

Come Marconi rese realtà il “miracolo” del “telegrafo senza fili”?

Ci sono delle invenzioni che vengono dal passato che sono ancora attuali, sono invenzioni di cui non se ne può fare a meno e una di queste, il telegrafo senza fili, è frutto dell'ingegno e della creatività di un grande scienziato italiano, Guglielmo Marconi.

Guglielmo Marconi è nato a Bologna il 25 aprile 1874 da Giuseppe Marconi e Annie Jameson di nazionalità irlandese. I trasferimenti tra l'Inghilterra e Toscana furono molto frequenti. Dal 1885 al 1889 Marconi frequentò l'Istituto Nazionale di Livorno e si interessò all'elettrotecnica che approfondì grazie all'aiuto del professore di fisica del liceo di Livorno Vincenzo Rosa attraverso esperimenti in laboratorio nonostante non fosse studente di quella scuola. Con questa esperienza riuscì a studiare le caratteristiche dei componenti di un circuito e utilizzò il coherer, rivelatore di onde elettromagnetiche utilizzato in quegli anni da vari studiosi. Per sperimentare allestì un laboratorio nella casa paterna di Bologna, Villa Griffone. Il primo esperimento che fece a soli 18 anni era finalizzato alla realizzazione di una nuova pila elettrica da presentare al concorso internazionale bandito dalla rivista *L'Elettricità*. Dopo i vari esperimenti arrivò alla realizzazione di pile termoelettriche ma interruppe quasi subito le sperimentazioni sulle pile e si dedicò agli studi delle onde elettromagnetiche. A 20 anni realizzò un rivelatore di fulmini composto da una pila, un coherer e un campanello elettrico, poi ipotizzò di sostituire al fulmine un segnale prodotto da lui, usò un impulso inviato con un tasto telegrafico e riuscì così a far suonare il campanello posto nell'altra stanza. L'interesse di Marconi si focalizzò quindi sullo sviluppo di tecnologie applicabili e utilizzabili con i risvolti pratici e commerciali. Il suo progetto più ambizioso fu quello di sviluppare un sistema di comunicazione con la telegrafia senza fili, il quale gli valse il premio Nobel per la fisica del 1909 segnando così l'inizio delle radiocomunicazioni.

A partire del 1894, Marconi effettuò i primi esperimenti con le onde elettromagnetiche, argomento studiato a livello europeo in quel periodo. Interessandosi alle relazioni di Heinrich Hertz cominciò a riflettere sulla possibilità di inviare segnali a distanza utilizzando le onde radio, superando quindi la necessità dei fili della telegrafia ordinaria.

Nel 1895 sperimentò a Pontecchio (Bologna) il primo trasmettitore e ricevitore radiotelegrafico. L'apparato di trasmissione e quello di ricezione erano separati da una collina e i segnali Morse furono ricevuti a circa 2 km di distanza. Marconi riuscì così nel primo esperimento di telegrafia



senza fili realizzando una trasmissione di segnale Morse su onde radio. Per aumentare la sensibilità introdusse l'antenna e perfezionò il coherer.

Nel 1896 la famiglia si trasferì in Inghilterra dove il potenziamento delle reti di comunicazione permise a Marconi di avviare collaborazioni importanti e presentò il suo primo

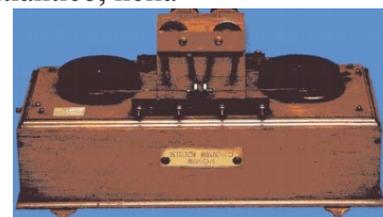
brevetto nel giugno dello stesso anno. Inoltre nel luglio del 1897 fu costituita la *Wireless Telegraph and Signal Company* nota come *Marconi Company* della quale Marconi diventò direttore tecnico e principale azionista. Il 7 luglio del 1897 ottenne il brevetto N.12039 per la telegrafia senza fili. Marconi sfruttò il fatto di essere direttore tecnico per effettuare ricerche e dimostrazioni sulla potenzialità della telegrafia senza fili e del fatto che potesse coprire distanze maggiori. Si dedicò quindi all'incremento della portata delle trasmissioni e alla riservatezza e indipendenza delle comunicazioni, svelò l'esistenza dello spettro radioelettrico che rendeva possibile le comunicazioni in contemporanea con molti segnali senza interferire o intercettare altri messaggi trasmessi attraverso lo sviluppo del sistema sintonico che consentiva di trasmettere e ricevere sulla stessa frequenza, impedendo l'intercettazione dei messaggi trasmessi. Questo gli fece ottenere il brevetto N.7777 il 26 aprile 1900.



