



Radar

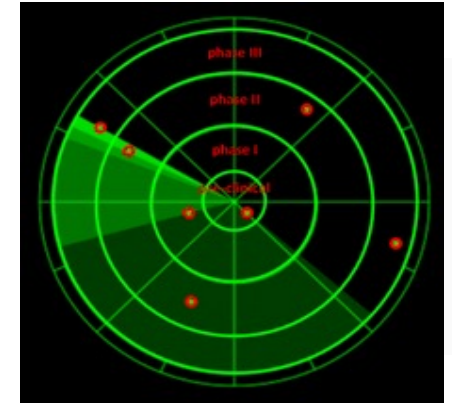
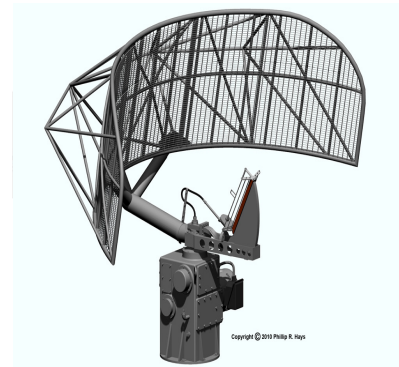
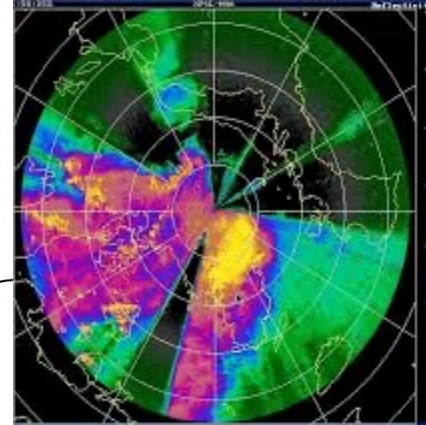
Corso di Laurea Magistrale:
Scienze e Tecnologie della Navigazione

Anno Accademico: 2022/2023

Crediti: 6 CFU

Docente: Giampaolo Ferraioli

Materiale Didattico Online – DM 752-2021



UNIVERSITÀ
PARTHENOPE

DiST

DIPARTIMENTO DI SCIENZE
E TECNOLOGIE





Equazione Radar



+ Sommario

- Equazione Radar
- Segnale Minimo Rilevabile
- Rumore Termico – Rumore Bianco
- Rapporto Segnale Rumore
- Integrazione degli Impulsi
- Sezione Radar
- Ambiguità in Range
- Potenza di Trasmissione
- Risoluzione in Range
- Antenne
- Perdite di Sistema
- Effetti della Propagazione

+ Equazione Radar

La distanza massima a cui un oggetto può essere rivelato, in relazione ai parametri di trasmissione, ricezione e ambientali può essere determinata mediante l'**equazione radar**.

Oltre a fornire la distanza massima, permette la progettazione del sistema

Consideriamo un'antenna isotropica (irradia uniformemente in tutte le direzioni) che trasmette un segnale con potenza P_T

La densità di potenza ad una distanza R dall'antenna è:

$$\frac{P_T}{4\pi R^2}$$

dove $4\pi R^2$ è l'area di una sfera di raggio R

+ Equazione Radar

Le antenne utilizzate sono direttive. Presentano un guadagno in una particolare direzione.

Si definisce **guadagno di un'antenna** G , la misura dell'incremento di potenza che si ha nella direzione del target paragonato alla potenza irradiata nel caso isotropico

La densità di potenza irradiata da un'antenna direttiva è:

$$\frac{P_T G}{4\pi R^2}$$

Il segnale “colpisce” l'oggetto. La misura di quanto l'oggetto sia rivelabile prende il nome di **radar cross section** (rcs) o sezione radar (s). Si misura in m^2 . Maggiore è la rcs più facilmente rilevabile è l'oggetto

+ Equazione Radar

L'oggetto colpito re-irradia il segnale. La densità di potenza del segnale di eco è data da

$$\frac{P_T G}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2}$$

il termine tiene conto della diffusione isotropica della potenza re-irradiata dal target verso il radar. Il radar cattura solo parte della potenza dell'eco.

La potenza ricevuta dal radar è:

$$P_R = \frac{P_T G}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2} A_{eff}$$

dove A_{eff} è **l'area efficace dell'antenna** (rapporto tra potenza consegnata e potenza incidente).

+ Equazione Radar

La massima distanza a cui un oggetto può essere rivelato si ottiene quando la **potenza ricevuta** P_r eguaglia il **segnale minimo rivelabile** S_{\min} (equazione radar)

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G A_{eff} \sigma}{(4\pi)^2 S_{\min}}}$$

Tenendo conto del legame che esiste tra guadagno G e area efficace A_{eff} di un'antenna

$$G = \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2}$$

È possibile riscrivere l'equazione radar nelle seguenti forme.

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{\min}}}$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T A_{eff}^2 \sigma}{4\pi \lambda^2 S_{\min}}}$$

+ Equazione Radar

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G A_{eff} \sigma}{(4\pi)^2 S_{min}}}$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}}}$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T A_{eff}^2 \sigma}{4\pi \lambda^2 S_{min}}}$$

- Peak power transmitted by the Radar, $P_t = 250KW$
- Gain of transmitting Antenna, $G = 4000$
- Effective aperture of the receiving Antenna, $A_e = 4 m^2$
- Radar cross section of the target, $\sigma = 25 m^2$
- Power of minimum detectable signal, $S_{min} = 10^{-12}W$

$$R_{Max} = \left[\frac{(250 \times 10^3) (4000) (25) (4)}{(4\pi)^2 (10^{-12})} \right]^{1/4}$$

$$\Rightarrow R_{Max} = 158 KM$$

+ Equazione Radar

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G A_{eff} \sigma}{(4\pi)^2 S_{min}}}$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}}}$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T A_{eff}^2 \sigma}{4\pi \lambda^2 S_{min}}}$$

- Operating frequency, $f = 10\text{GHZ}$
- Peak power transmitted by the Radar, $P_t = 400\text{KW}$
- Effective aperture of the receiving Antenna, $A_e = 5\text{ m}^2$
- Radar cross section of the target, $\sigma = 30\text{ m}^2$
- Power of minimum detectable signal, $S_{min} = 10^{-10}\text{W}$

$$R_{Max} = \left[\frac{(400 \times 10^3) (30) (5^2)}{4\pi(0.003)^2(10)^{-10}} \right]^{1/4}$$

$$\Rightarrow R_{Max} = 128\text{KM}$$

+ Equazione Radar

L'equazione radar non fornisce le performance in range del sistema con elevata accuratezza.

La stima della massima distanza a cui un oggetto può essere rivelato è ottimistica. Non tiene conto:

- possibili perdite di sistema
- natura aleatoria della sezione radar e del minimo segnale rivelabile
- rumore

In alcuni casi la distanza massima effettiva è pari alla metà di quella fornita dall'equazione radar.

È impossibile descrivere le performance di un radar con un singolo numero

+ Segnale Minimo Rilevabile

Il **Segnale minimo rivelabile** è il più piccolo segnale rivelabile dal ricevitore del sistema radar.

La sua definizione è difficile a causa della sua natura aleatoria e a causa del criterio utilizzato per stabilire se il target è presente o meno.

La detection del target viene effettuata sulla base di una soglia:

Segnale RX > soglia **TARGET**

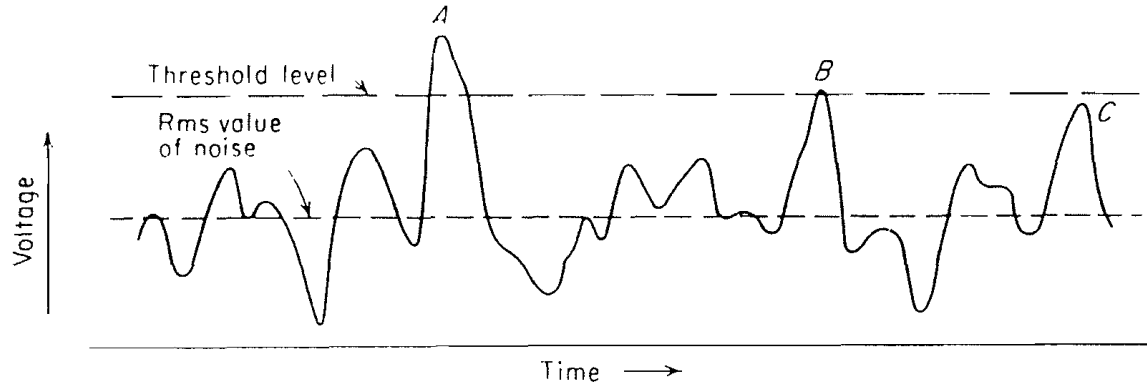
Segnale RX < soglia **NO TARGET**

+ Segnale Minimo Rilevabile

La scelta della soglia è particolarmente delicata.

Soglia troppo alta: segnale RX non la supera

Soglia troppo bassa: difficile determinare la presenza di target

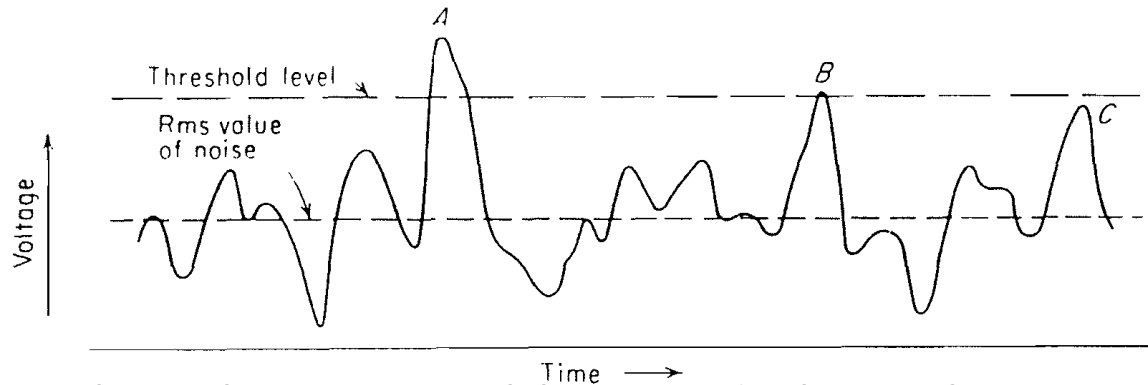


Target A: **detected**

Target B: **detected**

Target C: **missed**

+ Segnale Minimo Rilevabile



È possibile rivelare il Target C abbassando la soglia.

