

ANTENNE PER ONDE CORTE (HF)

PARTE PRIMA: la rinascita delle HF nel nuovo millennio.

Ing. Francesco Zaccarini

Senza il telefonino, è possibile parlare a migliaia di km di distanza standosene comodamente seduti sulla panchina di un parco a Milano?

Le onde corte di fatto permettono di raggiungere una copertura globale della Terra senza la necessità di ponti radio o satelliti.

Da qui la loro importanza tattica nelle operazioni militari e civili in regioni del mondo remote o prive di infrastrutture di comunicazione.

In questo articolo, suddiviso in due parti, faremo una breve disamina di questo affascinante mezzo di comunicazione e delle antenne che vengono impiegate.

PARTE PRIMA:

Come funzionano le HF e da chi vengono efficacemente impiegate per comunicare nel nuovo millennio?

PARTE SECONDA:

Che tipologie di antenna vengono utilizzate in HF e da chi?

Possono essere sviluppate delle antenne custom per servizi di comunicazione in onde corte?

Sebbene questa banda di frequenza appartenga alla storia del wireless, nel campo delle antenne c'è ancora spazio per creatività ed innovazione, specie nel caso in cui si debba affrontare un progetto custom, con particolari specifiche date dal cliente.

Photo courtesy Don Fabrizio Martello IW2ILQ

1. Introduzione: la rinascita delle onde corte.

Nella designazione ITU, con il termine *HF* (*High Frequencies*, in italiano *onde corte*) si indica la porzione di spettro elettromagnetico da 3 MHz a 30 MHz, ovvero con lunghezze d'onda λ rispettivamente comprese tra 100 metri e 10 metri. In alcuni casi, da un punto di vista commerciale, la definizione di HF si estende praticamente fino alle onde medie, e si fa riferimento quindi alla banda da 1.5 MHz a 30 MHz.

L'impiego di canali radio in questa banda di frequenza permette comunicazioni a lunghissima distanza senza la necessità di avere nessuna infrastruttura interposta, quali ad esempio satelliti, ponti ripetitori, internet od altro: due apparati ed altrettante antenne sono quanto basta per poter comunicare a migliaia di chilometri di distanza.

Da un punto di vista storico le onde corte non furono subito utilizzate. Dai primi esperimenti di Marconi del 1895 dovranno passare quasi tre decenni prima di comprendere che le onde lunghe erano oltremodo inefficienti nella radiotelegrafia a lunga distanza. Fu alla fine del 1923 che due radioamatori, *Fred Schnell* e *Leon Deloy*, l'uno americano e l'altro francese, trasmettendo con qualche centinaio di watt su di una lunghezza d'onda di circa 100 metri portarono a termine con successo il primo radiocollegamento transatlantico (**Figura 1.1**).

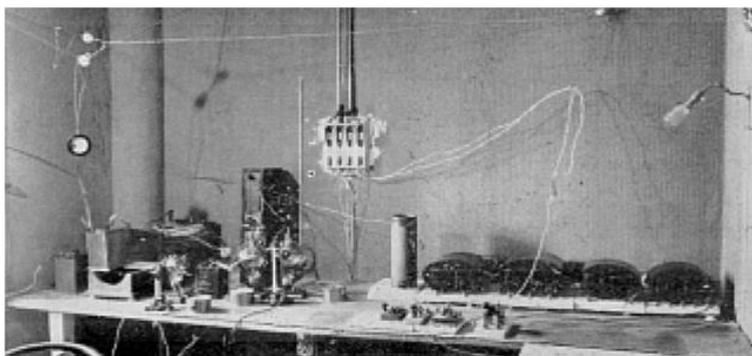


Figura 1.1
Stazione radio di Leon Deloy, a Nizza.

Da qui l'inizio vero e proprio dell'era delle onde corte e delle radiocomunicazioni a fascio. L'era delle mastodontiche stazioni ad onde lunghe, che trasmettevano con centinaia, migliaia di chilowatt, era tramontata.