Sistema sintonico

Nel 1901 ci fu la prima trasmissione transatlantica di segnali provenienti dalla stazione di Poldhu, Inghilterra fino al ricevitore posto a Terranova, Canada coprendo la distanza di 3000 km dimostrando quindi che le onde radio potevano propagarsi a grande distanza nonostante la curvatura terrestre.

Nel 1902 condusse esperimenti a bordo del transatlantico *Philadelphia* e sulla corazzata *Carlo Alberto* nei quali i segnali si trasmettevano e ricevevano nel Mediterraneo, nell'Atlantico, nella Manica e nel Mar Baltico. Il progetto transatlantico richiese molto lavoro per la costruzione di nuove stazioni e nuovi dispositivi. Proseguendo nelle sue sperimentazioni, inventò il detector magnetico, che sostituì il coherer nella rivelazione di onde elettromagnetiche e consentì di passare dalla ricezione di un segnale elettrico alla ricezione di un segnale acustico.



Detector magnetico

Nel 1904 ricevette la laurea ad honorem in ingegneria e nel 1908 riuscì nell'ambizione di collegare le due sponde atlantiche. Nel 1909, grazie all'uso del telegrafo senza fili in ambito marittimo per la sicurezza in mare, si salvarono 1700 persone che erano a bordo di un transatlantico che si scontrò contro un'altra barca riuscendo a lanciare un S.O.S.. Questa applicazione fu una conferma dell'invenzione di Marconi e nello stesso anno riuscì a vincere il premio Nobel per la fisica.

Le sperimentazioni continuarono e durante la Prima Guerra Mondiale Marconi si arruolò nell'esercito al fine di applicare le sue importanti invenzioni in ambito militare, a servizio della patria. Negli anni successivi alla guerra, con l'avvento del fascismo, si trovò ad essere

rappresentante della nuova realtà italiana: l'intensa partecipazione alla vita mondana all'estero e in Italia fece di lui, nell'immaginario collettivo di quegli anni, una delle figure vincenti del regime. Ne costituiva l'asso nella manica, poiché era contemporaneamente scienziato, patriota e fascista.

Fu nominato Presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche e della Reale Accademia d'Italia, riuscì a stabilire un collegamento tra le apparecchiature dell'Elettra, nave di Marconi ancorata a Genova, e una stazione ad onde corte di Sydney coprendo una distanza di quasi 20000 km e riuscì ad accendere le luci del Municipio della città australiana.

Marconi morì il 20 luglio del 1937, prima dell'inizio della Seconda Guerra Mondiale.

L'interesse per la telegrafia senza fili

Partendo dai sistemi di telegrafia elettrica di Morse e Hughes e dagli esperimenti condotti da Volta, Faraday, Maxwell ed Hertz, Guglielmo Marconi giunse ad una delle invenzioni più rivoluzionarie della storia: la telegrafia senza fili, sistema di comunicazione a distanza basato sulle onde elettromagnetiche.

Dal 1895 Marconi ripeté gli esperimenti di Hertz, che per primo dimostrò sperimentalmente l'esistenza delle onde elettromagnetiche previste teoricamente da Maxwell attraverso il rocchetto di Ruhmkorff, con lo scopo di individuare un sistema in grado di utilizzare concretamente le onde elettriche. Poi utilizzò il principio della telegrafia Morse mettendo in ricezione il coherer, unico rivelatore di onde elettromagnetiche conosciuto in quegli anni. Il passaggio della corrente nel coherer agiva su una convenzionale macchina telegrafica scrivente che registrava il messaggio ricevuto sotto forma di punti e linee.

