

DAL RADAR AL FORNO A MICROONDE A 80 ANNI DALL'INVENZIONE DEL MAGNETRON

di Gianluca Lapini *

* Ingegnere, cultore di
Storia della Tecnologia

La complessa e interessante storia del radar, con una particolare attenzione allo sviluppo del Magnetron, componente necessario per la generazione dei fasci di microonde e successivamente impiegato nei primi esemplari di forno a microonde sviluppati subito dopo la Seconda Guerra Mondiale.

Forse non tutti sanno che radar è l'acronimo dei termini inglesi Radio Detection And Ranging (radiorilevamento e misurazione di distanza), ma tutti sanno, almeno a grandi linee, che un radar emette dei potenti fasci di microonde che, riflessi da un ostacolo (un aereo, una nave, o anche le precipitazioni) vengono captati permettendo di individuare la posizione e la distanza. Quando il radar sia stato inventato non è forse altrettanto noto, ed è quello che cercheremo di raccontare in questo articolo. Nel quale parleremo anche dei forni a microonde che del radar utilizzano un componente fondamentale, il Magnetron, inventato giusto un'ottantina d'anni fa.

Alle origini del radar

La storia del radar è assai complessa e articolata e non possiamo qui raccontarla che per sommi capi. La versione più diffusa di questa storia è quella che esso sia stato inventato in Gran Bretagna nella seconda metà degli anni Trenta del secolo scorso da sir Robert Watson-Watt. In realtà, come spesso accade, attribuire una invenzione a un singolo inventore è difficile o addirittura impossibile; ciò è ancor più vero nel caso del radar, in quanto apparecchiature simili, o loro componenti essenziali, furono sviluppate quasi contemporaneamente in diverse nazioni (Inghilterra, Usa, Germania, Russia, Giappone, Olanda, Francia e Italia). Non c'è dubbio, peraltro, che l'Inghilterra fu il paese che prima degli altri si dotò di un complesso e articolato sistema di stazioni radar. Inglese fu anche l'invenzione del Magnetron, un componente fondamentale dei radar a microonde. Per semplicità seguiremo pertanto prevalentemente le vicende inglesi, anche se non possiamo fare a meno di cominciare con un paio di accenni a quello che successe in precedenza e in altri paesi. Per esempio l'idea di utilizzare la riflessione delle onde radio per il rilevamento di grossi bersagli, risale ai primi anni del Novecento, quando il fisico tedesco Christian



Robert Watson-Watt con prototipo di radar

Hulsmeyer aveva brevettato un sistema per rilevare l'avvicinamento delle navi ai porti in condizione di nebbia o scarsa visibilità. L'idea dimostrò di poter funzionare, ma l'apparecchio da lui sviluppato era troppo rudimentale e non ebbe seguito. Anche Guglielmo Marconi, insieme al tecnico inglese C.S. Franklin fece degli esperimenti di riflessione di fasci di onde corte, pubblicandone i risultati nel 1922, ma questo suo lavoro non ebbe immediato seguito.

La carriera di Robert Watson-Watt (1892-1973) iniziò nel 1915 come meteorologo del servizio meteorologico nazionale (*Meteorological Office*), dove per molti anni egli lavorò alla messa a punto di un sistema per il rilevamento dei temporali, tramite la captazione dei segnali radio emessi dai fulmini. Nel 1927 divenne responsabile di una unità di ricerca denominata RRS (*Radio Research Station*), situata a Slough, nei dintorni di Londra, costruendosi una buona fama di esperto di sistemi radio. Verso la fine del 1934 egli fu consultato da H.E. Wimperis, membro di una importante commissione scientifica ministeriale, il quale era alla ricerca di un parere esperto su una notizia che aveva letto sulla stampa tedesca, dove si ipotizzava la possibilità di sviluppare una nuova terribile arma, una specie di «raggio della morte» basato su onde radio. Watson-Watt incaricò della risposta un suo giovane collaboratore, Arnold Wilkins, il quale con pochi e semplici calcoli dimostrò che le potenze richieste sarebbero state enormi e che l'idea non era praticamente fattibile. A margine della sua rassicurante risposta al ministero, Watson-Watt aggiunse però la seguente nota: «L'attenzione dovrebbe piuttosto essere rivolta al tuttora difficile, ma più promettente problema del radio-rilevamento; se richiesto invieremo considerazioni e calcoli numerici sul metodo di rilevamento mediante la riflessione di onde radio». Nelle settimane seguenti un breve rapporto segreto di* Wilkins e Watson-Watt, intitolato *The Detection of Aircraft by Radio Methods* fu effettivamente inviato al Ministero dell'Aria. In esso si valutava che con lievi miglioramenti della tecnologia radio allora esistente si sarebbe potuto rapidamente realizzare un sistema di rilevamento di aeroplani in volo con una portata di almeno una decina di miglia, e si forniva un progetto di massima di questa apparecchiatura.

