

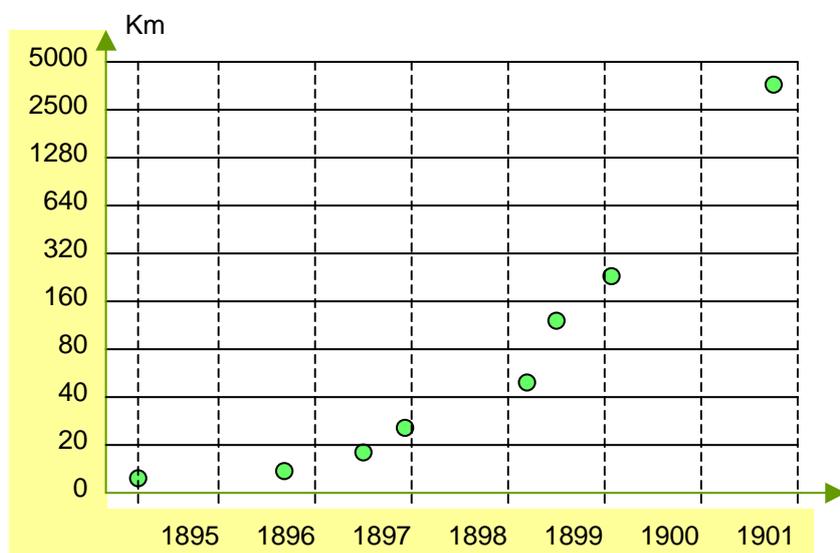
Trasmissione dell'informazione con Onde Elettromagnetiche

Come si propagano le onde elettromagnetiche

1. La sfida della distanza.

L'idea fissa che Guglielmo Marconi coltivava come obiettivo primario ed essenziale della sua appassionata attività, era la possibilità di applicare a finalità pratiche e commerciali il sistema da lui inventato e definito **telegrafia senza fili** (T.S.F.), utilizzando le onde radio per *trasmettere informazione*. Egli stesso dichiarava, nel discorso per il premio Nobel ricevuto nel 1909: *“Nella mia casa presso Bologna, in Italia, io intrapresi fin dall'inizio del 1895 prove ed esperienze volte a stabilire se fosse possibile trasmettere a distanza, per mezzo delle onde herziane, segnali telegrafici e segni convenzionali senza ricorrere a un filo di collegamento....mi convinsi rapidamente che, se fosse stato possibile trasmettere e ricevere in modo sicuro e a distanze considerevoli, si sarebbe realizzato un nuovo sistema di comunicazioni”*.

Questo forte proposito richiedeva, ovviamente, di indagare i limiti del suo sistema: limiti che fin dai primi esperimenti, erano rappresentati soprattutto dalla distanza massima a cui potevano pervenire i suoi segnali lanciati nello spazio. Questo spiega perché Guglielmo si dedicò, una volta superati i problemi iniziali di efficienza degli apparati, alla verifica della massima “gittata” raggiungibile tra il trasmettitore ed il ricevitore.



Evoluzione della distanza (Km) coperta nel collegamento tra trasmettitore e ricevitore nei primi anni delle esperienze di Marconi

La distanza coperta, inizialmente assai limitata, andò velocemente aumentando, sia con lo sviluppo di ricevitori via via più sensibili, sia per un impiego sempre più convinto ed efficiente dell'aereo (antenna). A questo punto, come egli affermò, *“...si poterono trasmettere segnali a 2400 metri in tutte le direzioni”*, non solo, ma superando anche ostacoli naturali come la nota collina dei Celestini, proprio di fronte alla finestra del suo laboratorio.

Nel Luglio del 1896 Guglielmo Marconi è in Inghilterra, dove può effettuare un esperimento ufficiale davanti all'ing. W.H. Preece, capo dei Telegrafi di S.M. Britannica, realizzando un collegamento



tra il Ministero del Post Office ed un edificio distante 1660 metri. Nello stesso anno ripeté la dimostrazione nella piana di Salisbury, su una distanza di **2800 metri**.

Nell'estate del 1897 la Marina Militare italiana invita il giovane inventore a ripetere le sue dimostrazioni presso l'Arsenale di La Spezia; le prove di telegrafia vengono realizzate tra la terra ferma e la corazzata S.Martino, che riceve i segnali Morse fino a **18 Km** di distanza.

Costituita la Wireless Telegraph and Signal Company Ltd. per dare uno sbocco commerciale all'invenzione, Marconi continua a migliorare i suoi apparati e alla fine del 1897, da una stazione fissa sull'isola di Wight, riesce a trasmettere fino a **30 Km**.