Inizia così l'epoca d'oro delle onde corte, estensivamente utilizzate da stazioni commerciali, militari e broadcasting fino alla fine degli anni '50, quando vengono lanciati i primi satelliti artificiali per telecomunicazioni. Infatti dopo lo Sputnik del 1957, il primo satellite per le telecomunicazioni viene lanciato dagli USA nel 1958 come parte del programma *SCORE*, seguito nel 1962 dal primo satellite artificiale di un consorzio privato, il *Telstar* della *AT&T*.

La necessità di avere comunicazioni più affidabili nonché la sempre maggiore richiesta di banda portarono rapidamente le comunicazioni satellitari alla ribalta, escludendo o relegando le HF ad un ruolo minore in numerose applicazioni professionali.

Personalmente ricordo la visita alla stazione radio della nave da crociera *Achille Lauro* che ebbi modo di effettuare nel 1994: all'epoca si fornivano ai passeggeri due servizi di radiotelefonata con la terraferma, il primo mediante la rete satellitare *Immarsat* in banda L, il secondo in HF con un apparato della azienda danese *Skanti*. Il costo della chiamata via satellite era ovviamente molto più alto rispetto al sistema ad onde corte.

L'idea radicata che le onde corte fossero un sistema antagonista alle comunicazioni satellitari e che non costituissero invece una risorsa autonoma e complementare a queste ultime raggiunse il suo massimo negli anni '90. Quando ero studente di dottorato al Politecnico di Milano, ricordo un periodo totalmente speso nello studio delle comunicazioni via satellite in onda millimetrica, senza alcuno spazio di ricerca in altri settori dell'elettromagnetismo, giudicati obsoleti e senza futuro e che ora, a distanza di trent'anni, ritengo sarebbero stati più originali e promettenti.

Nel corso dell'ultimo millennio, insieme all'avvento dei nuovi protocolli di comunicazione che interessano i campi del radiomobile, del WiFi e dell'IoT, le comunicazioni in onde corte subiscono una sorta di rinascita.

Come vedremo nei paragrafi seguenti, oltre alle nuove tecnologie applicate alle onde corte, nell'ultimo ventennio si assiste ad una vera e propria presa di coscienza di come le HF siano in grado di fornire una reale copertura globale, necessaria ed insostituibile per numerosi servizi ed applicazioni.

2. La propagazione in onde corte.

A seconda che le due stazioni interessate siano in visibilità (*LOS*, Line Of Sight) o più distanti (*BLOS*, Beyond Line Of Sight), un radiocollegamento in onde corte può avvenire secondo tre modi di propagazione:

- Collegamento per *onda diretta* (*LOS*);
- Collegamento per *onda di terra* (*BLOS*);
- Collegamento per *onda di cielo* (*BLOS*).

Collegamento per onda diretta.

Il collegamento per *onda diretta* od *in visibilità* (*LOS*) avviene quando le due stazioni sono sufficientemente vicine (**Figura 2.1**): le onde elettromagnetiche si propagano lungo un cammino rettilineo, privo di ostacoli, tra l'antenna trasmittente e quella ricevente. Nei collegamenti in visibilità il livello del segnale ricevuto rimane abbastanza costante, anche se in HF in genere è presente un rumore maggiore rispetto all'impiego di frequenze più elevate (VHF od UHF) che fra l'altro utilizzano antenne di dimensioni più contenute.

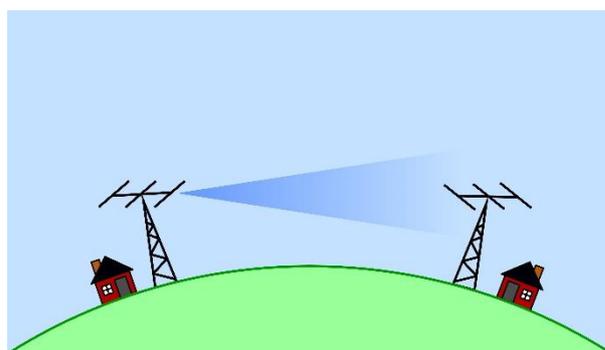


Figura 2.1

Collegamento per onda diretta.

