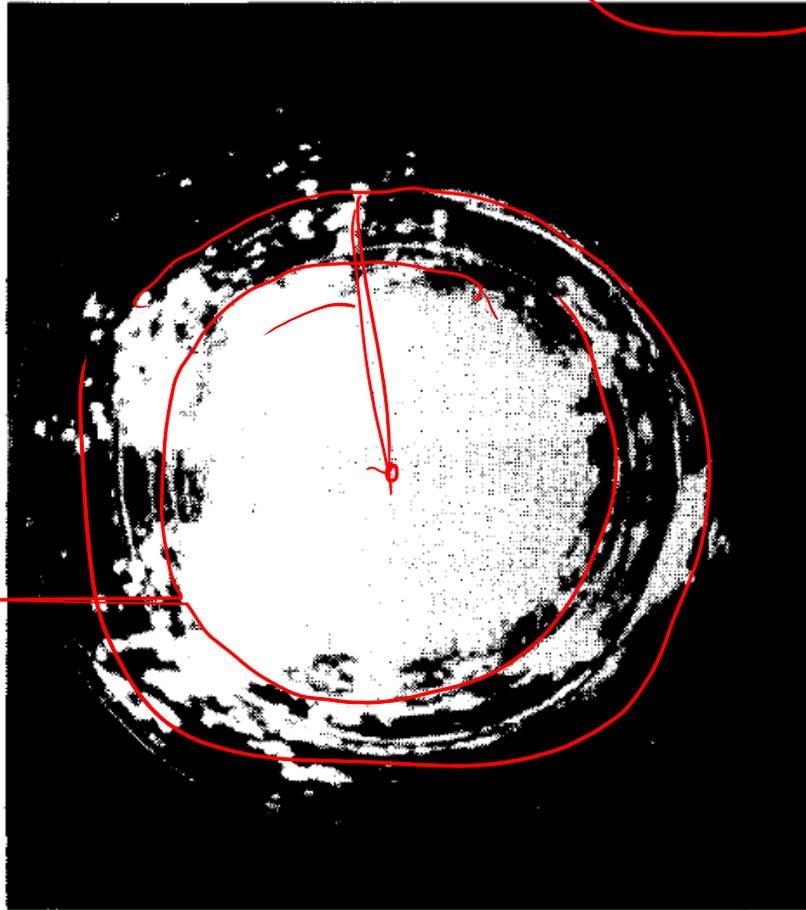
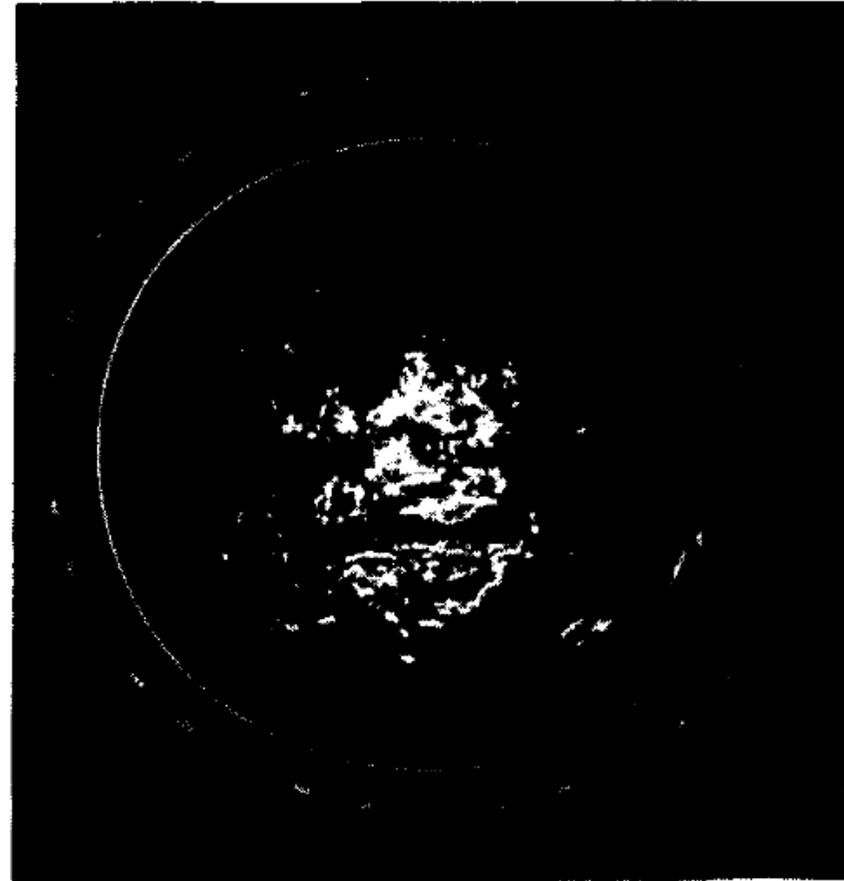