Il passo successivo vede le onde radioelettriche puntare al di fuori dei confini nazionali: nel 1899 si realizza infatti, superando il canale della Manica, un collegamento con la Francia, su una distanza di **50 Km**.

Nello stesso anno due navi da guerra britanniche distanti **140 Km** effettuano con successo il collegamento radio, e un anno dopo Marconi trasmette dall'Isola di Wight comunicando con Lizard in Cornovaglia, superando **300 Km** di mare.

Collegamenti di tali lunghezze implicano condizioni di non visibilità tra le antenne, ma la scienza ufficiale continua tranquillamente a ritenere la curvatura terrestre un ostacolo invalicabile per le onde elettromagnetiche. Secondo tale ipotesi, con antenne alte 50 m. dal suolo la curvatura terrestre avrebbe consentito collegamenti in visibilità su distanze non superiori ad alcune decine di chilometri. Ma Marconi, in tre anni di attività sperimentale, aveva ampiamente provato che i segnali potevano essere ricevuti ben al di là dell'orizzonte ottico, e alla fine del 1900 decide fiduciosamente di tentare l'impresa decisiva.

2. Il collegamento transatlantico

Ed infatti il 12 Dicembre del 1901 egli ottiene lo sperato ed eclatante risultato: riesce a superare la distanza transatlantica, collegando Poldhu in Cornovaglia, con St. John di Terranova, cioè l'Europa con il continente americano, su una distanza di **3400 Km**.

Per l'esperimento transatlantico, Marconi utilizzò un potente trasmettitore a scintilla, non più alimentato da batterie, bensì da un alternatore da 25 KW; non è mai stata definita con certezza, invece, la lunghezza d'onda dei segnali emessi da Poldhu. Sir Ambrose Fleming, che come consulente scientifico ricoprì un ruolo importante nel progetto e installazione di tale impianto, ebbe ad affermare: *"L'altezza dell'antenna originale era di 200 piedi (circa 60 metri), però bisogna considerare la presenza di un'induttanza in serie. Secondo la mia stima, la lunghezza d'onda allora trasmessa non era inferiore a circa 3000 piedi (1000 metri) ma fu poi, in tempi successivi, considerevolmente aumentata. Io sapevo allora che la diffrazione o la curvatura dei raggi attorno alla terra sarebbe accresciuta con l'aumentare della lunghezza d'onda, e verso tale soluzione continuamente spronavo Marconi, dopo il primo successo. E ciò in effetti fu realizzato con l'inizio delle trasmissioni commerciali."*

E.H. Armstrong, veterano delle radiotrasmissioni, alcuni anni più tardi ebbe a dire: *"Credo che la lunghezza d'onda trasmessa da Poldhu fosse circa di 250 metri. Mi sono sempre meravigliato come la fortuna, o le speciali condizioni atmosferiche, rendessero possibile che quelle onde superassero l'Oceano, specialmente a mezzogiorno, quando il sole è alto. Sappiamo che il sole assorbe circa il 70% dell'energia delle radioonde: ciò spiegava perché i record di lunghezza dei collegamenti venivano stabiliti di notte, mentre di giorno la distanza era limitata."*

La mancata conoscenza della lunghezza d'onda di Poldhu lascia aperto il quesito sul modo con cui effettivamente si sia propagato il segnale del 1901. A quell'epoca nessuna teoria riusciva a spiegare le ragioni del successo. Ciò che oggi ben sappiamo, è che il percorso seguito dalle onde radio una volta uscite dall'antenna, può essere assai diverso in funzione della frequenza del segnale radio. Possiamo supporre che allora siano state trasmesse effettivamente onde lunghe, ma significativamente ricche di armoniche superiori; e l'evento della fortunata ricezione fosse



imputabile a quelle tra le frequenze del largo spettro trasmesso, che trovarono le migliori condizioni per propagarsi sulla distanza transatlantica.

Se Marconi, sulla base delle prime esperienze, aveva confidato nel fatto che ostacoli naturali non avrebbero in assoluto impedito la propagazione dei suoi segnali radio, né lui né gli scienziati della sua epoca seppero dare una spiegazione al successo di quello strano comportamento delle onde radioelettriche. Emblematicamente, si diffuse l'ipotesi che fosse la luce solare a provocare l'attenuazione diurna dei segnali T.S.F., come abbiamo visto sopra nella dichiarazione di Armstrong. Anche quando, diversi anni dopo, il fenomeno della propagazione a grande distanza su onde corte iniziò a dare risultati estremamente interessanti, le perplessità restavano ben lungi dall'essere superate, com'è testimoniato in una conferenza che Marconi stesso tenne nel 1914: *“Rimane da stabilire perché le onde corte si propagano meglio di notte che di giorno e le onde lunghe forniscono, invece, talvolta in ricezione energie maggiori nel giorno che nella notte. Perché la portata Nord-Sud è peggiore di quella Est-Ovest? Per quale motivo le montagne e i continenti ostruiscono il passo delle onde corte di giorno e non di notte?”*

