

Radar - *RA*dio *DE*tectio*N* And *R*ang*ing*

Cenni Storici

Il termine RADAR fu coniato nel 1940 dalla Marina degli Stati Uniti d'America come acronimo per **RA**dio **DE**tectio*N* And **R**ang*ing*, (*Detection*=individuazione ; *Ranging*=misura distanza). Significa radio rilevamento e determinazione della distanza a mezzo di onde radio.

I primi studi sul radar ebbero inizio negli USA e in Europa contemporaneamente negli anni trenta, poi l'imminenza del secondo conflitto mondiale accelerò, ma ne rese segrete le ricerche che si svilupparono separatamente nei vari stati interessati al conflitto e ne rivolse l'interesse principalmente a scopi militari come avviene sempre in queste circostanze.

Gli studi furono particolarmente approfonditi in Inghilterra, negli USA e in Germania così, ad esempio, l'Inghilterra fu protetta da una catena di radar per intercettare gli aerei tedeschi che dalla Germania la sorvolavano per bombardarla e si può dire che questo dispositivo ebbe certamente un ruolo determinante sull'esito di quella battaglia.

Il **Radar** è un sistema trasmettente e ricevente che utilizza **onde elettromagnetiche** appartenenti allo spettro delle **onde radio** o **microonde**. [Vedi TABELLA N.1](#)

Nel sistema di riferimento, ove il polo è l'antenna del radar, si rileva la **posizione** in **coordinate polari** (distanza, altezza e **azimuth**) e/o **velocità** di oggetti (*target*) sia fissi che mobili, come aerei, navi, veicoli a motore, **formazioni atmosferiche** o il suolo stesso visto dall'alto.



Un sistema Radar si compone di:

→ un **trasmettitore** di **onde radio**, almeno un'**antenna** e degli apparati elettronici di ricezione, elaborazione e visualizzazione del segnale elettromagnetico ricevuto.

Quando le onde radio trasmesse colpiscono un oggetto, vengono riflesse in tutte le direzioni. Il segnale viene quindi in parte riflesso (reirradiato, termine più appropriato, in quanto l'onda e.m. incidente il bersaglio induce su di esso delle correnti elettriche che a loro volta generano un'onda e.m. contraria alle incidenti che viene irradiata in tutte le direzioni) anche indietro, verso la direzione di provenienza, generando un eco o replica fedele del segnale trasmesso, a meno di un'**attenuazione** (dovuta alla **propagazione elettromagnetica** in mezzo attenuativo come l'**atmosfera**) e di uno **sfasamento** temporale, e subisce un leggero cambio di frequenza se il bersaglio è in movimento radiale rispetto all'antenna ricevente (**Effetto Doppler**).

→ Il **ricevitore** solitamente, ma non necessariamente, è posto nella stessa posizione del trasmettitore venendo spesso a coincidere con esso. Il segnale di ritorno, sebbene sia in genere molto debole, può essere amplificato con dispositivi elettronici e a mezzo di particolari geometrie delle antenne riceventi. In questo modo, il radar è in grado di identificare oggetti per i quali altri tipi di emissioni come il suono o la luce visibile non risulterebbero efficaci.

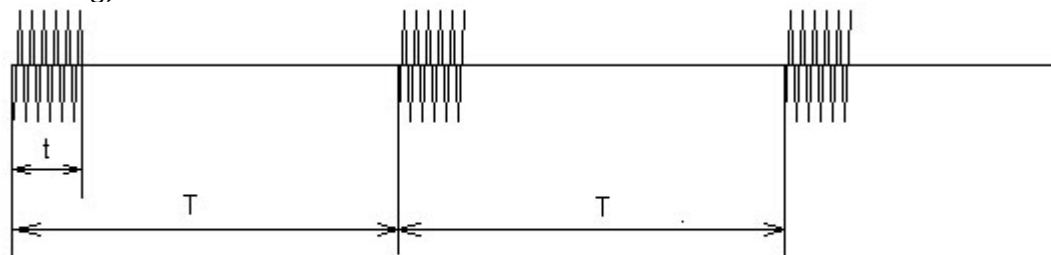
Il radar viene impiegato nelle tecnologie militari di allarme, scoperta (sorveglianza o avvistamento e inseguimento) e misura di distanze, in **meteorologia** per il rilevamento di **precipitazioni** e velocità dei **venti** (**sodar**), ed altri svariati utilizzi che spaziano dalla misura delle onde sulla superficie del mare e più in generale di molti parametri fisico-ambientali tramite **radar satellitari** nel **telerilevamento**, al **controllo del traffico aereo** in campo civile, fino agli usi di polizia per la misura della velocità dei motoveicoli o per la misura di velocità nelle competizioni sportive.

