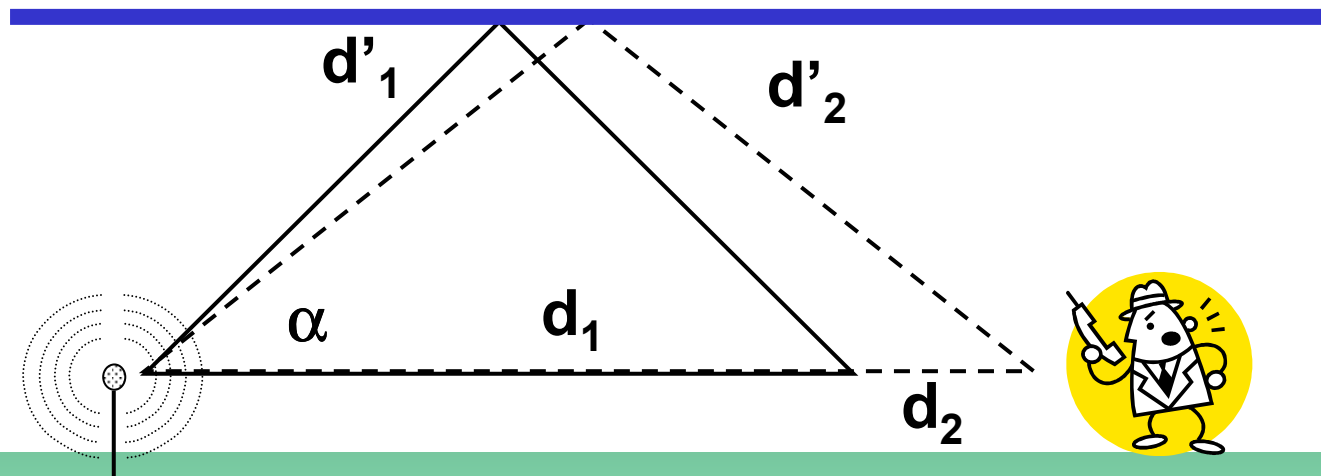
- Deve essere compensato per una buona ricezione
- L'attenuazione da fading puo` superare i 30-40 dB
- Tanto piu` veloce quanto piu` e` veloce il movimento del terminale mobile, con "gradienti" di attenuazione che pongono problemi di amplificazione





# Fading: esempio

- Portante a 1.8 GHz  $\rightarrow \lambda \sim 16\text{cm}$
- Velocita' del terminale 100km/h = 36m/s
- Ostacolo riflettente posto a 90° rispetto alla linea di moto



# Fading: esempio

- Angolo  $\alpha$  circa costante  $\rightarrow d' = 2\sin(\alpha)d$
- Con un semplice modello a 2 raggi si passa dal minimo al massimo dell'attenuazione (o viceversa) quando

$$(d'_2 - d_2) - (d'_1 - d_1) = \lambda/2$$

- Con  $\alpha \sim 45^\circ$  cio' avviene in  
 $(0.08\text{m}/0.41)/(36\text{m/s}) \sim \mathbf{3\text{ms}}$



# Trasmissione sul canale radiomobile

- Le tecniche di accesso, modulazione e codifica devono
  - “Combattere” la bassa qualità del canale trasmissivo
  - Massimizzare l'efficienza nell'uso delle risorse
  - Consentire una gestione semplice e flessibile dello spettro assegnato



# Tecniche di accesso

- TACS e altri sistemi analogici: FDMA
- GSM: mista F-TDMA con 8 canali TDM per ogni frequenza
- D-AMPS: mista F-TDMA con 3 canali TDM per ogni frequenza
- IS-95: CDMA a banda stretta (direct spreading)
- UMTS: CDMA a banda larga (direct spreading)



# Tecniche di accesso

- F-TDMA
  - usate da tempo, ben conosciute e semplici da gestire
  - "rigide" nella gestione delle risorse
- CDMA
  - estremamente flessibili nella gestione delle risorse
  - consentono in teoria una maggior efficienza spettrale
  - maggior complessita` di gestione dovuta alla dinamicita` intrinseca del sistema



