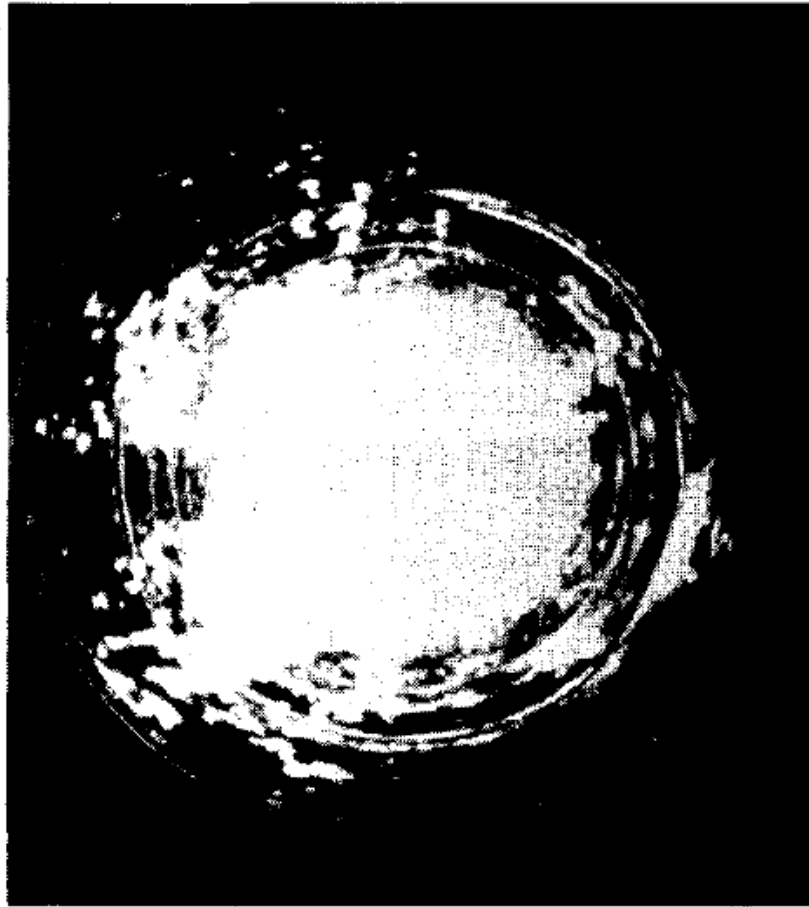


---

# Clutter RCS e immagini radar ad apertura reale

*Pierfrancesco Lombardo*

# Il problema del clutter ...



(a)



(b)

**FIG. 15.11** PPI display, 30-nmi range, of (a) all clutter at a mountainous site and (b) clutter that exceeds the system noise level by 60 dB.

**RadioTecnica e RadioLocalizzazione**

*Shrader & Gregers-Hansen "MTI Radar"*  
*in M. Skolnik – Radar Handbook 2° Ed.*

# Distributed Clutter

---

**Distributed clutter can be distinguished based on the nature of the scatterers:**

## surface clutter

in which the scatterers are distributed over a two dimensional surface. The classical example is the scattering from land or sea;

## volume clutter

which consists of reflections from scatterers distributed on a three dimensional space. The principal example is the scattering from rain or other precipitations.

# Radar Cross Section of Clutter (I)

---

**Discrete clutter can be considered as a stationary target.  
Therefore the classical definition of RCS is applicable.**

The return from surface or volume clutter is caused by reflections from all the scatterers contained within the radar resolution cell.

Conventional use of the **concept of the equivalent RCS** replaces the large amount of elemental scatterers contained within a radar resolution cell with a **single equivalent scatterer** which returns the same amount of power.

