

Cenni storici sulla invenzione del RADAR

Come tante altre invenzioni del secolo scorso, anche il radar ha tanti padri. Citiamo, ad esempio, gli studi in tutto il mondo effettuati alla fine del 1800 sulla propagazione elettromagnetica da studiosi di altissimo livello: Hertz, Maxwell, Sir. Robert A. Watson-Watt e soprattutto Guglielmo Marconi, quest'ultimo noto in assoluto per gli esperimenti sulla trasmissione di segnali radio modulati nell'etere a lunga distanza, precursore sia della telegrafia senza filo che della radio. I principi su cui si basano i radar primari erano quindi già chiaramente definiti già a quei tempi, ma mancavano gli strumenti tecnologici per realizzarli e perfezionarli e solo dopo molto tempo, con lo sviluppo dei sistemi di telecomunicazioni e lo scatenarsi di ben due guerre mondiali, si realizzano tutti i dispositivi che compongono un radar moderno. Negli Stati Uniti, Inghilterra, Germania, Olanda, Francia, Russia, Giappone e Italia (grazie anche agli sforzi dei pionieri come il prof. Tiberio), si tentò di sviluppare la tecnologia per assicurare la propagazione a lunga distanza, con precisione abbastanza elevata, di fasci di onde radio in grado di riflettersi sui bersagli e tornare per essere

decodificati e misurati, allo scopo di definire velocità, direzione e provenienza degli aeromobili in volo. Fu necessario attendere lo sviluppo di sistemi a microonde (le cosiddette Guide d'onda) per canalizzare senza grosse perdite i segnali in trasmissione e ricezione, sviluppare un intero settore di antenne direzionali, sistemi di ricezione, protezione, elaborazione e presentazione adeguati allo scopo, ma soprattutto un dispositivo in grado di trasmettere elevate potenze con brevissimi impulsi, leggeri, a basso consumo e molto affidabile. Questo dispositivo venne alla fine messo a punto durante la seconda guerra mondiale dagli inglesi. Il "magnetron", ovvero l'oscillatore di potenza, fece sbloccare l'epoca dei radar moderni. Gli altri paesi, come la Germania e l'Italia, che non disponevano del magnetron si dovettero accontentare di altri dispositivi trasmettenti più antiquati (tubi a valvole) e quindi non ottennero mai i livelli di efficienza raggiunti prima e dopo la guerra dagli alleati. Negli anni successivi, anche in Italia fu sviluppata, inizialmente con la collaborazione dell'industria americana e successivamente in modo autonomo (con gli sforzi, tra gli altri, del prof. Calosi e dell'ing. Bardelli) una valida infrastruttura e cultura radaristica che ancora oggi produce radar di altissimo livello, innovativi per molti aspetti fondamentali.

Come funziona il RADAR

- **Radar Primario**

Il radar (acronimo di radio detection and ranging) è un sistema che utilizza la propagazione e la diffrazione di onde elettromagnetiche ad altissima frequenza (GHz) per ottenere la rilevazione e la misurazione di varie caratteristiche di oggetti in volo a distanze considerevoli nello spazio circostante la stazione trasmittente. Il radar primario non necessita che il bersaglio sia cooperante, cioè il bersaglio assume veste totalmente passiva rispetto al processo di rilevazione. Il sistema sfrutta un principio semplice ed intuitivo: trasmettere un segnale elettromagnetico di adeguata potenza (parecchi Kw di picco) e opportunamente modulato tramite un'antenna altamente direttiva (pochi gradi angolari di apertura) per un certo periodo di tempo (impulso), per poi passare ad ascoltare l'eco che questo segnale genera quando viene riflesso da una superficie metallica (la carlinga di un aereo) o da superfici che non consentono, parzialmente o totalmente, il passaggio dell'onda a radiofrequenza (come montagne, ostacoli vari, pioggia, ecc.) quindi in grado di riflettere una parte dell'energia emessa. La rilevazione dei parametri del bersaglio sul piano azimuthale (cioè nel piano distanza-angolo di puntamento rispetto alla posizione dell'antenna) vengono acquisiti in modo semplice e preciso. La distanza viene calcolata - sulla base della

velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nell'etere (circa 299.999,99 Km/s) - misurando l'intervallo di tempo che intercorre tra l'inizio della trasmissione dell'impulso ed il ritorno dell'eco radar, diviso per 2 (si consideri il tempo di andata e ritorno delle onde radio). L'angolo viene acquisito rilevando la posizione angolare del baricentro di antenna che illumina il bersaglio, rispetto ad un punto di riferimento (tipicamente il Nord magnetico). Queste informazioni servono anche a generare i sincronismi necessari per la presentazione su tubo catodico (schermo radar). Il segnale di ritorno, essendo molto più debole rispetto a quello trasmesso (rappresenta solo la piccola quota riflessa dalla superficie dell'aereo che in più ha subito una attenuazione progressiva con legge quadratica nel percorso di andata e ritorno) necessita di essere fortemente amplificato in fase di ricezione, cercando anche di mantenerne basso il livello di rumore per meglio discriminare i bersagli utili dal rumore di fondo e dai disturbi (clutter). Essendo l'antenna di trasmissione/ricezione unica, il radar dispone di un sistema di disaccoppiamento e protezione tra trasmettitore e ricevitore, che smista opportunamente i segnali ricevuti. I trasmettitori hanno subito una forte evoluzione abbandonando la tecnologia valvolare (a magnetron, klystron) per la più snella e sicura tecnologia allo stato solido (transistor di potenza), anche se molti apparati di vecchio tipo sono ancora validamente impiegati nel mondo.

Il ricevitore, parte essenziale per la prestazioni generali del radar, nei tipi più evoluti dispone del cosiddetto “signal processor” che segue la parte relativa alla ricezione in radiofrequenza e la digitalizzazione del segnale per meglio elaborarlo e che agisce per:

- Estrarre i segnali utili dal rumore di fondo ricevuto;***
- Discriminare dai segnali estratti i bersagli mobili (aerei) dagli echi fissi o mobili a bassissima velocità (ostacoli, stormi di uccelli, nuvole, ecc.) utilizzando cancellatori o sistemi di rilevazione doppler;***
- Correlare gli echi estratti con successive repliche amplificando la presenza di bersagli utili;***
- Applicare mappe fisse e/o adattive per mascherare zone affette da disturbi di varia natura (clutter di terra, clutter di mare, propagazione anomala, ecc.)***

I vari segnali video ottenuti dal ricevitore (video estratto, background, grezzo primario, ecc.) vengono inviati allo schermo radar dove avviene la presentazione dei dati sia in formato grezzo (macchia, clutter) che in forma sintetica (alfanumerico). Sullo schermo i target si muovono tramite la scansione dei sincronismi inviati dall'antenna (NDP: Nord Reference Pulse, ACP: Azimuth Counter Pulse) e dai temporizzatori (trigger, range marks, geografia ATS, ecc.) che assieme al video inviato al cannone elettronico, presente alla base del tubo

radar, completano la presentazione che utilizza anche la persistenza sullo schermo per assicurare la migliore visibilità.

Nei nuovi sistemi i tubi catodici sono stati sostituiti progressivamente da schermi a colori a cristalli liquidi, che sono visibili anche con luce diurna (brighth display

• Radar Secondario

Nato anch'esso a cavallo della seconda guerra mondiale per aiutare a riconoscere e discriminare i velivoli amici da quelli nemici (denominato come IFF: Identification Friend or Foe), il Radar Secondario ha assunto in tempo di pace la funzione di radar di sorveglianza principale (SSR: Secondary Surveillance Radar), associato di solito al radar primario. Per funzionare necessita di minor potenza rispetto al radar primario ma richiede però la cooperazione del target. Anche in questo caso il principio di funzionamento è abbastanza intuitivo. Si trasmette, come in un radar primario, su una precisa frequenza (1030 MHz) un treno di impulsi codificati che costituiscono l'interrogazione del sistema. L'aereo, questa volta dotato di un apposito apparato di bordo detto "transponder" (risponditore automatico) in particolari condizioni di segnale ricevuto da terra risponde automaticamente, fornendo anch'esso una risposta codificata (12 bit) su un'altra frequenza standardizzata a livello internazionale (1090 MHz).



