

---

# **Esercizi di dimensionamento su Equazione Radar**

# Carta di Blake

Data l'espressione  $P_r = \frac{A \cdot B \cdot C}{E \cdot F \cdot G}$  si convertano in dB tutti i termini.

Ad esempio

<b>A</b> →	$A _{dB} = 10$
<b>B</b> →	$B _{dB} = -5$
<b>C</b> →	$C _{dB} = 2$
<b>D</b> →	$D _{dB} = 4$
<b>E</b> →	$E _{dB} = -23$
<b>F</b> →	$F _{dB} = 15$

si riempia la tabella riportando gli elementi a numeratore nella colonna dB+ e quelli a denominatore nella colonna dB-

Nome parametro	dB+	dB -	Unità di misura
<b>A</b>			
<b>B</b>			
<b>C</b>			
<b>D</b>			
<b>E</b>			
<b>F</b>			
<b>Parziali</b>			
<b>Totale</b>			

# Carta di Blake (II)

Data l'espressione  $P_r = \frac{A \cdot B \cdot C}{D \cdot E \cdot F \cdot G}$  si convertano in dB tutti i termini.

Ad esempio

<b>A</b> →	$A _{dB} = 10$
<b>B</b> →	$B _{dB} = -5$
<b>C</b> →	$C _{dB} = 2$
<b>D</b> →	$D _{dB} = 4$
<b>E</b> →	$E _{dB} = -23$
<b>F</b> →	$F _{dB} = 15$

si riempia la tabella riportando gli elementi a numeratore nella colonna dB+ e quelli a denominatore nella colonna dB-

Nome parametro	dB+	dB -	Unità di misura
<b>A</b>	10		W
<b>B</b>	-5		-
<b>C</b>	2		m <sup>2</sup>
<b>D</b>		4	-
<b>E</b>		-23	m <sup>2</sup>
<b>F</b>		15	-
<b>Parziali</b>			
<b>Totale</b>			

# Carta di Blake (III)

Data l'espressione  $P_r = \frac{A \cdot B \cdot C}{E \cdot F \cdot G}$  si convertano in dB tutti i termini.

Ad esempio

<b>A</b> →	$A _{dB} = 10$
<b>B</b> →	$B _{dB} = -5$
<b>C</b> →	$C _{dB} = 2$
<b>D</b> →	$D _{dB} = 4$
<b>E</b> →	$E _{dB} = -23$
<b>F</b> →	$F _{dB} = 15$

si riempia la tabella riportando gli elementi a numeratore nella colonna dB+ e quelli a denominatore nella colonna dB-

Nome parametro	dB+	dB -	Unità di misura
<b>A</b>	10		W
<b>B</b>	-5		-
<b>C</b>	2		m <sup>2</sup>
<b>D</b>		4	-
<b>E</b>		-23	m <sup>2</sup>
<b>F</b>		15	-
<b>Parziali</b>	7	-4	
<b>Totale</b>	11		dBW

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

# Esercizio (IV)

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

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

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	

# Dimensionamento Radar di Ricerca (I)

Si dimensiona un radar di ricerca con le seguenti caratteristiche:

Banda L: 1 GHz

Portata: 400 Km

• Velocità massima  $\pm 300$  m/s

Risoluzione in azimuth:  $1.5^\circ$

Antenna: efficienza 0.73, altezza 4m

• Rotazione antenna: 5 giri/minuto

$P_{fa} = 10^{-6}$

$P_d = 0,9$  per bersaglio fisso con RCS =  $1 \text{ m}^2$

Potenza di picco TX:  $P_p = 20 \text{ KW}$

Figura di rumore:  $F = 1.5 \text{ dB}$

Perdite:  $L = 3 \text{ dB}$

Risoluzione in distanza 400 m

Dinamica lineare istantanea 40 dB

Sistemi Radar

11 m

12 s aggiornamenti

dimensione verticale

• Blind range  $\leq 15 \text{ km}$

# Dimensionamento Radar di Ricerca (II)

$$P_{fa} = 10^{-6}$$

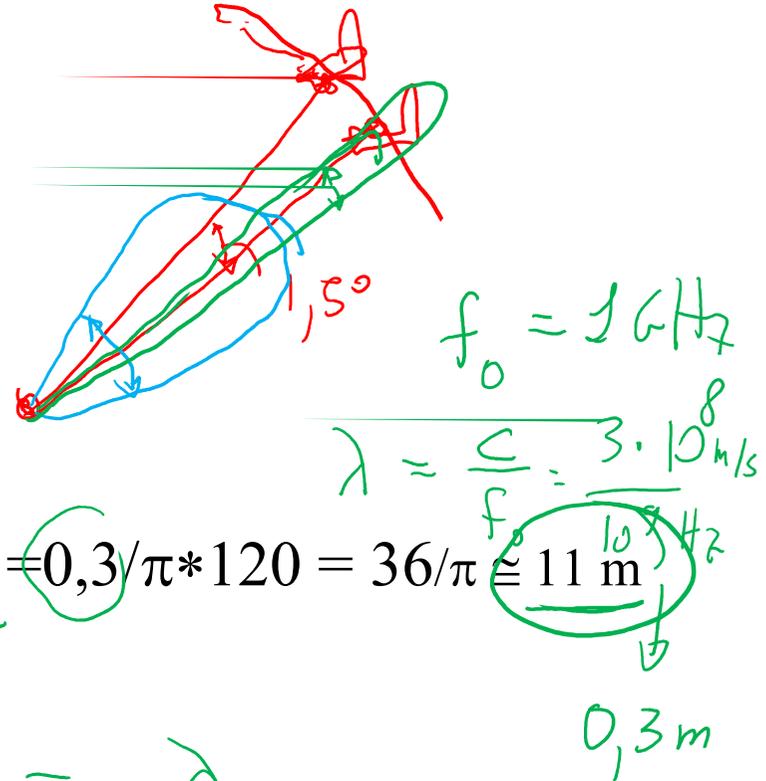
$P_d = 0,9$  per bersaglio fisso con RCS = 1 m<sup>2</sup>

Bersaglio fisso → serve SNR = 13 dB

Risoluzione in azimuth: 1,5°

Apertura del fascio: 1,5°

Dimensione antenna azimuth:  $L = \lambda / (1,5/180 \cdot \pi) = 0,3 / \pi \cdot 120 = 36 / \pi \approx 11 \text{ m}$



$$\frac{\lambda}{L} = \frac{1,5^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \Rightarrow L = \frac{\lambda}{\frac{1,5}{180} \cdot \pi}$$

# Dimensionamento Radar di Ricerca (III)

Potenza di picco TX:  $P_p = 20 \text{ KW}$   ~~$-204 \text{ dBW/Hz}$~~   
 Figura di rumore:  $F = 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L k T_0 F B} B \tau_p$$

*(Handwritten notes:  $-174 \text{ dBm/Hz}$  and a bracket grouping the denominator terms)*

$A_e = 0.73 * 11 * 4 \text{ m}^2 = 32.12 \text{ m}^2 \rightarrow 15 \text{ dB}$

$G = 4\pi * A_e / \lambda^2 = 4\pi * 32.12 / (0.3)^2 \rightarrow 11 + 15 - 2 * (5 - 10) \text{ dB}$   
 $= 26 + 10.5 = 36.5$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p |_{\text{dB}} = -48 + 13 = -35 \rightarrow 3 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 300 \mu\text{s}$

$48 + \tau_p |_{\text{dB}} = 13$   
 $\tau_p |_{\text{dB}} = 13 - 48 = -35$   
 $3 \cdot 10^{-4} \text{ s}$

	dB+	dB-
$P_p$	43	
$G$	36.5	
$A_e$	15	
$\sigma$	0	
$\tau_p$	$\tau_p  _{\text{dB}}$	
$(4\pi)^2$		22
$R^4$		224
$F$		1.5
$kT_0$		-204
$L$		3
	$94.5 + \tau_p  _{\text{dB}}$	46.5
	$48 + \tau_p  _{\text{dB}}$	
SNR	13	

Sistemi Radar

# Dimensionamento Radar di Ricerca (IV)

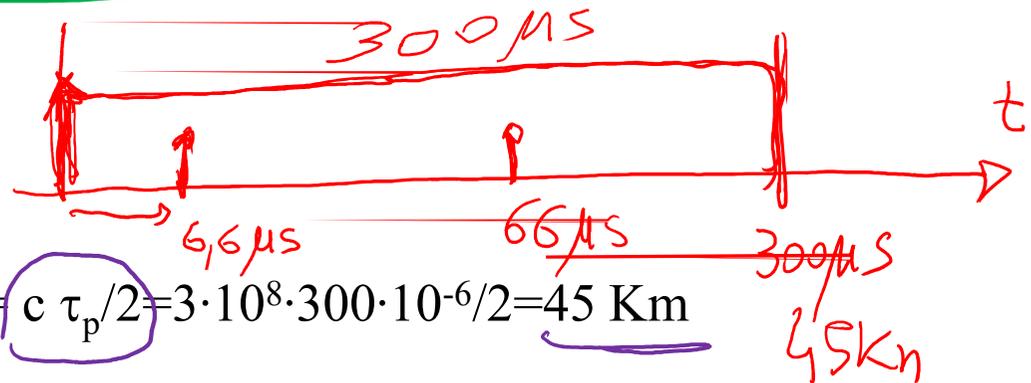
Blind range:

$$= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 300 \cdot 10^{-6} / 2 = 45 \text{ Km}$$