Nel febbraio del 1935 fu così dato il permesso di effettuare un primo test di fattibilità: sistemando un ricevitore in prossimità di una stazione trasmittente della BBC a onde corte, Watson-Watt e i suoi collaboratori dimostrarono con un semplice oscilloscopio che era possibile evidenziare il passaggio di un aeroplano nelle vicinanze della stazione. Subito ricevettero dei fondi per proseguire la sperimentazione e già nel giugno dello stesso anno, utilizzando una apparecchiatura commerciale a onde corte, appositamente modificata per funzionare non in modo continuo, ma come emittente di impulsi, furono in grado di misurare la distanza e l'angolo di rotta di un aeroplano che volava in prossimità del loro apparecchio; lo sviluppo di questo prototipo proseguì per tutto il 1935, fino a ottenere, aumentando la potenza di emissione, una portata di circa 100 miglia. L'anno successivo fu dedicato allo sviluppo di una versione ingegnerizzata del dispositivo, che all'inizio del 1937, acquisì anche la possibilità di misurare l'altezza alla quale volavano gli aeroplani, usando antenne multiple.

Verso la fine del 1937 le prime cinque stazioni che coprivano le principali direzioni di avvicinamento alla città di Londra era state installate e nel 1938 raggiunsero la piena operatività. Le prime esperienze dimostrarono peraltro che per essere efficaci le informazioni fornite dai radar dovevano arrivare prontamente ai comandi e ai piloti della Royal Air Force (RAF). Fu così costruita anche una complessa rete di trasmissione delle informazioni, denominata *Dowding System*, che raccoglieva, filtrava e distribuiva i dati raccolti dai radar, fornendo una situazione complessiva dello spazio aereo. Per la fine del 1939 gli Inglesi misero in funzione dozzine di queste stazioni radar, denominate in codice *Chain Home*, collegate fra di loro da centinaia di chilometri di linee telefoniche dedicate. Esse coprivano la maggior parte delle coste sud e sud orientali della Gran Bretagna e si dimostrarono essenziali soprattutto durante la Battaglia



Apparecchiatura radar della Chain Home (1940)

d'Inghilterra, in quanto potevano «vedere» gli stormi di bombardieri tedeschi già nella loro fase di formazione sulle coste francesi, dando ai comandi della RAF un buon margine di pre-allarme. In questo modo la efficacia difensiva inglese risultava moltiplicata, compensando la sua inferiorità numerica.

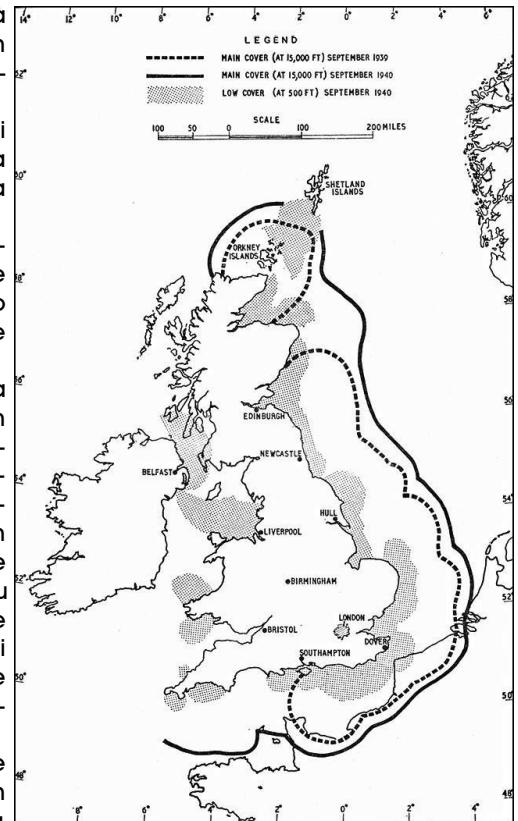
La Chain Home fu poi completata dalla Chain Home Low, che era in grado di tracciare anche i velivoli che volavano a bassa quota e dalla Chain Home Extra Low, che aveva una portata minore, ma poteva individuare bersagli quasi a pelo d'acque, ed era quindi particolarmente dedicata alla difesa dei porti.