# Radar Cross Section of Clutter (II)

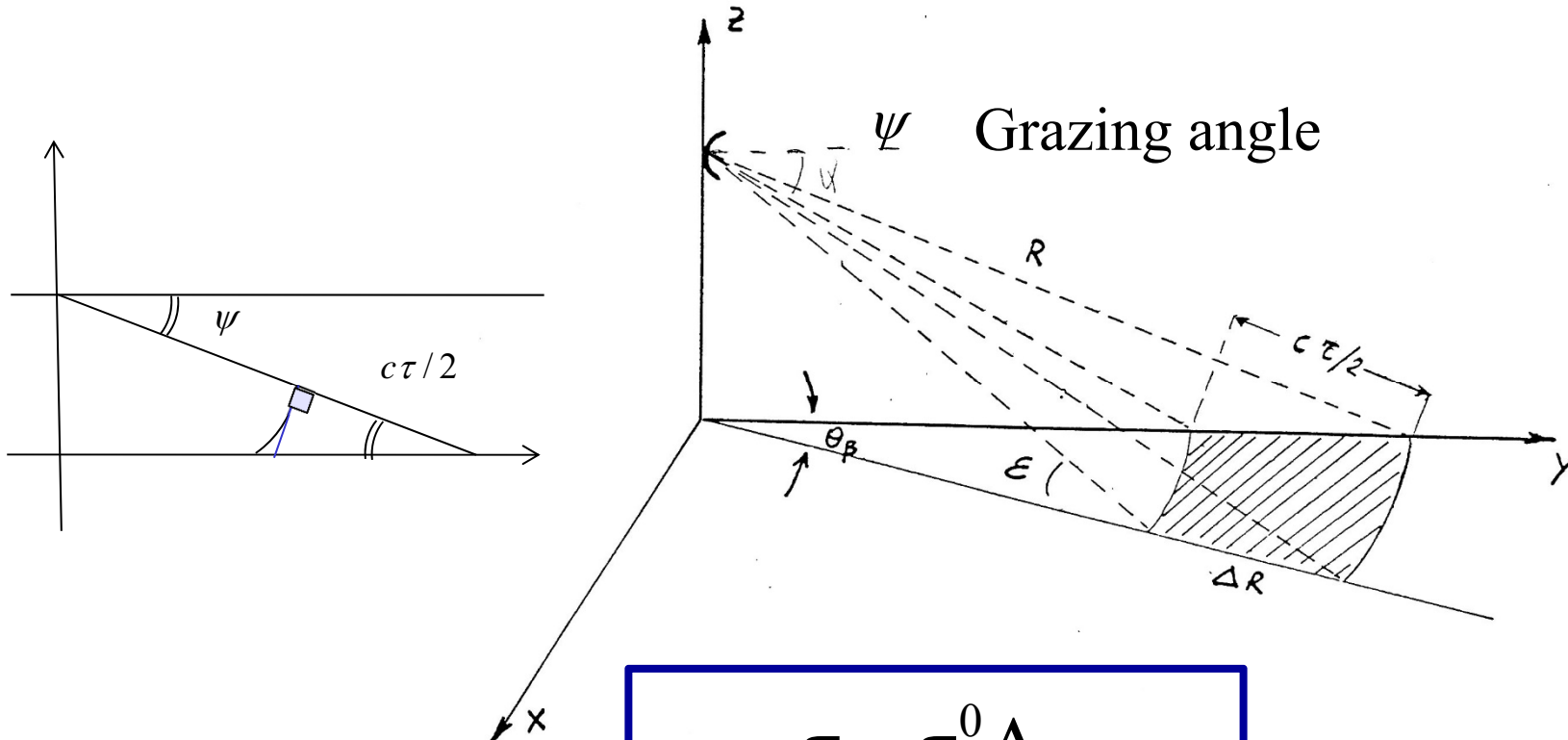
---

- To calculate the RCS of this equivalent scatterer, a normalized parameter called clutter backscattering coefficient per unit area  $\sigma^0$  (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) is used for surface clutter and the backscattering coefficient per unit volume  $\eta$  (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) applies for volumetric clutter.

- The RCS of distributed clutter varies with the illuminated area which is determined by the geometric radar parameters (pulsewidth, beamwidth).

- $\sigma^0$  and  $\eta$  were introduced to obtain coefficients independent of these parameters.