Problema: aumenta la possibilità che il solo rumore superi la soglia (falso allarme – **false alarm**)

- Soglia bassa: falsi target
- Soglia alta: target persi (**misses**)

A seconda dei casi occorre un compromesso tra le due situazioni

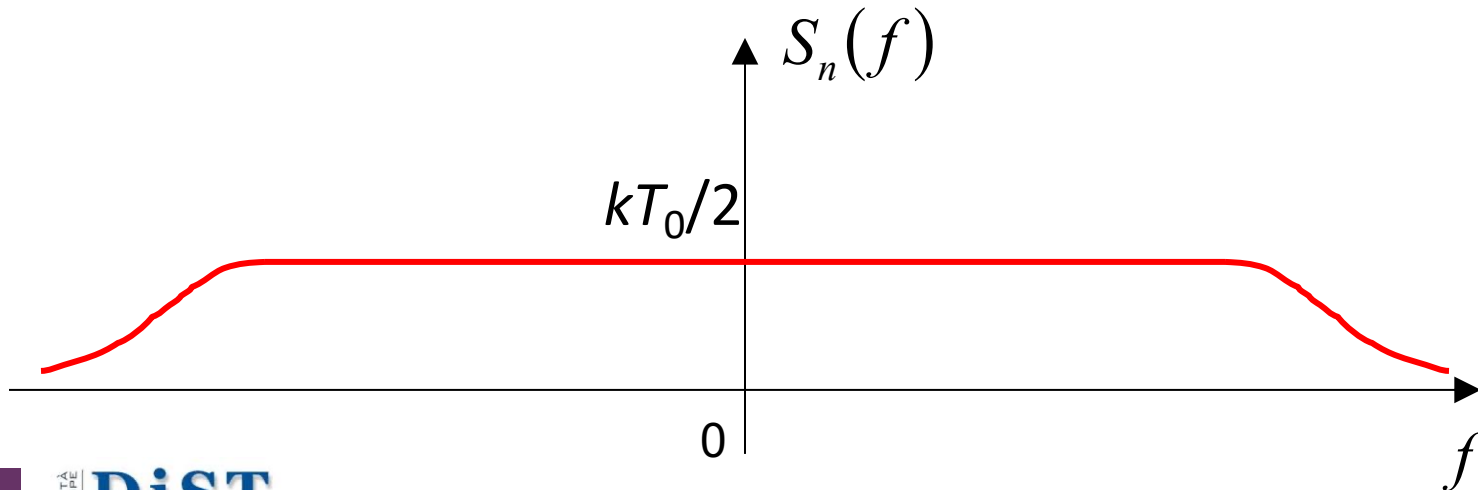
Questi problemi sono legati al rapporto tra il segnale e il rumore

+ Rumore Termico

Secondo la meccanica quantistica il **rumore termico** è un processo aleatorio a media nulla, con densità spettrale pari a:

$$S_n(f) = \frac{\hbar f}{2(e^{\frac{\hbar f}{kT}} - 1)} = \frac{kT_0}{2}$$

\hbar è la costante di Planck (6.6×10^{-34} J x s), k è la costante di Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K), e T_0 è la temperatura in gradi Kelvin. Lo spettro assume valore massimo $kT_0/2$ in $f=0$.



+ Rumore Termico

Si mantiene approssimativamente costante fino a circa $f=2 \times 10^{12}$ Hz=2 THz, frequenza in genere molto più grande di quelle normalmente usate nelle telecomunicazioni elettriche convenzionali.

Oltre tale valore di frequenza lo spettro tende a zero al tendere di f all'infinito.

Quindi, da un punto di vista pratico il rumore termico può essere considerato come un processo bianco avente densità spettrale di potenza (bilatera) pari a $kT_0/2$, purché si lavori a frequenza minore di 1-2 THz.

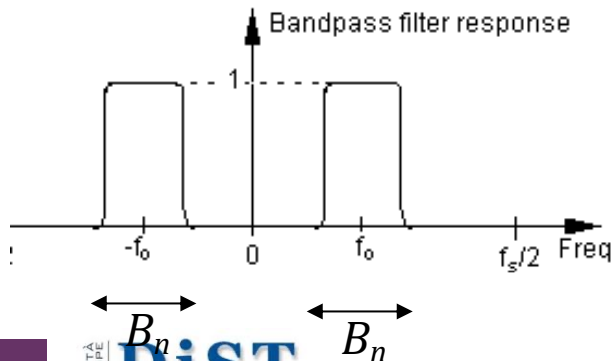
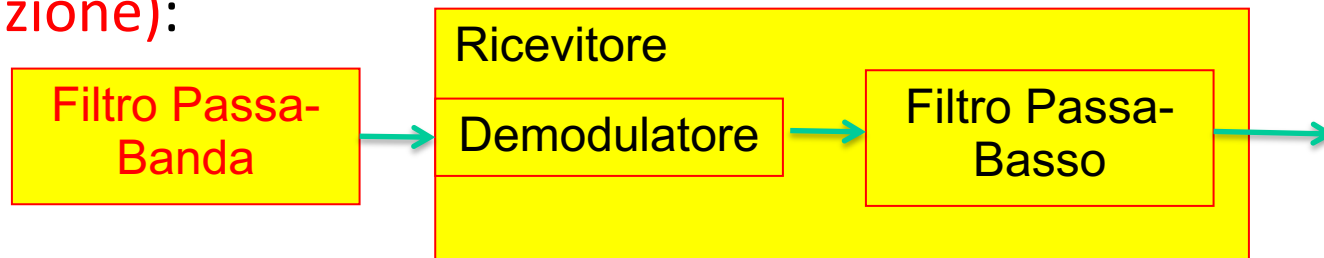
Il **rumore termico**, quello sempre presente nei dispositivi elettrici ed elettronici che “lavorano” ad una temperatura che non sia lo zero assoluto 0°K, è un esempio di processo che entro certi limiti può essere modellizzato come processo bianco. In questo caso parleremo di **rumore bianco**.

+ Rapporto Segnale Rumore

Il **Rapporto Segnale-Rumore** (**SNR** – Signal to Noise Ratio) mette in relazione la potenza di segnale utile rispetto a quella del rumore.

L'obiettivo è quello di trovare l'SNR minimo che fornisca un'adeguata detection dei target senza eccedere nei falsi allarmi.

Consideriamo il sistema all'uscita del filtro **Passa-Banda** (filtro di pre-demodulazione):



Il Filtro Passa-Banda è centrato sulla frequenza di funzionamento f_0 e di Banda B_n (uguale alla banda del segnale utile)

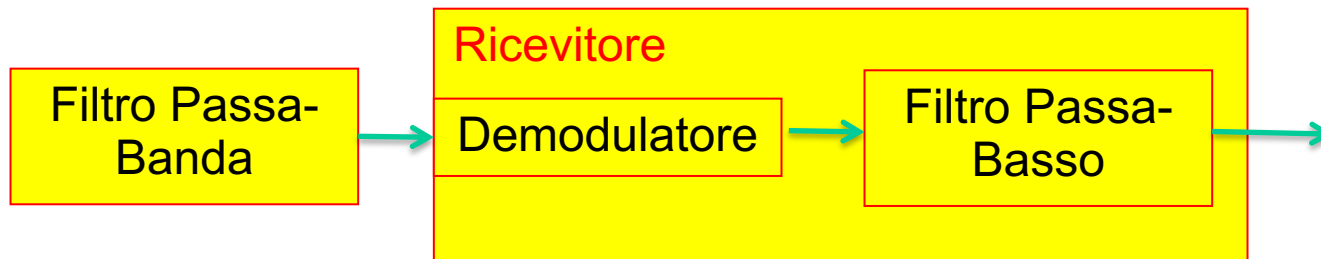
+ Rapporto Segnale Rumore

L'effetto del Filtro Passa-Banda è quello di eliminare il rumore all'esterno della Banda di interesse. Il filtro è necessario per evitare che la Potenza di rumore in ingresso al Ricevitore sia infinita.

La potenza di rumore in uscita dal Filtro Passa Banda è

$$N_i = \int_{-\infty}^{+\infty} S_n(f) df = 2 \int_{f_0 - \frac{B_n}{2}}^{f_0 + \frac{B_n}{2}} \left(\frac{kT_0}{2} \right) df = kT_0 B_n$$

Il rumore, a potenza finita, entra, quindi, nel ricevitore



Il ricevitore è caratterizzato da due quantità: il **Guadagno di Amplificazione** G_a e la **Cifra di Rumore** F_n

+ Rapporto Segnale Rumore

Il Guadagno di amplificazione G_a è il rapporto tra segnale di uscita (S_o) e il segnale di ingresso (S_i)

$$G_a = \frac{S_o}{S_i}$$

La cifra di rumore tiene conto delle altre sorgenti di rumore ed è definita come il rapporto tra la potenza di uscita di un ricevitore reale (N_o) e la potenza di uscita di un ricevitore ideale.

$$F_n = \frac{N_o}{kT_0 B_n G_a}$$

La cifra di rumore può essere scritta anche nel seguente modo:

$$F_n = \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S_o}{N_o}}$$

La cifra di rumore è una misura della degradazione dell'SNR $\left(\frac{S}{N}\right)$, nel passare all'interno del ricevitore.

+ Rapporto Segnale Rumore

La potenza di rumore in uscita al ricevitore è, quindi, pari a:

$$N_0 = F_n k T_0 B_n G_a$$

Dalla quale è possibile ricavare il segnale di ingresso al ricevitore

$$S_i = \frac{k T_0 B_n F_n S_0}{N_0}$$

Il segnale minimo rilevabile è il valore del segnale di ingresso corrispondente al minimo rapporto segnale rumore in uscita dal ricevitore necessario per effettuare la detection

$$S_{min} = k T_0 B_n F_n \left(\frac{S_0}{N_0} \right)_{min}$$

+ Rapporto Segnale Rumore

L'equazione radar diventa:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_T G A_{\text{eff}} \sigma}{(4\pi)^2 k T_o B_n F_n \left(\frac{S_o}{N_o}\right)_{\min}}}$$

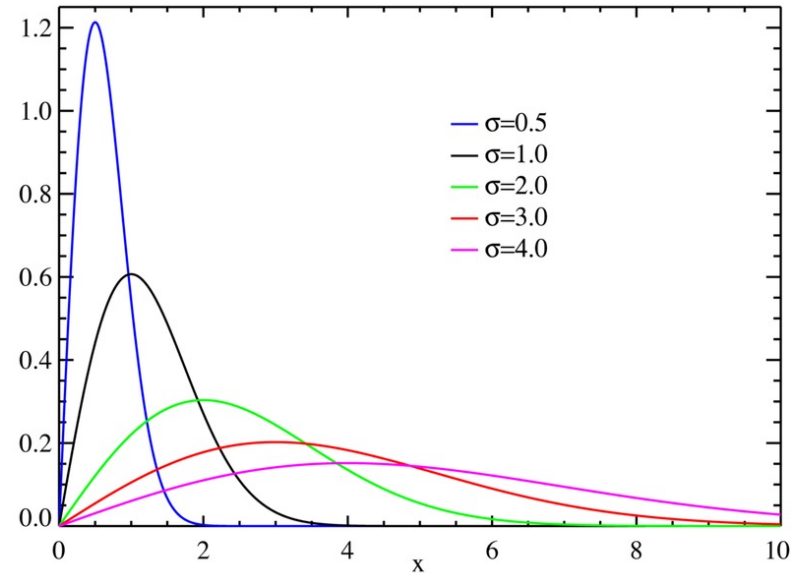
L'SNR minimo deve essere in grado di fornire un'adeguata capacità di detection (**probabilità di detection**) dei target senza determinare eccessivi falsi bersagli (**probabilità di falso allarme**).

Una volta trovato, tale SNR può essere inserito nell'equazione radar per determinare la massima distanza a cui un target è rivelabile con assegnati valori di probabilità di falso allarme e probabilità di detection.

