

## Modulazioni Spread Spectrum

Le bande libere, utilizzabili senza alcuna licenza e largamente impiegate nelle applicazioni commerciali e consumer, sono note come bande ISM (Industry, Science and Medicine), ma non sono ovunque le medesime e inoltre sono sottoposte a prescrizioni differenti nei diversi Stati (tab. 1). In Europa, per esempio, la banda a 900 MHz è occupata dal GSM.

Ancora in Europa, le prescrizioni ETS 300 328 (*European Telecommunication Standard*) permettono alle radio di irradiare potenza in banda libera fino ad un EIRP di 20 dBm (100 mW) solo con modalità spread spectrum, mentre le norme FCC (*Federal Communications Commission*, U.S., tab. J) non impongono vincoli fino a -1,25 dBm (circa 0,75 mW), mentre richiedono l'impiego della tecnica di modulazione spread spectrum per potenze superiori (fino a 1 W), e la ragione non è solo una maggiore reiezione delle interferenze.

Banda ISM [MHz]	FCC 15.247 (U.S.)	ETSI (Europa) ETS 300 328
902 - 928	< 1 W	-
2.400 – 2.483,5	< 1 W [4 W EIRP]	< 100 mW EIRP
5.725 – 5.875	< 1 W	< 100 mW

Tab. 1- Limiti di potenza (EIRP) per le frequenze libere.

Il termine “spread spectrum” sta ad indicare che l'energia radiata dal trasmettitore risulta distribuita su una banda RF più ampia di quella che sarebbe strettamente necessario utilizzare con le altre tecniche. Ciò sembrerebbe contraddire l'obiettivo di risparmiare banda, ma questo processo rende il segnale dati meno sensibile al rumore rispetto alle tecniche di modulazione convenzionali, poiché risulta disturbata una frazione del segnale percentualmente inferiore, a vantaggio del rapporto segnale rumore al demodulatore. Nel contempo, risulta meno probabile che due utenti che condividono il medesimo spettro possano interferire tra loro.

Esistono due tipi di modulazioni spread spectrum, FHSS e DSSS.

Con la prima tecnica (FHSS, *Frequency Hopped Spread Spectrum*), la banda a disposizione viene suddivisa in canali (fig. 1).

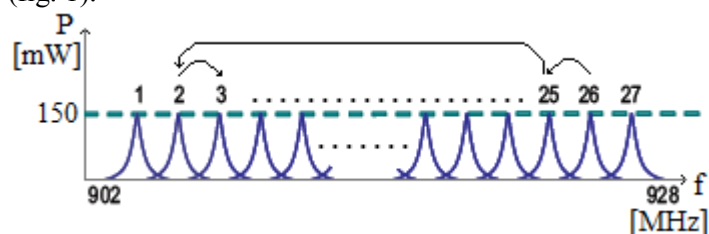


Fig. 1- Suddivisione della banda in canali.

Il trasmettitore inizia inviando i pacchetti di dati su uno dei canali disponibili, per poi cambiarlo periodicamente secondo una sequenza casuale generata mediante un codice (hopping code) condiviso con il ricevitore, saltando fra quei canali che in base all'esperienza pregressa hanno mostrato fading minore.

Il ricevitore insegue quindi il segnale in perfetto sincronismo.

Utilizzando codici di hop differenti, più reti possono operare in prossimità senza interferire, perché risulta molto bassa la probabilità che due trasmettitori vicini stiano trasmettendo sulla medesima portante nello stesso istante.

Esistono set di codici di hopping, detti ortogonali, che non usano mai le stesse frequenze nel medesimo lasso di tempo, inoltre, per rendere meno probabili le interferenze, le norme FCC prescrivono di utilizzare non meno di 75 frequenze per ciascun canale di trasmissione, e di restare per non più di 400 ms (*dwell time*) sulla medesima portante.

Frequency hopping è quindi una tecnica che funziona bene per l'invio di piccoli pacchetti di dati in ambienti ad alta interferenza, mantenendo il collegamento, anche se con una riduzione del data rate (throughput).

Nella banda 2,4 GHz, le stesse norme assegnano 1 MHz di banda per ogni singolo canale FHSS e ciò limita il data rate pratico a circa 2 Mbps.

L'encoder DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) non cambia la portante, ma spalma l'energia di uscita su una più ampia porzione di spettro, utilizzando una chiave di codifica condivisa con il ricevitore.