Il sistema ideato da Marconi

Il sistema ideato da Marconi per trasmettere e ricevere onde radio è composto da:

- Un rocchetto di Ruhmkorff, trasformatore utilizzato per produrre impulsi ad alta tensione partendo da una sorgente di corrente continua a bassa tensione.
- La corrente generata dalla batteria (interrotta ritmicamente da un interruttore) determinava nel primario una corrente pulsante. Ad ogni apertura dell'interruttore, sul secondario si manifestava una scarica elettrica tra le sfere poste al centro dell'oscillatore. Per la durata della scintilla l'oscillatore emetteva treni di onde elettromagnetiche che provocavano il passaggio di corrente nel coherer e di conseguenza l'attrazione del relè;
- Il relè è un dispositivo formato da un'elettrocalamita, sensibile a una tensione o a una corrente, inserita in un circuito in modo da poter aprire o chiudere un secondo circuito di utilizzazione. I relè sono utilizzati principalmente per il trasferimento delle informazioni lungo le reti telefoniche o dei dati in un centro di calcolo. Il relè alimentava a sua volta il dispositivo elettromeccanico preposto all'utilizzo del segnale ricevuto (nei primi esperimenti veniva utilizzato un campanello: suonando durante il tempo in cui il tasto era abbassato,

evidenziava l'avvenuta ricezione del messaggio) e, picchiando con un martelletto il tubetto di vetro del coherer, lo riportava nello stato di riposo.

- Il coherer permette di rivelare la frequenza modulante di una frequenza portante; oggi tale funzione è svolta dai diodi al germanio. In presenza di un'onda elettromagnetica la resistenza si abbassa bruscamente e la corrente può fluire agevolmente. Agli esordi della radiotelegrafia, il coherer fu di fondamentale utilità per poter rivelare i segnali Morse, e lo stesso Guglielmo Marconi il 2 marzo 1899 riconobbe che senza il coesore di Calzecchi Onesti la radio probabilmente non sarebbe mai nata.

Per propagare meglio il segnale anche oltre ostacoli e quindi per allontanare sempre più il ricevitore dalla sorgente, Marconi si servì di antenne e ottimizzò il coherer migliorandone la sensibilità.

Il coherer marconiano riceve tramite l'antenna che è un trasduttore elettromagnetico e quindi amplifica e preleva dallo spazio l'energia utile per la comunicazione. Il principale ostacolo per le comunicazioni era il fondo elettromagnetico, osservabile in qualunque punto della superficie terrestre, è dato dalla sovrapposizione di una quantità di segnali prodotti da un numero enorme di sorgenti distribuite nella cavità Terra-ionosfera, nella magnetosfera, nella ionosfera e all'interno della Terra. La soluzione proposta da Marconi per realizzare una comunicazione a grande distanza fu di migliorare la sensibilità dell'apparato ricevente. Utilizzando quindi un'antenna abbastanza potente si dimostrò che si poteva comunicare tra due continenti ma ciò che rendeva possibile queste comunicazioni è la ionosfera, di cui in quegli anni non era ancora conosciuta la sua potenzialità, questo strato riflette le onde radio rendendo così possibile le comunicazioni intercontinentali.

Onde elettromagnetiche

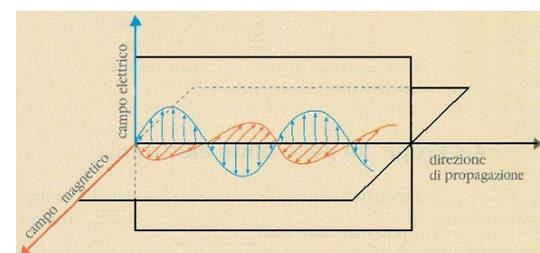
Le onde elettromagnetiche dopo che attraversano il coherer che è collegato all'antenna creano delle microsaldature fra le particelle di polvere grazie alle quali il dispositivo diviene conduttore creando così l'impulso.