Risoluzione in distanza 400 m

Con impulso rettangolare:

$$\text{risoluzione in distanza} = c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 300 \cdot 10^{-6} / 2 = 45 \text{ Km}$$



Quindi serve impulso modulato con

$$\text{Rapporto di compressione} = 45000 / 400 = 112.5$$

$$\rightarrow \text{banda } B = 112.5 \cdot 1 / 300 \cdot 10^{-6} = 0.375 \text{ MHz}$$

$$B = c / 2 \cdot 1 / 400 = 3 \cdot 10^8 / 2 / 400 = 0.375 \text{ MHz}$$

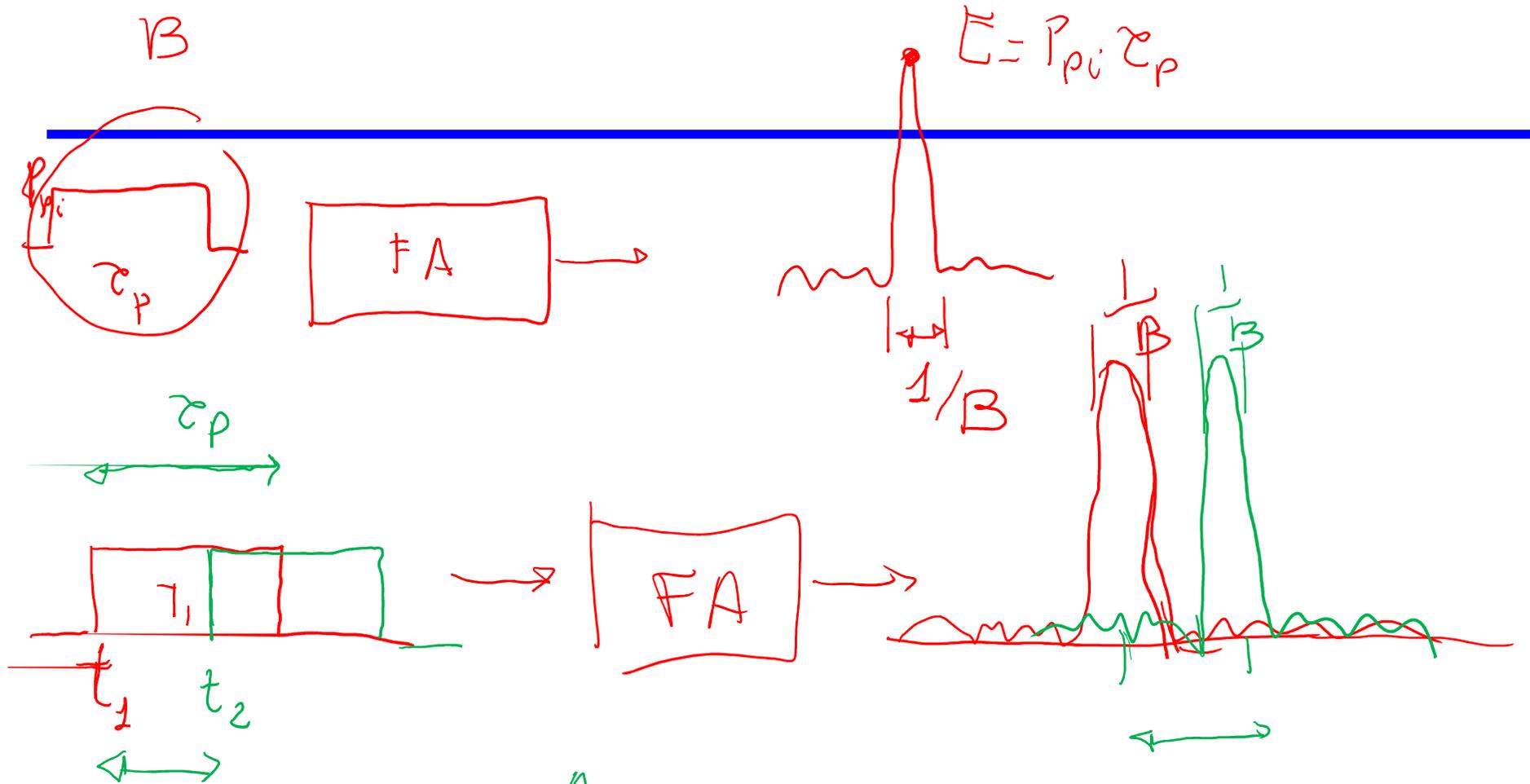
$$\frac{2R}{C}$$

$$\frac{c}{2B} \leq 400 \text{ m}$$

$$\rightarrow B \geq \frac{c}{2 \cdot 400} = \frac{3 \cdot 10^8}{8 \cdot 10^2} \text{ Hz}$$