Ciò è ottenuto combinando il data stream con una sequenza numerica pseudo casuale (Barker code, m-sequence, ecc.) di data rate più alto (Pseudo Random Numerical sequence, PRN), utilizzando una funzione XOR (fig. 2).

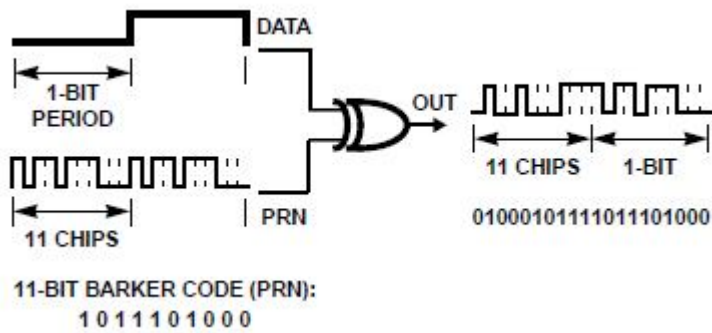


Fig. 2- Combinazione del dato con la sequenza PRN.

Il risultato è uno stream digitale con velocità pari a quella del PRN, più alta, e perciò, una volta modulata la portante RF, il risultato è una spalmatura più ampia dell'energia del segnale dati (fig. 3).

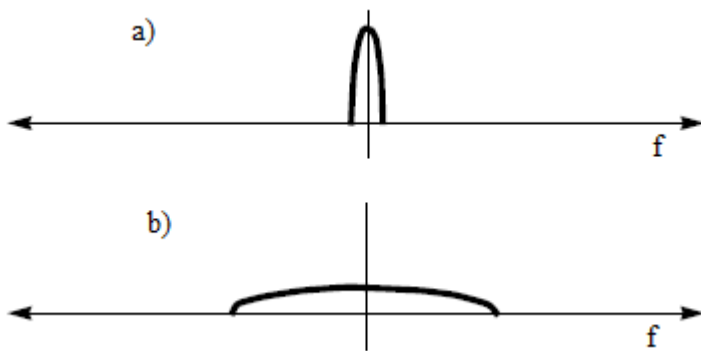


Fig. 3- Banda base prima (a) e dopo lo spread (b).

Gli "1" e gli "0" che compongono il PRN sono chiamati "chip", per distinguerli dai "bit" che appartengono al data stream, in quanto i chip sono predeterminati dalla sequenza PRN e perciò non contengono informazione. In ricezione, si esegue il "de-spread" dei dati ricevuti utilizzando il medesimo codice pseudo random impiegato in trasmissione, e un filtro di match sopprime le interferenze indesiderate, in quanto incorrelate con il PRN. Ciò permette nel contempo a più utenti di condividere la medesima banda, come avviene nei sistemi CDMA (Code Diversity Multiple Access).

Il rapporto tra il chip rate (C) e il data rate (R) è noto come "guadagno di processo" perché, visualizzando il processo di de-spreading su un analizzatore di spettro, mentre si osserva la riduzione della larghezza dello spettro in ingresso, l'ampiezza dello spettro in uscita aumenta nel contempo di un fattore di pari valore (fig. 4).

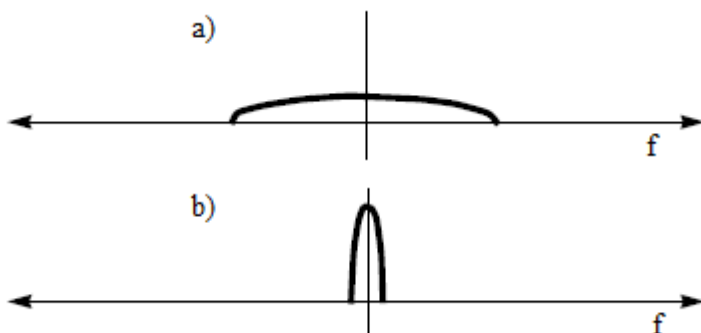


Fig. 4- Banda prima (a) e dopo il de-spread (b).

Maggiore è il guadagno di processo, migliore risulta la resistenza alle interferenze a banda stretta, difatti una simile interferenza disturba solo una porzione dello spettro (fig. 5), sia del segnale codificato, sia del segnale dopo la ricostruzione.