3. La ionosfera

Nel 1902 due scienziati, A.E. Kennelly negli Stati Uniti e O. Heaviside in Inghilterra, indipendentemente uno dall'altro, ipotizzarono che potesse esistere uno strato fortemente ionizzato nell'alta atmosfera, capace di agire come riflettore per i segnali radioelettrici. Nella prima metà del secolo questo argomento fu oggetto di intensi studi, misure e prove tra tutti gli angoli del mondo, fino a raggiungere una conoscenza pressoché completa.

L'atmosfera terrestre che circonda la terra viene convenzionalmente suddivisa in strati:

- il più basso, la **troposfera**, va da suolo a circa 12 Km di quota. In esso l'aria si muove sia in senso orizzontale che verticale, generando venti e formando nubi.
- la **stratosfera** si estende fino a circa 60 Km di quota; è priva di vapore acqueo ed isola la troposfera. In essa si trova, a circa 25 Km di quota, uno strato di ozono, che difende la biosfera dalla potente radiazione ultravioletta che potrebbe compromettere le forme di vita sulla terra.
- La composizione dei gas atmosferici nella troposfera e nella stratosfera non varia sensibilmente, cosicché il loro insieme viene chiamato **ommosfera**. Al di sopra dei 60 Km inizia l'**eterosfera**, la cui composizione chimica cambia radicalmente: invece dell'ossigeno e azoto molecolare prevalgono ossigeno ed azoto atomici, in quantità decrescente con l'altitudine.
- L'eterosfera coincide all'incirca con quella regione dell'alta atmosfera chiamata **ionosfera**, che si estende dai 60 Km a circa 1000 Km di quota. In tale regione avviene, a causa della fortissima energia associata alle radiazioni solari (raggi UV e X), un fenomeno di ionizzazione che agisce sugli atomi gassosi separandoli in ioni positivi e ioni negativi. Gli ioni tendono spontaneamente a ricombinarsi in atomi neutri, ma tale processo viene rallentato a causa della piccolissima densità molecolare, per cui gli atomi di gas risultano molto rarefatti. La lunga vita degli ioni determina così la condizione per cui negli strati più esterni dell'atmosfera si ha di fatto una ionizzazione persistente.
- Essendo dominato dall'influenza dell'attività solare, il comportamento della ionosfera evidenzia variazioni giornaliere e stagionali, e dipende anche dalla latitudine geografica e dal campo geomagnetico.

Le radiazioni ultraviolette, a seconda della loro lunghezza d'onda, presentano una diversa capacità di penetrazione negli strati gassosi e quindi si riscontrano strati ionizzati a diverse quote:

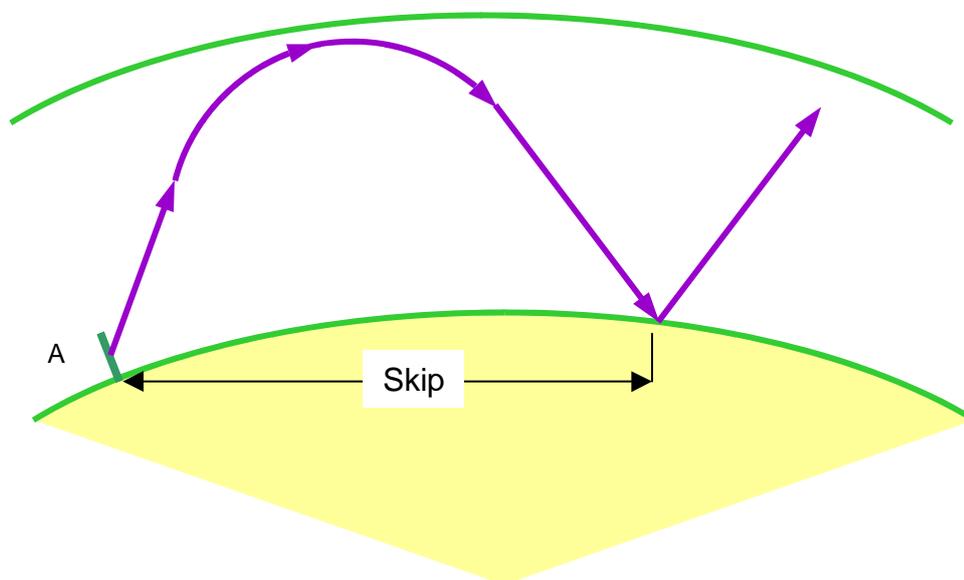
- **Strato D:** è il più basso, attorno a 70 Km, e il più debole come percentuale di ionizzazione. Dopo il tramonto e durante la notte, questo strato scompare.
- **Strato E:** Posto ad un'altezza di 80-110 Km, si attenua dopo il tramonto e a mezzanotte è praticamente annullato.
- **Strato F:** durante il giorno si scompone in due strati, F1 e F2, situati rispettivamente a circa 200 Km e 400 Km di quota. E' caratterizzato da permanenza continua nelle 24 ore, anche se di