# Surface Clutter Cell



$$\sigma = \sigma^0 A$$

$$A = R \theta_B \frac{c\tau}{2 \cos \psi}$$

# Surface and volume reflectivity

---

$\sigma^0$  and  $\eta$  depend on the following parameters:

**in general:**

wavelength  
polarization

**for surface clutter:**

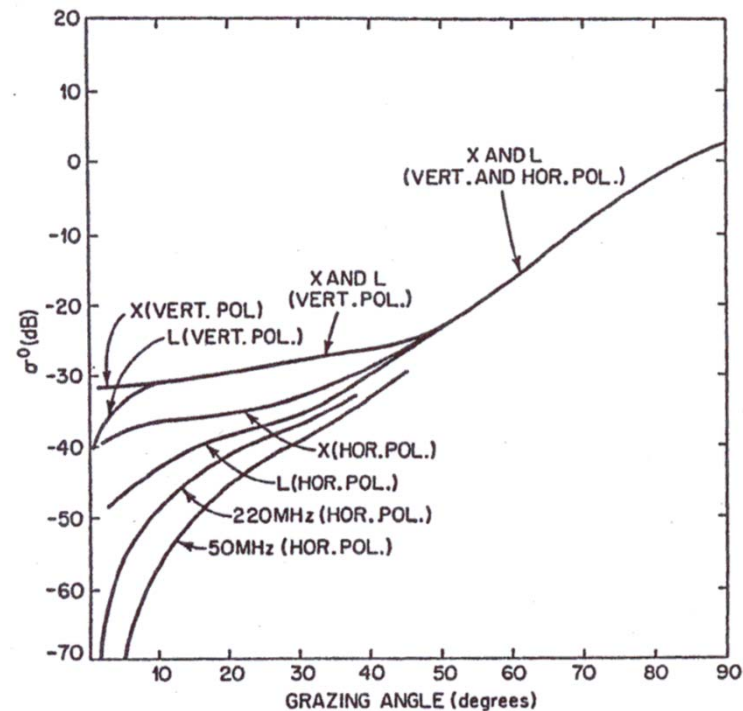
grazing angle of the incident wave to the surface  
type of surface

**for volume clutter:**

type of meteorological phenomena

# Clutter di mare

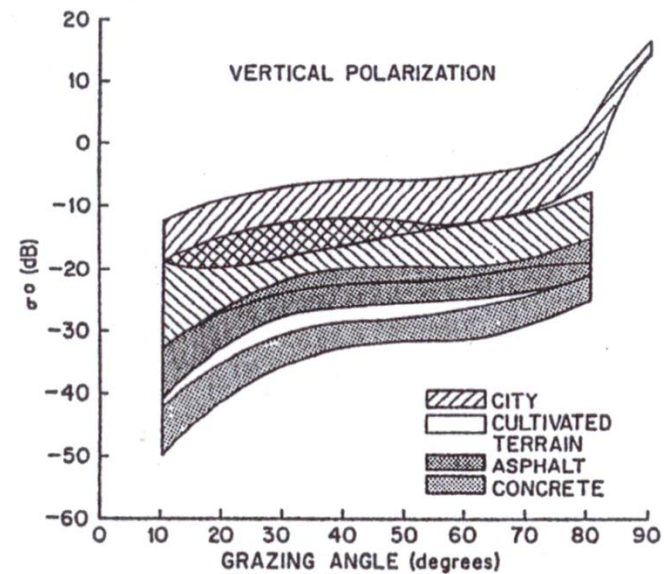
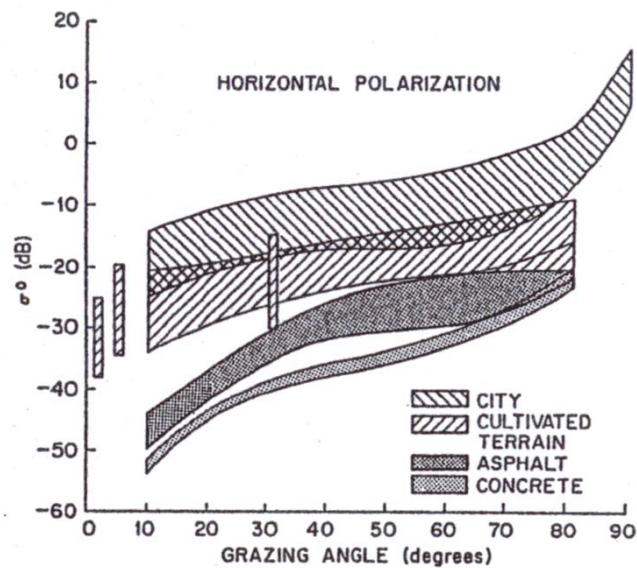
- Dipendenza di  $\sigma_c^\circ$  da:
- frequenza di trasmissione (cioè lunghezza d'onda  $\lambda$ );
  - stato del mare;
  - angolo di grazing  $\psi$ ;
  - polarizzazione;