Le onde elettromagnetiche sono il fenomeno fisico attraverso il quale l'energia elettromagnetica può trasferirsi da luogo a luogo per propagazione. Tale fenomeno di trasferimento d'energia può avvenire nello spazio libero (via etere), oppure può essere confinato e facilitato utilizzando appropriate linee di trasmissione (guide d'onda, cavi coassiali, ecc.). Le onde elettromagnetiche, secondo la teoria di Maxwell, sono fenomeni oscillatori, generalmente di tipo sinusoidale, e sono costituite da due componenti, elettrica e magnetica, che si

propagano nella stessa direzione e variano nel tempo oscillando su due piani ortogonali tra di loro.

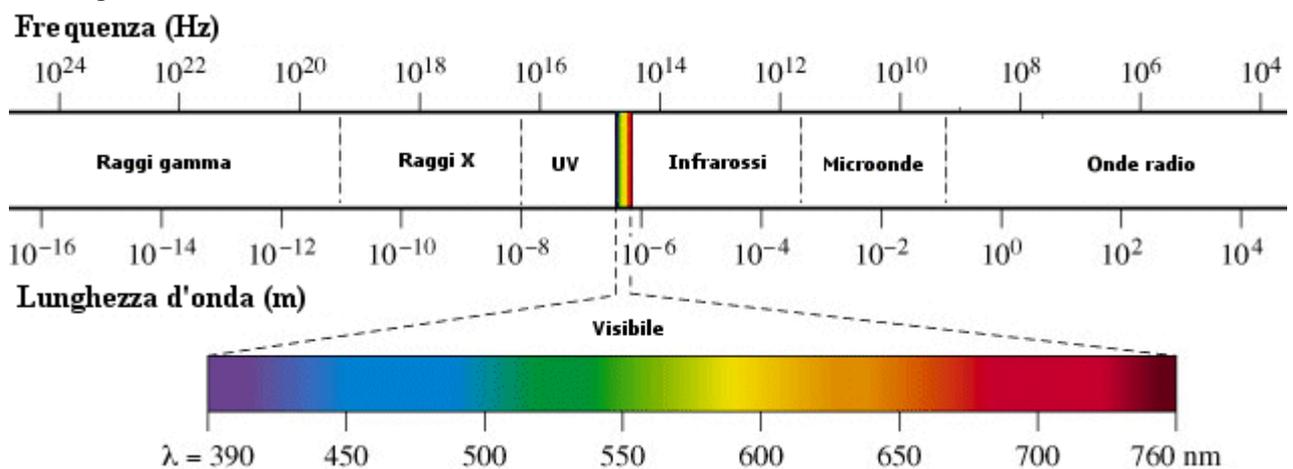
Tre principali grandezze fisiche, correlate tra loro, caratterizzano tali radiazioni:

- a) la lunghezza d'onda λ , o distanza fra i due punti di un'onda. Unità di misura della lunghezza d'onda è il metro;



b) la frequenza f , ovvero il numero di cicli completi dell'onda in un secondo. Unità di misura della frequenza è l'Hertz;

c) l'energia (E), trasportata in pacchetti di energia, chiamati fotoni, la cui unità di misura è, per il Sistema Internazionale (SI), il Joule; spesso però l'unità di misura utilizzata è quella convenzionale dell'elettronvolt (eV), definita come l'energia acquistata da un elettrone, quando attraversa una differenza di potenziale di 1 Volt. Frequenza f , e lunghezza d'onda l sono sempre legate dalla relazione: $f \times l = c$ dove c è la velocità di propagazione delle onde ($c = 300.000$ Km al secondo nell'aria, ovvero la velocità della luce). Quando la propagazione avviene in un mezzo materiale, la velocità di propagazione c dipenderà dalle proprietà del mezzo attraversato. Le frequenze delle onde elettromagnetiche possono coprire un vastissimo intervallo di valori, definito come Spettro Elettromagnetico. Per semplificare i riferimenti e la terminologia, l'intero spettro è stato suddiviso in regioni che assumono denominazioni diverse in base alla frequenza e/o alla lunghezza d'onda, all'energia associata e all'utilizzo.