notte tende a salire di quota e a modificare le proprietà riflettenti; tuttavia è questo strato che consente trasmissioni notturne a lunga distanza in onde corte.

Il gas ionizzato che forma i suddetti strati non è più elettricamente neutro, bensì agisce sulle onde elettromagnetiche; queste, penetrando nella ionosfera, subiscono un effetto di rifrazione che modifica loro percorso deviandolo verso il basso. Superato un angolo critico, le onde riemergono dirette nuovamente verso la terra, come sotto l'effetto di una riflessione totale.

Si comprende dunque che le onde ritornano a impattare la superficie terrestre ad una distanza notevole dal trasmettitore, e tale distanza, nota come "skip", dipende dall'angolo di riflessione e dall'altitudine in cui il fenomeno ha avuto luogo. Occorre quindi considerare che il segnale non potrà essere ricevuto ad una distanza inferiore a quella del salto, e che tale distanza tende a crescere all'aumentare della frequenza. In altre parole, l'onda rimane confinata tra la terra e la ionosfera propagandosi per balzi consecutivi; le zone in cui la ricezione è possibile corrispondono ai punti di ritorno dell'onda spaziale, che possono risultare più di uno sulle grandi distanze, e ovviamente separati dalla distanza di skip.

Gli utilizzatori della gamma considerata dovranno dunque scegliere opportunamente la frequenza da utilizzare, in funzione dell'ora del giorno e della distanza del punto di destinazione.



L'effetto di rifrazione verso il basso diminuisce con l'aumentare della frequenza, e al di sopra dei 30 MHz i raggi elettromagnetici, pur incurvandosi, non vengono più a riflettersi verso terra. Ciò definisce una sorta di frequenza limite per l'effetto di propagazione per onda ionosferica.

4. Le diverse modalità di propagazione e di utilizzo delle onde radio

Oltre all'onda spaziale, che, come visto, pur puntando verso gli strati alti dell'atmosfera non viene persa, in quanto deviata dalla ionosfera verso terra, esistono altri modi con cui le onde radioelettriche superano il percorso tra il trasmettitore ed il ricevitore: esiste un'onda diretta, che stabilisce un collegamento "line of sight", ovvero in linea ottica, tale per cui rende possibile la comunicazione fra siti che siano in visibilità; esiste un'onda di superficie, capace di seguire la curvatura terrestre. Ciò viene meglio illustrato nei paragrafi seguenti.

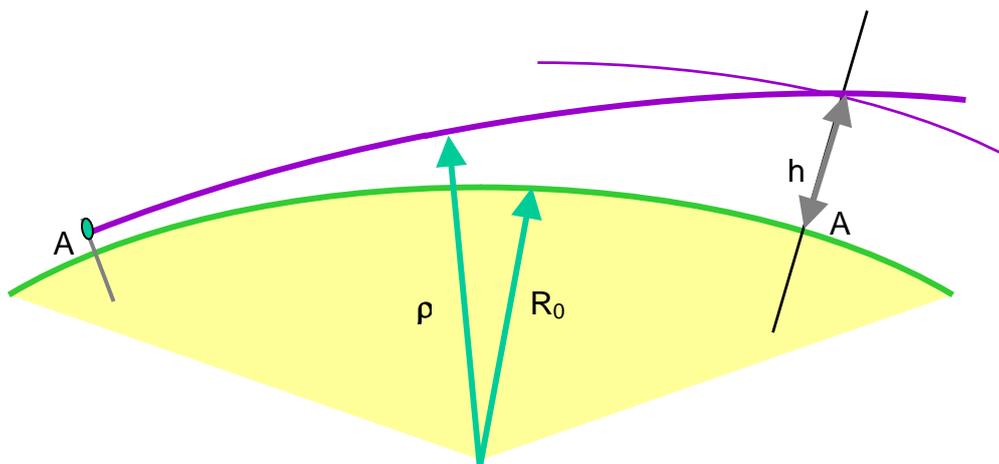
4.1 Propagazione per onda diretta.