# Modulazioni

- Lo scopo della modulazione e` la mappatura efficiente del flusso informativo sullo spazio (costellazione) dei segnali disponibili
- Sono usate esclusivamente tecniche a inviluppo costante per evitare la distorsione dovuta alle non-linearita` degli amplificatori



# Modulazioni

- D-AMPS usa modulazioni di fase (BPSK e QPSK)
- GSM usa una speciale versione delle modulazioni di frequenza nota come Minimum Shift Keying - MSK
- MSK puo` anche essere vista come una modulazione di fase con continuita` di fase nelle transizioni
- L'impulso viene sagomato con una funzione Gaussiana, per cui la modulazione e` nota come GMSK (Gaussian-MSK)



# GMSK

- Il segnale generato da una modulazione MSK puo` essere scritto
  - come modulazione di fase differenziale
$$s(t) = k \sin(2\pi f_0 t + \theta(t))$$
  - come modulazione di frequenza
$$s(t) = k [\cos(\theta(t)) \cos(2\pi f_0 t) - \sin(\theta(t)) \sin(2\pi f_0 t)]$$
  - con
$$\theta(t) = \theta(0) + a_i(\pi h / T_b)$$
  - $h$  e` l'indice di modulazione: in GSM vale  $\frac{1}{2}$
  - $a_i$  vale  $\pm 1$  a seconda del bit (1 o 0) da trasmettere





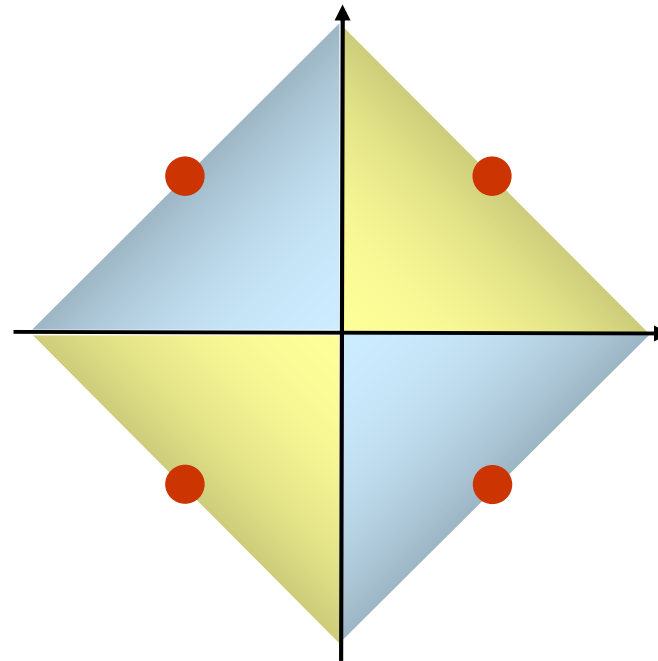
# GMSK

- MSK e' la modulazione di frequenza che implica la *minima* distanza tra le frequenze  $f_1$  ed  $f_2$  che supportano i simboli da trasmettere
- Poiche'  $\theta(t)$  dipende da  $\theta(0)$  la modulazione ha memoria ed e' quindi differenziale
- Cio' impone anche la continuita' di fase