Clutter RCS e immagini radar ad apertura reale

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.

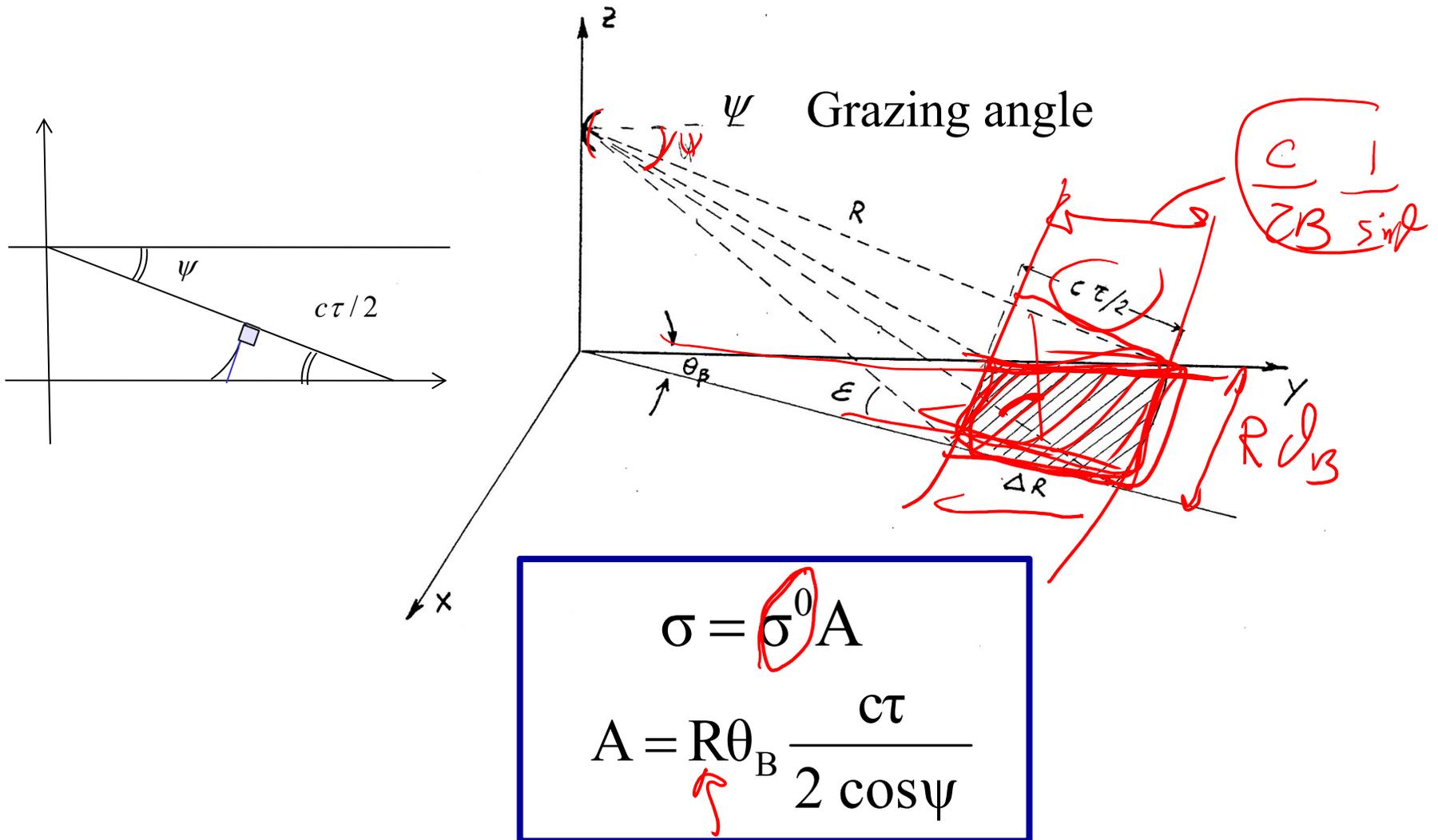
Radar Cross Section of Clutter (II)