L'onda diretta o troposferica, viene tipicamente utilizzata nei sistemi radio che operano a frequenze particolarmente alte, con sistemi d'antenna capaci di sagomare a fascio le onde elettromagnetiche. La definizione di visibilità radio (line of sight) si fonda sul presupposto che la propagazione dell'onda avvenga lungo la linea ideale che, congiungendo il trasmettitore col ricevitore, sia

assimilabile ad una linea retta. In realtà, quando il mezzo in cui si propaga l'onda non è ideale e presenta disomogeneità, ciò non è più vero. Secondo le leggi dell'ottica un raggio viene deflesso quando attraversa mezzi con diversi indici di rifrazione: nel caso particolare della troposfera (il più basso strato dell'atmosfera terrestre) l'indice di rifrazione n dell'aria dipende dalla temperatura, dalla pressione atmosferica, dalla pressione del vapore acqueo; in condizioni normali il valore di n diminuisce in modo quasi lineare al variare dell'altezza h a partire dal suolo (vale a dire $dn/dh = \text{cost.}$). Ciò significa che il raggio viene continuamente incurvato verso il basso e quindi si propaga seguendo una **linea curva** (vedi approfondimento di seguito)

Approfondimento: calcolo della curvatura del raggio elettromagnetico

Noti i valori dn , dh e φ si può calcolare il valore del raggio di curvatura r dell'onda, che risulta pari a **circa 25.000 Km**, cioè più o meno 4 volte il raggio R_0 della terra (6.370 Km)



Questo valore viene preso a riferimento della propagazione troposferica in condizioni "normali", e si dice che in tal caso il raggio si propaga in "atmosfera standard".

Nella progettazione di una tratta radio, si ricorre all'espedito di considerare rettilinei i fasci radio, attribuendo alla curvatura terrestre un valore equivalente nel quale è considerato l'effetto della curvatura dei raggi per effetto della rifrazione. In altre parole, il tragitto dei raggi e.m. può essere considerato rettilineo, a condizione che si assuma per la curvatura un raggio terrestre R_{eq} tale per cui:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_0} - \frac{1}{\rho}$$

Il rapporto tra R_{eq} e R_0 definisce l'indice troposferico k :

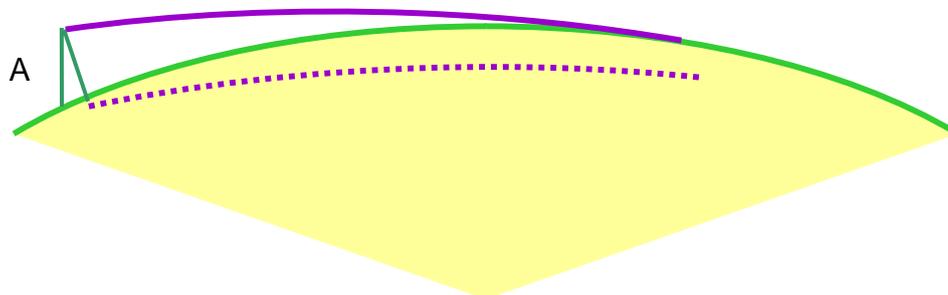
$$k = \frac{R_{eq}}{R_0} = \frac{\rho}{\rho - R_0}$$

In condizioni standard, k vale $k_s = 4/3$. Può però assumere valori maggiori o minori, in funzione di particolari indici di rifrazione, e pertanto il raggio può incurvarsi verso il basso (Atmosfera super-standard, $k > 4/3$) o verso l'alto (atmosfera substandard, $k < 4/3$).

4.2 Propagazione per onda di superficie

Le onde emesse da A in direzione parallela al suolo sono vincolate alla superficie terrestre, che costituisce quindi una specie di guida. Se il terreno fosse perfettamente conduttore annullerebbe il campo elettrico con polarizzazione orizzontale, e si potrebbe propagare solo quello con polarizzazione verticale. In realtà, la limitata conducibilità del terreno assorbe solo in parte l'onda, che tuttavia si attenua in esso più che nello spazio libero. Dati ottenuti per via analitica e

confermati dalle sperimentazioni, mostrano che l'attenuazione cresce con la frequenza; a parità di frequenza, la propagazione superficiale offre una minore attenuazione sul mare che sulla terra.