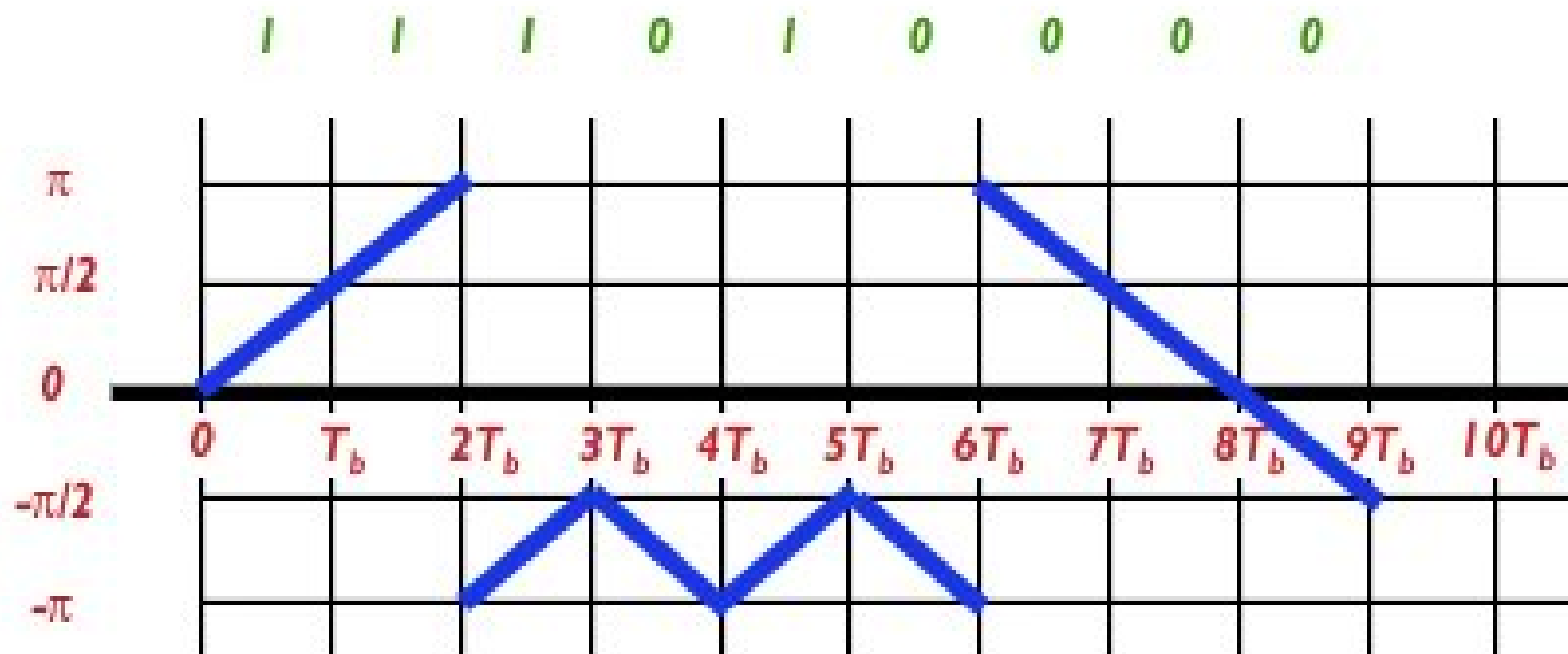
# GMSK: costellazione

la costellazione dei segnali è quaternaria, ma la codifica differenziale fa sì che i simboli rappresentati siano solamente due, infatti una variazione nei bit da trasmettere implica un cambio di segno nel gradiente della fase, altrimenti il gradiente della fase resta costante



# GMSK: un esempio

Supponendo di trasmettere la sequenza  
11101000 l'evoluzione della fase del segnale



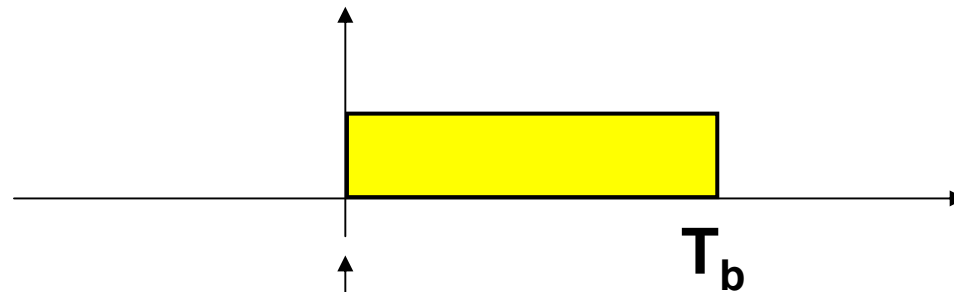
# GMSK

- La continuità di fase della modulazione MSK migliora le caratteristiche dello spettro in frequenza
- La sagomatura degli impulsi serve a
  - plasmare lo spettro in frequenza del segnale per ridurre l'interferenza intercanale
  - migliorare le caratteristiche di interferenza intersimbolica