$$R = 1 \text{ Km}$$

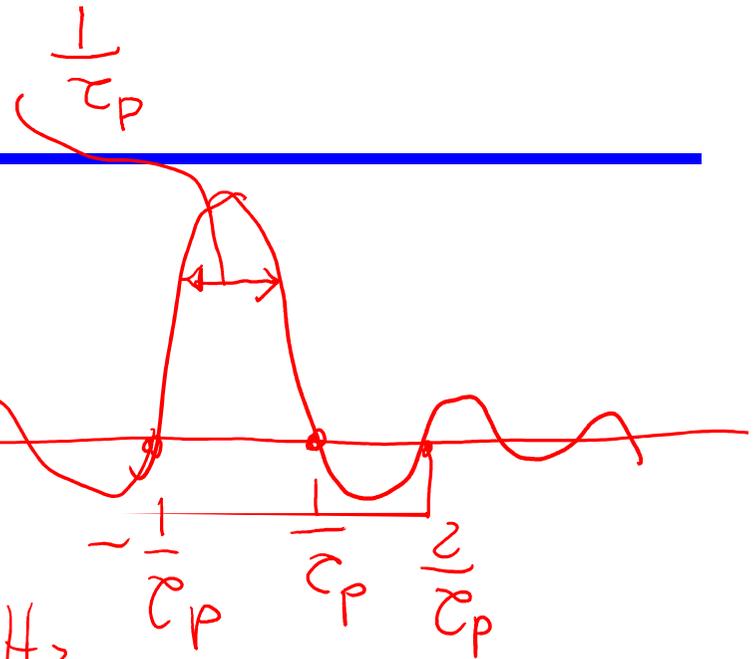
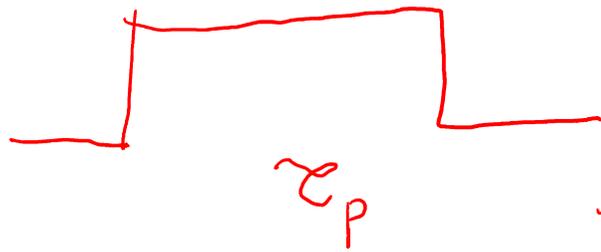
$$t_0 = \frac{2 \cdot 10^3 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 6.6 \cdot 10^{-6}$$



$$\Delta r = R_2 - R_1 \geq \frac{c}{2} z$$

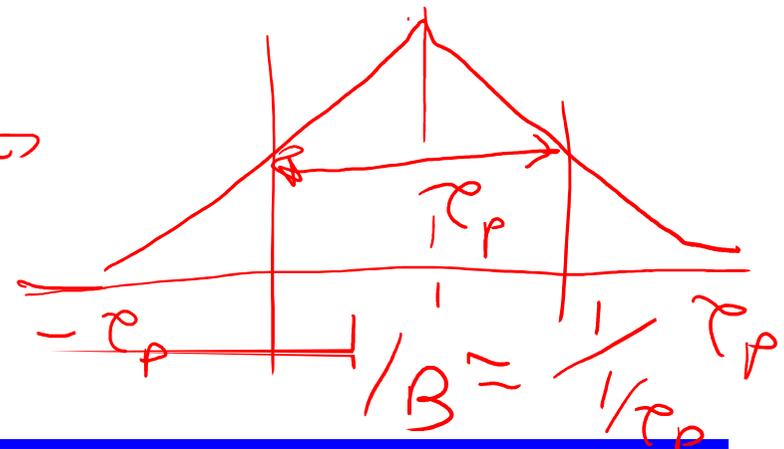
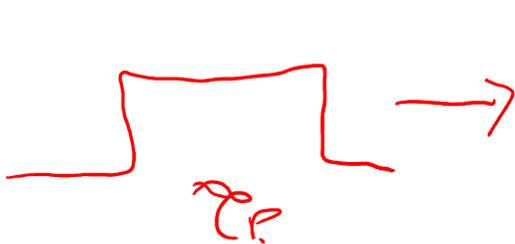
$$\Delta r = R_2 - R_1 \geq \frac{c}{2} \frac{1}{B} = \frac{c}{2B}$$