# Clutter di terra

- Dipendenza di  $\sigma_c^\circ$  da:
- frequenza di trasmissione (cioè lunghezza d'onda  $\lambda$ );
  - rugosità della superficie;
  - angolo di grazing  $\psi$ ;
  - polarizzazione;



# Clutter di superficie

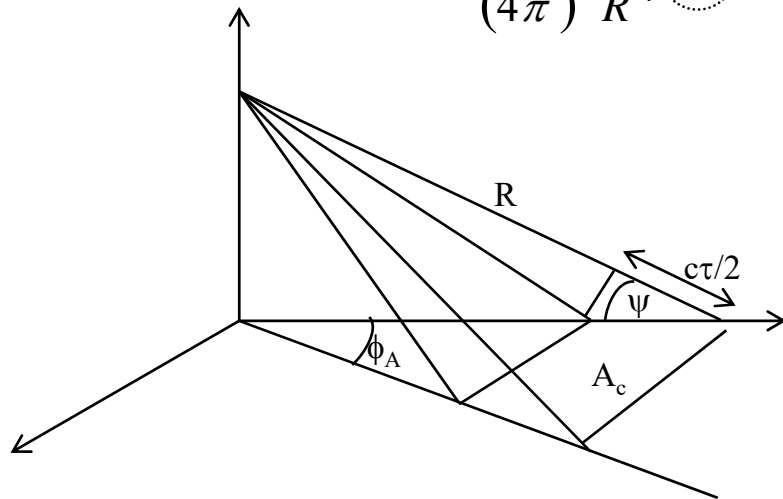
Potenza ricevuta dal radar dal clutter superficiale con RCS  $\sigma_c$ :

$$C = \frac{P_t G A_e}{(4\pi)^2 R^4} \sigma_c$$

$$\sigma_c = \sigma^o A_c$$

$\sigma_c^o$ : **riflettività superficiale**  
(RCS per unità di superficie);

$A_c$ : area illuminata dal radar;



$$A_c = \frac{c\tau}{2 \cos \psi} R \phi_A \Rightarrow \sigma_c = \sigma^o \frac{c\tau}{2 \cos \psi} R \phi_A$$

$$C = \frac{P_t G A_e \sigma^o c \tau \phi_A}{(4\pi)^2 R^3 2 \cos \psi}$$

**Il clutter di superficie va come  $1/R^3$  anziché  $1/R^4$  come per il bersaglio**

E' possibile definire:

- rapporto potenza segnale utile-potenza clutter S/C (**SCR: Signal to Clutter power Ratio**);
- rapporto potenza clutter-potenza rumore termico C/N (o **CNR: Clutter to Noise power Ratio**);
- rapporto potenza segnale utile-potenza disturbo S/D con  $D=C+N$  (o **SDR: Signal to Disturbance power Ratio**).