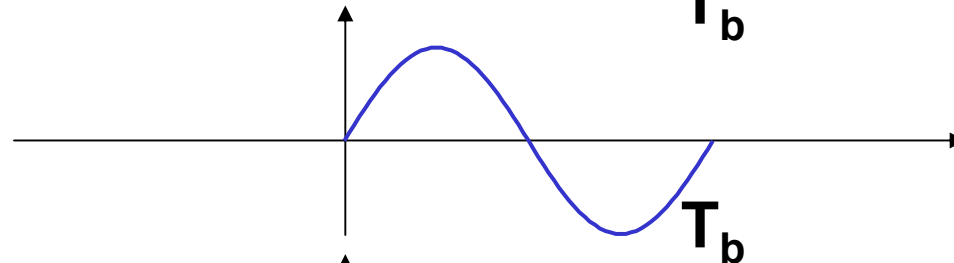


# Impulsi sagomatori

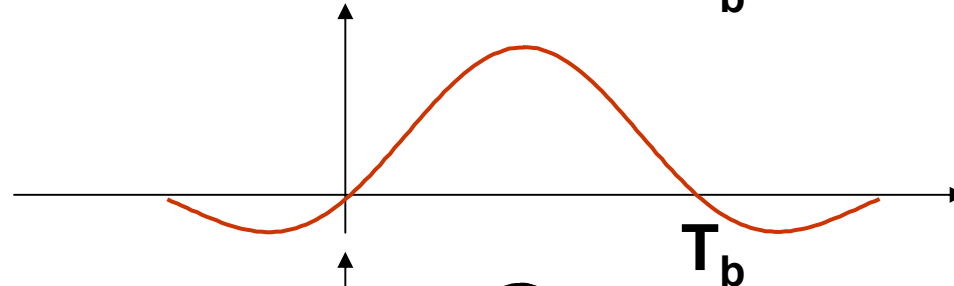
**impulso  
rettangolare**



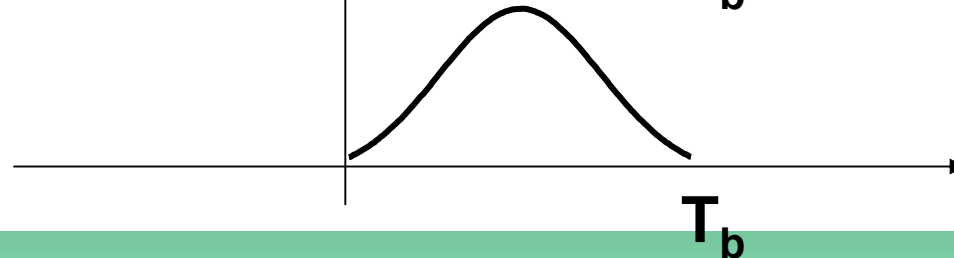
**impulso  
sinusoidale**



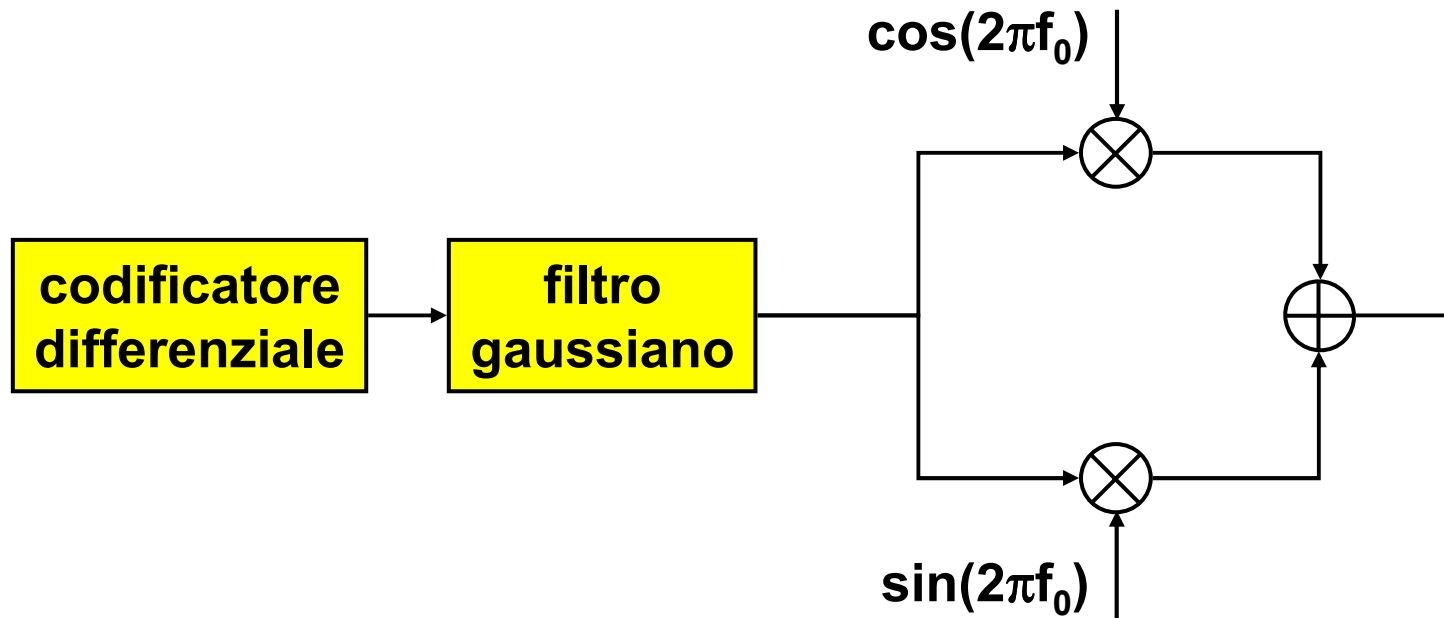