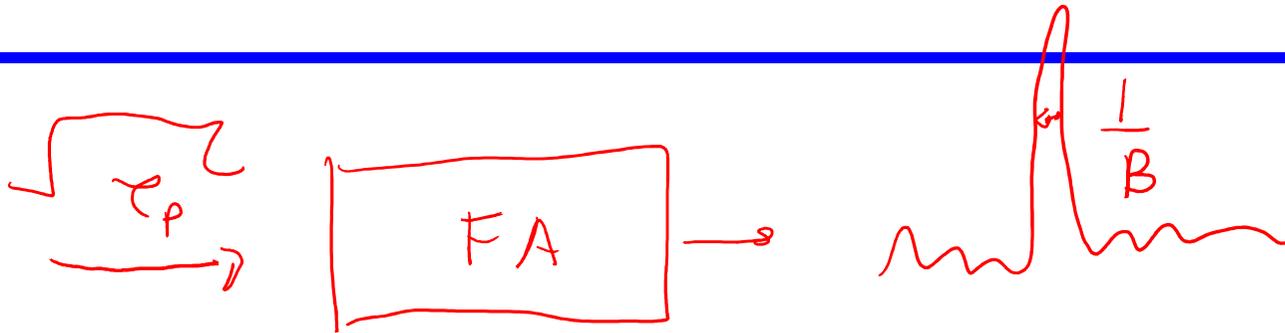
Impuls rect



$$B = \frac{1}{\tau_p} = \frac{1}{300 \mu s} = \frac{1}{300} \text{ MHz}$$

$$\leftarrow \frac{3}{8} \text{ MHz}$$





$$\text{Rapporto di compressione} \approx \frac{\tau_p}{\frac{1}{B}} = \tau_p \cdot B \Rightarrow 1$$

$$\text{rect} \rightarrow \text{rapp. di comprese} \quad \tau_p \cdot B = \tau_p \cdot \frac{1}{\tau_r} = 1$$

# Dimensionamento Radar di Ricerca (IV)

Dinamica lineare istantanea 40 dB

$$40 \text{ dB} \approx \frac{C}{Z} \frac{K}{B}$$

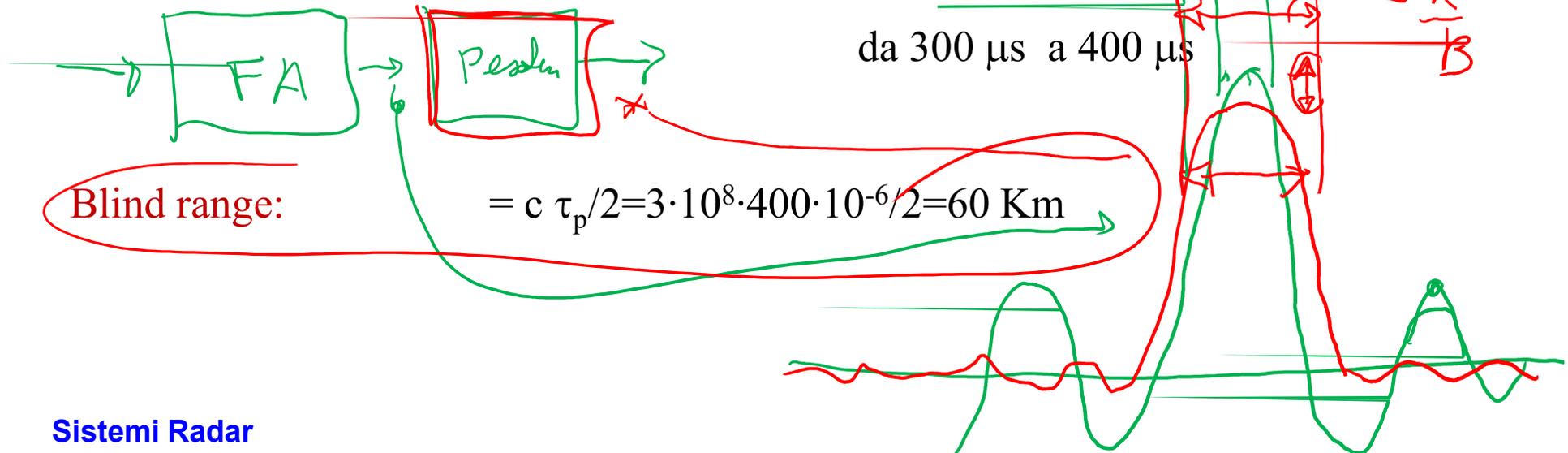
Risoluzione 400 m =  $k \cdot c / (2B) = 1,4 \cdot 3 \cdot 10^8 / (2B)$

$k=1,4$  per Hamming

$$\rightarrow B = 2,1 \cdot 10^8 / 400 = 0,5 \cdot 10^6 = 0,5 \text{ MHz}$$

Rapporto di compressione  $B\tau_p = 0,5 \text{ MHz} \cdot 300 \mu\text{s} = 150$  Forma d'onda ...

Perdita in SNR di 1 dB  $\rightarrow$  aumentare  $\tau_p$  di 1 dB ...