Collegamento per onda di terra.

Nel caso in cui le due stazioni non siano in visibilità, è possibile sfruttare la propagazione via *onda di terra* od *onda superficiale* (**Figura 2.2**). Questo tipo di propagazione, utilizzato nella parte bassa dello spettro HF, impiega delle onde cosiddette evanescenti che si propagano seguendo la curvatura terrestre, ovvero sfruttando la superficie di interfaccia tra due mezzi con caratteristiche fisiche differenti. L'attenuazione che il segnale subisce con la distanza dipende dalla conducibilità della superficie guidante: di conseguenza l'acqua salata del mare permette di raggiungere maggiori distanze rispetto a radiocollegamenti che avvengono tra stazioni terrestri, con portate tipiche di alcune centinaia di chilometri.

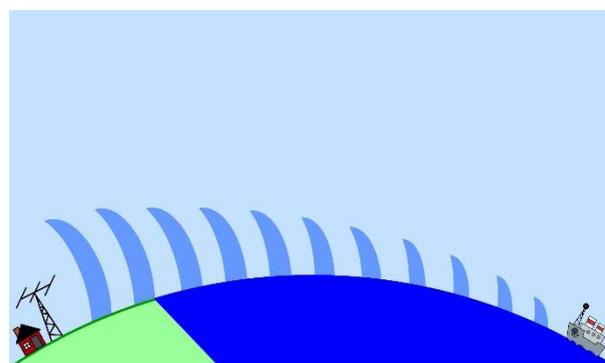


Figura 2.2

Collegamento per onda di terra.

Collegamento per onda di cielo.

La copertura globale del pianeta si raggiunge per mezzo della cosiddetta *onda di cielo* (*skywave*): è questo il modo più utilizzato nei radiocollegamenti in onde corte che permette di coprire distanze enormi.

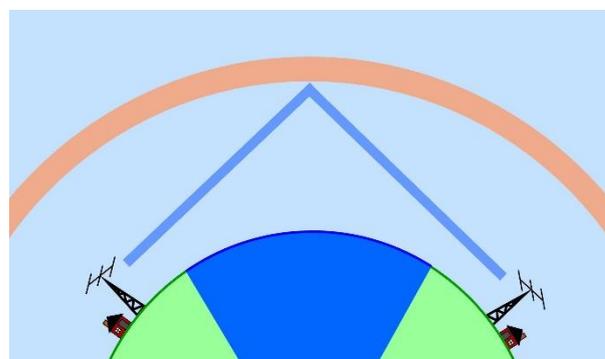


Figura 2.3

Collegamento per onda di cielo.

La propagazione per onda di cielo avviene sfruttando il rimbalzo del raggio elettromagnetico verso terra da parte degli strati dell'alta atmosfera terrestre, le cui particelle ionizzate fungono da specchio. Le distanze che possono essere raggiunte utilizzando diverse frequenze dello spettro HF sono quasi totalmente dipendenti dall'altezza e dalla densità di questi strati ionizzati, conosciuti con il nome di *ionosfera*.

La ionosfera è costituita da vari strati con differente densità di ionizzazione: i più importanti per le comunicazioni in HF sono lo **strato D** (circa 60÷100 km), lo **strato E** (circa 100÷125 km) e lo **strato F** (circa 200÷275 km). Ciascuno di questi strati influisce sui segnali radio in modi diversi.

Lo **strato D**, il più basso, ionizzato dalla radiazione solare, è il responsabile dell'attenuazione delle frequenze più basse dello spettro HF, che di conseguenza vengono maggiormente impiegate nelle ore notturne.