5. **Lo spettro delle radiazioni elettromagnetiche ed il loro utilizzo.**

Le radiazioni elettromagnetiche utilizzate per le radiocomunicazioni coprono uno spettro assai ampio, con lunghezze d'onda comprese tra alcuni Km e pochi millimetri; le rispettive frequenze, come riportiamo in figura per comodità dei lettori, si estendono per 7 ordini di grandezza, a partire da poche decine di KHz fino ad alcune centinaia di GHz.

Bande a radiofrequenza		
λ (metri)	f (Hertz)	Designazione convenzionale
		VLF (Very Low Frequency)
10^4	$3 \cdot 10^4$	LF (Low Frequency)
10^3	$3 \cdot 10^5$	MF (Medium Frequency)
10^2	$3 \cdot 10^6$	HF (High Frequency)
10^1	$3 \cdot 10^7$	VHF (Very High Frequency)
10^0	$3 \cdot 10^8$	UHF (Ultra High Frequency)
10^{-1}	$3 \cdot 10^9$	SHF (Super High Frequency)
10^{-2}	$3 \cdot 10^{10}$	EHF (Extra High Frequency)
10^{-3}	$3 \cdot 10^{11}$	

Questo spettro fa parte di un'estensione ben maggiore, qualora si vadano a considerare più genericamente tutte le possibili radiazioni elettromagnetiche, che al di sotto del millimetro di lunghezza d'onda coprono, con altrettanti ordini di grandezza, la gamma delle radiazioni



fisiologiche; in questo termine sono compresi i raggi infrarossi, la luce visibile, i raggi ultravioletti, i raggi X.

Il confine superiore delle radioonde si pone dunque convenzionalmente ad 1 millimetro (300 GHz); ciò che distingue le radioonde è il fatto che esse sono utilizzate per telecomunicazioni operando in tecnologia esclusivamente elettronica.

Pur rispondendo agli stessi principi fisici, nelle loro applicazioni pratiche le radioonde presentano comportamenti ben diversi in funzione della loro specifica lunghezza d'onda, come andiamo ad esaminare nel seguito.

E' interessante notare che lo sviluppo delle radiocomunicazioni, a partire dagli esperimenti di Marconi, ha visto in un secolo di evoluzione una crescita vertiginosa di utilizzazioni, che ha coinciso con il progressivo approccio scientifico, nonché l'utilizzo pratico, di bande radio via via più elevate nello spettro delle frequenze.

5.1 Utilizzo delle onde lunghe

Le onde comprese in questa gamma ($\lambda = 15 \text{ Km} \div 500 \text{ m}$; $f = 20 \text{ KHz} \div 600 \text{ KHz}$) si propagano prevalentemente per **onde di superficie**, che possono seguire la curvatura terrestre fino a molte centinaia di Km di distanza dall'antenna trasmittente. Sono anche in grado di propagarsi sotto l'acqua del mare, consentendo così di raggiungere sommergibili immersi entro piccole profondità. Le antenne per onde lunghe sono sempre filari, di tipo marconiano. L'onda spaziale viene invece riflessa praticamente all'entrata dello strato ionizzato più basso, e si riflette verso il basso con limitata attenuazione, e quindi può proseguire con rimbalzi successivi. Incanalate in una sorta di condotto circolare, queste frequenze possono propagarsi a grandi distanze. Le migliori condizioni si verificano intorno al mezzogiorno locale e nella stagione invernale.

L'impiego di queste onde, da cui è nata praticamente la radiotelegrafia, ha oggi perso molto dell'interesse iniziale. È ancora utilizzato per trasmissioni broadcast e per sistemi di navigazione.

5.2 Utilizzo delle onde medie

La propagazione per **onde di superficie**, nel caso delle onde medie ($\lambda = 500 \text{ m} \div 200 \text{ m}$; $f = 600 \text{ KHz} \div 1,5 \text{ MHz}$), è meno efficiente che nel caso precedente: la distanza che può essere coperta, pur utilizzando impianti potenti, non supera alcune centinaia di Km, ma è comunque intensamente utilizzata per diffusione broadcast, per lo più con tecniche di modulazione in ampiezza. L'**onda spaziale** è assorbita fortemente nel caso della propagazione diurna, mentre di notte la presenza di un solo strato ionizzato a grande altezza favorisce un considerevole incremento della distanza raggiunta dai segnali. Così, mentre durante il giorno il servizio di radiodiffusione serve un bacino di utenza limitato dalla propagazione con onda di superficie - con livelli di segnale sostanzialmente stabili - dopo il calare del sole la ricezione diventa possibile a grande distanza, grazie all'onda spaziale. Esistono tuttavia alcune cause che degradano la qualità e la stabilità della ricezione, dovute sia alle fluttuazioni di ampiezza e fase dei segnali ricevuti attraverso la ionosfera, sia alla possibilità di ricezione contemporanea di quest'ultima insieme all'onda di superficie. Il risultato consiste in una ricezione disturbata da una sensibile evanescenza dei segnali (fading). Le antenne utilizzate per onde medie sono per lo più torri metalliche poste verticalmente sul suolo, alte molte decine di metri.