Principio Di Funzionamento

Il **funzionamento** del radar si basa sul fenomeno fisico dello **scattering** all'indietro (**backscattering**) della radiazione elettromagnetica quando questa colpisce un oggetto di dimensioni maggiori della lunghezza d'onda della radiazione incidente (in caso contrario si ha diffusione dell'onda in una qualsiasi direzione casuale). La radiazione di ritorno può essere rilevata dall'antenna ricevente dopo un certo tempo t pari al doppio del tempo di propagazione antenna/target; conoscendo la velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica nel mezzo considerato (aria) è possibile risalire facilmente alla distanza dell'oggetto "scatterante" (riflettente) ed alla sua posizione angolare (azimuth) rispetto al sistema di riferimento in maniera pressoché continua nel tempo operando una scansione periodica dello spazio circostante tramite antenne ad elevata direttività.

Il **radar** è essenzialmente un sistema di rilevamento funzionante sul **principio dell'eco**, in cui il trasmettitore irradia periodicamente energia sotto forma di impulsi di **microonde** di grande potenza, ma di durata molto breve.

Il componente fondamentale di ogni radar è una base dei tempi, un dispositivo simile ad un orologio che permette di misurare intervalli di tempo molto piccoli, in modo molto accurato e preciso. A determinati intervalli regolari, un trasmettitore emette un impulso a radiofrequenza, che viene trasmesso nello spazio tramite un'antenna fortemente direzionale (almeno nel piano parallelo al suolo, il cosiddetto piano degli azimuth). Subito dopo l'emissione la stessa antenna viene collegata ad un ricevitore sensibilissimo, che resta in ascolto dell'eco riflessa (backscattering).

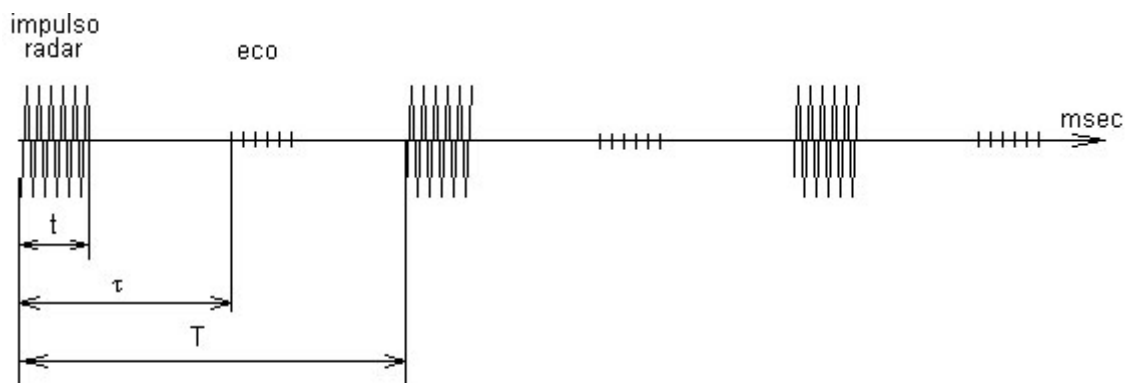


Forma degli impulsi radar

T = periodo di ripetizione degli impulsi
 t = durata dell'impulso

Gli **impulsi radar** vengono irradiati da un'**antenna parabolica** fortemente direttiva che li trasmette alla velocità della luce verso il bersaglio.

Se gli impulsi trasmessi non incontrano alcun ostacolo, non tornano più indietro, mentre se incontrano un aereo, una nave, una montagna, una piccola parte dell'energia irradiata ritorna all'antenna trasmittente dopo un tempo brevissimo sotto forma di **eco**.



T = periodo di ripetizione degli impulsi
 τ = tempo di arrivo dell'eco
 t = durata dell'impulso

Nei primi radar l'eco veniva visualizzata, sotto forma di **spot luminoso**, su uno schermo costituito da un tubo catodico di forma circolare.

Poiché la velocità di propagazione degli impulsi radar è perfettamente nota, dal tempo impiegato dal segnale a raggiungere il bersaglio e a ritornare indietro, si può ricavare la distanza dello stesso.

Il Tx (Trasmittitore) e il Rx (Ricevitore) lavorano in simplex ovvero quando il Radar trasmette non riceve e viceversa.

La durata dell'impulso, **t**, determina il tempo di trasmissione, e **T-t** è il tempo di ricezione.