Lo **strato E**, posto al di sopra dello strato D, anch'esso ionizzato dalla radiazione solare durante le ore diurne, permette di rifrangere i segnali verso terra, consentendo comunicazioni a media distanza (1000÷2000 km). In determinati casi, questo strato supporta anche particolari modi di propagazione, quale ad esempio il cosiddetto *E-sporadico*, che permettono di raggiungere distanze enormi anche utilizzando frequenze sopra i 30 MHz.

Lo **strato F**, il più alto di tutti, è di fatto il più importante nei radiocollegamenti a lunga distanza. Durante le ore diurne si divide in due strati sovrapposti, **F1** ed **F2**, che di notte si uniformano di nuovo. Le caratteristiche fisiche di questo strato sono fortemente dipendenti dall'orario, dalla stagione e dall'attività solare. Se lo strato F1 supporta le comunicazioni a breve e media distanza, lo strato F2 permette di raggiungere le massime distanze nei collegamenti HF.

Oltre all'orario, l'*attività solare*, legata al numero di *macchie solari* presenti in un determinato periodo, influenza la densità di ionizzazione di questi strati nel lungo periodo.

Senza addentrarci in ulteriori approfondimenti, appare chiaro come in HF sia indispensabile utilizzare la frequenza appropriata per garantire il successo di una certa comunicazione. In funzione dell'orario e della geometria del radiocollegamento, si definisce infatti una **massima frequenza utilizzabile (MUF)**, al di sopra della quale il segnale radio non viene più rifratto dalla ionosfera verso terra. Allo stesso modo esiste una **minima frequenza utilizzabile (LUF)**, al di sotto della quale la comunicazione diventa impossibile a causa dell'attenuazione del segnale (**Figura 2.4**).

Di conseguenza, la comunicazione via onda di cielo tra due determinate stazioni può avvenire soltanto utilizzando delle frequenze comprese tra i valori di *LUF* e *MUF* in quel determinato momento.

È possibile sfruttare la riflessione ionosferica anche su brevi distanze (fino a qualche centinaio di km) con la tecnica **NVIS** (*Near Vertical Incidence Skywave*). Utilizzando antenne ad hoc, il segnale viene irradiato verso l'alto per poi venire rifratto verso il basso, illuminando la regione di territorio sottostante. Questo tipo di propagazione, che sfrutta la parte bassa della gamma HF (< 10 MHz) dove è possibile una riflessione ionosferica con angoli così elevati, viene di solito usata dai militari per comunicazioni tattiche, e risulta efficace anche in presenza di ostacoli naturali (**Figura 2.5**).

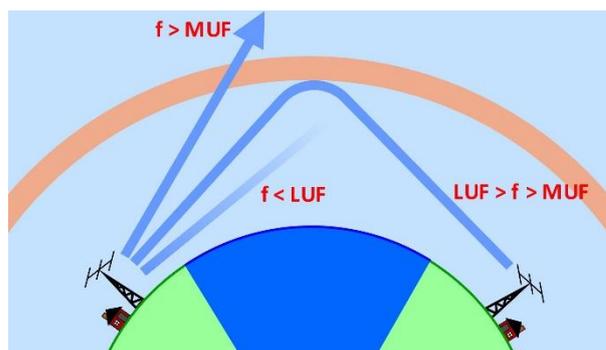


Figura 2.4

Frequenza minima e massima utilizzabili per un radiocollegamento.

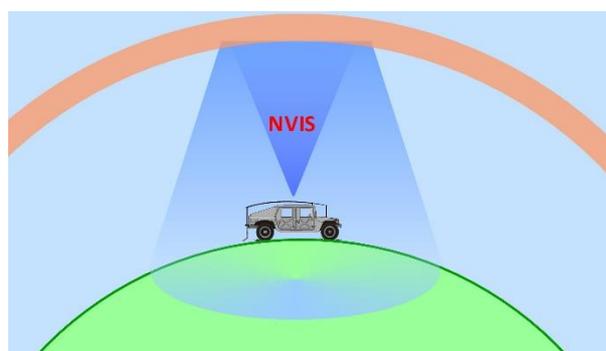


Figura 2.5

NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*).

