

# GUGLIELMO MARCONI: DALL'APPARATO SPERIMENTALE DI HEINRICH HERTZ AL SUO

*Stefano Maddio, Stefano Selleri*<sup>1</sup>

È ben noto come Heinrich Hertz (1857-1895, Fig. 1) abbia dimostrato per primo, nel suo laboratorio, l'esistenza delle onde elettromagnetiche. I suoi esperimenti basati sulle scintille [1, 2] dimostrarono non solo l'esistenza di tali onde, mostrando che il trasmettitore in prossimità di una parete conduttrice generava nodi e antinodi compatibili unicamente con la propagazione di un'onda [3], ma anche confermando la previsione teorica di James Clerk Maxwell (1831-1879) secondo cui la velocità di tali onde doveva essere pari a quella della luce [2, 3].

D'altra parte, il fenomeno rimase confinato al suo laboratorio e, anche se replicato da altri sperimentatori, restò limitato a dimostrazioni scientifiche o poco più fino al 1895, quando Guglielmo Marconi (1874 - 1937, Fig. 1) riuscì a far suonare il suo ricevitore a oltre un miglio di distanza dal trasmettitore, e dietro una collina [5, 6].

Entrambi questi eventi hanno meritato una *IEEE Milestone*:

***First Generation and Experimental Proof of Electromagnetic Waves,  
1886-1888***

posta a Karlsruhe, Germania, il 5 dicembre 2014;

***Marconi's Early Experiments in Wireless Telegraphy, 1895***

posta a Pontecchio Marconi, Bologna, Italia, il 29 aprile 2011.

Va detto che la priorità di Marconi nel conseguire trasmissioni a lunga distanza è stata contestata negli Stati Uniti da Nikola Tesla (1856 - 1943), il quale affermò di aver iniziato esperimenti simili nel 1891 [7] e di aver realizzato collegamenti di 30 miglia "prima del 1897". È inoltre noto che Aleksander Popov (1859 - 1906) ottenne comunicazioni a distanza il 26 marzo 1896, sette giorni dopo il deposito da parte di Marconi del suo primo brevetto in Inghilterra [8]. Anche il luogo dei primi esperimenti di Marconi è stato oggetto di discussione [6, 9].

---

<sup>1</sup> Università di Firenze, stefano.maddio@unifi.it, stefano.selleri@unifi.it.



Figura 1: A sinistra, Heinrich Rudolf Hertz (Amburgo, Germania, 22 febbraio 1857 – Bonn, Germania, 1 gennaio 1894); a destra Guglielmo Giovanni Maria Marconi (Bologna, Italia, 25 aprile 1874 – Roma, 20 luglio 1937).

È interessante comprendere le differenze tra i due dispositivi utilizzati da Hertz e Marconi, e i progressi compiuti in quegli otto anni che permisero al secondo di portare le onde elettromagnetiche generate dall'uomo fuori dal laboratorio, trasformandole in un'impresa destinata a cambiare il mondo.

## 1. L'apparato di Hertz e l'esperimento in laboratorio

L'esperimento di Hertz è stato recentemente riesaminato meticolosamente in alcuni lavori [3, 10], pertanto qui lo richiameremo brevemente. L'apparato di Hertz è mostrato in Fig. 2.

Come evidenziato in [1, 3, 10], le due grandi sfere (30 cm di diametro) poste a 1 m di distanza formavano un condensatore, mentre l'asta che le collegava, di 5 mm di diametro, costituiva un'induttanza. Lo spazio nel quale scoccava la scintilla era delimitato da due sfere di 3 cm di diametro. Alcuni semplici calcoli conducono alle seguenti stime [10, 11]:

$$C = 9.82 \text{ pF}, \quad L = 746 \text{ nH} \quad (1)$$

Da cui si ottiene una frequenza di risonanza pari a  $f_0 = 58.77 \text{ MHz}$  e una lunghezza d'onda  $\lambda_0 = 5.10 \text{ m}$ .

Non siamo a conoscenza della tensione fornita dalla bobina di Rühmkorff, ma possiamo assumere 5 kV ai fini del confronto per entrambi gli apparati, quello di Hertz e quello di Marconi. Inoltre, assumeremo 100 Hz come frequenza di ripetizione delle scintille, ossia che i condensatori vengano caricati 100 volte al secondo. Le oscillazioni a  $f_0 = 58.77 \text{ MHz}$  eccitate da ciascun singolo ciclo di carica/scarica sono completamente smorzate a causa dell'irraggiamento e delle perdite prima del ciclo successivo.