L'intervallo **T** è anche chiamato:

Pulse Repetition Interval: PRI=T;

il suo reciproco è la frequenza di ripetizione,

Pulse Repetition Frequency: PRF=1/T;

la durata del pacchetto di alta frequenza è chiamata **Pulse Width: PW=t ;**

Se il pacchetto incontra un bersaglio, l'impulso trasmesso viene reirradiato (riflesso), ritorna all'antenna e viene elaborato dal ricevitore. Misurando il tempo che intercorre tra la trasmissione dell'impulso ed il ritorno dell'eco (mediante un segnale di clock) è possibile stabilire la distanza a cui si trova il bersaglio, dato che la velocità a cui si propaga l'impulso elettromagnetico è nota ed è pari alla velocità della luce.

In pratica abbiamo:

$$D = c \, t / 2$$

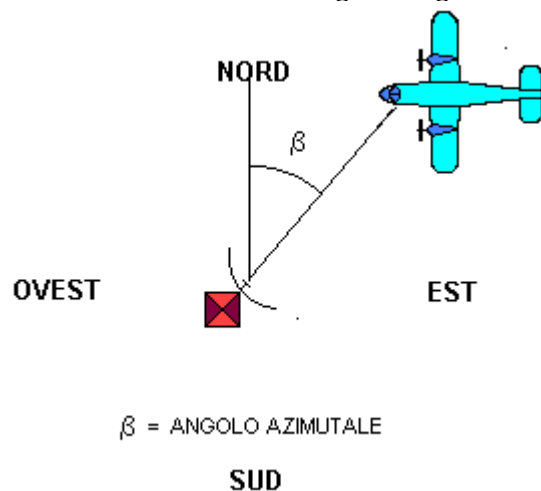
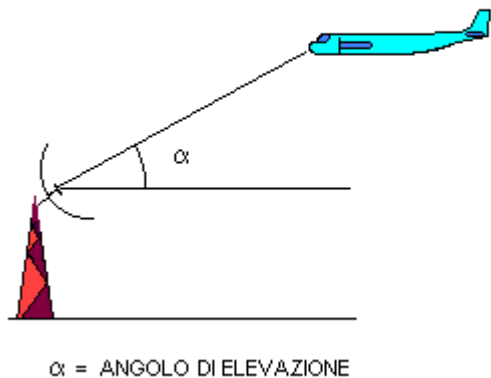
□ **D** è la distanza del bersaglio

□ **c** è la velocità della luce circa 300.000 km/s

□ **t** è il tempo impiegato dall'impulso per raggiungere il bersaglio e tornare all'antenna

Dato che la velocità della luce nell'aria vale circa 300.000 km/s (3×10^8 m/s), il tempo di ritorno dell'eco è quindi di circa 6,67 microsecondi per kilometro di distanza dell'oggetto.

La direzione del bersaglio è individuata dall'orientamento dell'antenna parabolica del trasmettitore per mezzo dell'angolo di **AZIMUT** e dell'angolo di **ELEVAZIONE** che ne determinano la posizione rispetto all'antenna **radar** come è descritto nella figura seguente.



Distanza minima

Il tempo minimo di ritorno equivale alla durata dell'impulso, infatti solo al termine dell'impulso il Radar commuta in ricezione. Se l'impulso riflette immediatamente su un bersaglio vicino, si

ha: $D_{\min} = c \, t / 2$; Ad esempio con $t = 1 \, \mu s$ (**durata dell'impulso**) $\rightarrow D_{\min} = 150m$

quindi è la durata dell'impulso trasmesso che determina la distanza minima di rilevamento.

Il tempo di commutazione (Tx-Rx) dell'antenna deve essere ovviamente il più piccolo possibile, infatti il ricevitore non può essere azionato finché non viene spento il trasmettitore.

Distanza massima

Il tempo massimo di ritorno equivale alla durata **T**, infatti solo al termine di **T** il Radar

commuta in Trasmissione. Quindi: $D_{\max} = c \, T / 2$

I bersagli più distanti a D_{\max} appariranno come echi perché rilevati nel periodo **T** di funzionamento successivo. Questa pertanto deve essere considerata la massima distanza di un oggetto rilevabile correttamente.

Gli intervalli **T** di emissione del trasmettitore determinano la distanza massima a cui un determinato modello di radar può rilevare oggetti in modo non ambiguo.

La massima distanza, **D_{max}**, chiamata portata, è determinata con la equazione del Radar, determinata più avanti.

Caratteristiche Del Radar

Le frequenze di funzionamento vanno da **qualche centinaio di MHz** a circa **35 GHz**, mentre le **antenne**, di tipo **parabolico**, hanno guadagni che vanno da **40 dB** a **50 dB**.

Il segnale irradiato, è di forma **impulsiva**, **molto intenso**, solo per **brevissimi istanti (μs)**, il Radar dopo aver emesso l'impulso, resta in attesa di un'eventuale **eco** per tutto il tempo **T-t**.