ENAV S.p.A.

SOCIETÀ NAZIONALE PER L'ASSISTENZA AL VOLO

Il segnale ricevuto viene decodificato ed interpretato per essere poi associato ad un eco primario e presentato con le relative informazioni alfanumeriche. Attualmente le interrogazioni da terra avvengono in modalità convenzionale detta 3A/C, dove, grazie alla diversa spaziatura dei segnali trasmessi alternativamente, viene richiesto all'aeromobile di fornire il proprio identificativo, composto da una replica di 4 cifre ottali assegnate dal controllo ATC da terra al pilota (4096 codici) e caricate sul pannello di controllo del transponder (poi associato dai computer automaticamente ad un Call Sign, cioè ad un nominativo di aeromobile standard) oppure la quota di volo estratta autonomamente dall'altimetro barometrico di bordo. Oltre a queste informazioni, che vengono "fuse" (combinare) al segnale primario, il radar secondario è in grado di svolgere le stesse funzioni di misura e rilevazione del radar primario, misurando la distanza dell'aeromobile in base al tempo trascorso tra trasmissione degli impulsi e ricezione delle repliche dal transponder (questo solo nel caso che questo sia acceso ed i tempi di ritardo nella risposta siano noti e standardizzati) e misurando l'angolo di puntamento dell'antenna, evidenziando che il sistema di misura angolare può essere comune tra i due radar dove le relative antenne siano sovrapposte e coorientate (il caso più diffuso). La presentazione segue le stesse modalità di funzionamento già espresse per il primario, segnalando la possibilità di visualizzare i segnali sia separatamente (segnale sintetico primario e segnale sintetico secondario) che combinato (unico simbolo).

Il contributo del secondario è di solito determinante in quanto al simbolo viene sempre associata una label (etichetta) che riporta informazioni fondamentali in formato alfanumerico come il call sign dell'aereo, la velocità calcolata, la quota ricevuta dall'aereo, il vettore traiettoria, la storia della traccia, altre informazioni supplementari come i codici transponder inseriti autonomamente dal pilota, come il codice 7000 (VFR i Italia ed Europa), 7004 (volo acrobatico), 7500 (dirottamento a bordo), 7600 (avaria radio) e 7700 (emergenza) nonché, a richiesta del controllore, lo “special indicator” (lampeggio del simbolo).

