



CAMPI ELETTROMAGNETICI

**e nuove frontiere della
radiotelecomunicazione**

Stazioni radiobase
con tecnologia GSM, **DCS**, UMTS
Diffusione radiotelevisiva (RTV)
Televisione palmare (DVB-H)
Digitale terrestre (DVB-T),
Sistemi radio digitalizzati (DAB-S)
WiFi, WiMax

Una crescita di tecnologie
emergenti e di comunicazione
multimediale che ripropone
una doverosa attenzione ai Cem,
attualizzandone lettura
e strategie di controllo



Lo spettro elettromagnetico, una risorsa limitata

I collegamenti radio condividono lo stesso supporto fisico e pertanto sono esposti a problematiche interferenziali, con conseguente saturazione dello spettro radioelettrico. Le nuove tecniche di trasmissione, grazie all'utilizzo di modulazioni digitali, canalizzazioni ravvicinate e collegamenti in diversità, rappresentano la risposta più efficiente per migliorare le prestazioni e ottimizzare lo sfruttamento delle risorse di banda.

20

Il termine *wireless* (letteralmente, "senza fili") si contrappone al termine *wired* (letteralmente, "cablato") che ha assunto oggi, nell'informazione mediatica, in parte a ragione e in parte a torto, una connotazione quasi obsoleta. I sistemi *wireless* permettono di collegare tra loro un grande numero di dispositivi, senza ricorrere all'utilizzo di cavi o di supporti fissi. Questi collegamenti si possono realizzare veicolando l'informazione su tre tipologie di supporto fisico, tutte appartenenti alla sfera delle applicazioni pratiche dello spettro elettromagnetico:

- le onde radio
- la radiazione infrarossa
- i raggi laser

In tutti i casi citati la trasmissione utilizza la propagazione di campo elettromagnetico in aria, ma solo i collegamenti basati su onde radio

(radiocollegamenti) trovano larga applicazione nella pratica quotidiana; sono utilizzati per realizzare reti per scambio monodirezionale, bidirezionale o multidirezionale di dati, in ambienti eterogenei, con postazioni non necessariamente disposte in condizioni di visibilità, eventualmente separate da veri e propri ostacoli, quali edifici, alberi, pareti.

Rispetto ai sistemi di collegamento su cavo, i radiocollegamenti sono genericamente meno costosi e più flessibili, però condividono lo stesso supporto fisico: lo spazio libero. Per questo motivo sono esposti a problematiche interferenziali, che richiedono un'attenta suddivisione della banda, una precisa ottimizzazione delle risorse e un costante schema di riutilizzo dello spettro.

I radiocollegamenti sono utilizzati da tempo per le applicazioni di

radiodiffusione (*broadcasting*), per la navigazione aerea, navale o terrestre (anche sottomarina), per i collegamenti radiotelefonici, e per la realizzazione di ponti radio. Oggi appaiono come la soluzione più efficace per la realizzazione di reti personali, locali o metropolitane, per scambio di dati a larga banda.

La trasmissione di informazione su supporto radio si realizza allocando una porzione dello spettro radio, detta *banda di segnale*, intorno a una frequenza, detta *frequenza portante*. Il rapporto tra la banda di segnale e la frequenza portante è normalmente di pochi punti percentuali, anche inferiori all'unità. La collocazione spettrale del servizio è tipicamente individuata dal posizionamento spettrale della frequenza portante. La banda di segnale non rappresenta l'effettiva porzione di

spettro impegnato per la trasmissione, poiché ogni canale necessita di una sottobanda "di guardia", per evitare che le code di due canali adiacenti possano sovrapporsi, e quindi interferirsi vicendevolmente, degradando reciprocamente le proprie prestazioni. Per questo motivo viene definito un *intervallo di canalizzazione*, che rappresenta la minima distanza spettrale tra due frequenze portanti consecutive, e di conseguenza l'effettiva porzione di spettro radioelettrico dedicata a ogni canale.