+ Detection

Il rumore (n) in ingresso al filtro passa-basso, fissato un istante di tempo, può essere modellizzato mediante una **Gaussiana** a media nulla e deviazione standard σ . In uscita dal filtro la densità di probabilità del rumore è quella di una variabile aleatoria **Rayleigh** di parametro σ .

$$f_N(n) = \frac{n}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{n^2}{2\sigma^2}\right)$$



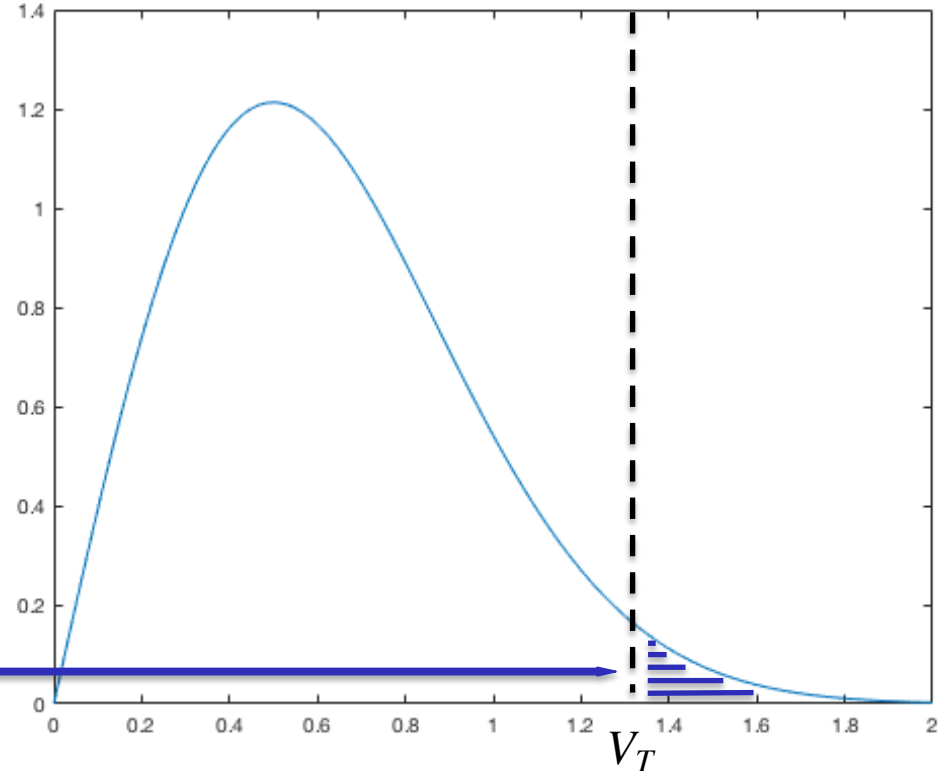
Al variare del parametro la pdf cambia il suo andamento.
All'aumentare del parametro aumenta la dispersione della v.a.

+ Detection

La **probabilità di falso allarme** è la probabilità che il rumore (n) superi la soglia fissata V_T . Consideriamo la pdf di n , per un fissato valore del parametro σ

$$P_{fa} = P(n > V_T)$$

$$P_{fa} = \int_{V_T}^{\infty} f_N(n) dn$$



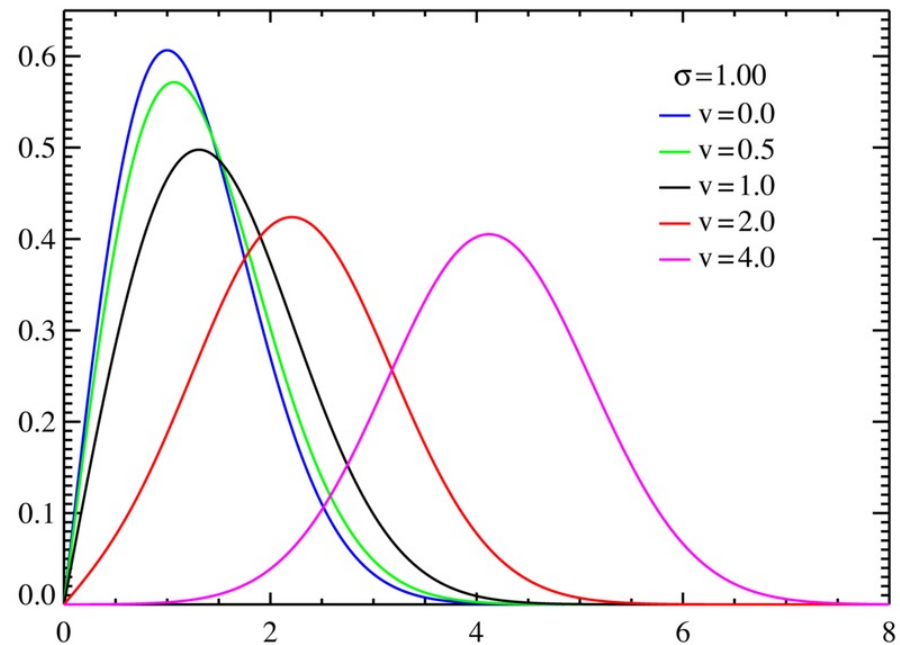
Una soglia alta permette di diminuire la probabilità di f.a.

+ Detection

Consideriamo il caso in cui in ingresso al ricevitore c'è un segnale di ampiezza A sommato al rumore ($r = s + n$).

Il segnale complessivo (segnale utile + rumore) di uscita al filtro passa-banda, in un fissato istante di tempo, può essere descritto da una variabile aleatoria di tipo Rice.

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + v^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{rv}{\sigma^2}\right)$$



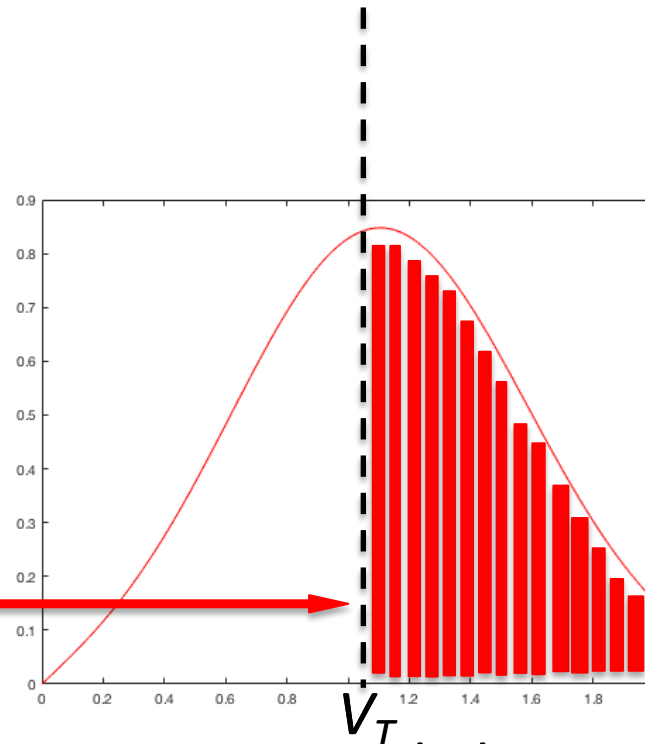
+ Detection

La probabilità di detection (P_d) è la probabilità che il segnale complessivo superi la soglia. La probabilità di missed (P_M) è la probabilità che il segnale complessivo non superi la soglia

$$P_d = P(s + n > V_T)$$

$$P_M = P(s + n < V_T)$$

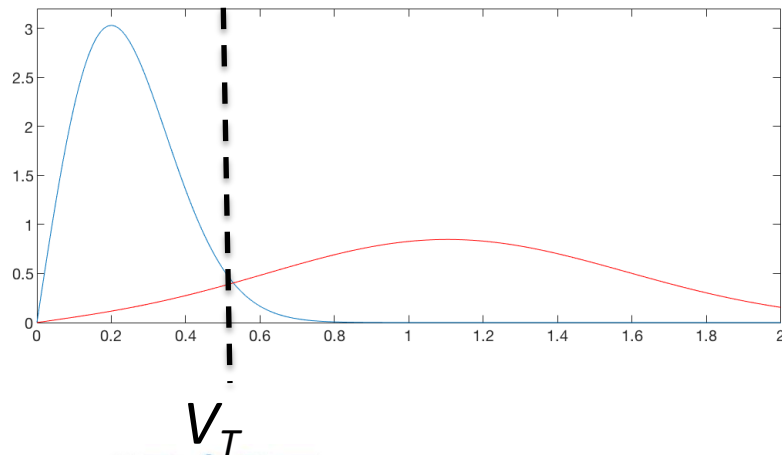
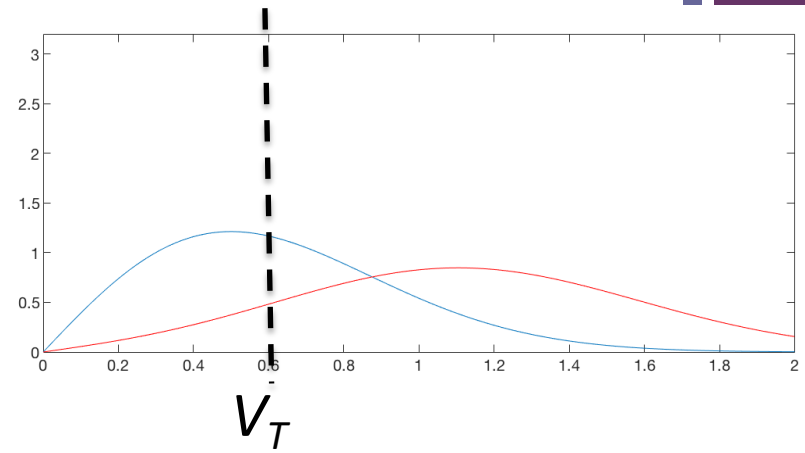
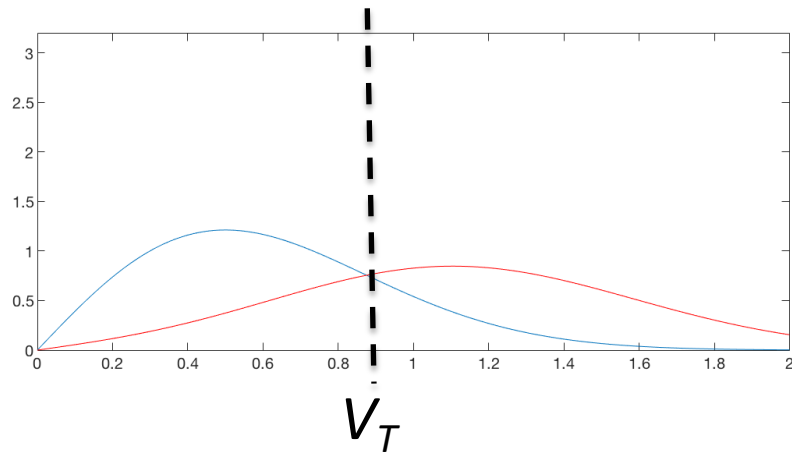
$$P_d = \int_{V_T}^{\infty} f_R(r) dr$$



Una soglia bassa permette di diminuire la probabilità di missed e di aumentare la probabilità di detection.