Per questo motivo il valore medio della **potenza** erogata nell'unità di tempo scende moltissimo rispetto ai valori di **picco**. La potenza di picco è contenuta nell'impulso di durata **t**, quindi se ad esempio:

t = 1 μs (durata dell'impulso) e T = 1 ms (periodo di ripetizione);

la potenza media **P_m** è uguale alla energia di picco **P_p x t** mediata nel periodo **T**:

$$P_m = P_p \times t/T \Rightarrow P_m = P_p \times D.C.$$

dove il **D.C. Duty Cycle** è: **D.C. = t/T \Rightarrow D.C. = $1 \cdot 10^{-6} / 1 \cdot 10^{-3} = 10^{-3}$**

Quindi la **potenza di picco** di emissione di un **radar** può essere molto forte, da **100 kW** a **1.000 kW** ma quella **media** è molto inferiore, nell'esempio, mille volte più piccola, da **100 W** a **1.000 W**.

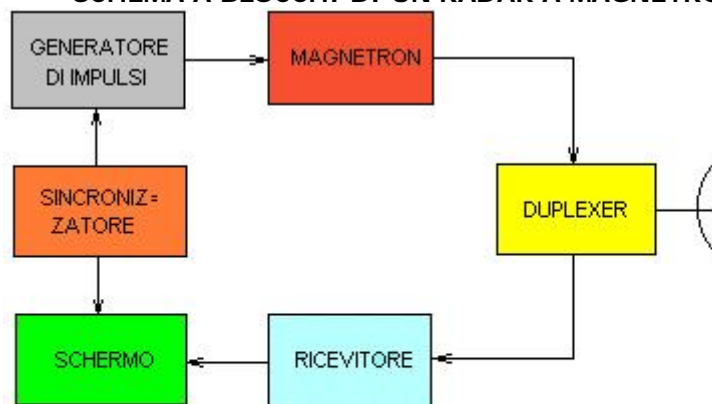
La massima distanza, **D_{max}**, chiamata portata, reale distanza alla quale è possibile rilevare bersagli è legata, tramite l'equazione del radar, alle potenze in gioco ed a tutta una serie di fattori quali la rumorosità intrinseca del ricevitore, la sua sensibilità, i disturbi dell'ambiente ovvero fenomeni di **clutter**.

(Nota: Il fascio di un radar nautico ad esempio, oltre ai bersagli che interessano, batte anche le onde del mare e le eventuali precipitazioni atmosferiche; i relativi echi sono estesi e producono confusione sull'indicatore, dando effetti di riverbero, abbagliamento, mascheramento, che rendono poco sicura l'identificazione dei bersagli. Tali echi e relativi disturbi sono indicati convenzionalmente con il nome di **clutter**. Per minimizzarne gli effetti sono adottati varie tecniche: si può agire variando la frequenza di lavoro o integrare nel radar appositi circuiti soppressori (anti clutter).)

I dati combinati dell'orientamento dell'antenna all'atto dell'emissione dell'impulso e del tempo di eco del segnale forniscono la posizione di un oggetto nel campo di rilevamento del radar; la differenza fra due rilevamenti successivi (o lo spostamento in frequenza doppler in un singolo rilevamento, nei modelli più recenti) determina velocità e direzione del moto dell'oggetto rilevato. Sullo stesso principio applicato in modo diverso (antenna che si muove verticalmente) si basano i radar di scoperta aerea, mentre i radar per sistemi di guida missili sono quasi sempre radar Doppler in grado di discriminare, dallo spostamento di frequenza dell'eco, i bersagli in movimento dal terreno.

Schema A Blocchi

SCHEMA A BLOCCHI DI UN RADAR A MAGNETRON



Francesco Buffa

La **sezione trasmittente** è costituita da un **oscillatore di potenza a radiofrequenza**, normalmente un **Magnetron**, pilotato da un **generatore di impulsi**.

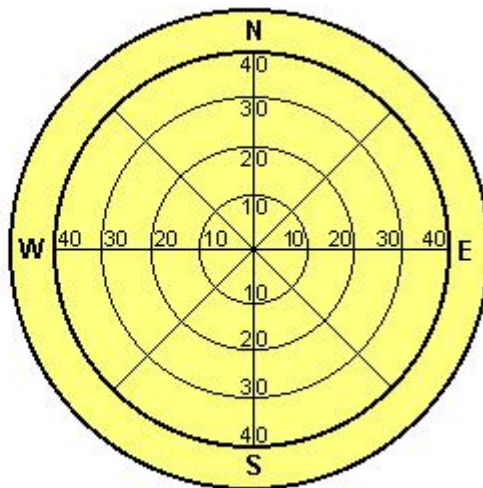
Si può usare anche, a seconda dei casi, un **Klystron** o un **TWT** (**T**ravelling **W**ave **T**ube = tubo ad onda progressiva), ma oggi alcuni fra i più moderni radar utilizzano cortine di transistor **MESFET** a stato solido posti in parallelo per compensare la loro minore potenza rispetto al **Magnetron** ma anche per costituire una struttura modulare che ne consenta una maggiore affidabilità di esercizio, potendo funzionare anche se uno solo dei moduli andasse fuori uso. In ogni caso vengono dunque prodotti **impulsi brevissimi**, a iperfrequenza, di **grande potenza**.