I radiocollegamenti nascono storicamente nelle bande comprese tra 30 KHz e 300 MHz, per applicazioni legate alla radiofonia e alle comunicazioni vocali bidirezionali. Vengono successivamente estesi nelle tre decadi inferiori, da 30 Hz a 30 KHz (ELF e VLF), per comunicazioni marine e sottomarine, e nelle tre decadi superiori, da 300 MHz a 300 GHz, dove un maggiore trasporto di banda è possibile, permettendo la trasmissione di immagini, video e qualsiasi genere di dato, per applicazioni di tipo commerciale (televisione, trasmissione dati in mobilità, telefonia, controllo industriale), ma anche sociale (didattica a distanza, telemedicina, telefarmacia, teleassistenza).

Originalmente le radiocomunicazioni rispondevano alla necessità di trasmettere la voce, i suoni, o un numero molto limitato di dati, indipendentemente dalla localizzazione della frequenza portante. Pertanto i sistemi di trasmissione presentavano bande di modulazione e conseguentemente di canalizzazione molto strette: 9 kHz per la radiofonia in modulazione di ampiezza, da 4 a 15 kHz per i collegamenti per la gestione della navigazione. Successivamente, l'introduzione di apparati in grado di utilizzare frequenze di

Le bande dello spettro elettromagnetico

	Nome esteso	Sigla	Banda	Applicazioni
ELF+VLF	Extremely low frequency	ELF	3 - 30 Hz	comunicazioni sottomarine
	Super low frequency	SLF	30 - 300 Hz	comunicazioni sottomarine
	Ultra low frequency	ULF	300 Hz - 3 kHz	comunicazioni attraverso il terreno
	Very low frequency	VLF	3 - 30 kHz	controllo della navigazione, comunicazioni attraverso il terreno
Radiofrequenze	Low frequency	LF	30 - 300 kHz	radiofonia a onde lunghe, controllo di navigazione, comunicazioni marittime
	Medium frequency	MF	300 - 3000 kHz	radiofonia a onde medie, controllo di navigazione, comunicazioni marittime e avioniche
	High frequency	HF	3 - 30 MHz	radiofonia a onde corte, applicazioni radioamatoriali
	Very high frequency	VHF	30 - 300 MHz	radiofonia FM, radiotelevisione analogica, DAB
Microonde	Ultra high frequency	UHF	300 - 3000 MHz	radiotelevisione analogica, DVB-T, DVB-H, telefonia cellulare, reti wireless: WBAN, WPAN, WLAN
	Super high frequency	SHF	3 - 30 GHz	reti wireless: WLAN, WMAN, collegamenti punto-punto, radar
	Extremely high frequency	EHF	30 - 300 GHz	collegamenti punto-punto, telerilevamento, radar

portante al di sopra dei 30 MHz, ha permesso l'utilizzo di modulazioni più complesse, che garantiscono maggiore qualità, a scapito di una maggiore occupazione spettrale. La radiofonia in modulazione di frequenza è canalizzata in quasi tutto il mondo, tranne in Italia, a intervalli di 200 kHz.

La radiotelevisione analogica è canalizzata a intervalli di 7 MHz o 8 MHz in banda VHF e UHF. Dal punto di vista spettrale, questa parametrizzazione non è per nulla efficiente, ma un interesse applicativo limitato rispetto alle esigenze attuali non richiedeva, all'epoca della sua introduzione, particolari sforzi di ottimizzazione.

Con l'avvento dei sistemi di comunicazione in mobilità (telefonia cellulare) è emersa l'esigenza di ottimizzare l'occupazione spettrale, per minimizzare i costi, ma anche massimizzare le prestazioni della risorsa trasmissiva, a parità di banda impegnata. In primo luogo è emersa la necessità del riutilizzo spaziale dello spettro, con conseguente riduzione dell'area di copertura radioelettrica e la definizione di celle di servizio sempre più piccole. Successivamente, l'introduzione delle modulazioni digitali –

e in particolare delle modulazioni *spread spectrum* – ha consentito di razionalizzare e ottimizzare la risorsa trasmissiva, aumentando considerevolmente la quantità di informazione trasmessa su ogni canale. Ad esempio, nella telefonia cellulare, il passaggio dalla prima generazione alla terza ha permesso prima di ripartire l'utilizzo temporale di un canale fra utenti diversi, poi di permettere agli stessi la condivisione simultanea di una sola risorsa trasmissiva. Utenti diversi, "agganciati" alla stessa stazione radiobase UMTS, utilizzano un solo canale, senza ripartizione di tempo, grazie all'utilizzo di un sistema di codifica dell'informazione (*direct sequence spread spectrum*, DSSS) ortogonale e indipendente che permette di individuare univocamente mittente e/o destinatario della comunicazione, offrendo ai singoli una ripartizione della banda di canale in modo differenziato, a seconda delle necessità.