+ Detection

Al diminuire della soglia aumenta la probabilità di detection ma aumenta anche la probabilità di falso allarme



Si possono migliorare le prestazioni migliorando l'SNR (se diminuisce il rumore o se aumenta il segnale)

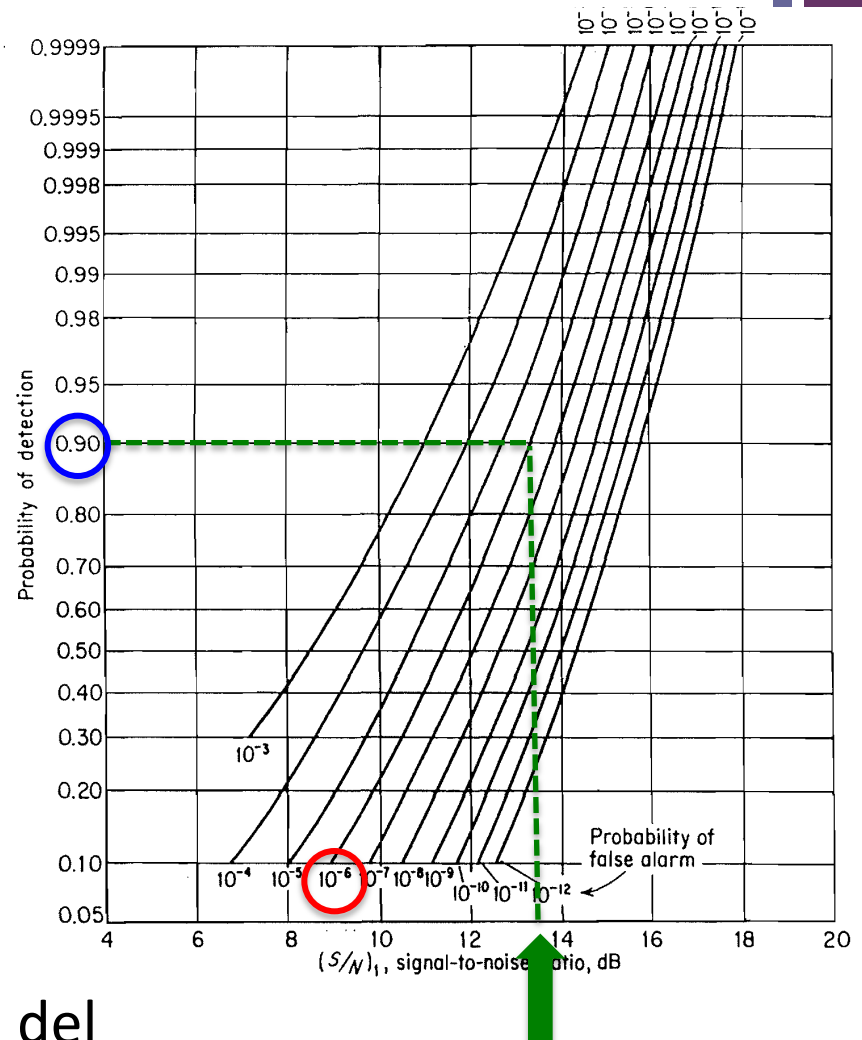
+ Detection

Fissata una certa probabilità di detection, posso diminuire la probabilità di falso allarme, aumentando l'SNR.

Probabilità di **detection** e probabilità di **falso allarme** sono fissate dalle specifiche del sistema.

Si calcola l'SNR minimo necessario per garantire tali specifiche

Si determina la massima portata del sistema radar (equazione radar)



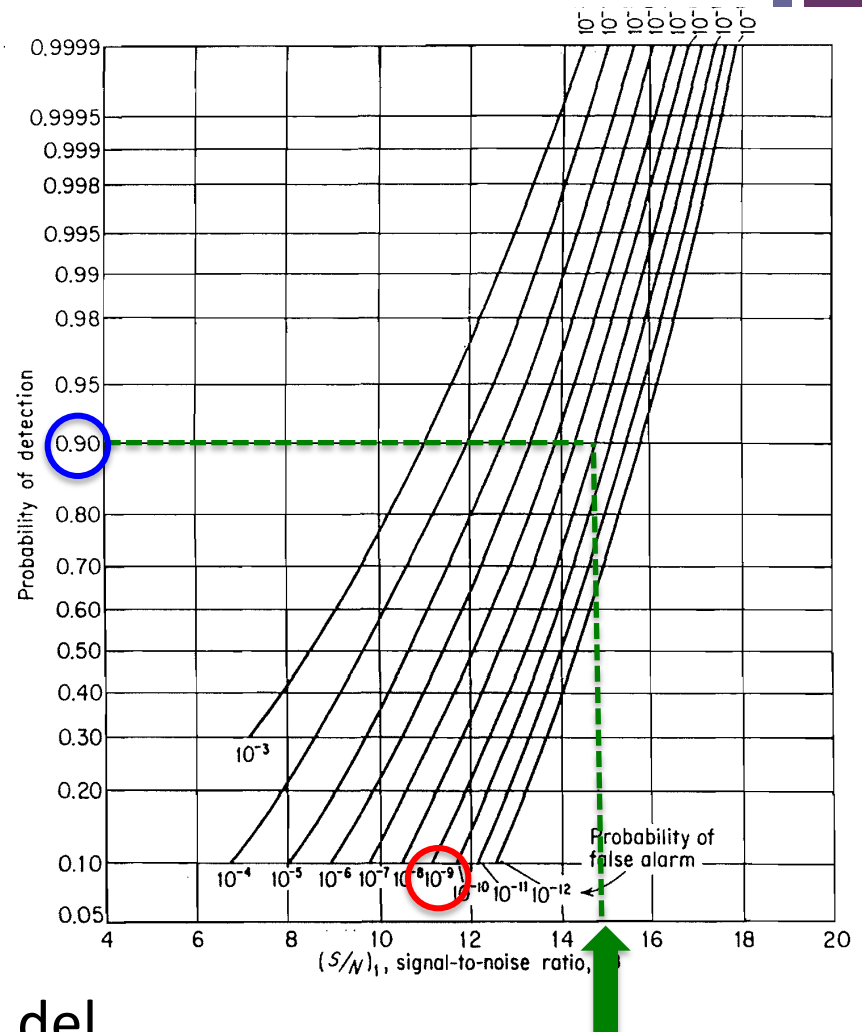
+ Detection

Fissata una certa probabilità di detection, posso diminuire la probabilità di falso allarme, aumentando l'SNR.

Probabilità di **detection** e probabilità di **falso allarme** sono fissate dalle specifiche del sistema.

Si calcola l'SNR minimo necessario per garantire tali specifiche

Si determina la massima portata del sistema radar (equazione radar)



+ Integrazione degli Impulsi

La formula dell'equazione radar trovata si applica nel caso di un singolo impulso.

In generale, molti impulsi vengono re-irradiati dal target verso il radar. Tali impulsi possono essere utilizzati al fine di migliorare le performance.

Il numero di impulsi re-irradiati da un target è dato da:

$$n = \frac{\theta_B f_p}{\theta_S}$$

θ_B fascio di antenna, f_p frequenza di ripetizione impulsi, θ_S scanning rate

$$\begin{aligned}\theta_B &= 1.5^\circ \\ f_p &= 300 \text{ Hz} \\ \theta_S &= 30^\circ / \text{s}\end{aligned}$$

+ Integrazione degli Impulsi

Gli impulsi possono essere integrati coerentemente o non coerentemente.

L'efficienza di integrazione è calcolata nel seguente modo:

$$E_i(n) = \frac{(S/N)_1}{n(S/N)_n}$$

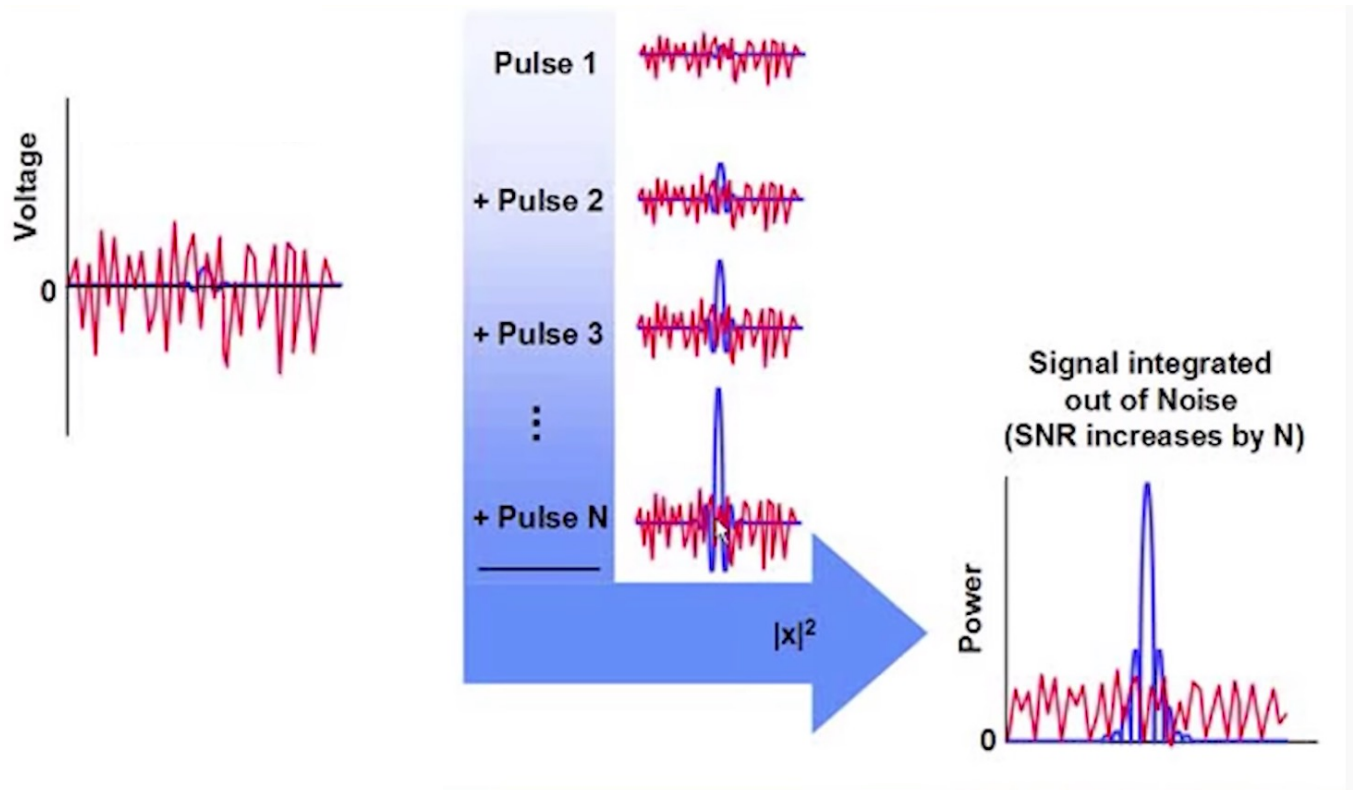
$(S/N)_1$ è il valore dell'SNR di un singolo impulso richiesto per produrre una determinata probabilità di detection.

$(S/N)_n$ è il valore dell'SNR per singolo impulso richiesto per produrre una determinata probabilità di detection, quando n impulsi sono utilizzati.

Il **fattore di miglioramento** dell'SNR nel caso di più impulsi integrati è $E_i(n)n$. Nel caso ideale è $= n$. **Nella pratica è $< n$**

+ Integrazione degli Impulsi

$$E_i(n) = \frac{(S/N)_1}{n(S/N)_n}$$



+ Integrazione degli Impulsi

Sfruttando l'integrazione di n impulsi re-irradiati dal target è possibile modificare l'equazione radar.