L'antenna del radar altamente direttiva, è sistemata in modo da poter essere ruotata in ogni direzione. Sotto vi è l'esempio di un'antenna radar per la nautica da diporto.



Normalmente viene usata la stessa antenna sia per trasmettere gli impulsi che per riceverne l'eco quindi è necessario un dispositivo di commutazione, chiamato **Duplexer**, indicato sopra nello schema a blocchi, che isola la sensibilissima sezione ricevente dalla trasmittente durante l'emissione degli impulsi ad alta potenza che altrimenti la danneggerebbero irrimediabilmente, viceversa dirige verso la sezione ricevente il segnale eco di ritorno dal bersaglio negli intervalli di silenzio del trasmettitore.

Il **ricevitore radar** è un normale radoricevitore funzionante con il metodo **supereterodina** con frequenze intermedie, ad esempio di **30 MHz** o **70 MHz**, con la minore possibile **figura di rumore**, un'alta sensibilità ed una larghezza di banda uguale alla frequenza degli impulsi prodotti. Il terminale video in ricezione era in origine un **tubo a raggi catodici** con lo schermo di forma circolare che visualizzava l'intervallo di tempo tra l'emissione e la ricezione degli impulsi creando una traccia ottica su una scala graduata in miglia o in chilometri.



Francesco Buffa

Oggi, più spesso, è un display a **LCD** programmabile con memoria che consente a richiesta di lasciare la traccia del segnale come quello indicato sotto nel caso, ancora di nautica da diporto.



EQUAZIONE DEL RADAR

La **portata** di un sistema **radar** si può ricavare come segue, essendo:

D = distanza del bersaglio misurata in **m**

S = area equivalente della sezione trasversale del bersaglio misurata in **m²**

P_T = potenza Trasmessa = **P_p** = potenza di picco del trasmettitore in **W**

P_R = potenza di picco dell'eco all'antenna ricevente in **W**

G_T = guadagno dell'antenna trasmittente (numero puro)

G_R = guadagno dell'antenna ricevente (numero puro)

λ = lunghezza d'onda in **m**

A = area di cattura dell'antenna ricevente in **m²**

La potenza di picco prodotta dal trasmettitore è **P_T**.

La potenza equivalente irradiata nella direzione del bersaglio verso cui è puntata l'antenna è **P_TG_T** in quanto la direttività dell'antenna concentra la potenza **P_T** in un'unica direzione secondo il valore del guadagno **G_T** dell'antenna trasmittente. Per un'antenna a dipolo, isotropa, **G_T=1**

Se la distanza del bersaglio è **D**, la superficie della sfera di raggio **D**, nella quale si distribuisce la potenza trasmessa, è **4πD²**, per cui alla distanza **D** a cui si trova il bersaglio, la densità di potenza a **m²**, dovuta al trasmettitore, che assume il nome di **vettore di Poynting**, sarà:

$$\frac{P_T \cdot G_T}{4 \cdot \pi \cdot D^2}$$

Questa energia elettromagnetica colpisce il bersaglio ed è sparsa in varie direzioni o parzialmente assorbita in funzione della forma e del materiale di cui è costituito il bersaglio. Se **S** è l'**area equivalente** del bersaglio, cioè quella parte della sezione trasversale del bersaglio che determina la riflessione dell'onda in ogni direzione, il bersaglio si comporterà a sua volta, una volta investito dall'onda degli impulsi radar, come un trasmettitore di potenza elettromagnetica di valore:

$$\frac{P_T \cdot G_T \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot D^2}$$

Questa onda elettromagnetica, riflessa dal bersaglio, determinerà sull'antenna radar, che questa volta funge da ricevitore, una densità di potenza a **m²**:

$$\frac{P_T \cdot G_T \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot D^2} \cdot \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{P_T \cdot G_T \cdot S}{(4 \cdot \pi)^2 \cdot D^4}$$

Questa densità di potenza che si presenta all'antenna ricevente determina un assorbimento di potenza che è funzione dell'area equivalente dell'antenna:

$$A = \frac{G_R \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi}$$

La potenza che arriva all'antenna ricevente è quindi:

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R \cdot S \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot D^4}$$

Se, come avviene normalmente, l'antenna trasmittente funge anche da ricevente, allora:

$$G_T = G_R = \frac{4 \cdot \pi \cdot A}{\lambda^2}$$

La potenza ricevuta allora vale:

$$P_R = \frac{P_T \cdot A^2 \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \lambda^2}$$

Se ora vogliamo determinare la **portata del radar**, cioè la **massima distanza** alla quale è effettivamente rilevabile un bersaglio, dobbiamo osservare che, al crescere della distanza **D**, la potenza che **ritorna indietro diminuisce** e pertanto la portata cercata è limitata dalla **sensibilità del ricevitore**, dalla sua capacità di leggere un segnale di piccolissima potenza separandolo dal rumore, sempre presente.