Le onde che sfruttò Marconi per le sue comunicazioni furono quelle radio, onde a bassa frequenza generate da apparecchi elettronici, in particolare da circuiti oscillanti, che vengono per l'appunto utilizzate nelle trasmissioni radio e televisive. La loro frequenza è compresa tra 0 e 300 GHz e hanno quindi lunghezza d'onda maggiore di 1 mm.

Le onde radio viaggiano da un radiotrasmettitore a un radiorecettore come abbiamo già visto e le informazioni che si vogliono far viaggiare (conversazioni nella radiotelefonìa, parole o musica nella radiodiffusione, immagini e suoni nelle trasmissioni televisive ecc.) vengono prima convertite da un trasduttore in segnali elettrici di ampiezza variabile. In seguito tali segnali agiscono su un'onda, detta portante, di ampiezza e frequenza costante, generata nel trasmettitore attraverso un processo detto di modulazione. La modulazione consiste nel variare, istante per istante, una delle grandezze caratteristiche del segnale periodico (ampiezza o frequenza) usato come "vettore" per la trasmissione (la portante), in conformità con le variazioni del segnale che contiene le informazioni da trasmettere, detto modulante. Il segnale portante modificato è detto modulato. Nella modulazione

di ampiezza (AM) le informazioni vengono trasmesse nel circuito modulando l'ampiezza dell'onda portante, mentre nella modulazione di frequenza (FM) le informazioni vengono trasmesse modulando la frequenza della portante. Il segnale, amplificato, è inviato all'antenna, che lo irradia nello spazio sotto forma di onda elettromagnetica. I ricevitori captano le onde elettromagnetiche mediante un'altra antenna e, dopo un processo di amplificazione e demodulazione, ricavano in uscita l'informazione emessa in trasmissione.

Per la loro grande lunghezza d'onda, le onde radio non vengono fermate nel loro cammino da ostacoli di medie dimensioni, come le case o gli alberi (vengono bloccate però dalle montagne, che costituiscono delle zone d'ombra), e possono essere trasmesse a distanza perché vengono riflesse dagli strati ionizzati dell'atmosfera. I ripetitori intercettano le onde e le reirradiano dopo averle nuovamente amplificate, allo scopo di far arrivare il segnale con una potenza efficace a grandi distanze. Il notevole aumento del traffico radio ha portato all'adozione di ripetitori, posizionati su satelliti geostazionari, che ruotano nello spazio con la stessa velocità della Terra e di conseguenza "vedono" sempre la stessa area geografica.

ESERCIZIO

Le onde radio FM hanno frequenze comprese nell'intervallo 88,0-108,0 MHz. Determinare il corrispondente intervallo di lunghezze d'onda.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{dove} \quad f_1 = 88,0 \cdot 10^6 \text{ Hz} \text{ e } f_2 = 108,0 \cdot 10^6 \text{ Hz} \quad \text{e quindi sostituendo si arriva a}$$

$$\lambda_1 = \frac{3,00 \cdot 10^9 \frac{m}{s}}{88,0 \cdot 10^6 \text{ Hz}} \quad \text{essendo } \text{Hz} = \text{s}^{-1} \text{ otteniamo che } \lambda_1 = 3,41 \text{ m} \quad \text{e in modo analogo troviamo la}$$

$$\text{misura della lunghezza d'onda} \quad \lambda_2 = \frac{3,00 \cdot 10^9 \frac{m}{s}}{108,0 \text{ Hz}} = 2,78 \text{ m} \quad \text{quindi l'intervallo delle lunghezze}$$

d'onda delle onde radio FM sarà $I = [2,78 \text{ m}; 3,41 \text{ m}]$.

Applicazioni tecnologiche

Le applicazioni tecnologiche delle onde radio sono molteplici, due delle più conosciute sono il radio soccorso e il radiotelescopio.