5.3 Utilizzo delle onde corte

La gamma delle onde corte ($\lambda = 200 \text{ m} \div 10 \text{ m}$; $f = 1,5 \text{ MHz} \div 30 \text{ MHz}$) è quella che sfrutta al massimo grado la propagazione per **onda spaziale**. L'onda di superficie risulta assai inefficiente, mentre data l'elevata frequenza delle onde corte può sfruttare assai bene la riflessione ionosferica. Rispetto alle onde medie e lunghe, le onde corte sono meno disturbate da scariche atmosferiche e rumori industriali. Per contro, risulta più evidente il fenomeno del fading, dovuto alla presenza di cammini multipli tra trasmettitore e ricevitore; la molteplicità dei cammini percorsi dalla stessa onda nella sua propagazione, dà il risultato di alternare velocemente effetti costruttivi e distruttivi del segnale complessivo, in funzione della relazione di fase tra i diversi contributi.



Le onde corte sono state utilizzate intensivamente, per molti decenni e prima dell'avvento dei sistemi satellitari, per comunicazioni sia commerciali, sia di radiodiffusione, su distanze continentali. Non richiedono potenze molto elevate, anche perché in questa gamma si cominciano ad utilizzare efficientemente antenne direttive, se pur di grandi dimensioni, per irradiare fasci di energia radioelettrica nella voluta direzione dell'orizzonte. I tipi di modulazione utilizzati sono la SSB (Single Side Modulation, modulazione d'ampiezza a banda laterale unica), e RTTY (telescrivente)

5.4 Utilizzo delle onde ultracorte

Le onde ultracorte sono suddivise in due bande, rispettivamente **VHF** (Very High Frequencies, 30 MHz – 300 MHz) , e **UHF** (Ultra High Frequencies, 300 MHz – 3000 MHz). Esse offrono ottime caratteristiche per il broadcast di tipo radiofonico e televisivo, vista la loro capacità di realizzare bacini geografici di utenza, e la possibilità di utilizzare grandi bande modulanti, adatte quindi a sistemi evoluti di modulazione. Inoltre, in queste bande trovano spazio i moderni sistemi radiomobili, sia di tipo privato (polizia, carabinieri, ambulanze, radiotaxi, ecc.) sia di tipo pubblico (le grandi reti cellulari come ETACS, GSM e UMTS).

Ciò è dovuto all'impiego intensivo della modulazione analogica di frequenza, particolarmente adatta a sopportare le grandi variabilità in ampiezza dei segnali ritrasmessi in mobilità, e i rumori in cui è facilmente immersa l'utenza mobile. Queste caratteristiche sono ulteriormente esaltate dall'attuale progressiva introduzione dei sistemi di trasmissione digitale, che a fronte di un utilizzo meno efficiente delle bande disponibili, offrono una qualità migliore dei sistemi analogici ed una estrema versatilità nel gestire sorgenti di informazione dei tipi più svariati (suoni e immagini digitali, flussi di dati, collegamenti tra computers, ecc.)

Le antenne impiegate in queste bande sono tipicamente molto direttive, capaci di realizzare fasci di energia e.m. sagomati per la realizzazione di aree di copertura espressamente adeguate alle esigenze degli Operatori che offrono i vari servizi. Per lo più, le antenne richiedono un posizionamento elevato, su colli o su edifici o comunque su pali e tralici, in modo da raggiungere con **onda diretta** i confini previsti dell'area di copertura.

5.5 Utilizzo delle microonde

Le microonde coprono le **frequenze superiori ai 3 GHz** ($\lambda < 10$ cm) e si esauriscono a valori posizionati virtualmente a **300 GHz** ($\lambda = 1$ mm). La possibilità di realizzare fasci di grande capacità trasmissiva e fortemente concentrati, rendono queste frequenze particolarmente adatte ad utilizzo per ponti radio terrestri e collegamenti spaziali. In entrambi i casi, si realizzano collegamenti di tipo punto-punto con **onda diretta**, che consentono di ridurre i rischi di interferenze e di economizzare sulla potenza trasmessa, grazie al grande guadagno delle antenne.