# CNR, SCR e SCNR

E' possibile definire:

- rapporto potenza clutter-potenza rumore termico C/N  
(o **CNR: Clutter to Noise power Ratio**);

$$CNR = \frac{P_t G A_e \sigma_c}{(4\pi)^2 R^4 F K T_0 B}$$

- rapporto potenza segnale utile-potenza clutter S/C (**SCR: Signal to Clutter power Ratio**);

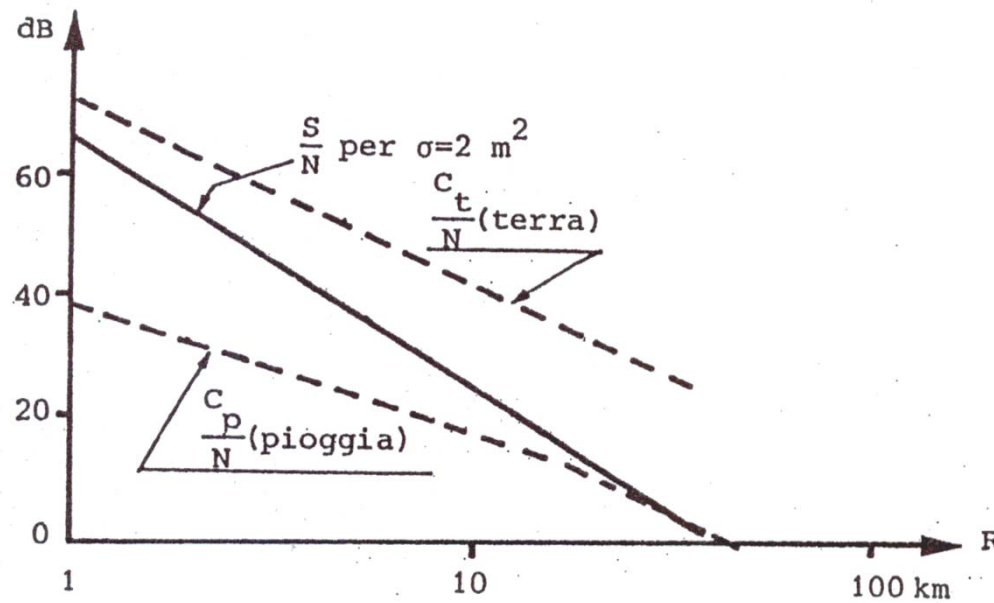
$$SCR = \frac{\frac{P_t G A_e}{(4\pi)^2 R^4} \sigma}{\frac{P_t G A_e}{(4\pi)^2 R^4} \sigma_c} = \frac{\sigma}{\sigma_c} = \frac{\sigma}{\sigma^o A_c}$$

$$SCR = \frac{\sigma}{\sigma^o A_c} = \frac{\sigma}{\sigma^o \frac{c \tau}{2 \cos \psi} R \phi_A}$$

- rapporto potenza segnale utile-potenza disturbo S/D con D=C+N  
(o **SDR: Signal to Disturbance power Ratio**).

$$SCNR = SDR = \frac{S}{C + N} = \frac{1}{C/S + N/S} = \frac{1}{1/SCR + 1/SNR}$$

# Potenza del clutter



# Equazione Radar con compressione

## Varie forme dell'Equazione Radar

L'equazione radar, e di conseguenza l'espressione della portata, può essere particolarizzata in dipendenza delle applicazioni

$$\left(\frac{S}{N}\right)_r = \frac{P_r}{P_n} = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi R^2)^2 k T_0 B F L} B \tau = \frac{P_t G A_e \sigma \tau}{(4\pi R^2)^2 k T_0 F L}$$

- 1 Si suppose di aver fissato il massimo valore del guadagno d'antenna  $G$  (vincolo la larghezza del fascio e quindi la risoluzione angolare): utilizzando  $G=4\pi A_e/\lambda^2$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma \tau}{(4\pi)^3 R^4 k T_0 F L} \quad \Rightarrow \quad R_{\max} = \left[ \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma \tau}{(4\pi)^3 k T_0 B F L (S/N)_{\min}} \right]^{1/4}$$

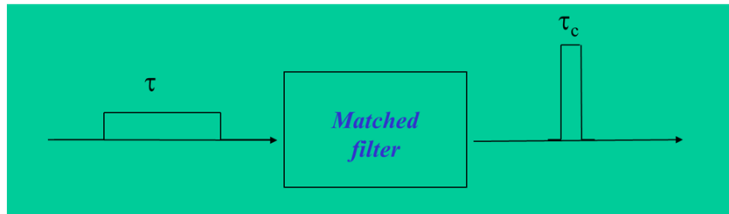
Preferibili le basse frequenze

- 2 Si suppose di aver fissato il massimo valore dell'area geometrica e quindi efficace d'antenna  $A_e$ : utilizzando  $A_e = \lambda^2 G / 4\pi$