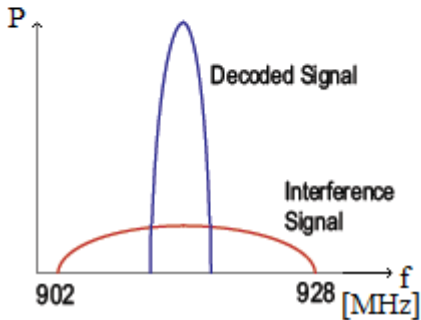
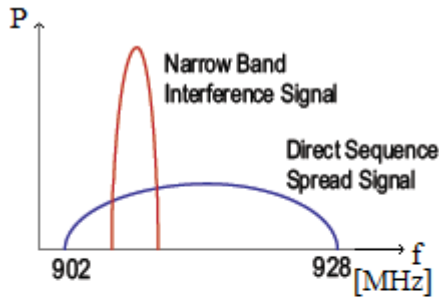


Fig. 5- Effetto di una interferenza a banda stretta sul segnale dati.

Le norme FCC prescrivono un guadagno minimo pari a 10, mentre lo standard IEEE 802.11 (WiFi) specifica una sequenza PN minima da 11 chip, con guadagno di processo

$$\text{Process gain} = 10 \cdot \log_{10} \frac{C}{R} = 10 \cdot \log_{10} 11 = 10,4 \text{ dB}$$

Nei componenti integrati il guadagno di processo è selezionabile tra più valori (tab. 2) e molti dispositivi commerciali lavorano con guadagno minore di 20.

Frequency Range	2,4 ÷ 2,4835 GHz
Step size	1 MHz
Tecnica di spread	DSSS
Chip/bit	11, 13, 15, 16
Modulazione	DBPSK fino a 1 Mbps DQPSK fino a 2 Mbps
Banda occupata	2 MHz
$F_n$	6,8 dB
$P_t$	18 dBm
Sensitivity (Packet Error Rate < 0,08)	-93 dBm at 1 Mbps -90 dBm at 2 Mbps

Tab. 2- Caratteristiche principali del chip PRISM (Intersil).

Scegliendo accuratamente la sequenza PRN, il filtro di match può anche rigettare i segnali provenienti da percorsi multipli, che risultano ritardati più di un periodo di chip rispetto al segnale diretto, comportandosi da semplice equalizzatore adattativo.

Tuttavia, in presenza di una interferenza a banda larga il rumore incide in modo più significativo sul segnale dati decodificato. Per questo motivo DSSS è più indicato per la gestione di grandi pacchetti di dati in un ambiente a bassa media interferenza, ma non in applicazioni industriali ad elevata interferenza, dove invece FHSS è più performante. Come regola generale, FHSS può resistere a interferenze di segnali RF spuri dieci volte meglio di DSSS. In definitiva, frequency hopping è più economico ma non supera i 2 Mbps, mentre direct sequence è più indicato per applicazioni intensive ma meno disturbate.

Oltre che nello standard 802.11b, la tecnica DSSS è utilizzata nei sistemi di navigazione satellitare GPS con codice a 1023 chip (CDMA tipo DSSS con PG = 1023).

Per quanto riguarda le norme europee ETS 300 328 in banda ISM a 2,4 GHz, per DSSS esiste solo un limite nel picco della densità di potenza (tab. 3), mentre per FHSS, oltre a questo, sono indicate alcune limitazioni riguardo l'occupazione dei canali (tab. 4).

Peak Power density (ETS 300 328)

FHSS	100 mW / 100 kHz EIRP
DSSS	10 mW / 1 MHz EIRP

Tab. 3- Massima densità di potenza in banda ISM a 2,4 GHz.

FHSS (ETS 300 328)
$\geq 20$ non-overlapping channels (hopping positions)
dwel time/channel $\leq 400$ ms
each channel occupied at least once during $\leq 4 \cdot (\#channels) \cdot (\text{dwel time/hop})$

Tab. 4- Restrizioni ETSI per FHSS in banda ISM a 2,4 GHz.

### Esercizio svolto

Determinare l'ampiezza del chip code che garantisce 12 dB di process gain.

*Soluzione*

Dalla

$$\text{Process gain} = 10 \cdot \log_{10} \frac{C}{R} = 12 \text{ dB}$$

$$\text{Chip code} = 10^{\frac{12}{10}} = 16 \text{ chip}$$

### Esercizio da svolgere

Determinare l'ampiezza del chip code che garantisce 11,76 dB di process gain.

[Ris.: 15 chip]