**impulso  
a coseno rialzato**



**impulso  
gaussiano**



# Schema GMSK



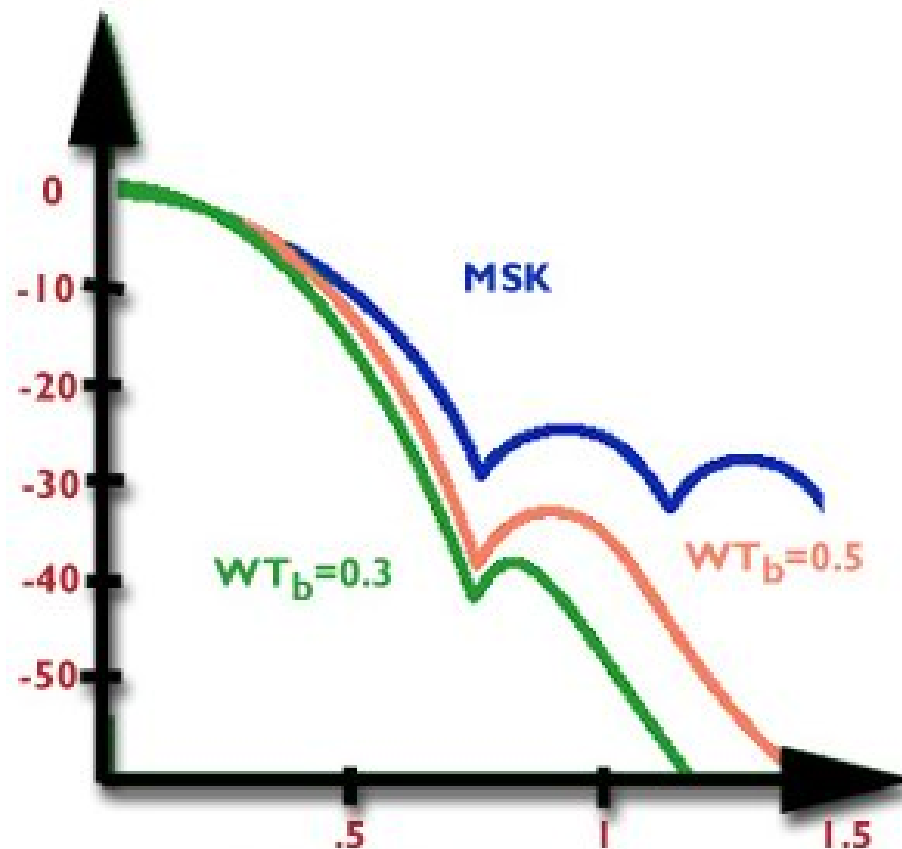
**il filtro gaussiano e` realizzato con un filtro FIR e l'impulso e` sagomato in modo da dare continuita` al segnale**