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G A_{eff} \sigma}{(4\pi)^2 k T_o B_n F_n \left(\frac{S_o}{N_o}\right)_n}}$$

Dove $(S/N)_n$ è l'SNR di uno degli n impulsi uguali che integrati mi permettono di garantire una data probabilità di detection.

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G A_{eff} \sigma n E_i(n)}{(4\pi)^2 k T_o B_n F_n \left(\frac{S_o}{N_o}\right)_1}}$$

Nel caso ideale è possibile aumentare di un fattore proporzionale ad n la massima portata del radar, rispetto al caso singolo impulso. Nel caso reale di una quantità $< n$.

+ Sezione Radar

L'area dell'oggetto che intercetta la potenza trasmessa dall'antenna e la re-irradia prende il nome di **radar cross section** (rsc) o sezione radar s.

È una misura di quanto l'oggetto sia rivelabile. Si misura in m^2 . Maggiore è la rsc più facilmente rilevabile è l'oggetto.

Nell'equazione radar si suppone che un target assorba una certa potenza e la re-irradi uniformemente in tutte le direzioni (**isotropico**).

Il comportamento di backscattering (retro-diffusione) di un target dipende da diversi fattori (la sezione radar è fortemente variabile): forma, materiale, dimensioni, direzione di arrivo del segnale...

+ Sezione Radar

L'area dell'oggetto che intercetta la potenza trasmessa dall'antenna e la re-irradia prende il nome di **radar cross section** (rcs) o sezione radar s.

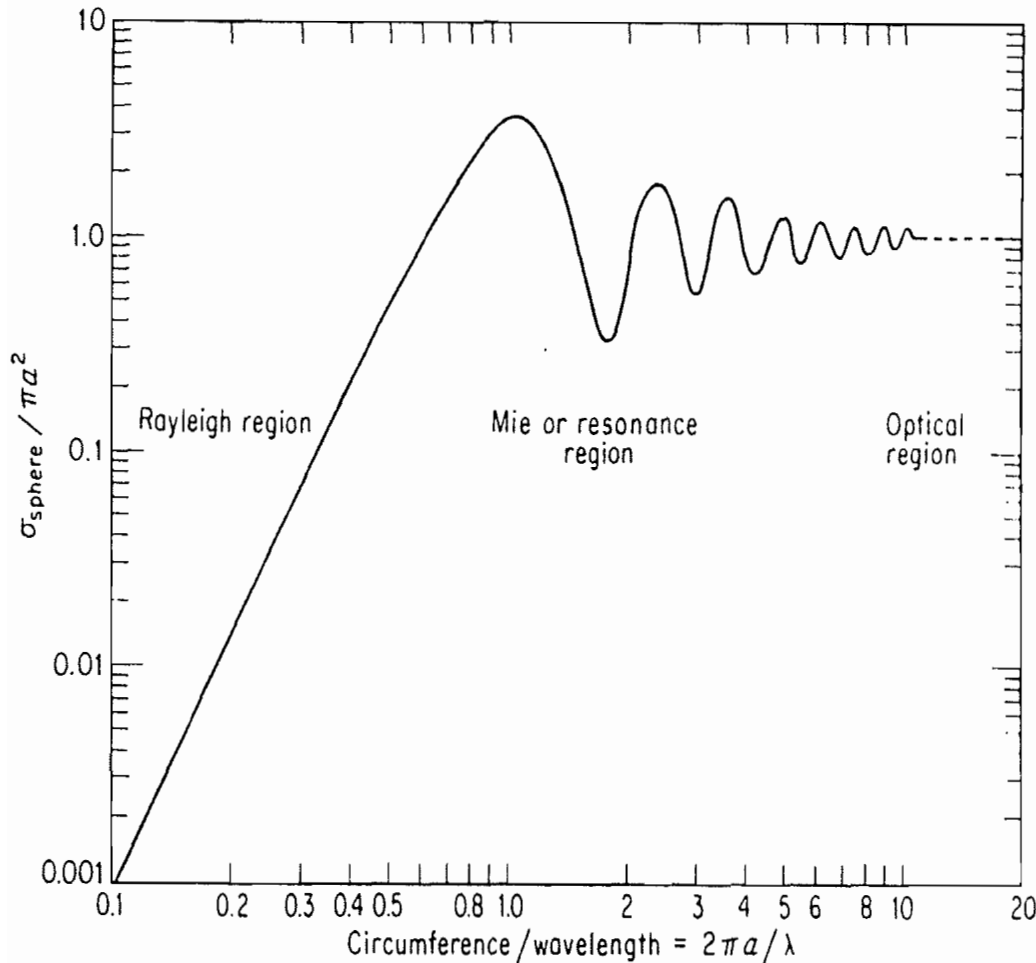
È una misura di quanto l'oggetto sia rivelabile. Si misura in m^2 . Maggiore è la rcs più facilmente rilevabile è l'oggetto.

Nell'equazione radar si suppone che un target assorba una certa potenza e la re-irradi uniformemente in tutte le direzioni (**isotropico**).

Il comportamento di backscattering (retro-diffusione) di un target dipende da diversi fattori (la sezione radar è fortemente variabile): forma, materiale, dimensioni, direzione di arrivo del segnale...

+ Sezione Radar

Consideriamo la sezione radar di una sfera



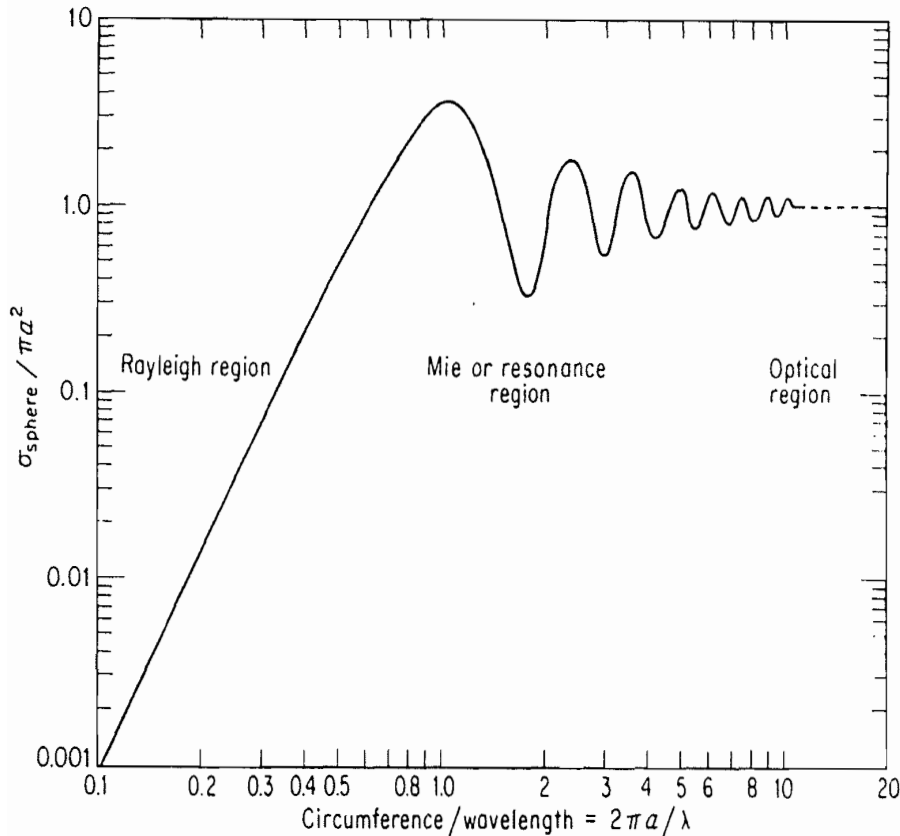
Rayleigh (dimensione della sfera piccola rispetto alla lunghezza d'onda)

Mie (dimensione sfera comparabile con la lunghezza d'onda)

Optical (dimensione sfera grande rispetto alla lunghezza d'onda)

+ Sezione Radar

Regione Rayleigh



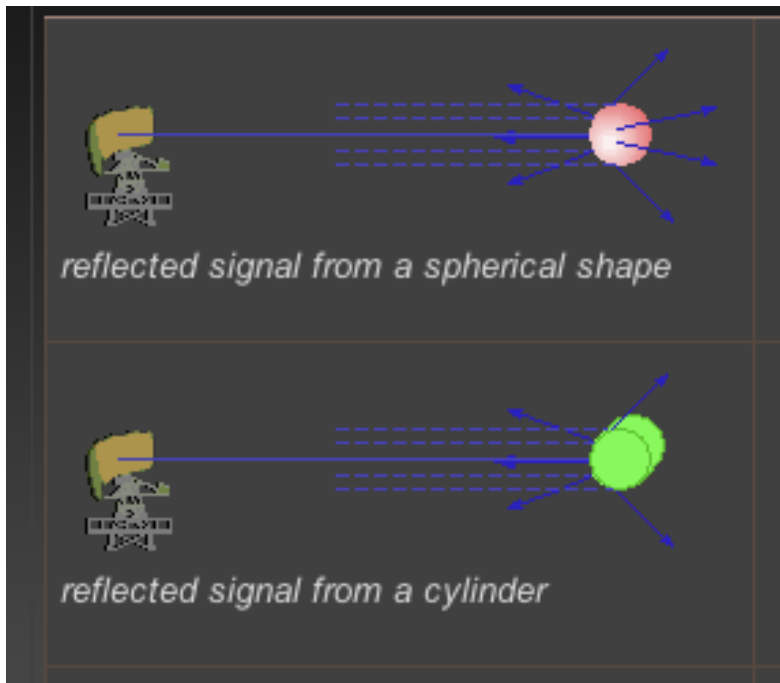
In questa regione cadono le particelle di acqua (piccole rispetto a λ) alle frequenze radar.

I target sono normalmente più grandi.

Diminuire la frequenza (aumentare la λ) al fine di eliminare l'effetto delle gocce di acqua (bassa sezione radar) non è un problema per la detection dei target (alta sezione radar).