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

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

- **σ^0 and η were introduced to obtain coefficients independent of these parameters.**

Surface Clutter Cell



Surface and volume reflectivity

σ^0 and η 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

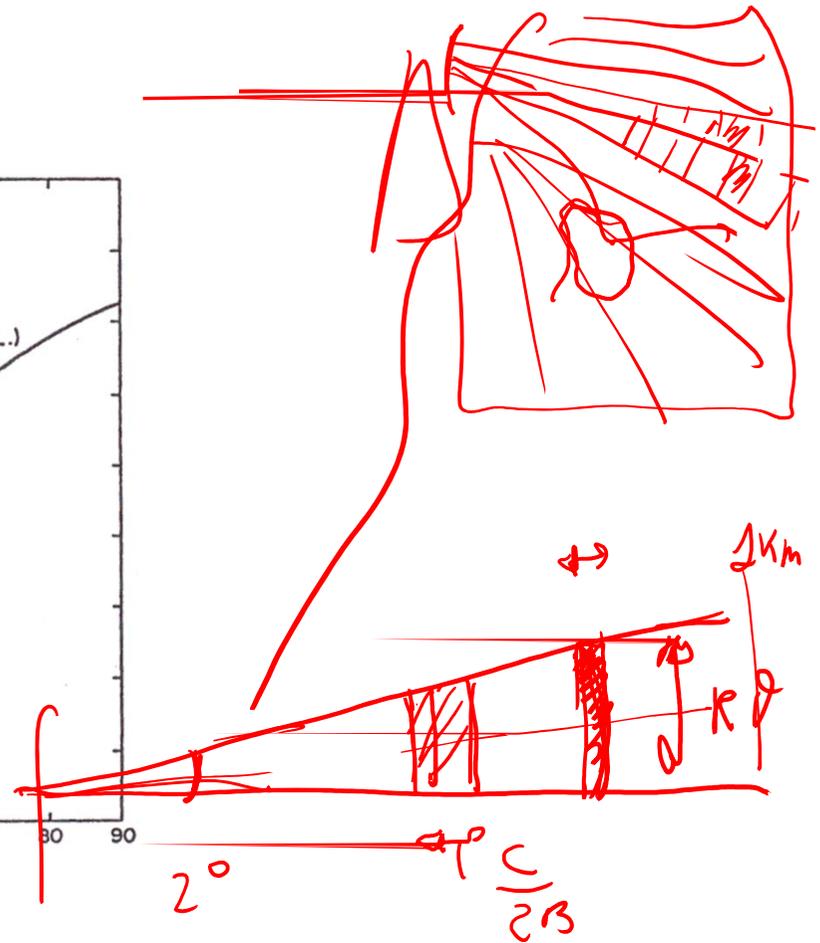
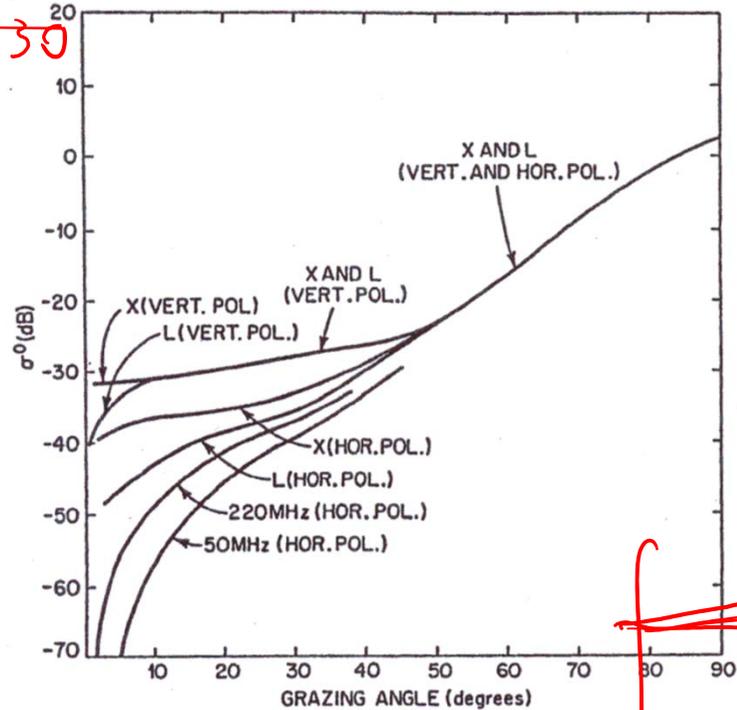
Clutter di mare