# GMSK: efficienza spettrale

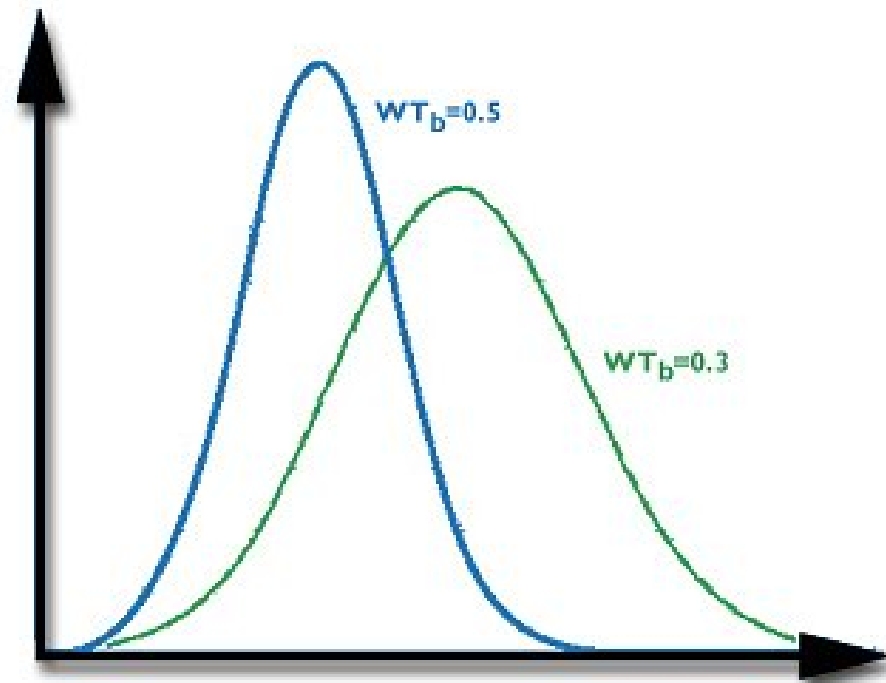
Il principale parametro degli impulsi di sagomatura (nel caso GSM del filtro gaussiano) è il prodotto  $WT_b$  che misura l'efficienza spettrale

**GSM adotta  $WT_b = 0.3$**



# GMSK: durata dell'impulso

al diminuire di  $WT_b$   
aumenta la durata  
dell'impulso  
aumentando  
l'interferenza  
intersimbolica  
**il valore  $WT_b = 0.3$  e' un  
compromesso tra  
l'efficienza spettrale e l'ISI**





# GMSK: conclusioni

- La spaziatura dei canali GSM e` 200 kHz
- Con i parametri scelti la banda al 99% del segnale e` 250 kHz, lasciando quindi una non trascurabile interferenza intercanale residua
- La velocita` di trasmissione risulta essere 271 kbit/s