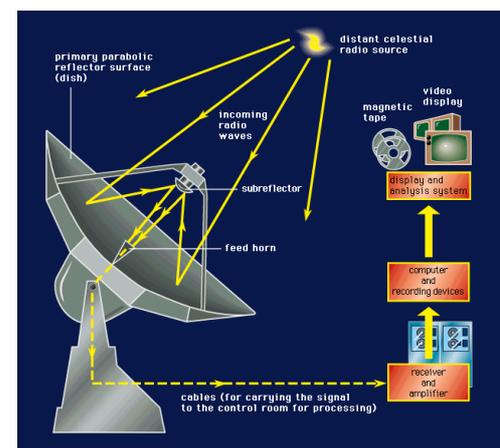
Il radiotelescopio è un complesso di strumenti destinati a ricevere, analizzare e misurare la radiazione a radiofrequenza proveniente dai corpi celesti e dallo spazio. Un radiotelescopio è composto da un'antenna, da un sistema di rivelazione e amplificazione, da un sistema elettronico di elaborazione e da un sistema di registrazione; nell'uso comune si è soliti indicare con radiotelescopio solo la parte più appariscente di un radiotelescopio, cioè l'antenna, il cui scopo è quello di raccogliere la maggior quantità possibile di radiazione, cosa particolarmente utile nel caso

di sorgenti deboli, unitamente a un forte potere risolutivo, così da poter separare sorgenti vicine o poter localizzare il più esattamente possibile la posizione di una sorgente sulla volta celeste. La parte che raccoglie la radiazione è costituita da una superficie riflettente a forma di paraboloide, in modo da poter sfruttare le proprietà della funzione matematica della parabola¹: in questo modo infatti le onde radio provenienti dallo spazio che arrivano sul paraboloide vengono riflesse tutte verso un unico punto, chiamato "fuoco". Nel fuoco si possono allora mettere i ricevitori, dei dispositivi che contengono l'antenna vera e propria e convertono, amplificandola, la debole energia elettromagnetica di queste onde radio in un segnale elettrico rilevabile. Un radiotelescopio può essere in grado di fare osservazioni, cioè di raccogliere radiazione, su un intervallo molto ampio di frequenze all'interno della banda radio e delle microonde (la frequenza massima raggiungibile dallo strumento dipende dall'accuratezza della superficie riflettente, cioè è tanto maggiore quanto minore è l'entità delle imperfezioni di questa superficie); ma un ricevitore radioastronomico funziona solo su un certo intervallo di frequenze, perciò a seconda della frequenza a cui si vogliono fare le osservazioni bisogna utilizzare un certo ricevitore piuttosto che un altro.

Un'altra possibilità rispetto ad avere i ricevitori nel fuoco consiste nel posizionare invece nel fuoco un'altra superficie riflettente (riflettore secondario, mentre il paraboloide è detto riflettore primario) che a sua volta invia tutta la radiazione, ricevuta dal riflettore primario, nel proprio fuoco (fuoco secondario) verso l'interno del radiotelescopio, dove vengono allora posizionati i ricevitori come in figura.

Una volta che il segnale è stato amplificato e convertito, viene digitalizzato e generalmente registrato su nastri magnetici. Gli astronomi che hanno fatto le osservazioni portano allora i nastri con sé tornando nel luogo in cui lavorano, dove analizzeranno i segnali al computer con l'aiuto di particolari software; il risultato di tale analisi sono delle immagini dalle quali si ottengono le informazioni sulle sorgenti celesti che avevano emesso quei segnali.