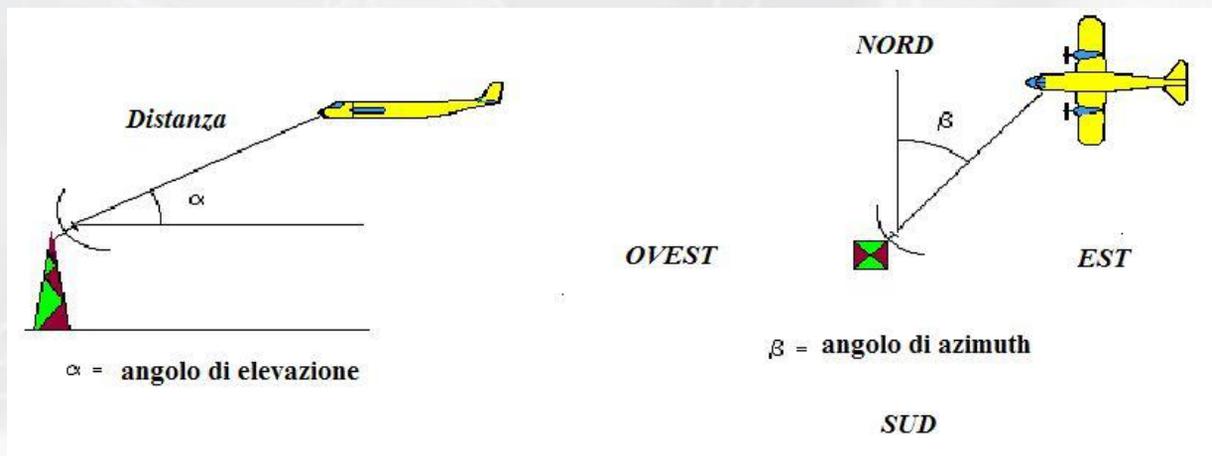
• Radar Modo-S

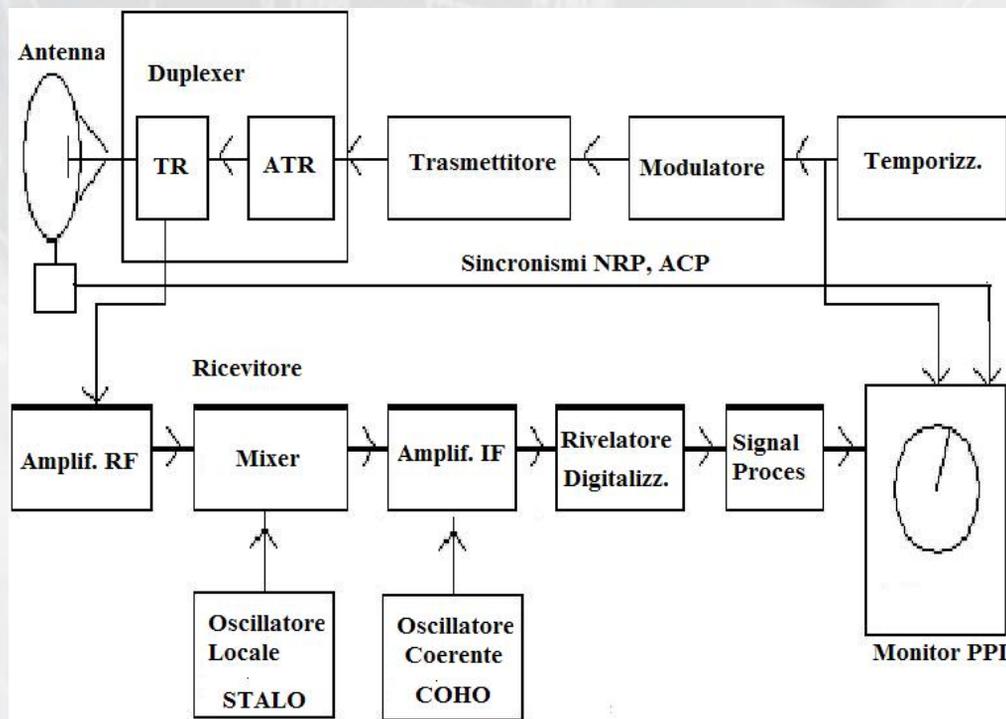
L'evoluzione del radar secondario ha portato allo sviluppo dei sistemi radar Modo-S, definiti come radar ad interrogazione “selettiva” in quanto in grado di interrogare selettivamente gli aerei con cui scambiare informazioni. La codifica parte dal sistema SSR convenzionale 3A/C (anche per mantenere una certa compatibilità con i vecchi transponder), ma viene estesa aggiungendo altri bit di informazione al pacchetto di impulsi trasmessi in grado di aumentare sia il numero di codici sfruttabili contemporaneamente dagli aerei in modalità “elementary” (24 bit=16.777.216 di codici) sia di aumentare ulteriormente il numero di informazioni trasferibili in coda ai codici identificativi tra i due sistemi (interrogatore a terra Modo-S e transponder

Modo-S a bordo) ad esempio fornendo oltre la quota anche elementi di telemetria, assetti istantanei di volo, informazioni varie a disposizione dei piloti e/o dei passeggeri, ecc..

Con questo nuovo sistema, ora in fase di sperimentazione, non è più necessario inserire di volta in volta i codici SSR forniti da terra, ma l'aereo manterrà un univoco codice a 24 bit che lo caratterizzerà per tutta la vita operativa.

La disponibilità e la velocità di informazioni è legata essenzialmente alle caratteristiche dell'antenna (velocità di rotazione) perché lo scambio di informazioni può avvenire solo nel periodo in cui l'antenna è allineata in direzione del target.





Radar Primario a catena coerente