Come si è accennato questi primi radar inglesi funzionavano nel campo di frequenza delle onde corte (quindi non ancora a microonde). Di conseguenza le loro antenne trasmettenti e riceventi, che erano fisse e separate, erano molto grandi e non avevano affatto la forma a disco parabolico rotante alla quale siamo forse più abituati ad associare l'idea di radar.

Il complesso delle Chain Home fu perfezionato e potenziato nel corso della Guerra, ma risultò abbastanza presto superato dal progresso tecnologico. In effetti il sistema era abbastanza «rozzo», benché avesse svolto bene un essenziale ruolo nelle prime fasi della guerra. Queste stazioni furono quindi gradualmente smantellate, ma alcune sono state preservate come «musei» e testimonianze di una tecnologia alla quale gli inglesi hanno più volte riconosciuto un ruolo fondamentale nella difesa del loro paese. Da quanto detto si comprende anche che il ruolo di Watson-Watt nell'invenzione dei primi radar inglesi non fu quello dell'inventore geniale e solitario, quanto quello di un abile coordinatore che seppe ben utilizzare un piccolo, ma agguerrito gruppo di collaboratori (fra i più validi Edward Bowen) e procurarsi gli appoggi e le risorse per sviluppare le sue idee. Questa sua capacità gli è stata ampiamente riconosciuta e fu suggellata, nel 1942, dalla sua nomina a baronetto.

Per concludere un breve accenno alle ricerche e al lavoro che fu svolto anche in Italia ai primordi dello sviluppo del radar, una vicenda poco nota, che da un lato indica la vivacità del mondo tecnologico nazionale, dall'altro dimostra la mancanza di strategia e di lungimiranza degli ambienti militari nostrani. Fra il 1933 e il 1935 Guglielmo Marconi, riprendendo sue precedenti ricerche, effettuò degli esperimenti con un apparato da lui chiamato radioecometro, che suscitò un certo interesse nei militari, ma non ebbe seguito (Marconi poi morì improvvisamente nel luglio 1937).

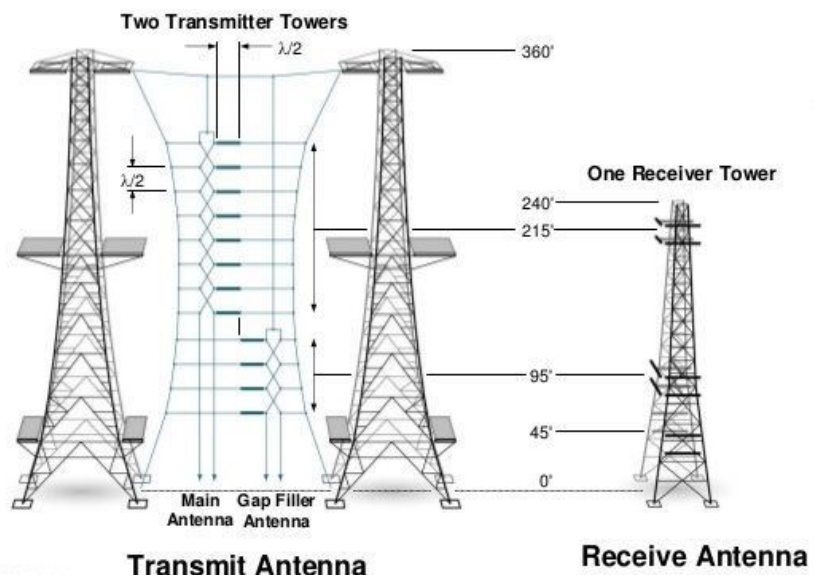
Ulteriori ricerche su questo argomento furono svolte, a partire dal 1936, presso l'Accademia Navale di Livorno dal tenente Ugo Tiberio (un istruttore di radiotecnica) che lavorando part-time per il RIEC (Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni), sviluppò teoricamente l'idea di un telemetro radiofonico, in un rapporto nel quale era contenuta anche la formula che più tardi divenne nota come la «equazione del radar». Poco tempo dopo a Tiberio si unì il tecnico civile, Nello Carrara, insieme al quale egli sviluppò questa sua idea, realizzando l'apparato EC-1, che comprendeva un trasmettitore in FM a 200 MHz, con una singola antenna parabolica cilindrica. Questo apparecchio non effettuava ancora una misura di distanza, ma era in grado di segnalare con un tono acustico un'eco di ritorno.