Le caratteristiche scientificamente importanti di un radiotelescopio sono la sensibilità e il potere risolutivo. Come si è detto, dato che i segnali che ci arrivano dallo spazio sono molto deboli, il radiotelescopio deve essere sufficientemente sensibile da riuscire a rilevarli, e questo dipende da un grande numero di fattori, come le caratteristiche della superficie di raccolta della radiazione e le prestazioni del ricevitore. Per quanto riguarda il potere risolutivo di uno strumento, esso consiste nella capacità dello strumento di "risolvere" (distinguere) due sorgenti vicine; questa capacità dipende dal rapporto λ/D , cioè tra la lunghezza d'onda della radiazione e il diametro D dello strumento. Questo significa che, per una certa lunghezza d'onda, se vogliamo un potere risolutivo



1 Funzione della parabola: $y=ax^2+bx+c$, Fuoco della parabola

$$F\left(-\frac{b}{2a}, \frac{1-\Delta}{4a}\right)$$

migliore (= più basso come valore, perché rappresenta la distanza angolare² in cielo tra le due sorgenti distinguibili, che quindi vogliamo sia piccola) dobbiamo avere un diametro più grande. Poiché esistono dei limiti fisici per cui non è possibile costruire radiotelescopi sempre più grandi, per avere un potere risolutivo migliore si può allora adottare una tecnica chiamata "interferometria", dove si utilizzano più radiotelescopi per simularne uno di diametro molto maggiore (pari alla distanza tra i due radiotelescopi, tra quelli utilizzati, più lontani tra loro).

I radiotelescopi più famosi nel mondo sono quelli di Arecibo (300 m di diametro) a Porto Rico, Effelsberg (100 m) in Germania, Green Bank (100 m) nel West Virginia (USA), Parkes (64 m) in Australia, Jodrell Bank (76 m) nel Regno Unito; in Italia abbiamo il radiotelescopio di Medicina (32 m) vicino a Bologna, quello di Noto (32 m) in Sicilia e il nuovissimo Sardinia Radio Telescope (64 m) in Sardegna, appena ultimato e al momento in fase di collaudo.

Il radio soccorso si effettua attraverso la chiamata d'emergenza che è un tipo di comunicazione effettuata per segnalare la presenza di una situazione di pericolo. Se si ha accesso a un qualsiasi genere di radio bidirezionale³, è possibile trasmettere le parole "EMERGENZA/EMERGENCY" seguite dalla propria posizione-altitudine, ubicazione geografica, punti noti visibili e di facile individuazione e dal genere di emergenza, il numero di persone coinvolte e la loro gravità. Questa procedura va ripetuta, con una pausa tra una trasmissione e l'altra per poter ricevere risposta. Spesso sul microfono è situato un pulsante che va premuto per parlare e rilasciato per ascoltare.

Nel caso si utilizzi una radio in banda nautica VHF, bisogna impostare il canale a "16" (156,800 MHz simplex⁴) ed effettuare chiamata di soccorso obbligatoria "MAY-DAY". La parola-chiave "Mayday" va usata solo a bordo di un'imbarcazione o di un aeroplano in immediato pericolo di naufragio o di collisione. Usarla in altre situazione può mettere in pericolo le vite di operatori di emergenza distanti decine o centinaia di chilometri, poiché aeroplani ed elicotteri potrebbero rispondere a una chiamata di mayday con quantità limitate di combustibile a bordo, rischiando di precipitare nel tentativo di individuare la posizione del trasmittente e ciò ha causato a volte delle morti altrimenti evitabili.

2 Distanza angolare: distanza tra due punti di una superficie sferica misurata dall'ampiezza dell'angolo non concavo formato dai due raggi della sfera aventi come estremi i due punti.

3 Una radio bidirezionale è una radio che può fare sia trasmettere che ricevere un segnale (un ricetrasmittitore), a differenza di un ricevitore di trasmissione che riceve solo il contenuto. Una radio a due vie (ricetrasmittitore) consente all'operatore di conversare con altre radio simili che funzionano sulla stessa frequenza radio (canale).

4 Simplex ("semplice" in latino), nelle telecomunicazioni, è una modalità di trasmissione dei segnali secondo la quale l'invio delle informazioni attraverso un canale può avvenire in una sola direzione.