3. I nuovi sistemi di comunicazione in HF.

Nel nuovo millennio, la rinascita delle onde corte è stata resa possibile grazie all'applicazione di nuove tecnologie che hanno drasticamente attualizzato questa preziosa risorsa dello spettro radioelettrico. Allo stesso tempo si è assistito ad un cambiamento di pensiero nei riguardi delle HF nonché della "R&D" spesa in questo settore, consci dell'importanza strategica di questo settore delle telecomunicazioni.

Accenniamo pertanto di seguito alle principali innovazioni adottate nei moderni sistemi di comunicazione in HF, utilizzati a livello professionale e militare.

Automatic Link Establishment (ALE).

Un enorme aumento dell'affidabilità delle onde corte è stato raggiunto mediante l'introduzione dell'ALE (*Automatic Link Establishment* o *Adaptive HF*), ovvero di un sistema automatico che permette agli apparati di scegliere automaticamente la frequenza ottimale per effettuare un certo radiocollegamento. Senza entrare nel dettaglio, tale sistema prevede una sincronizzazione tra le stazioni radio che automaticamente scansionano una lista di frequenze determinando di volta in volta il migliore canale su cui operare.

Nuove tecniche di modulazione digitale.

Accanto ai sistemi di modulazione storicamente impiegati nelle onde corte, quali la telegrafia (CW) e la fonia analogica in banda laterale con portante soppressa su canali da 3 kHz (SSB), sono stati sviluppati protocolli di trasmissione dati che fanno uso di tecniche avanzate di correzione dell'errore, permettendo di effettuare radiocollegamenti anche con scarsi rapporti segnale/rumore. Questi protocolli non solo vengono impiegati nella trasmissione dati, ma anche nella fonia digitale. Accanto ai tradizionali sistemi che impiegavano modulazioni in FSK e PSK a due toni senza o con correzioni di errore *FEC* (*Forward Error Correction*) od *ARQ* (*Automatic Repeat Request*), si sono affiancati algoritmi che fanno uso di modulazioni QAM a più livelli (fino a 256 QAM).

L'esigenza di poter inviare documenti od immagini in tempo reale, principalmente per impiego militare, ha portato allo sviluppo di un protocollo a larga banda (*wideband HF*) su canali di 48 kHz con velocità fino a 240 kbps. Rispetto ad un canale a banda stretta, questo tipo di modulazione garantisce inoltre minore vulnerabilità nei confronti della radiolocalizzazione e delle interferenze (jamming) da parte del nemico.

Evoluzione degli apparati.

Gli apparati HF di ultima generazione sono basati su tecnologia *SDR* (*Software Defined Radio*), grazie alla quale la generazione del segnale trasmesso nonché la decodifica del segnale ricevuto avvengono via software. Di conseguenza è possibile aggiornare i sistemi di comunicazione, con nuovi protocolli di comunicazione o filtri *DSP* più sofisticati, senza la necessità di modifiche all'hardware.

Per quanto riguarda la parte hardware, si sono diffusi amplificatori lineari a stato solido con sistemi di accordo automatico dell'antenna. L'operatività di tali stazioni si è così semplificata moltissimo, permettendo anche ad operatori non particolarmente qualificati di utilizzare sul campo le apparecchiature.

Non da ultimo, le moderne batterie *Li-ion* permettono, negli apparati portatili (*manpack*), di raggiungere un'autonomia fino a qualche decennio fa impensabile.

Evoluzione delle antenne.