Con tale tensione il condensatore immagazzina  $122.5 \mu\text{J}$  per ogni singola carica. Per una serie di cariche e scariche continue la potenza è quindi pari all'energia delle 100 cariche

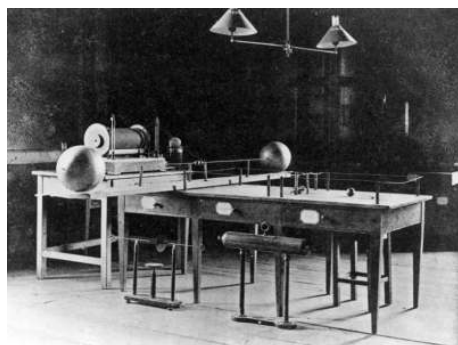
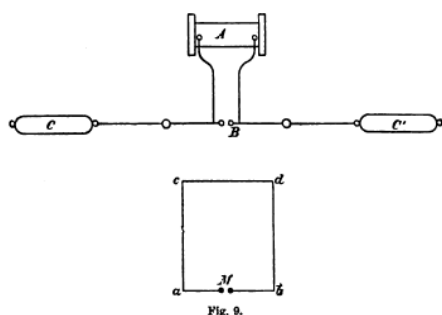


Figura 2: A sinistra, Schema dell'apparato di Hertz, col trasmettitore in alto e il ricevitore in basso (da [1]); a destra, una foto del laboratorio di Hertz, con un apparecchio simile a quello utilizzato nel 1888, foto scattata nel 1901 da A. Schleiermacher (1857-1953), assistente di Hertz.

che avvengono in un secondo, idealmente  $P = 12.25 \text{ mW}$ . In pratica una parte di tale potenza è dissipata nel conduttore e non irradiata. Possiamo ragionevolmente assumere che solo metà di questa potenza venga effettivamente irradiata, ovvero circa  $P/2$ .

Di questi pochi milliwatt, una parte considerevole deve essere raccolta per consentire scintille visibili nello spinterometro "M" nella spira in Fig. 2 che costituiva il ricevitore; pertanto Hertz e coloro che replicarono questi risultati non poterono mai porre trasmettitore e ricevitore a distanze elevate.

## 2. L'apparato di Marconi e l'esperimento in campo aperto

Gli esperimenti iniziali di Marconi erano sostanzialmente simili a quelli di Hertz, ma egli passò ben presto, nel 1895, a esperimenti all'aperto, nei quali i conduttori irradianti erano verticali e dimezzati, ossia costituiti da un solo filo verticale, con l'altro estremo collegato a terra. Egli utilizzò fili di lunghezza crescente, caricati all'estremità superiore con piastre o cubi metallici.

L'esperimento decisivo, con il ricevitore posto a oltre un miglio di distanza e dietro la celebre collina dei Celestini (Fig. 3, 5, 4) impiegava un palo alto 8 m con quattro cubi metallici di lato 1 m collegati all'estremità superiore; il trasmettitore era ancora basato su una bobina di Ruhmkorff e su uno spinterometro (Fig. 6 [12]).

Ciò che risultava completamente diverso era il ricevitore, che era in qualche modo "attivo", pur non essendo in grado di amplificazione nel senso moderno del termine. Esso conteneva una batteria che forniva l'energia necessaria a far suonare una campanella quando il segnale a radiofrequenza causava la diminuzione di resistenza di un dispositivo peculiare e sensibile denominato coherer<sup>2</sup>.

In questo caso, la valutazione della frequenza di lavoro è stata più difficile, a causa dell'antenna con una configurazione complessa (Fig. 6). Possiamo approssimare i quattro

<sup>2</sup> Per maggiori dettagli tecnici sul coherer si veda il contributo "Guglielmo Marconi tra scienza, tecnologia ed impresa - i rilevatori di onde elettromagnetiche negli esperimenti del 1895 e 1901" in questo stesso volume.



Figura 3: La collina dei Celestini, vista dalla finestra del laboratorio di Marconi a Villa Griffone, guardando verso la postazione del ricevitore. In primo piano la struttura che ospita le *IEEE Milestone* (in inglese ed in italiano, per gentile concessione della Fondazione Marconi).