L'utilizzo delle microonde è ormai ampiamente orientato ai sistemi numerici; nel caso dei ponti radio, impiegano modulazioni di tipo PSK e QAM, con livelli elevati di complessità; nel caso delle trasmissioni satellitari, si è andato affermando il tipo di impiego DBS (Direct Broadcast Satellite), per la distribuzione diretta di programmi televisivi e radiofonici digitali. Le antenne utilizzate sono del tipo a superficie, per lo più di tipo parabolico, con angoli d'apertura anche inferiori al grado, che vanno puntate con grande precisione verso l'estremità opposta del collegamento.

In tutti i casi, i collegamenti in microonde richiedono l'assenza di ostacoli lungo il tragitto del segnale. La presenza di ostruzioni artificiali o naturali, nel caso del collegamento troposferico in ponte radio, può essere aggirata utilizzando ripetitori attivi (stazione ritrasmettenti in postazione elevata) o passivi (specchi metallici di grande superficie).

6. Marconi, decennio 1920-1930: la progressione dalle onde lunghe alle onde corte

Dato che le onde radio non conoscono confini, con l'estendersi della TSF si resero necessari accordi fra le Nazioni per regolamentare i servizi e l'utilizzo delle radiofrequenze. Nel 1906 si tenne a Berlino una "Conferenza Radio" a cui parteciparono 29 Nazioni, con lo scopo principale di



definire le regole del traffico tra navi e stazioni costiere; e in tale sede per la prima volta si definì una ripartizione delle frequenze. Le navi avrebbero usato lunghezze d'onda di 300 metri o superiori, ma senza superare i 600 metri; per le stazioni costiere venivano riservate lunghezze d'onda di 500 e 600 metri, con la facoltà di utilizzare anche frequenze sotto i 600 m e sopra i 1600 m. Mentre le emittenti terrestri operavano prevalentemente in Onde Lunghe (si era arrivati fino a lunghezze di 30 Km!), le emissioni in tali bande marittime (Onde Medie) rappresentavano un compromesso tra la preferita propagazione delle onde chilometriche e una ragionevole efficienza delle antenne navali, la cui dimensione era ovviamente legata a quella delle strutture di bordo.

In una sua famosa conferenza tenuta nel 1922 in America, ai membri dell' "Institute of Electrical Engineers" Marconi affermava che *"il progresso fatto con le onde lunghe e con l'antenna fu così rapido, e al confronto così facile e spettacolare, che distrasse praticamente tutta l'attenzione dalla ricerca con le onde corte"*. Tuttavia va notata l'importante attività svolta da Marconi e da Franklin, suo collaboratore, fin dal 1916. In quegli anni, grazie all'intensa e appassionata attività di molti sperimentatori, si era arrivati a comprendere che, benché i raggi radioelettrici si propagano seguendo i principi dell'ottica geometrica - e quindi in linea retta - in realtà nell'ambiente troposferico le modalità effettive con cui avviene la propagazione delle onde radio assumono connotazioni nuove e di grande importanza pratica. I risultati erano prodigiosi: nel 1923 l'esploratore D. MacMillan utilizzò onde corte dalla sua nave nell'Artico, per collegarsi con New York ed altre città USA; Marconi dal suo yacht riuscì a collegarsi con l'Australia dall'Inghilterra e con la Siria dal Mediterraneo, usando onde di 32 metri.

Marconi intuì l'importanza delle onde corte per la radiotrasmissione a grandissima distanza e ne studiò sistematicamente il comportamento, orientando verso di esse le sue scelte; veniamo così a comprendere come egli decise - con una notevole dose di coraggio - di adottare le onde corte quando, tra gli anni 1924 e 1930, si trattò di progettare e realizzare per conto della Corona britannica una grande rete di collegamenti tra l'Inghilterra ed i suoi "dominions". E fu così che gli anni '30 del secolo scorso furono definiti "il decennio delle onde corte", poiché videro la grande estensione dell'impiego di questa banda, che determinò l'accantonamento degli apparati ad onde lunghe e dei loro enormi e costosissimi sistemi radianti.

In anni ancora successivi, fino alla sua morte (1937) Marconi si dedicò allo studio della propagazione di onde ancora più corte (onde metriche), le cui possibilità di forte concentrazione spaziale in fasci molto direzionali gli avevano fatto intuire applicazioni del tutto originali, come la radiolocalizzazione, la radioguida ed il radar.

Concludendo, possiamo oggi affermare che la conoscenza sempre più completa ed approfondita dei fenomeni di propagazione che, come abbiamo illustrato sopra, condizionano fortemente l'utilizzo concreto delle onde radioelettriche, ha affiancato lo sviluppo della tecnologia nell'evoluzione della radio, assumendo un ruolo determinante nell'utilizzazione efficiente del nuovo mezzo di comunicazione.

A.M.