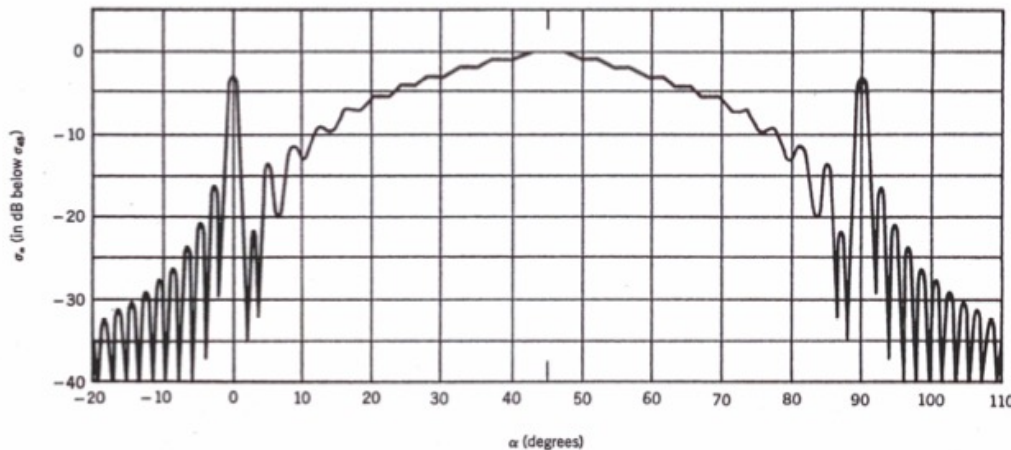
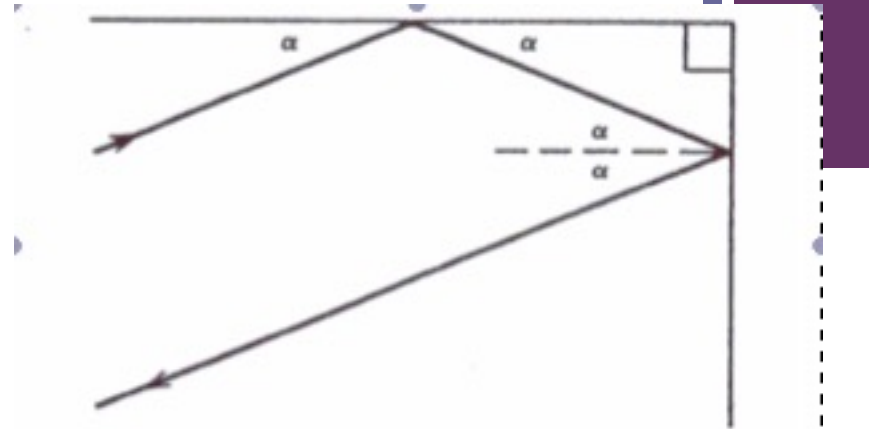
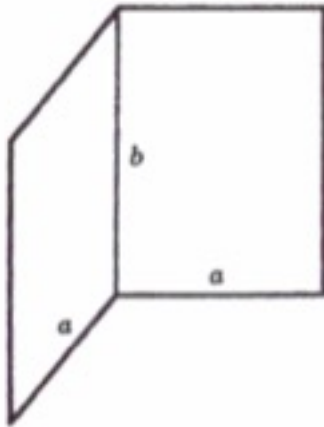
+ Sezione Radar

La sfera è un caso particolare. Riflette sempre alla stesso modo indipendentemente dalla direzione da cui la si guarda



+ Sezione Radar

Corner reflector



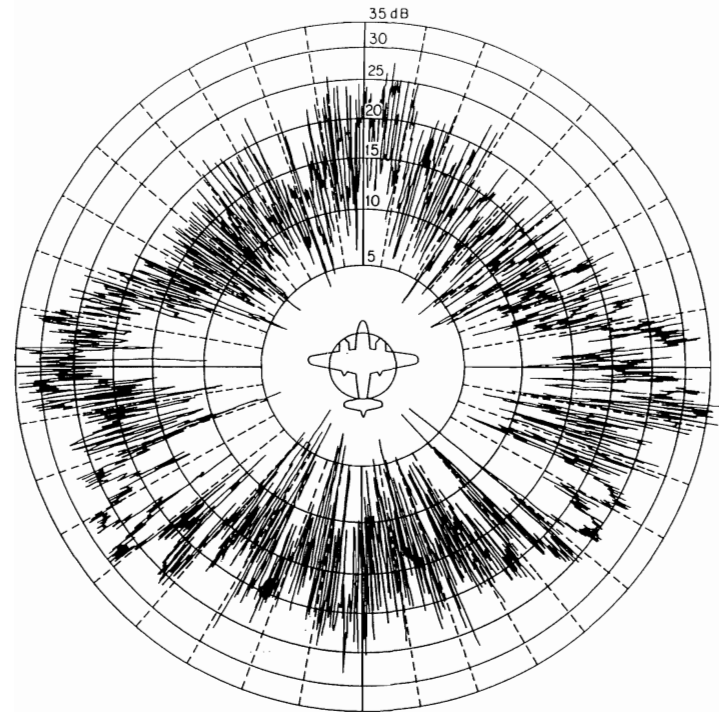
Indipendentemente dal valore di a dopo due riflessioni il raggio riflesso esce parallelo al raggio incidente.

Si hanno ritorni anche per $a=0^\circ$ e 90° , e $a<0^\circ$ e $>90^\circ$ (prima di eventuali zone di ombra)

+ Sezione Radar

La sezione radar di oggetti complessi viene determinata in maniera **empirica** o descritta in maniera **statistica**

Sezione radar empirica di un aereo B-26 misurata per $\lambda=10$ cm



Si utilizzano modelli in miniatura

+ Sezione Radar

Bersagli complessi sono normalmente caratterizzati da una sezione radar fluttuante (**bersagli fluttuanti**)

Un modo efficiente per caratterizzare la rcs è quello di caratterizzarla **statisticamente**. La rcs è caratterizzabile mediante una densità di probabilità (**pdf**) e mediante la funzione di autocorrelazione (**acf**).

La pdf indica quali sono i valori più probabili di σ

L'acf indica con che rapidità varia la σ

+ Sezione Radar

PDF

La σ viene descritta mediante due possibili variabili aleatorie:
esponenziale e **chi-quadro**

$$f(\sigma) = \frac{1}{\sigma_{av}} \exp\left(-\frac{\sigma}{\sigma_{av}}\right) u(\sigma)$$

Utilizzata per target complessi costituiti da **più scatteratori** (elementi) aventi la **stessa area riflettente**.

$$f(\sigma) = \frac{4\sigma}{\sigma_{av}^2} \exp\left(-\frac{2\sigma}{\sigma_{av}}\right) u(\sigma)$$

Utilizzata per target complessi costituiti da **uno scatteratore dominante** rispetto agli altri.

σ_{av} è il valore medio (da inserire nell'equazione radar)

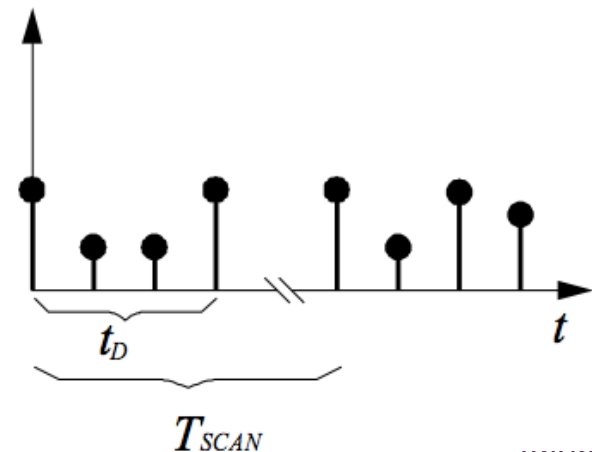
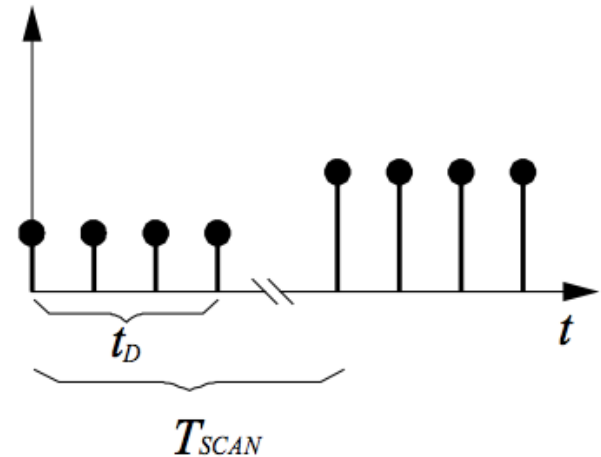
+ Sezione Radar

ACF

La funzione di autocorrelazione fornisce indicazioni circa la velocità di variazione delle fluttuazioni

Fluttuazioni lente: echi ricevuti sono di ampiezza costante durante la scansione, ma incorrelati da scansione a scansione

Fluttuazioni veloci: echi ricevuti sono incorrelati da impulso ad impulso



+ Sezione Radar

Sulla base della pdf e dell'acf viene effettuata una classificazione dei bersagli basata su 4 modelli (modelli di Swerling)

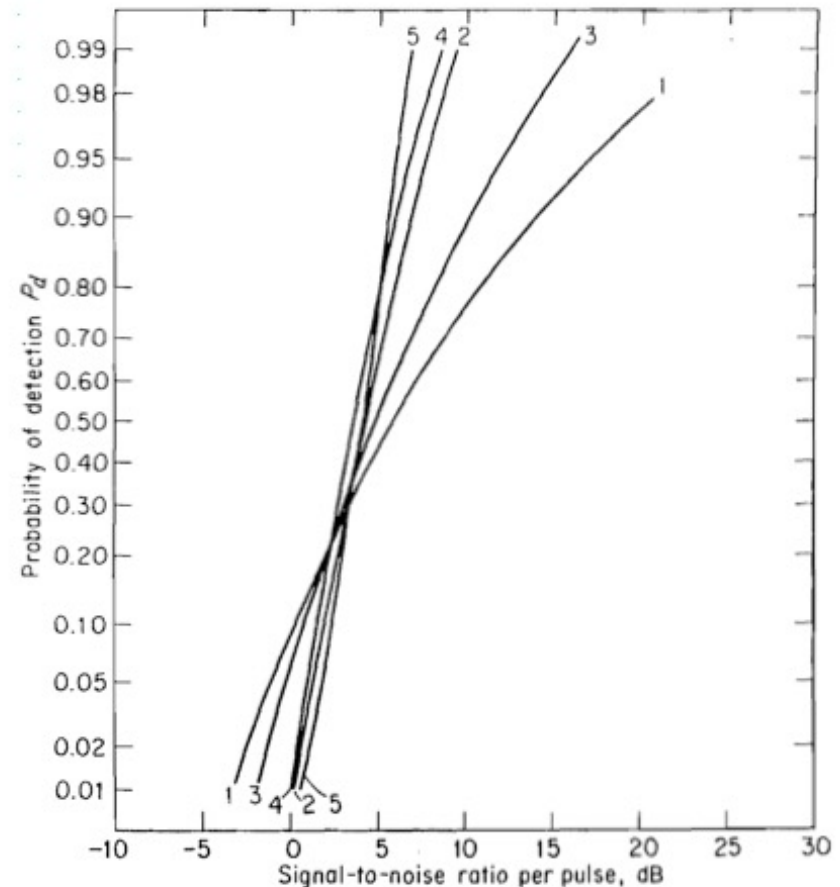
Swerling 1: distribuzione esponenziale, fluttuazioni lente

Swerling 2: distribuzione esponenziale, fluttuazioni rapide

Swerling 3: distribuzione chi quadro, fluttuazioni lente

Swerling 4: distribuzione chi quadro, fluttuazioni rapide

Swerling 5: no fluttuazioni



$n=10$ impulsi, P_{fa} fissata

+ Sezione Radar

Si fissa la p_d e la p_f , si determina l'SNR con un singolo impulso, con target non fluttuante.