Se allora, nella formula appena scritta, chiamiamo con **P_{MIN}** la **minima potenza rilevabile e misurabile**, ad essa corrisponderà la **D_{MAX}**, cioè la **portata richiesta**:

$$P_{MIN} = \frac{P_T \cdot A^2 \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot (D_{MAX})^4 \cdot \lambda^2}$$

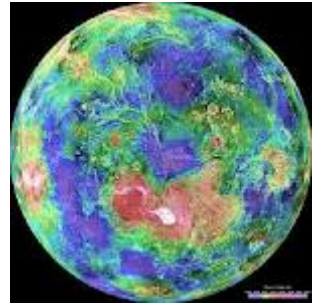
Dalla formula inversa si può finalmente ottenere la portata richiesta:

$$D_{MAX} = \sqrt[4]{\frac{P_T \cdot A^2 \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot P_{MIN} \cdot \lambda^2}}$$

Radar In Astronomia

Impulsi radar sono stati mandati sulla **luna**, sul **sole** e sui **pianeti** più vicini per studiarne la distanza e la consistenza della superficie, ma più di recente, la distanza terra luna è stata misurata con maggiore precisione e molta minore potenza, con il **laser**.

Il pianeta **Venere** è sempre apparso molto luminoso e bianco e, dall'invenzione del cannocchiale in poi, si è sempre cercato di scrutarne la superficie, sempre coperta da una folta coltre di spesse nubi, ma senza alcun esito.



Nel **1989** si è mandata la sonda spaziale **Magellano** con a bordo un **radar altimetrico** la cui frequenza di funzionamento era tale da perforare le nubi venusiane, opache alla luce visibile, e rilevare i più piccoli dettagli della superficie del pianeta. La sonda ha avvolto il pianeta con una serie di percorsi circolari sfalsati ogni giro di un piccolo angolo tale da determinare la scansione totale di tutta la superficie e ha trasmesso a terra tutti i dati rilevati che, immessi nei computer della **NASA**, hanno consentito la ricostruzione esatta delle caratteristiche della superficie rilevando dettagli di pochi metri.

Radar In Campo Militare

Il **radar** è certamente molto usato nel **campo militare**, fatto questo che, come spesso accade per molte scoperte tecniche, ne ha determinato l'approfondimento degli studi anche in tempo di pace.

Infatti il **radar** è usato per puntare **cannoni** o **missili** contro bersagli fissi o mobili in quanto è in grado di rilevarne con esattezza la distanza e la direzione anche al buio o attraverso nubi o cortine di fumo.

Montato sui **missili** consente di inseguire **aerei** o altri **missili** quali bersagli ad alta velocità regolandone la direzione con gli alettoni di direzione e di profondità in base alla direzione assunta dal bersaglio inseguito.

Sempre nel campo militare, sin dagli anni '80, gli **U.S.A.** hanno prodotto un tipo di **aereo invisibile al radar**, secondo una tecnologia particolare detta **stealth**.

TECNOLOGIA STEALTH

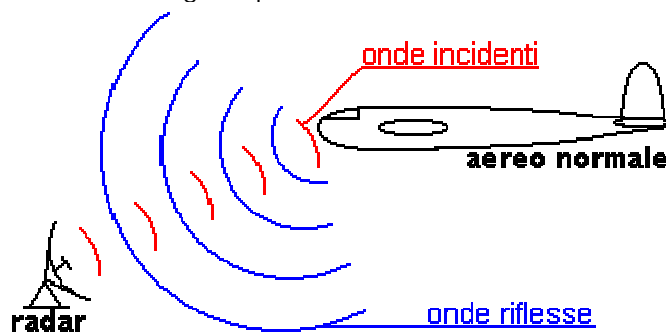
Per esigenze di carattere puramente militare, nel 1975 la "Advanced Project Division" della Lockheed-California, diede luogo al progetto che portò alla creazione dei primi due prototipi di aerei invisibili al radar, che rispondevano al codice: "Have Blue".

Da allora è stata creata tutta una serie di modelli secondo una tecnologia detta **stealth**, dalle caratteristiche del tutto differenti da quelle dei comuni aerei da combattimento.