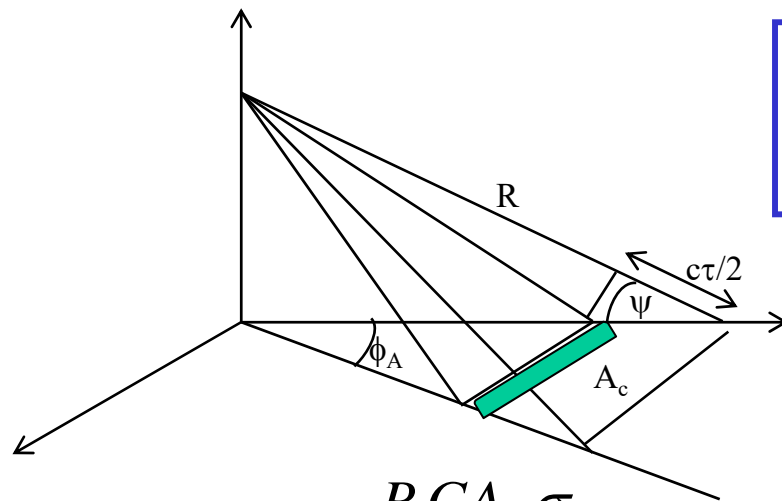
$$\left(\frac{S}{N}\right)_r = \frac{P_t A_e^2 \sigma \tau}{4\pi R^4 \lambda^2 k T_0 F L} \quad \Rightarrow \quad R_{\max} = \left[ \frac{P_t A_e^2 \sigma \tau}{4\pi \lambda^2 k T_0 F L (S/N)_{\min}} \right]^{1/4}$$

Preferibili le alte frequenze

# Clutter dopo filtro adattato



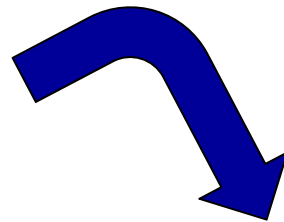
$$C = \frac{P_t G A_e}{(4\pi)^2 R^4} \sigma_c \rightarrow \sigma_c^{COMPR} = \sigma^o A_c^{COMPR}$$



$$A_c = \frac{c\tau}{2 \cos \psi} R \phi_A \Rightarrow A_c^{COMPR} = \frac{c\tau_c}{2 \cos \psi} R \phi_A$$

$$\tau_c = 1/B \Rightarrow A_c^{COMPR} = A_c / (B\tau)$$

$$CNR = \frac{P_t G A_e \sigma_c}{(4\pi)^2 R^4 F K T_0 B}$$



$$CNR^{COMPR} = \frac{P_t G A_e \sigma_c^{COMPR}}{(4\pi)^2 R^4 F K T_0 B} (B\tau) = CNR$$

# Esercizio (I)

---

## ESERCIZIO

Un radar di avvistamento ad impulsi non codificati ha le seguenti caratteristiche:

- Probabilità di falso allarme pari a  $10^{-5}$ ;
- Banda L con portante  $f_{\text{RF}}=2$  GHz;
- Banda utilizzata pari a 1MHz;
- Antenna rettangolare: 12 m dimensione nel piano di azimuth ( $L_\phi$ ), 1 m dimensione nel piano di elevazione ( $L_\theta$ ), efficienza pari al 60% ( $\eta_a$ );
- Figura di rumore totale del ricevitore  $F_{\text{dB}}=4$  dB;
- PRF=500 Hz;

## Esercizio (II)

---

- Quanto deve valere la potenza di picco del trasmettitore se si desidera avere con tale radar una portata, in chiaro, di 150 Km su un bersaglio di 5 m<sup>2</sup> (RCS) con rapporto segnale a rumore necessario per le prestazioni richieste pari a SNR=12 dB?