Schema della copertura radar della Chain Home (1940)



Chain Home Transmit & Receive Antennas



Courtesy of MIT Lincoln Laboratory
Used with permission.

Radar Systems Course 18
Introduction 10/1/2009

IEEE New Hampshire Section

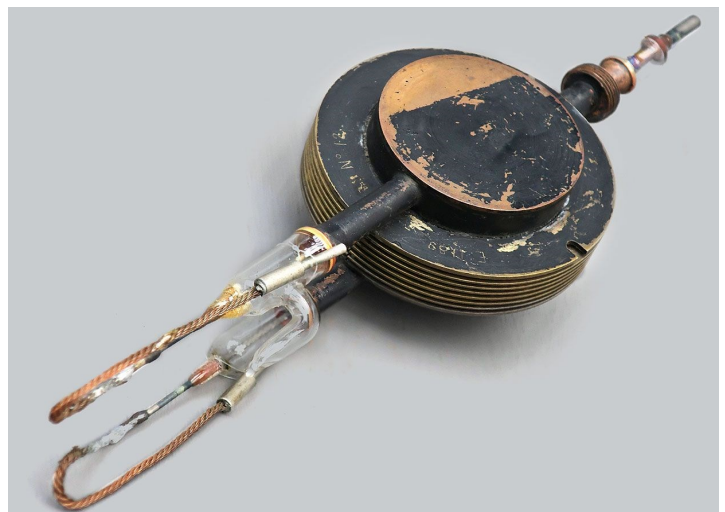
Schema delle grandi antenne (altezza ca. 100 m) della Chain Home

Nel 1937 fu effettuato un ulteriore passo con la realizzazione dello EC-2, che emetteva un segnale pulsato a 175 MHz e utilizzava una antenna formata da diversi dipoli equispaziati; la presentazione del rilevamento doveva avvenire su di un oscilloscopio, ma l'apparecchio non funzionò mai realmente. Successivamente Nello Carrara iniziò a sperimentare l'uso di frequenze ancora più alte, e in collaborazione con la società FIVRE sviluppò una speciale valvola costituita da una coppia di triodi accoppiati a una cavità risonante. Questa valvola emetteva una potenza di 10 kW e lavorava a 425 MHz. Avrebbe equipaggiato un sistema denominato EC-3, che fu realizzato e testato nei laboratori di Livorno, ma ogni attività su di esso si fermò, nel 1940, all'entrata in guerra dell'Italia. Qualche ricerca riprese solo dopo la grave sconfitta di Capo Matapam (marzo 1941) subita dalla marina italiana grazie anche all'uso di apparati radar da parte degli inglesi. Le ricerche furono portate avanti dalle società Safar e Marelli, che ripresero i concetti del EC-3, sviluppando due apparati denominati Gufo e Folaga, che furono installati su qualche nave, ma ormai con scarsi risultati pratici per lo sviluppo della Guerra.

Lo sviluppo del Magnetron

La generazione dei fasci di microonde che vengono usati nei sistemi radar più recenti avviene con componenti a semiconduttore (basati su silicio, arseniuro e nitruro di gallio), ma per molti anni si è basata su alcuni tipi di "valvole a vuoto", i klystron, i TWT (Travelling Wave Tube) e in particolare sul cosiddetto Magnetron a cavità che fu messo a punto nel 1940 presso l'università di Birmingham dai due fisici John Randall (1905-1984) e Harry Boot (1917-1983), come evoluzione di un primitivo dispositivo di bassa potenza (Magnetron a due poli) che era stato sviluppato verso il 1921 dal fisico statunitense Albert Hull, e sul quale molti altri tecnici di vari paesi lavorarono nel corso degli anni Venti e Trenta. Randall e Boot riuscirono a perfezionare notevolmente questo dispositivo, portandolo a un livello di potenza (circa 4 kW) e di compattezza che permise di ridurre di molto le dimensioni dei sistemi radar, rendendoli trasportabili e più facilmente installabili su navi e aerei; ciò, ovviamente, grazie anche alla frequenza nettamente maggiore alla quale lavorava il Magnetron (attorno a 2,4 GHz), rispetto alle frequenze usate nei primi radar terrestri della catena Chain Home (20-50 MHz), il che permetteva di utilizzare, come si è accennato, delle antenne molto più piccole. Una prima versione industrializzata di questa valvola fu realizzata dalla General Electric inglese, ma nel corso della guerra il maggior numero di esse non fu prodotto in Gran Bretagna, ma negli Stati Uniti. La vicenda ha qualche risvolto avventuroso e vale quindi la pena di raccontarla con qualche dettaglio. All'inizio della Guerra, nel settembre del 1940, un esemplare di Magnetron fu trasferito in gran segreto in Nord America nell'ambito di una missione tecnica, la «missione Tizard», volta a ricercare la collaborazione di Usa e Canada (ancora neutrali) per la produzione di armi e altri sistemi bellici che in quel momento gli inglesi (si era nel pieno della Battaglia d'Inghilterra) non erano in grado di sostenere.