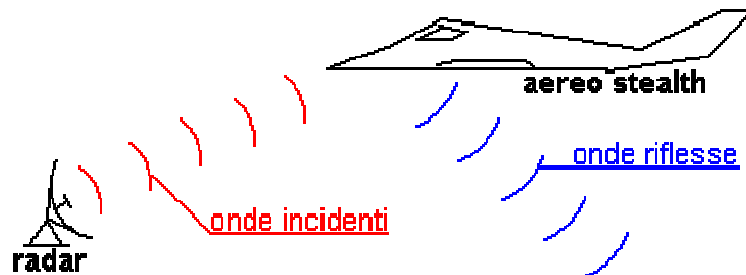
Il principio in base al quale l'aereo risulta invisibile al radar sta in una serie di caratteristiche che agiscono tutte in contemporanea.

Tutta la superficie esterna dell'aereo **stealth**, compreso l'abitacolo trasparente del pilota, è ricoperta da uno strato di **vernice particolare** che ha la capacità di **assorbire buona parte delle onde radar**.

La sagoma di un velivolo normale è affusolata e rotondeggiante, per cui le onde radar tornano indietro in qualsiasi direzione, e quindi anche nella direzione del radar nemico che così lo individua come bersaglio, come schematicamente indicato nella figura qui sotto.



L'aereo **stealth**, invece, ha superfici esterne **sfaccettate** come le facce di un diamante, perciò le onde radar, non assorbite dallo strato di vernice radioassorbente, vengono riflesse soltanto in alcune precise direzioni scelte dal progettista, come indicato sotto.



Le turbine a reazione dell'aereo **non sono esterne**, come in tutti i normali apparecchi, ma interne, per evitare la riflessione delle pale della girante, ed il getto di gas non è concentrato, caldo ed esterno, perché sarebbe individuato dai missili a ricerca calore, ma opportunamente diffuso a raggiera e quindi più freddo.

L'aereo viaggia solo ad **altissima quota**, dove i missili avversari non possono colpirlo, **edi notte**, ed è inoltre verniciato di **colore nero matto** per essere anche invisibile alla vista dell'osservatore. Le caratteristiche e le foto seguenti degli aerei stealth sono state tratte dal sito USA:

<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/f-117.htm>

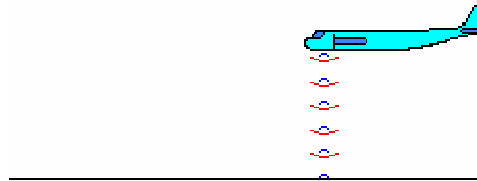


Usi Del Radar

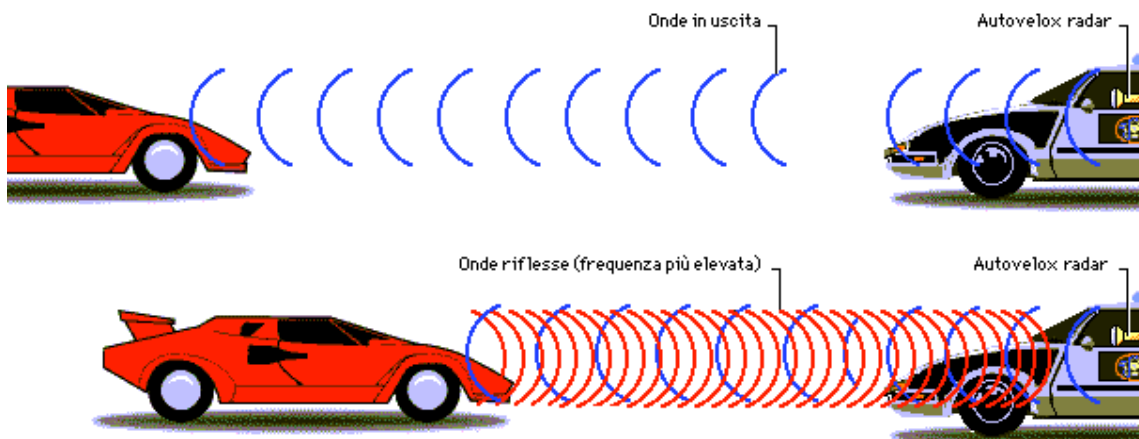
Il **radar** ha vari impieghi nel campo **civile** e nel campo **militare**, è di aiuto alle **navi** perché consente di individuare battelli, scogli, isole, e la terraferma anche in piena notte o in cattive condizioni atmosferiche. Le **microonde**, infatti, che il **radar irradia**, viaggiano indifferentemente sia di **giorno** sia di **notte**, sia con il **sole** sia con la **pioggia**.