L'equazione radar fornisce:

$$SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_{\max}^4 K T_0 F B_{IF}}$$

da cui si ottiene

$$P_t = \frac{SNR (4\pi)^3 R_{\max}^4 K T_0 F B_{IF}}{G^2 \lambda^2 \sigma}$$



# Esercizio (III)

---

passiamo quindi a determinare il valore delle diverse grandezze che compaiono nelle precedenti espressioni:

- La lunghezza d'onda  $\lambda$  risulta pari a  $\lambda=c/f_{\text{RF}}=3\cdot 10^8 \text{ m/s} / 2 \text{ GHz}= 0.15 \text{ m}$  che riportata in dB è pari a  $\lambda_{\text{dB}}=10\log_{10}(\lambda)=-8.24 \text{ dB}$
- La banda del segnale riportata in dB è pari a  $B_{\text{dB}}=10\log_{10}(B)=10\log_{10}(10^6)=60\log_{10}(10)= 60 \text{ dB}$
- Il valore del guadagno d'antenna è facilmente calcolabile dai dati forniti:  
 $G=(4\pi/\lambda^2)\cdot\eta_a A_g=4\pi/(0.15 \text{ m})^2 \cdot 0.6\cdot 12\text{m}\cdot 1\text{m} \approx 4021 \Rightarrow G_{\text{dB}}=10\log_{10}(G)= 36.04 \text{ dB}$
- Il valore della radar cross section riportato in dB è pari a  $\sigma_{\text{dB}}=10\log_{10}(\sigma)= 6.99 \text{ dB}$
- Il valore  $KT_0$ :  $(KT_0)_{\text{dBW/Hz}}=10\log_{10}(1.3806505\cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1} \cdot 290\text{K}) \approx -204 \text{ dBW/Hz}$

# Esercizio (IV)

---

A questo punto siamo in grado di valutare la potenza di picco necessaria:

$$\begin{aligned}(P_t)_{dBW} &= SNR_{dB} + 10 \log_{10}((4\pi)^3) + 10 \log_{10}[R_{\max}^4] + (KT_0)_{dBW/Hz} + F_{dB} + B_{dB} - \overset{\text{TX}}{\circlearrowleft} G_{dB} - \overset{\text{RX}}{\circlearrowleft} G_{dB} - 2\lambda_{dB} - \sigma_{dB} = \\ &= SNR_{dB} + 30 \log_{10}(4\pi) + 40 \log_{10}(R_{\max}) + (KT_0)_{dBW/Hz} + F_{dB} + B_{dB} - G_{dB} - G_{dB} - 2\lambda_{dB} - \sigma_{dB} = \\ &= 12dB + 32.98dB + 207.04dB - 204dBW/Hz + 4dB + 60dB - 36.04dB - 36.04dB + 2 \cdot 8.24dB - 6.99dB = \\ &= 49.43dBW\end{aligned}$$

Riportando il valore 49.43dBW in lineare si ottiene la potenza di picco  $P_t=87.7$  kW.

$$P_t = 10^{0.1(P_t)_{dBW}} = 8.77 \cdot 10^4 W \Rightarrow P_t = 87.7 kW$$

# Esercizio (V)

	dB+	dB-
$P_t$	$P_{t dBW}$	
$G^2$	72.08	
$\lambda^2$	-16.48	
$\sigma$	6.99	
$(4\pi)^3$		32.98
$R_{max}^4$		207.04
$KT_0$		-204
F		4
$B_{IF}$		60
	$P_{t dBW} + 62.59$	100.02
S/N	$P_{t dBW} - 37.43$	



$$SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_{max}^4 KT_0 FB_{IF}}$$

$$12 = P_{t|dBW} - 37.43$$

$$P_{t|dBW} = 49.43$$

$$P_t = \frac{SNR (4\pi)^3 R_{max}^4 KT_0 FB_{IF}}{G^2 \lambda^2 \sigma}$$

	dB+	dB-
S/N	12	
$(4\pi)^3$	32.98	
$R_{max}^4$	207.04	
$KT_0$	-204	
F	4	
$B_{IF}$	60	
$G^2$		72.08
$\lambda^2$		-16.48
$\sigma$		6.99
	112.02	62.59
$P_{t dBW}$	49.43	