Sebbene le antenne siano la parte del sistema radio più legata all'eredità storica delle onde corte, anche in questo settore c'è stata una importante innovazione, specialmente per quanto riguarda le antenne utilizzate in campo militare per le quali sono richieste specifiche meccaniche ed ambientali particolari. Ad esempio, l'impiego moderno del *frequency hopping* o dello stesso *ALE* ha richiesto antenne (e relative reti di adattamento) molto più agili nello spostamento di frequenza, sollevando l'operatore radio da veri e propri virtuosismi operativi. Sulle antenne si tornerà più approfonditamente nel seguito dell'articolo.

4. Chi utilizza le HF oggi.

Al giorno d'oggi, i principali utilizzatori della banda HF sono:

- Militari ed organizzazioni governative;
- Comunicazioni aria-terra dell'aviazione;
- Organizzazioni umanitarie che operano in zone disagiate;
- Ricerca scientifica e spedizioni o basi scientifiche che operano in zone remote della Terra;
- Reti radio per comunicazioni in aree remote, prive di infrastrutture di telecomunicazioni (ad esempio *VKS-737 Radio Network* e *Royal Flying Doctor Service* in Australia);
- Stazioni broadcasting nazionali e sovranazionali;
- Comunicazioni navi-stazioni costiere e GMDSS (*Global Maritime Distress and Safety System*);
- Radar costieri per applicazioni di dinamica oceanica e radar *OTH (Over The Horizon)*;
- Radioamatori e Citizen Band (CB).

Pur utilizzando frequenze allocate nella stessa porzione di spettro (da 1.5 a 30 MHz), tutti questi servizi operano con apparati ed antenne molto diversi, impiegando tecnologie ed antenne ad hoc.

5. Conclusioni.

Le onde corte, ovvero le bande di frequenza comprese tra 3 MHz e 30 MHz, hanno avuto un ruolo fondamentale nella storia della radio e, ancora oggi, rappresentano l'unico modo per comunicare da un capo all'altro del globo senza l'ausilio di infrastrutture, quali ad esempio internet, ponti radio o satelliti.

A partire dalla fine degli anni '50, il lancio dei satelliti per telecomunicazioni ha portato al rapido sviluppo di sistemi con maggiori capacità di canale e allo stesso tempo non dipendenti dalle condizioni della ionosfera.

Tuttavia, vi sono molti settori del wireless, alcuni dei quali di importanza strategica, che oggi impiegano le HF per comunicare. Nel nuovo millennio, il perfezionamento dei protocolli di comunicazione e degli apparati ha portato ad una rinascita delle onde corte, risolvendo o riducendo gli inconvenienti che rendevano inaffidabile questa banda di frequenze. Le HF che sono quindi tornate ad assumere una posizione di rilievo nelle comunicazioni, sia civili che militari, rivestendo un ruolo specifico e complementare nella comunicazione globale.

In questa prima parte è stata fatta una breve panoramica sul modo delle onde corte, spiegando a grandi linee il modo in cui questi segnali radio si propagano raggiungendo distanze elevate.

Nella seconda parte di questo articolo, si parlerà più specificatamente delle antenne HF: qui si apre un mondo vero e proprio nel quale vi è l'opportunità di sviluppare e realizzare soluzioni innovative, antenne custom necessarie a far fronte ad esigenze elettriche, meccaniche od ambientali molto particolari.

Tutte le informazioni e le esperienze riportate in questo articolo sono frutto dell'attività di progettazione, sviluppo e realizzazione di antenne custom professionali svolta da con il metodo [AntennaSuMisura](#).

Per domande, chiarimenti od approfondimenti in merito a questo o ad altri argomenti riguardanti le antenne professionali scrivi a bollini@elettromagneticservices.com

Grazie per il tempo che hai dedicato alla lettura di questo articolo.

Trovi l'elenco completo delle nostre pubblicazioni tecniche cliccando qui:

<https://www.elettromagneticservices.com/news>

AntennaSuMisura

by

ElettroMagnetic Services
SRL

Trasmettiamo la tua eccellenza!