- Dipendenza di σ_c° da:
- frequenza di trasmissione (cioè lunghezza d'onda λ);
 - stato del mare;
 - angolo di grazing ψ ;
 - polarizzazione;

$$\theta = \frac{2 \cdot \pi}{180} = \frac{\pi}{90} \approx \frac{1}{30}$$

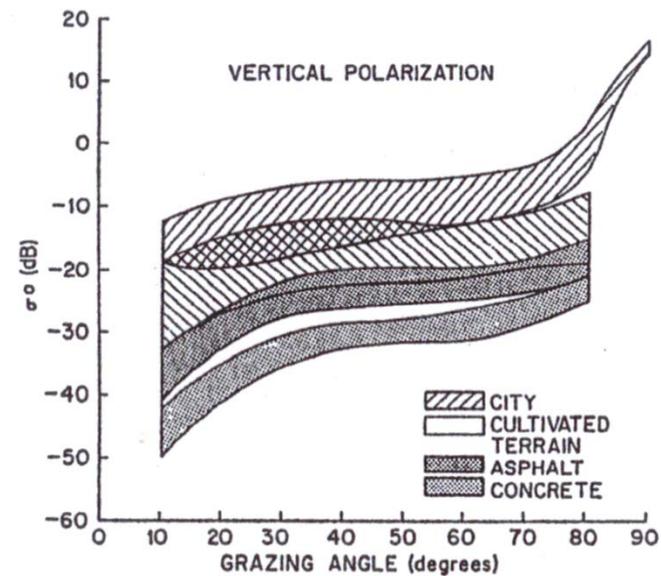
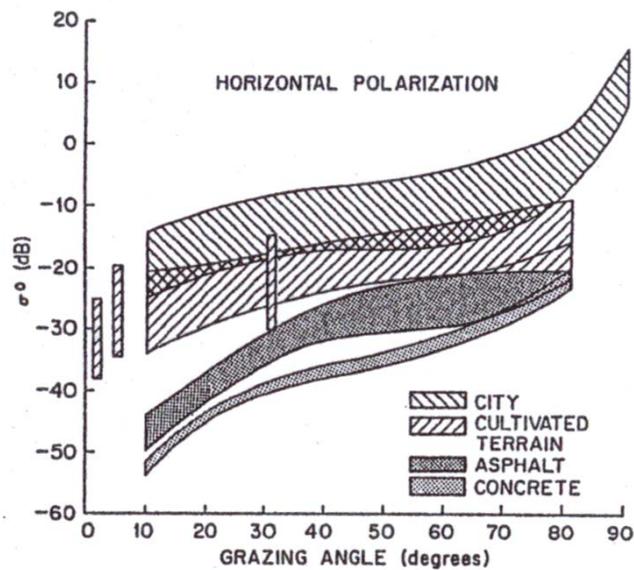
$$R = 30 \text{ km}$$