In caso di emergenza, nel mondo anglosassone si usa l'espressione "Why PATSI" come espediente per memorizzare facilmente le informazioni importanti da comunicare in una chiamata:

- **Why**, Why - Perché stai chiamando
- **Position**, Posizione, al meglio delle tue capacità e cognizioni
- **Altitude**, Altitudine (se ti trovi in volo, su una montagna etc)
- **Track**, Direzione (in quale direzione stai andando, oppure indica se sei fermo)
- **Speed**, Velocità
- **Intentions**, Richieste (cosa è necessario e quale tipo di aiuto può esserti utile)

La radio era da poco stata inventata e una prima, triste, dimostrazione della sua utilità la si era avuta nella catastrofe del Titanic, nel 1912. Grazie al segnale di S.O.S inviato dal radio telegrafista dopo l'impatto con l'iceberg, una nave riuscì a raggiungere e mettere in salvo 712 persone. Il mondo intero si era dunque accorto delle grandi potenzialità di questo nuovo mezzo di comunicazione e i reparti militari dei vari Stati partecipanti al conflitto cercarono di dotarsi degli strumenti più all'avanguardia.

Spiegazione delle scelte matematiche operate

Le onde elettromagnetiche sono un caso particolare delle cosiddette onde armoniche. In terza abbiamo studiato che tali onde sono prodotte da un'interazione di tipo elastico, come accade nel caso di una massa m che oscilla collegata ad una molla che segue la Legge di Hooke ($\mathbf{F} = -k \mathbf{x}$). Sicuramente tale massa oscilla di moto armonico. Infatti, nel moto armonico l'accelerazione ha direzione opposta allo spostamento ed è direttamente proporzionale ad esso. Per il Secondo Principio della Dinamica, $\mathbf{F} = m \mathbf{a}$. Sostituendo in essa la Legge di Hooke si ha:

$$-m \vec{a} = k \vec{x}$$

da cui:

$$\vec{a} = -\left(\frac{k}{m}\right) \vec{x}$$

Per cui il moto delle molecole è armonico. In tale tipo di moto, $\mathbf{a} = -\omega^2 \mathbf{x}$, e quindi:

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

Usando gli strumenti dell'Analisi Matematica, l'accelerazione è la derivata seconda dello spostamento rispetto al tempo:

$$\vec{a} = \frac{d^2 \vec{x}}{dt^2}$$

Ponendo perciò:

$$\vec{x} = \vec{x}_0 \sin \omega t$$

Ne risulta:

$$\vec{v} = \vec{x}_0 \omega \cos \omega t$$

$$\vec{a} = -\vec{x}_0 \omega^2 \sin \omega t$$

Si ha così la seguente equazione differenziale del 2° ordine:

$$\frac{d^2 \vec{x}}{dt^2} = -\omega^2 \vec{x}$$

Ponendo $\vec{x} = \vec{x}_0 \sin \omega t$, si ha $\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{x}_0 \omega \cos \omega t$ e $\frac{d^2 \vec{x}}{dt^2} = -\vec{x}_0 \omega^2 \sin \omega t$

sostituendo nell'equazione differenziale si trova

$$-\vec{x}_0 \omega^2 \sin \omega t = -\omega^2 \vec{x}_0 \sin \omega t$$

e l'equazione risulta verificata.

Ad esempio, se la massa vale 3 kg e la molla ha $k=12$ N/m, se ne ricava $\omega^2=12/3=4$ ed $\omega=2$ rad/s, per cui il pendolo dell'onda è pari a $T=2\pi/\omega=3,14$ secondi.

SITOGRAFIA:

<http://www.crit.rai.it/eletel/2001-1/11-3.pdf>

<http://glossario.oa-cagliari.inaf.it/Radiotelescopio2.html>

<http://www.fmboschetto.it/>

https://www.fgm.it/_MG/scritti%20di%20marconi/progressotelegrafiasenzafili1912.pdf

<https://www.fgm.it/>

https://www.unipa.it/amministrazione/direzionegenerale/servizioprof.sistemadisicurezza/settingadiprevenzioneeprotezionemediateneo/.content/documenti_pdf_mauale_di_sicurezza/onde.pdf

<http://www.sapere.it/>

<https://www.youtube.com/watch?v=oxGOBuE-kIw>