Sir Henry Tizard, l'organizzatore di questa missione, era il responsabile della Britain's Aeronautical Research Committee, un organismo governativo che coordinava un ampio spettro di ricerche tecnologiche, in particolare sul radar, ed era ben al corrente degli importanti risultati raggiunti da Randall e Boot. Per la verità gli Americani a quell'epoca erano tutt'altro che digiuni nel campo della tecnologia radar (furono essi in particolare a coniare l'acronimo Radar, mentre in Inghilterra inizialmente si parlava di radio direction and finding, RDF), ma si resero conto immediatamente dell'enorme passo in avanti che il magnetron avrebbe consentito e offrirono subito la loro collaborazione tramite la U.S. National Defense Research Committee, un organismo per molti versi simile a quello presieduto da Tizard. Fu così possibile mettere rapidamente in moto il mondo scientifico (fu creato presso il MIT un importante laboratorio di ricerca il Radiation laboratory) e il complesso industriale americano, che in poco tempo realizzò repliche del magnetron, e in seguito ne produsse grandi quantità.



Magnetron di prima generazione (1940)

Come si è accennato la missione Tizard, fu condotta, in gran segreto e con grandi precauzioni. Il fisico Edward Bowen, che era uno dei maggiori esperti dei programmi di sviluppo inglesi sul radar, fu il «corriere» al quale fu affidata una valigetta nera piena di documenti segreti. Per tutto il viaggio egli fu sotto tutela di una guardia del corpo militare; a bordo della nave che li portava negli Usa, la preziosa valigetta fu assicurata allo scafo in modo tale che se la nave fosse stata affondata dai sottomarini tedeschi i segreti in essa contenuti sarebbero scomparsi negli abissi. La missione Tizard trasmise agli Americani anche molte altre informazioni tecniche che ebbero in seguito grande importanza per le sorti della Guerra, tra le quali i dettagli del motore a reazione sviluppato da Frank Whittle e il memorandum Frisch-Peierls sulla fattibilità di una bomba atomica. Sul Magnetron gli inglesi riuscirono a mantenere uno stretto segreto e un vantaggio tecnologico fino al 1943, quando un loro bombardiere Halifax, equipaggiato di radar, fu abbattuto, e il sistema di auto-distruzione con il quale tutti gli apparecchi radar erano equipaggiati non funzionò, permettendo ai tedeschi di entrarne in possesso.

Il Magnetron e l'invenzione del forno a microonde

Con la fine della Seconda Guerra Mondiale il mercato dei Magnetron, che avevano equipaggiato i radar di aerei, navi, batterie contraeree, eccetera, ebbe una ovvia battuta di arresto, cosicché le aziende elettroniche che li avevano prodotti in grande quantità durante il conflitto, attivarono i loro laboratori di ricerca per trovare nuove applicazioni a questi generatori di microonde. È abbastanza nota la vicenda dell'ingegnere americano Percy Spencer (1894-1970) il quale un giorno si sarebbe accorto che una barretta di cioccolato tenuta nel taschino della camicia, si era sciolta mentre si trovava in un laboratorio della società Raytheon dove venivano testati i Magnetron e il giorno dopo avrebbe constatato la capacità del dispositivo di far scoppiare i pop corn e di cuocere un uovo.

Peraltro è molto probabile che la vicenda così raccontata sia quasi una leggenda e che questa «scoperta» sia in realtà emersa gradualmente dagli esperimenti di varie persone. Si può inoltre aggiungere che altri in precedenza si erano accorti della capacità delle onde radio di produrre calore all'interno di materiali dielettrici, tanto che alla World Fair di Chicago del 1933 la Westinghouse aveva presentato un'apparecchiatura, basata su un trasmettitore a onde corte da ben 10 kW di potenza, in grado di cuocere bistecche e patate, ma che rimase una pura curiosità e non ebbe alcun uso pratico. È anche noto che questa capacità delle onde radio di produrre un moderato riscaldamento nei tessuti organici trovò altre applicazioni: per esempio in campo medico la «marconiterapia» (in seguito sostituita dalla più pratica «radarterapia») è stata a lungo usata per curare varie patologie muscolari e articolari nelle quali un apporto locale di calore sia di beneficio.