$$2 \text{ km}$$



Clutter di terra

- Dipendenza di σ_c° da:
- frequenza di trasmissione (cioè lunghezza d'onda λ);
 - rugosità della superficie;
 - angolo di grazing ψ ;
 - polarizzazione;



Clutter di superficie

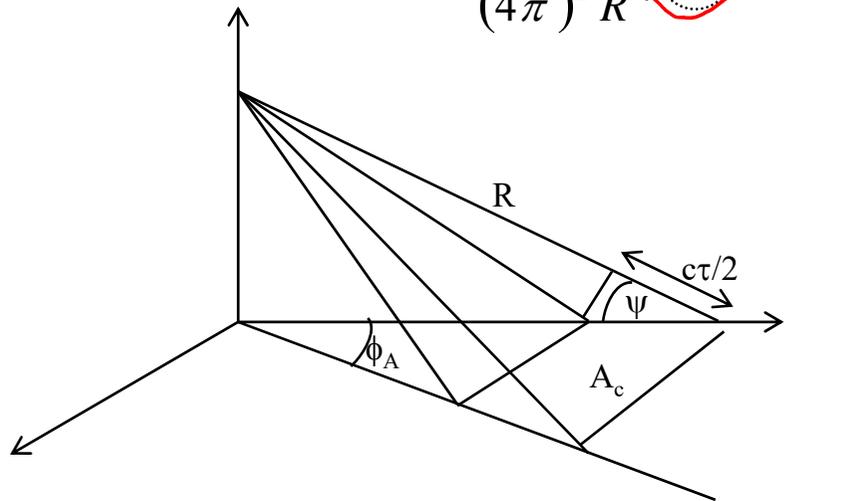
Potenza ricevuta dal radar dal clutter superficiale con RCS σ_c :

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

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

σ_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**);

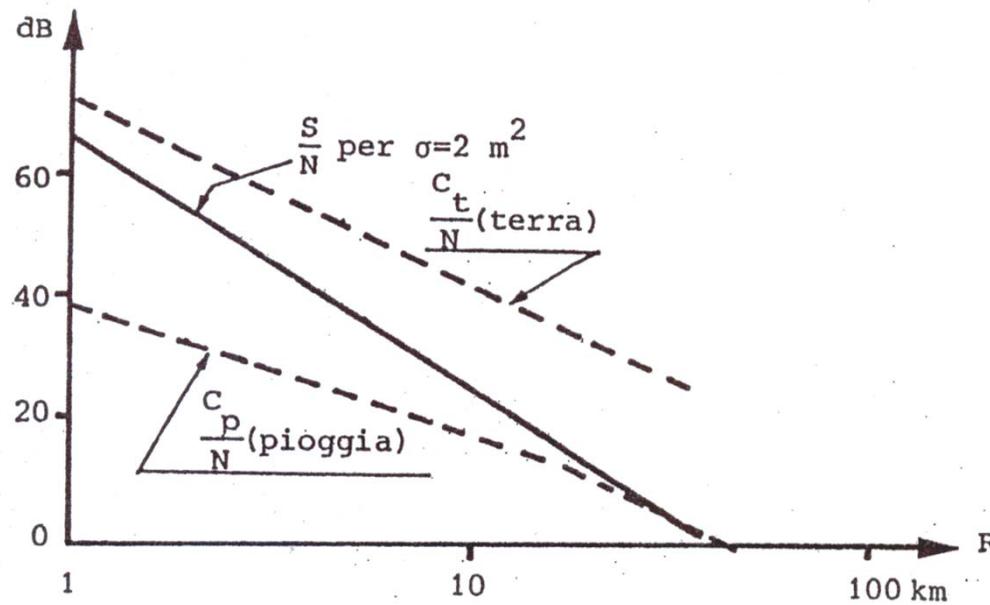
$$SCR = \frac{\frac{P_t G A_e}{(4\pi)^2 R^4} \sigma}{\frac{P_t G A_e}{(4\pi)^2 R^4} \sigma_c} = \frac{\sigma}{\sigma_c} = \frac{\sigma}{\sigma^o A_c}$$