Si aggiunge, mediante, opportune curve, un fattore che tiene conto delle **fluttuazioni** per il modello Swerling considerato rispetto al caso non fluttuante

Si determina il **fattore di miglioramento** dovuto all'integrazione di n impulsi, per il dato modello Swerling (il fattore di miglioramento sarà, chiaramente, inferiore a quello ideale)

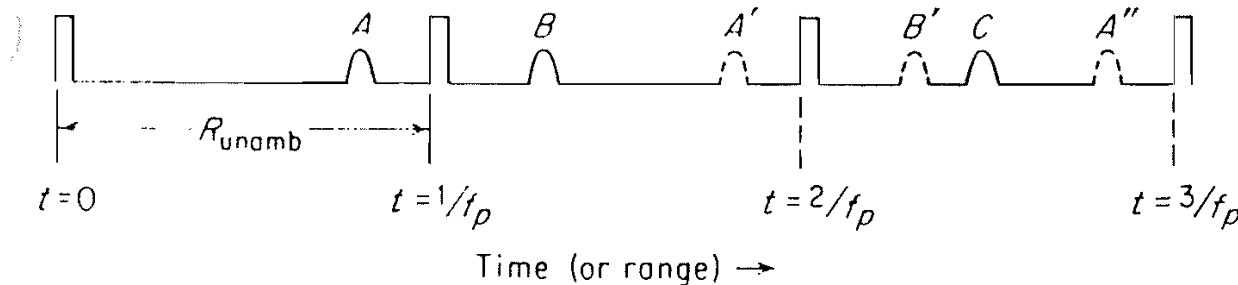
+ Ambiguità in Range

La frequenza di ripetizione degli impulsi è determinata dalla massima distanza a cui un target è “atteso”.

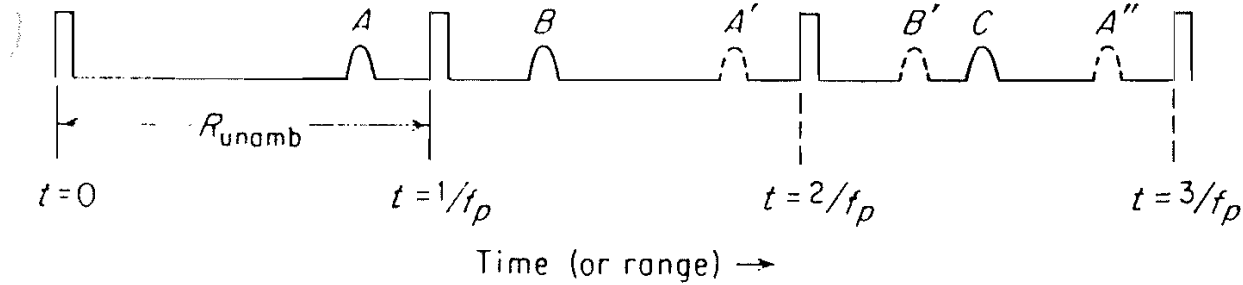
$$R_{unamb} = \frac{cTp}{2} = \frac{c}{2f_p}$$

La frequenza deve permettere la ricezione degli echi ed evitare ambiguità (**echi di seconda traccia**).

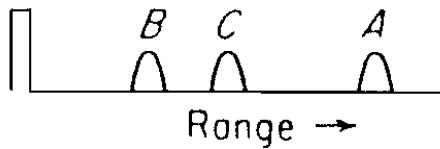
Consideriamo 3 target (A, B, C). Solo A è all'interno del range non ambiguo)



+ Ambiguità in Range



I 3 target appariranno sul video nel seguente modo:



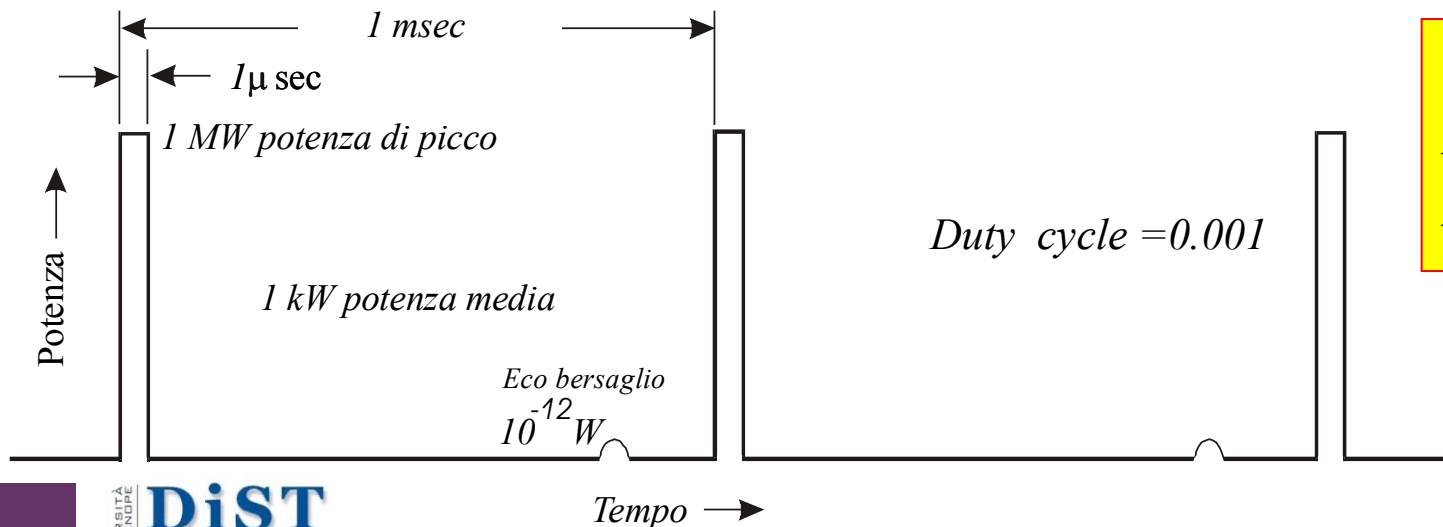
Un metodo per eliminare gli echi di seconda traccia è quello di variare ogni volta la frequenza di ripetizione

+ Potenza di Trasmissione

Spesso si fa riferimento alla **potenza media** al posto della **potenza di picco**. La potenza media è definita come:

$$P_m = P_T \frac{\tau}{T_p}$$

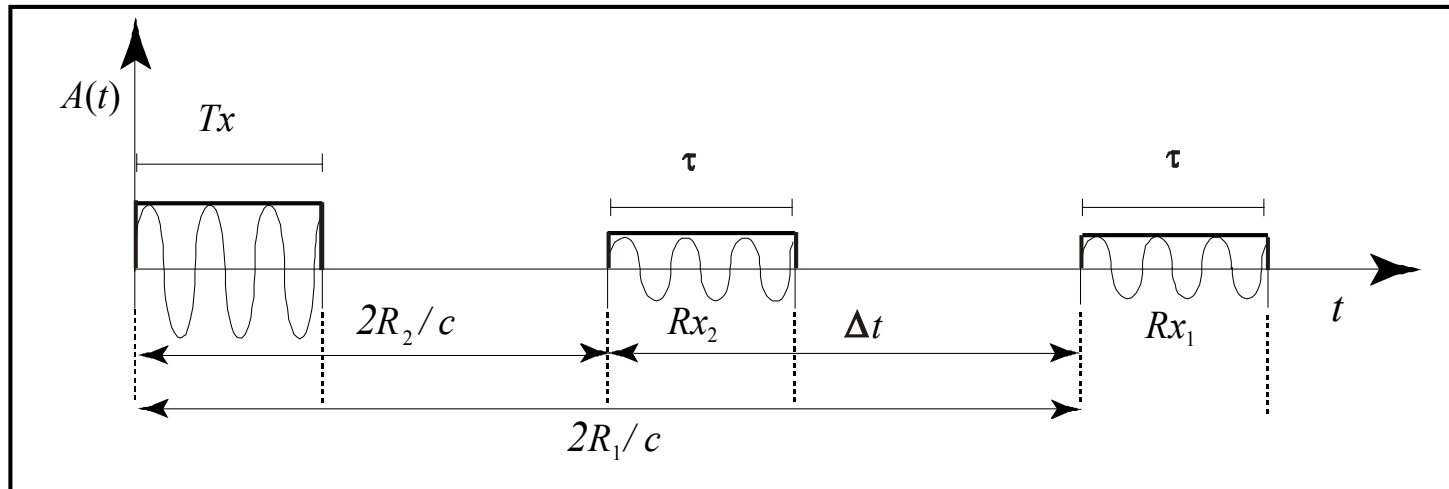
dove T_p periodo di ripetizione degli impulsi e τ è la durata del singolo impulso. Il rapporto tra durata dell'impulso e periodo di ripetizione prende il nome di **duty cycle** δ



+ Risoluzione in Range

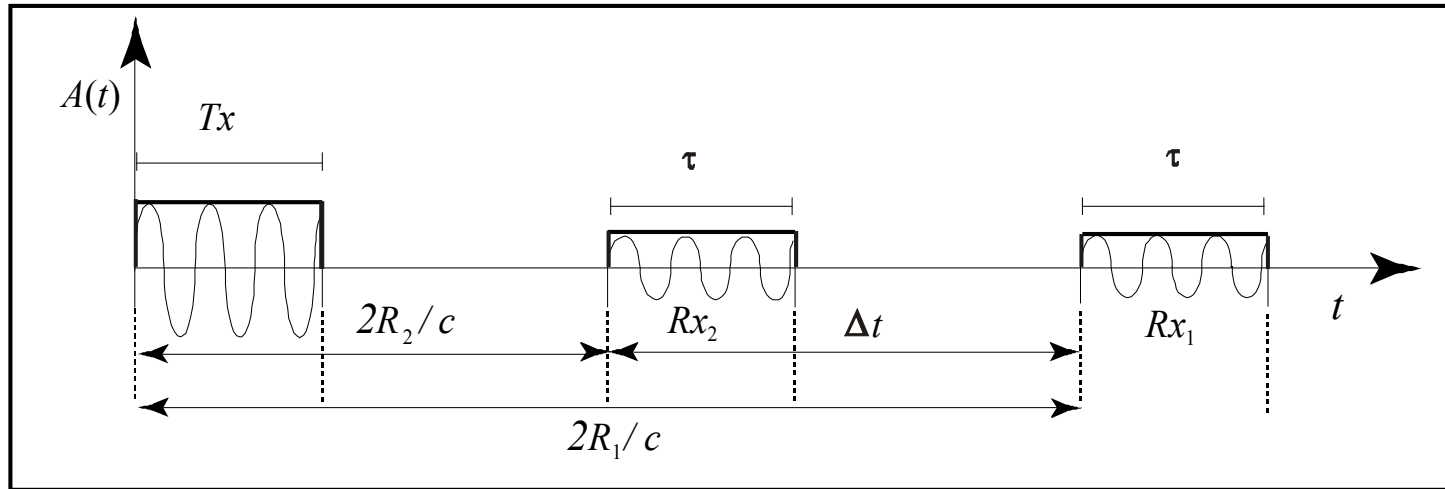
La **risoluzione** è legata al concetto di discriminazione di due o più oggetti. Discriminare due oggetti significa che i due oggetti vengano visti dal radar mediante **due echi differenti**.

Consideriamo la trasmissione di un impulso e la ricezione di due impulsi relativi a due target a distanza R_1 e R_2



È possibile discriminare i due oggetti solo se i due impulsi ricevuti non si sovrappongono.