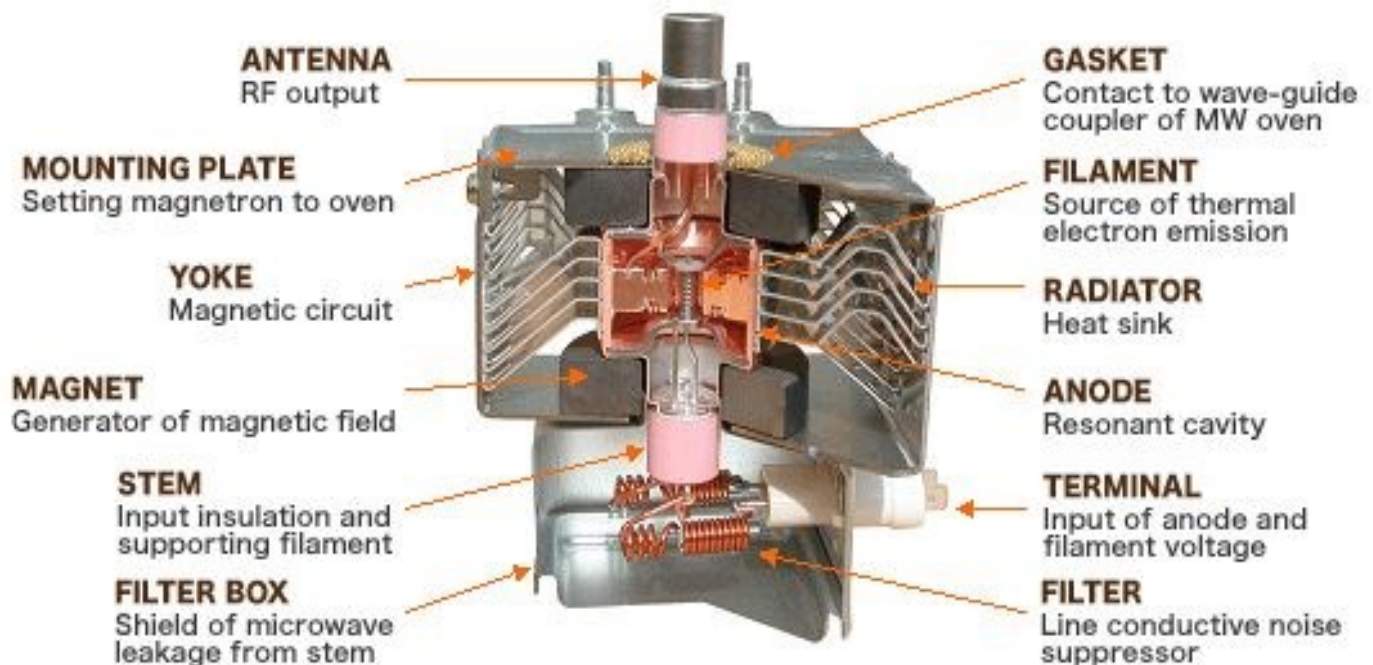
Comunque siano andati veramente gli eventi, non si può negare che Percy Spencer, che già aveva dato importanti contributi al perfezionamento dei Magnetron, ebbe il merito di intuire le potenzialità delle microonde per la cottura dei cibi; la sua posizione gerarchica all'interno della Raytheon gli permise di richiedere un brevetto (1946) e di coinvolgere la sua azienda nello sviluppo dell'idea.

I primi forni a microonde prodotti dalla Raytheon erano destinati ai ristoranti e al riscaldamento dei pasti sugli aeroplani. Si trattava di apparecchi piuttosto ingombranti (uno dei primi modelli, il Radarange, era alto 1,8 m e pesava 340 kg), costruiti attorno a un Magnetron da 3,0 kW, che doveva essere raffreddato ad acqua ed erano anche molto costosi. Verso il 1955 la Raytheon cominciò a cedere la licenza di questa tecnologia ad altre aziende, che lanciarono sul mercato i primi apparecchi consumer, come il modello Tappan RL-1, che costava però ancora 1295 \$, una cifra notevole per quegli anni.