Per questo motivo tutti i settori delle radiotelecomunicazioni si evolvono oggi verso l'utilizzo di modulazioni digitali a banda larga. Tra queste, le tecniche di modulazione basate su *orthogonal frequency-division multiplexing* (OFDM) permettono di veicolare

l'informazione su canali fortemente ottimizzati e soprattutto con passo di canalizzazione molto stretto. Oggi tutte le principali tecniche di trasmissione digitale su canale radio prevedono l'introduzione di tale sistema:

- la radiofonia in VHF, per la quale è previsto lo standard DAB
- la radiofonia in onde lunghe, medie e corte, per la quale è previsto lo standard DRM
- la radiotelevisione, per la quale sono previsti lo standard DVB-T e DVB-H
- le reti per accesso radio a larga banda, per le quali sono previsti gli standard WiFi, Hiperlan e WiMax
- le reti per telefonia mobile di quarta generazione, che muoveranno i primi passi a partire dallo standard LTE

Ma l'ottimizzazione dello spettro passa anche attraverso l'implementazione di sistemi ad antenna intelligente e MIMO (*multiple-input and multiple-output*). Nel primo caso, l'antenna è in grado di dirigere l'irradiazione verso aree preferenziali, offrendo la possibilità di riutilizzare la stessa banda nello stesso istante di tempo per utenti diversi. Nel secondo caso, l'informazione in uscita dal trasmettitore o in ingresso al ricevitore è

parallelizzata su N canali, ognuno dei quali è associato a una specifica antenna, mantenendo la stessa frequenza di portante e la stessa occupazione di banda. Grazie alle diversità di propagazione tra le antenne, il supporto fisico viene idealmente moltiplicato per un coefficiente pari al numero di antenne introdotte. Due esempi significativi: il *broadcasting* radiotelevisivo è passato dal trasporto di un solo canale analogico ogni 8 MHz di banda, al trasporto di un numero compreso tra 4 e 8 canali, moltiplicati su un unico segnale digitale che occupa la stessa larghezza di banda. Le *wireless local area networks* (WLAN) hanno incrementato la velocità di trasmissione ottenibile su un canale di 20 MHz dagli originali 2 Mb/s previsti dallo standard del 802.11 del 1997 (modulazione DSSS) ai 54 Mb/s previsti dallo standard 802.11g del 2003 (modulazione OFDM), fino ai 248 Mb/s previsti dallo standard 802.11n del 2008 (modulazione OFDM e collegamenti di tipo MIMO).

Daniele Trincherò
iXem Labs
Politecnico di Torino



FOTO ARCHI-ARPA PC

Impianto WiFi a Piacenza

Occupazione di banda e canalizzazione dei principali servizi di radiocomunicazione		
Servizio	Banda del segnale	Canalizzazione
Radio AM	9 kHz	9 kHz
DRM	9 kHz	9 kHz
Radio FM	150 kHz	200 kHz(*)
DAB	1.537 MHz	1.712 MHz
TV analogica	6.75 MHz	8 MHz
DVB-T, DVB-H	7.61 MHz	8 MHz
GSM	100 MHz	200 MHz
UMTS	3.84 MHz	5 MHz
WiFi - 2 GHz	16,66 MHz	5 MHz(**)
WiFi - 5 GHz	16,66 MHz	20 MHz
Hiperlan	16.66 MHz	20 MHz
WiMax	20 MHz	21 MHz

(*) in Italia la canalizzazione è pari a 50 kHz

(**) i canali WiFi a 2 GHz sono parzialmente sovrapposti