# Dimensionamento Radar di Ricerca (V)

Potenza di picco TX:  $P_p = 20 \text{ KW}$   
 Figura di rumore:  $F = 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L kT_0 F B} B \tau_p$$

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{\text{dB}} = -47 + 13 = -34 \rightarrow 4 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 400 \mu\text{s}$

	dB+	dB-
$P_p$	43	
$G$	36.5	
$A_e$	15	
$\sigma$	0	
$\tau_p$		
$(4\pi)^2$		22
$R^4$		224
$F$		1.5
$kT_0$		-204
$L$		3+1
	$94.5 + \tau_p _{\text{dB}}$	47.5
	$47 + \tau_p _{\text{dB}}$	
SNR	13	

# Dimensionamento Radar di Ricerca (VI)

Potenza di picco TX:  $P_p = 20\text{KW}/10 = 2 \text{ KW}$

Figura di rumore:  $F = 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L kT_0 F B} B \tau_p$$

200W  
20W

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{dB} = -37 + 13 = -24 \rightarrow 4 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 4000 \mu\text{s} = 4 \text{ ms}$

Blind range:  $= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 4000 \cdot 10^{-6} / 2 = 600 \text{ Km}$

Blind range > max range operativo

Sistemi Radar

	dB+	dB-
$P_p$	33	
$G$	36.5	
$A_e$	15	
$\sigma$	0	
$\tau_p$		
$(4\pi)^2$		22
$R^4$		224
$F$		1.5
$kT_0$		-204
$L$		3+1
	$84.5 + \tau_p _{dB}$	47.5
	$37 + \tau_p _{dB}$	
SNR	13	

# Dimensionamento Radar di Ricerca (VII)

## Per radar bistatico:

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R_R^2 R_T^2 L} \frac{B \tau_p}{k T_0 F B}$$

RX attivo anche durante trasmissione (non esiste blind range)

Quale è il limite?

5 giri/min → 5 rpm

## Per antenna in rotazione:

$T.o.t = \text{time-on-target} = \frac{1,5^\circ}{(5 \cdot 360/60) \frac{\circ}{s}} = 1,5^\circ / (5 \cdot 6) = 1,5/30 = 1/20 = 0,05 \text{ s} = \underline{50 \text{ ms}}$

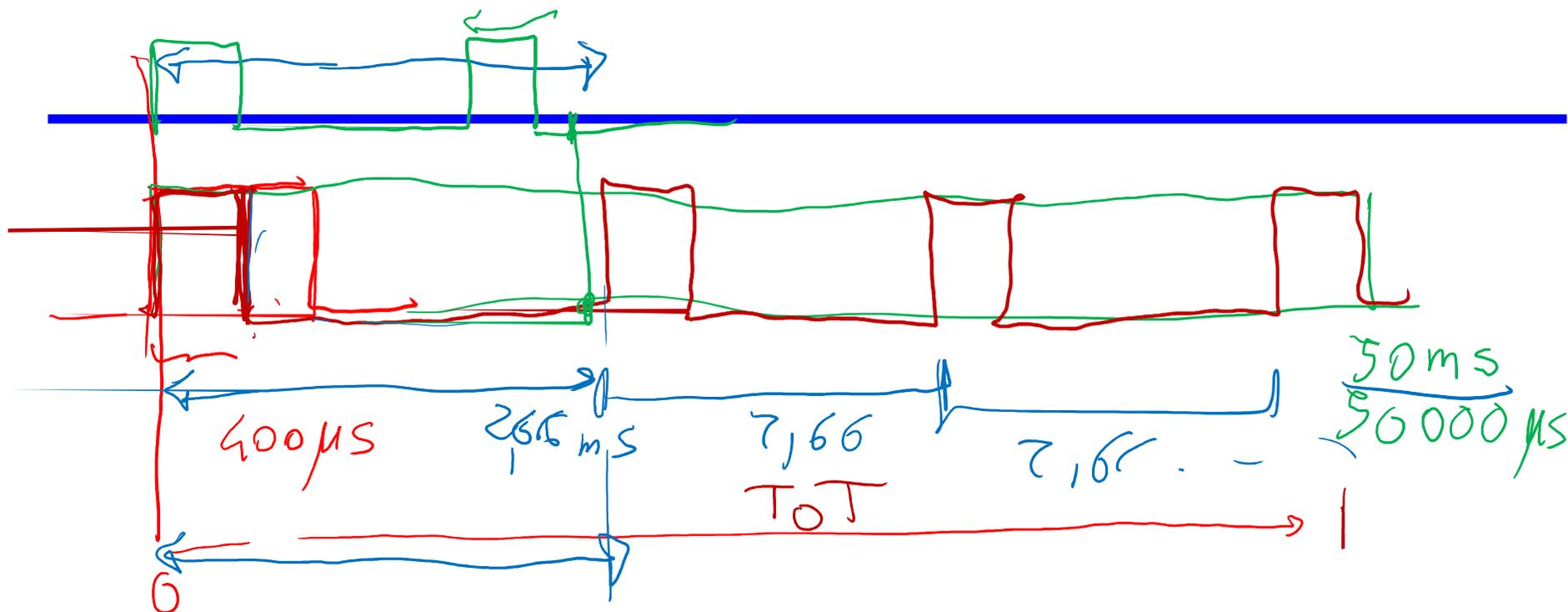
Rapporto di compressione potenzialmente molto alto fino a  $a = B \cdot T.o.t$

## Per antenna fissa:

T.o.t = time-on-target = virtualmente infinito

(se bersaglio non si muove più della risoluzione in distanza oppure cambia...)