I **radar** le cui **frequenze** di funzionamento si aggirano intorno a **6 - 10 GHz**, sono particolarmente adatti a individuare dense masse nuvolose e sono quindi usati come **radar meteorologici**. Questi sono molto utili, come è logico, nella **navigazione aerea e marittima** in quanto consentono alle **navi e agli aerei** di evitare perturbazioni particolarmente intense che potrebbero costituire un pericolo per l'attraversamento delle zone interessate.

Il radar inoltre è oggi anche in grado, quale altimetro, di misurare la **distanza degli aeromobili dal suolo** e di monitorare il traffico aereo in vicinanza dell'aeroporto.



L'**ILS** (**I**nstrument **L**anding **S**ystem = sistema di atterraggio strumentale) è un sistema di radioassistenza al volo per l'atterraggio degli aeromobili in condizioni di visibilità nulla. L'**autovelox** della polizia stradale è un altro tipo di radar a modulazione di frequenza funzionante sul principio dell'effetto **Doppler**, particolarmente attrezzato per le misure di velocità degli autoveicoli. In questo tipo di radar, ad **onda continua**, la velocità dell'autoveicolo si ricava dalla **differenza di frequenza** tra l'onda incidente e l'onda riflessa.



Le onde in uscita hanno frequenza trasmessa f_0 , la frequenza ricevuta per effetto Doppler è data dalla formula:

$$f = \frac{f_0}{1 - \frac{v_{s,r}}{c}} \text{ dove } v_{s,r} = v_s + v_r \text{ (velocità della sorgente e velocità del bersaglio che si corrono in contro);}$$

$$\text{con } \Delta f = f - f_0 \text{ si ottiene: } \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{v_{s,r}}{c - v_{s,r}}, \text{ considerando che per le onde e.m. } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s;}$$

$$\text{con } c - v_{s,r} \cong c, \text{ si ottiene, } \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{v_{s,r}}{c} \Rightarrow \Delta f = f_0 \frac{v_{s,r}}{c}, \text{ ricordando che } c = \lambda_0 f_0,$$

$$\text{sostituendo e semplificando si ottiene: } \Delta f = \frac{v_{s,r}}{\lambda_0} \Rightarrow v_{s,r} = \lambda_0 \Delta f$$

Pertanto quest'ultima indica che il Radar, oltre a rilevare il bersaglio, può rilevarne la sua velocità con la semplice misura di $\Delta f = f - f_0$

Preso da www.ilmondodelletelecomunicazioni.it; Ora passa a "Il Radar in navigazione"

TABELLA N.1

SIGLA	DENOMINAZIONE	DA	A	USI
VLF	VERY LOW FREQUENCY	3KHz	30KHz	TRASMISSIONI CON SOMMERGIBILI
LF	LOW FREQUENCY	30KHz	300KHz	TRASMISSIONI DELLA MARINA
MF	MEDIUM FREQUENCY	300KHz	3MHz	RADIO AM - SISTEMI AEROPORTUALI
HF	HIGH FREQUENCY	3MHz	30MHz	RADIO OC- CB - RADIOCOMANDI - ALLARMI
VHF	VERY HIGH FREQUENCY	30MHz	300MHz	RADIO FM - RADIOAMATORI - TELEVISIONE
UHF	ULTRA HIGH FREQUENCY	300MHz	3GHz	TELEVISIONE - CELLULARI - PONTI RADIO - GPS
SHF	SUPER HIGH FREQUENCY	3GHz	30GHz	RADAR - PONTI RADIO - SATELLITI -
EHF	EXTRA HIGH FREQUENCY	30GHz	300GHz	RADAR - SATELLITI - SONDE SPAZIALI

Numero di banda	Simbolo (Sigla)	Gamma di frequenza	Gamma di lunghezza d'onda	Definizione (onde ...)
4	VLF (Very Low Frequencies)	da 3 KHz a 30 KHz	da 100 Km a 10 Km	miriametriche
5	LF (Low Frequencies)	da 30 KHz a 300 KHz	da 10 Km a 1 Km	chilometriche
6	MF (Medium Frequencies)	da 300 KHz a 3000 KHz	da 1 Km a 0,1 Km	ettometriche
7	HF (High Frequencies)	da 3 MHz a 30 MHz	da 100 m a 10 m	decametriche
8	VHF (Very High Frequencies)	da 30 MHz a 300 MHz	da 10 m a 1 m	metriche
9	UHF (Ultra High Frequencies)	da 300 MHz a 3000 MHz	da 100 cm a 10 cm	decimetriche
10	SHF (Super High Frequencies)	da 3 GHz a 30 GHz	da 10 cm a 1 cm	centimetriche
11	EHF (Extra High Frequencies)	da 30 GHz a 300 GHz	da 10 mm a 1 mm	millimetriche
12	<i>microonde</i>	da 300 GHz a 3000 GHz	da 1 mm a 0,1 mm	decimillimetriche