Dieci anni più tardi la Raytheon acquistò la Amana, una azienda che produceva frigoriferi, delegando a essa la produzione di un forno a microonde domestico che col marchio Amana Radarange, fu immesso sul mercato nel 1967, a un prezzo più abbordabile, 495 \$, ma non ancora alla portata di tutte le tasche. Così questo nuovo elettrodomestico cominciò a diffondersi nelle cucine solamente negli anni Settanta dopo che la società giapponese SHARP immise sul mercato dei modelli economici. Con la diffusione crebbero anche gli allarmi e le controversie sulla presunta pericolosità delle microonde; polemiche che si sarebbero placate solamente dopo molti anni, ma che non hanno frenato la diffusione di un oggetto di grande successo per la sua grande praticità d'uso per le cucine moderne di ogni tipo e dimensione.

I Magnetron usati nei moderni forni a microonde lavorano in genere a una frequenza di 2,45 GHz, con una potenza elettrica assorbita attorno a 1250W, e una potenza resa di circa 800 W (rendimento attorno al 64%), regolabile su vari livelli tramite una variazione del duty cycle, cioè del tempo in cui il dispositivo emette microonde, rispetto a quello in cui resta inerte. La loro alimentazione elettrica, avviene tramite un trasformatore che eleva la tensione di rete fino a circa 2.000 Volt. Questi Magnetron hanno una struttura interna un po' diversa da quelli della prima ora: in particolare le cavità hanno una forma non circolare, ma «triangolare» in modo da poter essere realizzate con dei setti radiali. Sono molto compatti e affidabili, e sono fortemente alettati all'esterno per poter essere raffreddati ad aria con una semplice ventolina.



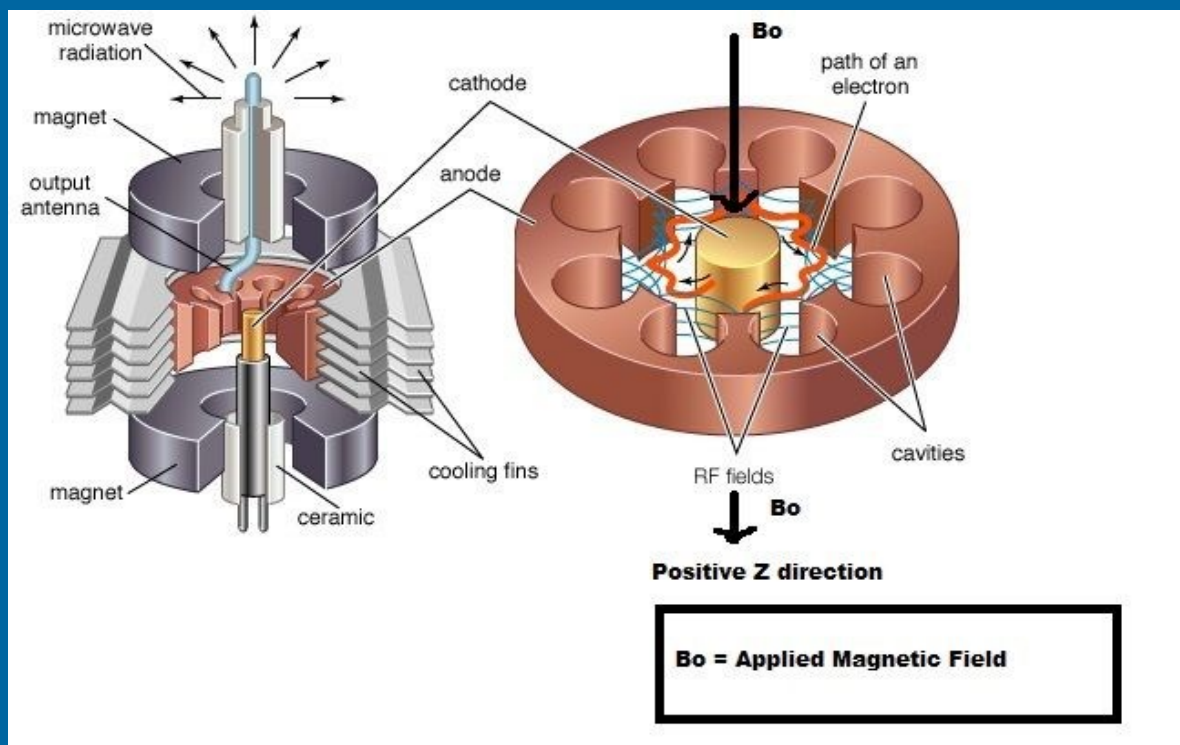
Come è noto i forni più recenti abbinano spesso alle microonde anche il riscaldamento elettrico convenzionale, in modo da consentire una cottura efficace di una maggior gamma di cibi.