$V_{max} \cdot T.o.t < 400\text{m} \rightarrow T.o.t < 400\text{m} / V_{max} = 400\text{m} / 300 \text{ m/s} = \underline{1.33 \text{ s}}$



distanza max = 400 Km

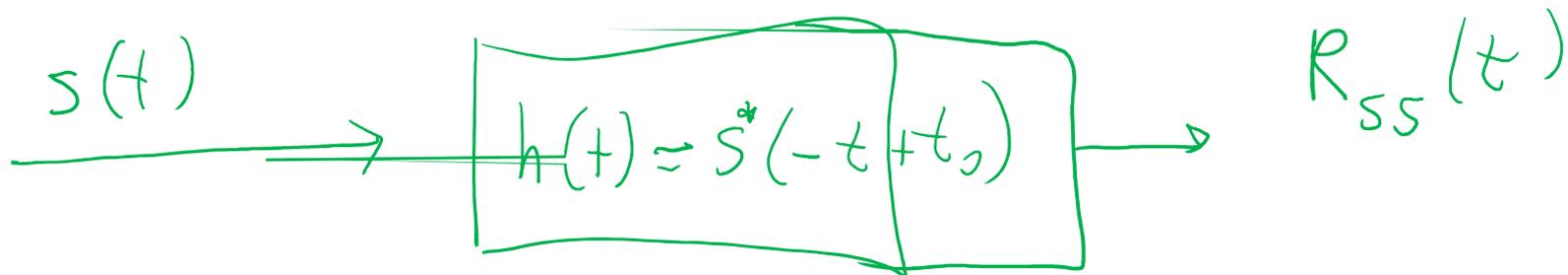
tempo max di ritorno  $\frac{2}{c} \cdot 400 \text{ km} = \frac{8 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^8} = \underline{\underline{2,66 \text{ ms}}}$

$PRT \geq \frac{2R_{max}}{c}$

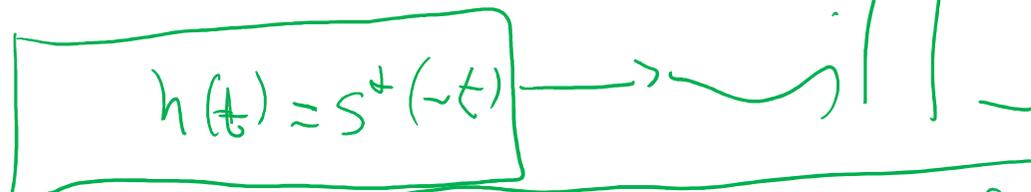
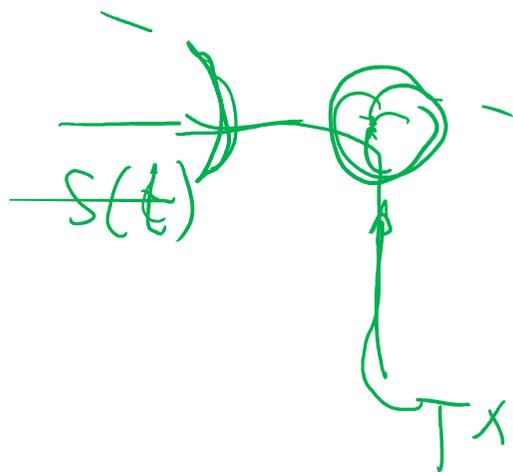
$PRT > \frac{2R_{max}}{c} + \tau_p$







$$h(t) = s^*(-t)$$



$$r(t) = A_{TGT} s(t - t_{TGT}) \cdot e^{j2\pi f_d t}$$

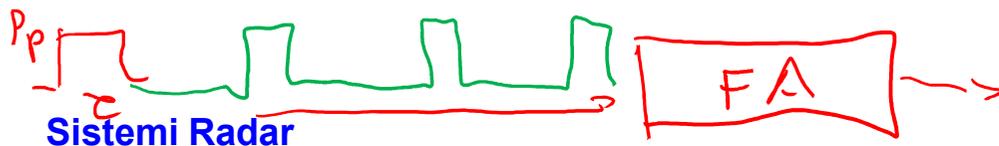
$$f_d = \frac{2v}{\lambda}$$

# Dimensionamento Radar di Ricerca (VIII)

## Per radar monostatico:

- Trasmesso un impulso ne possiamo trasmettere altri  $N-1$ , fino a raggiungere il max T.o.t
- Fra un impulso ed il successivo deve passare tempo a sufficienza per permettere il ritorno dell'eco dal range più lontano.
- Come usiamo insieme tutti gli  $N$  impulsi nel T.o.t ?
- Se pensiamo tutta la sequenza di  $N$  impulsi come un unico segnale, possiamo fare un filtro adattato a tutta la sequenza.