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

- 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 $G=4\pi A_e/\lambda^2$

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

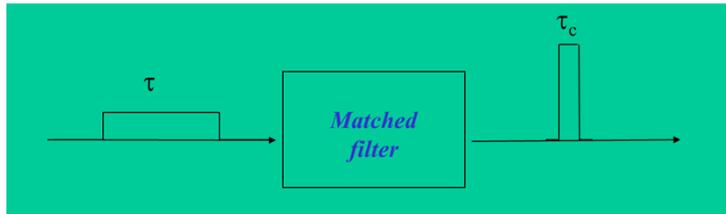
Preferibili le basse frequenze

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

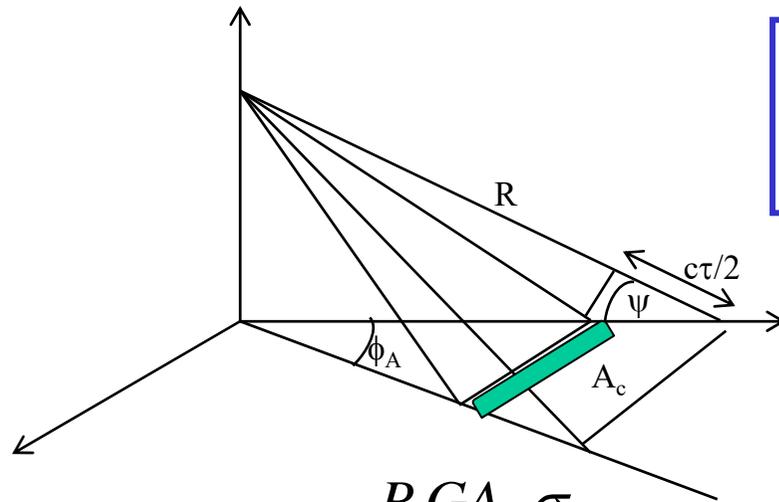
$$\left(\frac{S}{N}\right)_r = \frac{P_t A_e^2 \sigma \tau}{4\pi R^4 \lambda^2 k T_0 F L} \quad \Rightarrow \quad R_{\max} = \left[\frac{P_t A_e^2 \sigma \tau}{4\pi \lambda^2 k T_0 F L (S/N)_{\min}} \right]^{1/4}$$

Preferibili le alte frequenze

Clutter dopo filtro adattato



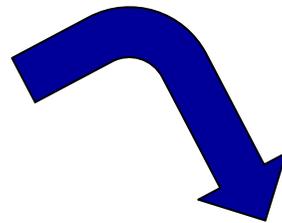
$$C = \frac{P_t G A_e}{(4\pi)^2 R^4} \sigma_c \rightarrow \sigma_c^{COMPR} = \sigma^o A_c^{COMPR}$$



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

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

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



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

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 $f_{RF}=2$ GHz;
- Banda utilizzata pari a 1MHz;
- Antenna rettangolare: 12 m dimensione nel piano di azimuth (L_ϕ), 1 m dimensione nel piano di elevazione (L_θ), efficienza pari al 60% (η_a);
- Figura di rumore totale del ricevitore $F_{dB}=4$ 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 m² (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 λ 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	
λ^2	-16.48	
σ	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
λ^2		-16.48
σ		6.99
	112.02	62.59
$P_{t dBW}$	49.43	