La frequenza nominale di 2,45 GHz dei Magnetron utilizzati nei forni corrisponde a una lunghezza d'onda di circa 12 cm. Questo valore condiziona le dimensioni dei vani dei forni, che sono tipicamente un multiplo intero di questo valore, in modo da permettere che all'interno si crei un'onda stazionaria. Quanto al meccanismo fondamentale di funzionamento dei forni a microonde, osserviamo che l'acqua (principalmente), ma anche i grassi e i carboidrati assorbono energia in un processo chiamato «riscaldamento dielettrico» in quanto le loro molecole hanno in genere una struttura polare, quindi una estremità con carica elettrica positiva e un'altra con carica negativa; sono per questo sensibili al campo elettrico indotto dalle microonde che, cambiando continuamente il suo verso, induce le molecole a oscillare alla frequenza del campo stesso. Il trasferimento di energia è possibile quando la radiazione ha un'energia pari alla differenza tra due livelli rotazionali delle molecole. Le molecole eccitate trasferiscono il moto al resto della sostanza attraverso micro-urti, ottenendone così il riscaldamento.

Come funziona un Magnetron a cavità

Il funzionamento del Magnetron non è semplice da spiegare, lo faremo quindi in modo qualitativo e semplificato.

I suoi componenti fondamentali sono una cassa esterna (un anello massiccio di rame), dotata solitamente di otto cavità radiali di forma circolare o triangolare, che funge da anodo, e un catodo centrale, sempre di rame, ricoperto di un materiale forte emettitore di elettroni. La parte interna del dispositivo è sotto vuoto, come una qualsiasi valvola. Fra anodo e catodo viene mantenuta, tramite un trasformatore/alimentatore in corrente continua, una elevata differenza di potenziale, dell'ordine di almeno 2.000 Volt, la quale fa sì che fra i due si stabilisca, per effetto termoionico, un consistente flusso di elettroni. Le traiettorie di questo flusso non sono semplicemente radiali, ma hanno una forma a cicloide, perché all'esterno della cassa è presente un potente magnete permanente, simile a quelli che si trovano negli altoparlanti, il quale induce un flusso magnetico, perpendicolare al flusso elettrostatico, che appunto devia gli elettroni. Essi vanno a urtare i bordi delle fessure che collegano le cavità radiali allo spazio centrale e ciò fa sì che le cavità si comportino come un circuito oscillante RLC, e oscillino a una frequenza di risonanza che dipende dalle dimensioni delle cavità stesse. Si crea così un campo a radiofrequenza che viene prelevato da una spira e condotto all'esterno da una guida d'onda. Poiché la frequenza di risonanza dipende strettamente dalle dimensioni delle cavità, essa può variare, a causa delle variazioni di queste dimensioni dovute alla temperatura. Il Magnetron a cavità non ha quindi una frequenza di emissione molto stabile; ciò potrebbe creare qualche problema nelle telecomunicazioni (dove infatti si usano componenti più stabili, quali i Klystron o i TWT), ma ha scarsa importanza nel caso dei forni.



Per concludere accenniamo brevemente al fatto che le capacità di riscaldamento delle microonde hanno trovato utilizzi anche in vari campi industriali, per esempio nei processi di disidratazione, vulcanizzazione, polimerizzazione, incollaggio rapido, asciugatura di polveri, sterilizzazione, eccetera, nei quali la loro proprietà di effettuare riscaldamenti «dall'interno» può risultare particolarmente utile.

Gianluca Lapini
(Ingegnere, cultore di Storia della Tecnologia)

Indicazioni bibliografiche

Evan Ackerman, A brief History of Microwave Oven, IEEE Spectrum, 30/09/2016.

Phil Judkins, 80 Years of Cavity Magnetron, The Newcomen Newsletters, Edition 2, June 2020.

Allison Marsh, From World War II Radar to Microwave Popcorn, the Cavity Magnetron was There,

IEEE Spectrum, 31/10/2018.

Lazarus Mitchell, Increasing Use of Radar Tests Spectrum Authorities, IEEE Spectrum, 22/01/2015.