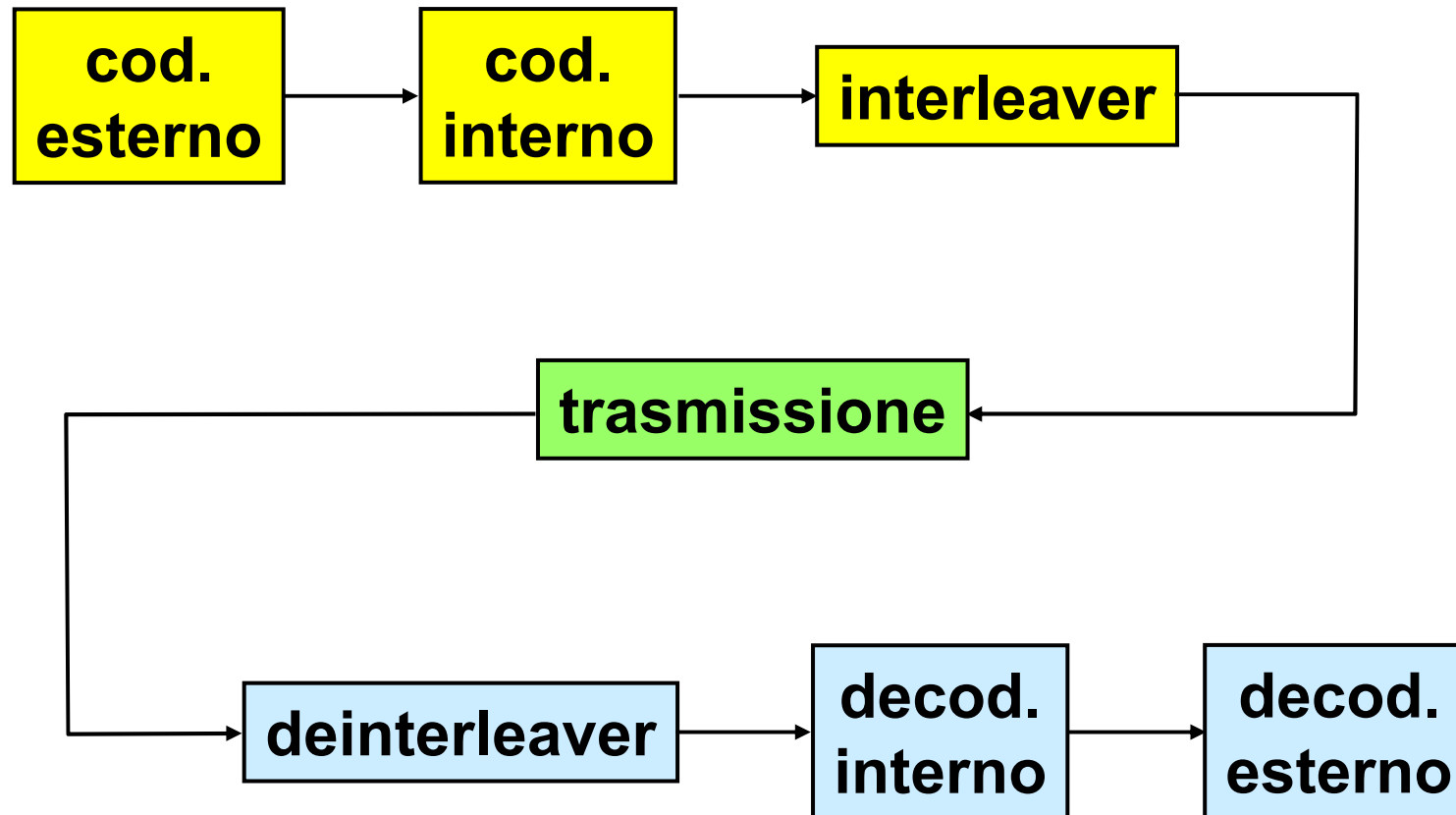


# Tecniche di codifica

- Hanno il compito di proteggere l'informazione da errori sia casuali che a "burst"
- Codici annidati e concatenati con "interleaver" che hanno il compito di decorrelare le sequenze di errore
- Spesso (es. GSM) la voce e' protetta in modo differenziale a seconda dell'importanza dell'informazione al fine di ricostruire il flusso vocale



# Schema generale di codifica



# Codificatori

- I codici interni sono codici convoluzionali o "turbo-codici"
- I codici esterni sono codici a blocco, spesso codici di Reed-Solomon
- L'interleaver, ha lo scopo di "allontanare" bit adiacenti sul canale, in modo da distruggere la correlazione tra gli errori