+ Risoluzione in Range



È possibile discriminare i due oggetti solo se le misure in range dei due oggetti sono tali che:

$$R_1 - R_2 > R_{\min} = c\tau / 2$$

Ovvero la distanza tra i due impulsi ricevuti deve essere:

$$\Delta t = 2R_1 / c - 2R_2 / c \geq \tau$$

Si può migliorare la risoluzione diminuendo la durata dell'impulso, diminuendo però la potenza (e quindi la portata)

+ Parametri di Antenna

Le antenne normalmente utilizzate nei sistemi radar sono **antenne direttive**.

Il **guadagno di antenna** è il rapporto tra la densità di potenza in una determinata direzione e la densità di potenza irradiata nella medesima direzione da un'antenna isotropica

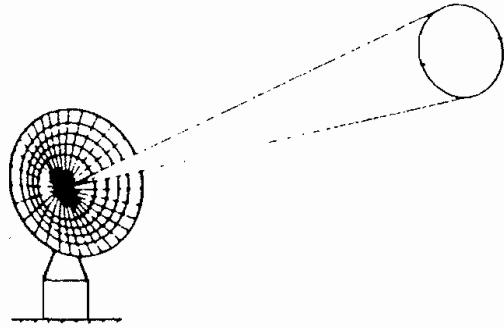
$$G(\theta, \phi) = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{D_T(R, \theta, \phi)}{D_{iso}(R)}$$

È la misura dell'incremento di potenza che si ha nella direzione del target (D_T) paragonato alla potenza irradiata nel caso isotropico (D_{iso}).

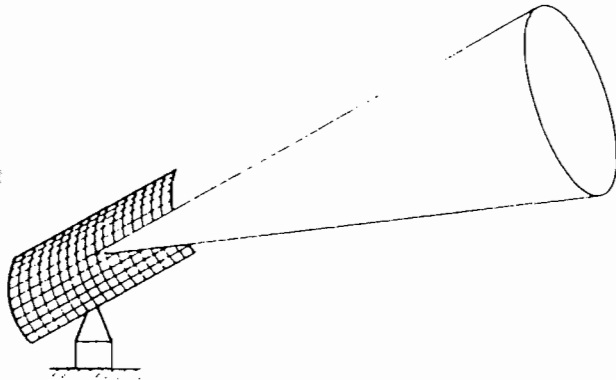
È una **funzione della direzione**. Se è maggiore dell'unità in una determinata direzione, sarà minore in altre (conservazione dell'energia)

+ Parametri di Antenna

I fasci di antenna normalmente utilizzati sono “**pencil beam**” e “**fan beam**”.



Pencil beam: il fascio è uguale nelle due direzioni (azimuth e elevazione). La larghezza è dell'ordine di pochi gradi. Utilizzato per tracking continuo.



Fan beam: il fascio è maggiore nella direzione elevazione rispetto all'azimuth. Scan time inferiore. Utilizzato per la sorveglianza.

Velocità di rotazione: trade-off

+ Parametri di Antenna

L'area efficace dell'antenna è il rapporto tra potenza consegnata e potenza incidente.

L'area efficace è legata all'area fisica dell'antenna (A) mediante la seguente relazione $A_{eff}=A\rho$

ρ è l'efficienza di antenna (valori comuni 0.4-0.7).

L'area efficace è legata al guadagno mediante la relazione

$$G = \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2}$$

È quindi possibile riscrivere l'equazione radar nelle seguenti forme:

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}}}$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T A_{eff}^2 \sigma}{4\pi \lambda^2 S_{min}}}$$

+ Perdite di Sistema

L'equazione radar fornisce una stima ottimistica della portata del sistema. Non tiene conto delle possibili **perdite di sistema**.

Integrazione impulsi: integrazione non ideale

Larghezza fascio in azimuth: non costante al variare dell'elevazione

Fluttuazione rcs: errori nella modellizzazione dei target

Trasmissione/Ricezione: perdita duplexer ad antenna

Signal Processing: errori elaborazione

Operatore: errori di distrazione e/o stanchezza (non modellabili)

Component	Symbol	Loss
<i>Atmospheric loss</i>	L_a	1.2 dB
<i>Beamshape loss</i>	L_{ant}	1.3 dB
<i>Beamwidth factor</i>	L_B	1.2 dB
<i>Filter matching loss</i>	L_n	0.8 dB
<i>Fluctuation loss (for $P_d=0.9$)</i>	L_f	8.4 dB
<i>Integration loss</i>	L_i	3.2 dB
<i>Miscellaneous signal-processing loss</i>	L_x	3.0 dB
<i>Receive line loss</i>	L_r	1.0 dB
<i>Transmit line loss</i>	L_t	1.0 dB
Total system loss	L_{total}	21.1 dB

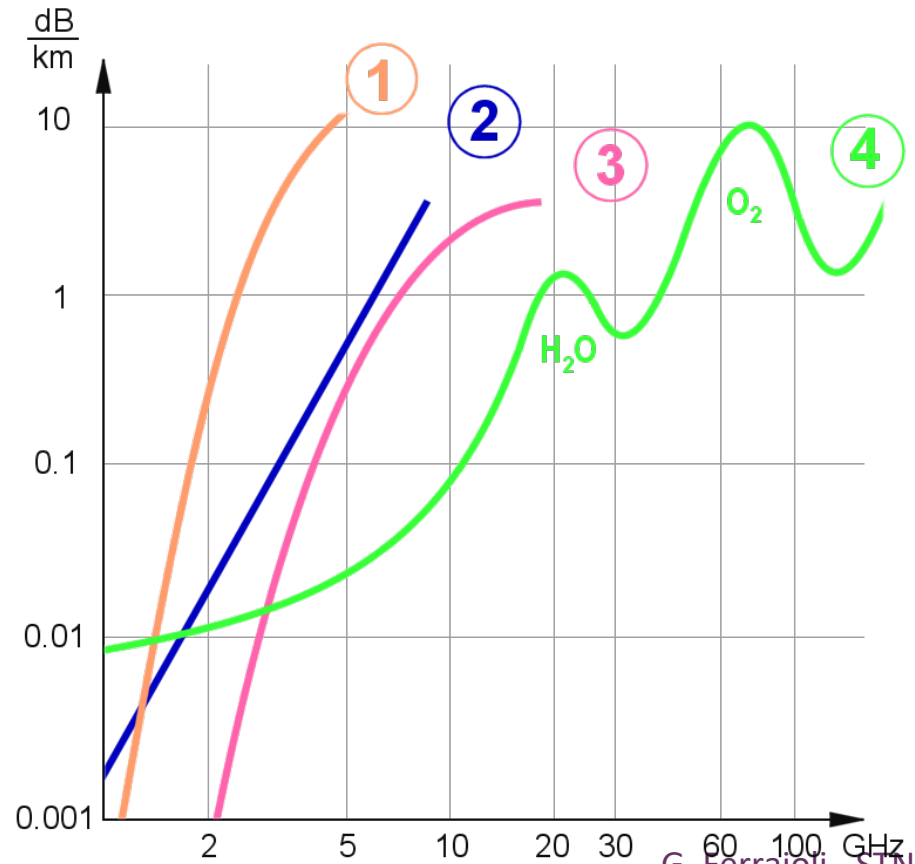
+ Effetti della propogazione

L'equazione radar è pensata nel caso di propagazione di segnali nello spazio libero. Nella pratica la propagazione avviene attraverso l'**atmosfera**. Si introducono perdite legate alla **frequenza**, **distanza** ed **elevazione**.

Le basse frequenze sono debolmente influenzate dall'atmosfera.

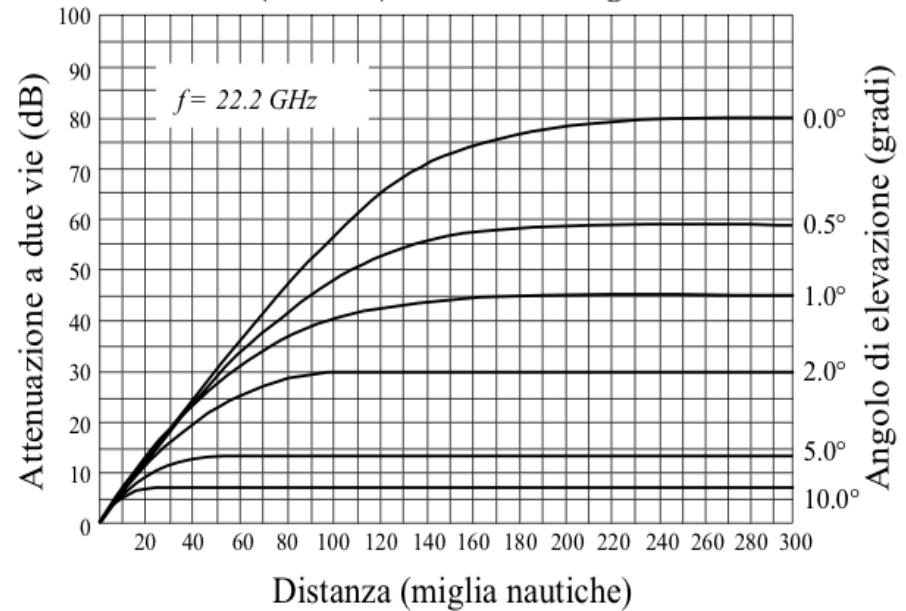
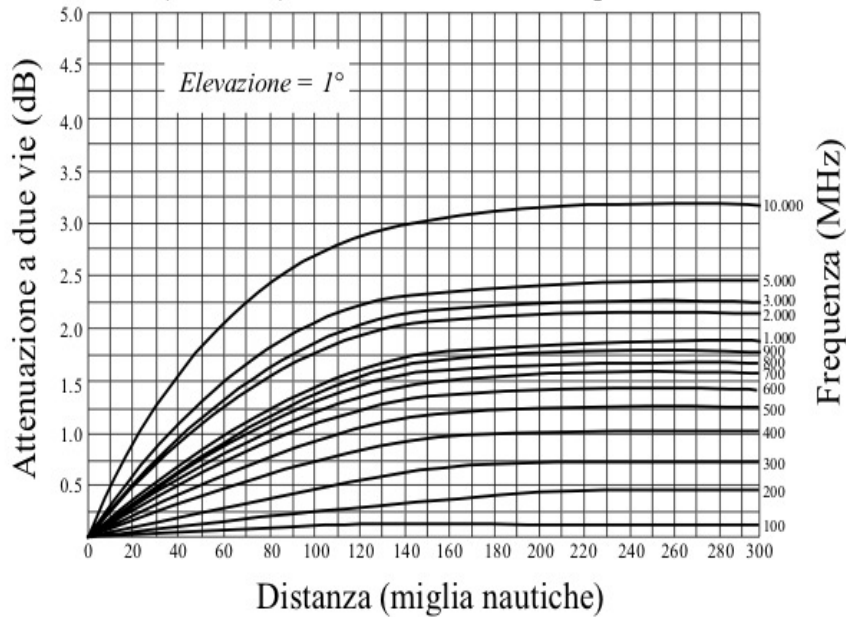
Le prestazioni degradano all'aumentare della presenza di acqua (**pioggia forte**, **nebbia**, **pioggia debole**, **cielo sereno**)

I massimi e minimi vengono sfruttati per **applicazioni particolari**.



+ Effetti della propogazione

Le perdite sono legate alla **distanza** tra l'oggetto e il target e all'**elevazione** del fascio radar.



Minore è l'angolo, maggiore è la perdita. Effetto atmosfera diminuisce all'aumentare della quota