Figura 4: La Collina dei Celestini, vista dalla posizione del ricevitore in direzione del trasmettitore, Villa Griffone non è visibile essendo sotto il crinale della collina (per gentile concessione della Fondazione Marconi).

cubi, di 1 m di lato, con una superficie di  $6\text{ m}^2$  ciascuno, come quattro sfere di uguale area, ovvero un raggio di 70 cm, poste a 8 m sopra un terreno perfettamente conduttore, quindi a 16 m dalla loro immagine speculare. Applicando la stessa formula di cui sopra [11] a ciascuna coppia sfera reale/immagine, e considerando le quattro coppie in parallelo, si ottiene

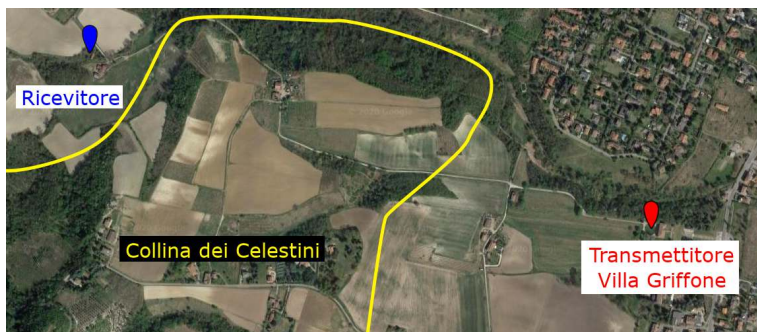


Figura 5: Mappa con le posizioni del trasmettitore, del ricevitore e della collina interposta (per gentile concessione della Fondazione Marconi).

$$C = 162.9 \text{ pF} \quad (2)$$

D'altra parte, l'induttanza del filo di 8 m, assumendo un diametro di 1 mm, dà

$$C = 15.0 \text{ } \mu\text{H} \quad (3)$$

Queste due quantità portano ad una frequenza di risonanza  $f_0 = 3.22 \text{ MHz}$  e ad una lunghezza d'onda  $\lambda_0 = 93.1 \text{ m}$ .

Ancora una volta, ipotizziamo per fare il confronto gli stessi 5 kV e 100 Hz per la tensione e la frequenza di ripetizione delle scintille, rispettivamente, si ottiene che i condensatori arrivavano ad immagazzinare, idealmente, 2.03 mJ, per una potenza ideale per scintillazione continua di  $P = 203 \text{ mW}$  e quindi, ipoteticamente 0.1 W irradiato.

I numeri assoluti non sono realmente significativi, a causa delle ipotesi arbitrarie di 5 kV e 100 scintille al secondo, ma i valori relativi sono importanti. Marconi poteva irradiare circa venti volte la potenza irradiata da Hertz. Questo, comunque, non sarebbe stato sufficiente se Marconi avesse usato il ricevitore completamente passivo di Hertz.

Nel 1884, Temistocle Calzecchi-Onesti (1853 - 1920) osservò una drastica riduzione della resistività in un tubo riempito di limatura di ferro quando un circuito con un induttore veniva aperto e chiuso [12]. Nel 1890, Édouard Branly (1844 - 1940) studiò lo stesso fenomeno, indipendentemente [13], e osservò che il dispositivo passava in stato a conduttività elevata se veniva generata una scintilla, anche a distanza. Nel 1894, Oliver Lodge (1851 - 1940) ripeté gli esperimenti di Hertz utilizzando un dispositivo di questo tipo, che chiamò coherer, e che si dimostrò un rivelatore molto più sensibile della spira con spinterometro utilizzato da Hertz. Branly e Lodge concentrarono la loro ricerca sui meccanismi di conduttività delle polveri, trascurando le applicazioni pratiche, che erano invece chiarissime nella mente di Marconi.

Secondo Lodge, i grani si comportavano da dipoli, influenzandosi reciprocamente e formando catene conduttive. Branly non credeva che questo fosse il meccanismo, e anzi dimostrò che il movimento dei grani non era alla base del fenomeno, poiché le particelle immerse in cera o resina si comportavano ancora allo stesso modo, e in effetti anche una colonna di sei sfere d'acciaio di pochi centimetri di diametro aveva lo stesso comportamento.

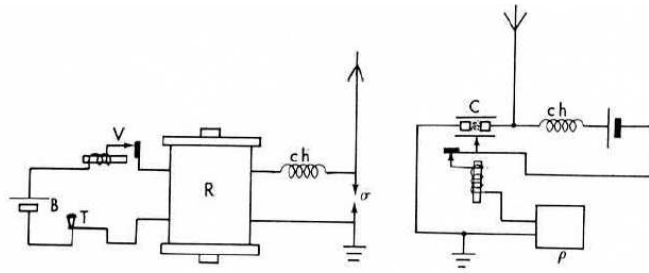


Figura 6: A sinistra: una ricostruzione dell'antenna usata da Marconi nel 1895 nel giardino di Villa Griffone (per gentile concessione della Fondazione Marconi); Schema elettrico del trasmettitore e del ricevitore utilizzati da Marconi nel 21895 (da [12]).

L'introduzione dei ricevitori a cristallo di galena e l'invenzione del diodo e del triodo all'inizio del XX secolo resero il coherer obsoleto e non vi furono ulteriori ricerche significative. In effetti, il meccanismo alla base del coherer non è ancora completamente compreso [14].

Sarà spingendo questo approccio all'estremo, mediante antenne verticali sempre più alte e trasmettitori a scintilla sempre più potenti, che Marconi riuscì ad attraversare l'Oceano Atlantico nel 1901.

## Riconoscimenti

Gli autori desiderano esprimere la loro gratitudine a Barbara Valotti, Curatrice del Museo Marconi presso la Fondazione Marconi, Villa Griffone, Pontecchio Marconi, Bologna, Italia, per aver concesso il permesso di riprodurre alcune delle immagini presenti in questo articolo.

Questo contributo è basato su un precedente lavoro, in inglese, pubblicato sull'*URSI Radio Science Bulletin* nel 2020 [15].

## Bibliografia

- [1] H. Hertz, *Electric Waves* (English translation by D. E. Jones), New York: Macmillan, 1893.
- [2] H. Hertz, "Ueber electrodynamische wellen im lufttraume und deren reflexion," *Annalen der Physik und Chemie*, vol. 34, no. 8(a), 1888, pp. 609-623.
- [3] G. Smith, "An Analysis of Hertz's Experimentum Crucis on Electromagnetic Waves," *IEEE Antennas Propagation Magazine*, vol. 58, no. 5, 2016, pp. 98-108.
- [4] S. Maddio, S. Selleri, "Ernst Lecher and His Wires," *URSI Radio Science Bulletin*, no. 369, 2019, pp. 10-17.
- [5] G. Falciasecca, "Marconi's Early Experiments in Wireless Telegraphy, 1895," *IEEE Antennas Propagation Magazine*, vol. 52, no. 6, 2010, pp. 220-221.
- [6] M. Fabbri, G. Pelosi, "Guglielmo Marconi: Some New Documents Covering the Years 1894-1896," *IEEE Antennas Propagation Magazine*, vol. 55, no. 2, 2013, pp. 291-302.
- [7] L.I. Anderson (ed.) *Nikola Tesla on His Work with Alternating Currents*, Breckenbridge: Twenty First Century Books, 2002, Chapter IV.

- [8] M. Radovsky, *Alexander Popov Inventor of Radio*, Honolulu: University Press of the Pacific, 2001.
- [9] G. Pelosi, S. Selleri, "Recent Outcomes of the Investigations on Guglielmo Marconi's Supposed Experiments in Switzerland," *HISTELCON 2019*, Glasgow, Scotland, 18-19 September 2019, pp. 11-13.
- [10] T. Simpson, "Revisiting Heinrich Hertz's 1888 Laboratory," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 60, no. 4, August 2018, pp. 132-140.
- [11] W.R. Smythe, *Static and Dynamic Electricity*, 3<sup>rd</sup> Ed., Milton Park: Taylor & Francis, 1989.
- [12] G. Marconi, *Scritti di Guglielmo Marconi*, Roma: Reale Accademia d'Italia, 1941.
- [13] T. Calzecchi-Onesti, "Sulla conduttività elettrica delle limature metalliche," *Nuovo Cimento*, vol. 16, 1884, pp. 58-64.
- [14] E. Falcona, B. Castaing, "Electrical Conductivity in Granular Media and Branly's Coherer: A Simple Experiment," *American Journal of Physics*, vol. 73, no. 4, 2005, pp. 302-306.
- [15] S. Maddio, S. Selleri, "Hertz and Marconi: A Comparison Between The Apparatus of Their Landmark Experiments," *URSI Radio Science Bulletin*, no. 374, 2020, pp. 84-87.