Rapporto di compressione =  $N \cdot$  rapporto di compressione del singolo impulso



$$E = P_p \tau \cdot N$$

# Dimensionamento Radar di Ricerca (IX)

Portata: 400 Km

$$PRT = 2,66 \text{ ms} \left( \frac{8 \text{ ms}}{3} \right)$$

Per non avere ambiguità in range  $PRF < c/(2R) = 1/(8/3 \cdot 10^{-3} \text{ s}) = 3000/8 \text{ Hz} \cong 400 \text{ Hz}$

Risoluzione in azimuth:  $1,5^\circ$

Rotazione antenna: 5 giri/minuto

Apertura del fascio:  $1,5^\circ$

$$\text{time-on-target} = 1,5^\circ / (5 \cdot 360/60) = 1,5^\circ / (5 \cdot 6) = 1,5/30 = 1/20 = 0,05 \text{ s} = 50 \text{ ms}$$

$$\text{N}^\circ \text{ Impulsi nel time-on-target} = 50 \text{ ms} \cdot PRF = 0,05 \cdot 400 = 20$$

Bersaglio fisso  $\rightarrow$  serve  $SNR = 13 \text{ dB}$

sul singolo impulso ho bisogno  
di  $SNR = 13 \text{ dB} - 10 \log_{10}(20)$

Assumendo di guadagnare un fattore  $N=20$  usando tutti gli  $N=20$  impulse,  
basta su singolo impulso un  $SNR = 0 \text{ dB}$

# Dimensionamento Radar di Ricerca (X)

Potenza di picco TX:  $P_p = 20\text{KW}/10 = 2 \text{ KW}$

Figura di rumore:  $F = 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L kT_0 F B} B \tau_p$$

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{\text{dB}} = -37 + 0 = -37 \rightarrow 2 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 200 \mu\text{s}$

Blind range:  $= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-4} / 2 = 30 \text{ Km}$

	dB+	dB-
$P_p$	33	
$G$	36.5	
$A_e$	15	
$\sigma$	0	
$\tau_p$		
$(4\pi)^2$		22
$R^4$		224
$F$		1.5
$kT_0$		-204
$L$		3+1
	$84.5 + \tau_p _{\text{dB}}$	47.5
	$37 + \tau_p _{\text{dB}}$	
SNR	0	

Sistemi Radar

# Dimensionamento Radar di Ricerca (XI)

Potenza di picco TX:  $P_p = \underline{20 \text{ KW}}$   
 Figura di rumore:  $F = 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L kT_0 F B} B \tau_p$$

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{\text{dB}} = -47 + 0 = -47 \rightarrow 2 \cdot 10^{-5} \text{ s} = \underline{20 \mu\text{s}}$

**Blind range:**  $= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-5} / 2 = \underline{3 \text{ Km}}$

## Sistemi Radar

	dB+	dB-
$P_p$	43	
$G$	36.5	
$A_e$	15	
$\sigma$	0	
$\tau_p$		
$(4\pi)^2$		22
$R^4$		224
$F$		1.5
$kT_0$		-204
$L$		3+1
	$94.5 + \tau_p _{\text{dB}}$	47.5
	$47 + \tau_p _{\text{dB}}$	
SNR	<u>0</u>	

# Dimensionamento Radar di Ricerca (XI)

Potenza di picco TX:  $P_p = 20 \text{ KW}$

Figura di rumore:  $F = 3 \text{ dB}$

Usando solo  $N=5$  impulsi, serve  $\text{SNR}=6 \text{ dB}$

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{\text{dB}} = -47 + 6 = -41 \rightarrow 0.8 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 80 \mu\text{s}$

**Blind range:**  $= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 80 \cdot 10^{-6} / 2 = 12 \text{ Km}$

## Sistemi Radar

	dB+	dB-
$P_p$	43	
$G$	36.5	
$A_e$	15	
$\sigma$	0	
$\tau_p$		
$(4\pi)^2$		22
$R^4$		224
$F$		1.5
$kT_0$		-204
$L$		3+1
	$94.5 + \tau_p _{\text{dB}}$	47.5
	$47 + \tau_p _{\text{dB}}$	
SNR	6	

# Dimensionamento Radar di Ricerca (XII)

---

Banda L: 1 GHz

Portata: 400 Km

Velocità massima  $\pm 300$  m/s

Max Range:  $2 R/c = 2 * 400 * 10^3 / 3 * 10^8 = 2,67 * 10^{-3}$  s

Max Doppler:  $2V/\lambda = 2V f/c = 2 * 300 * 10^9 / 3 * 10^8 = 2000 = 2$  KHz

Range-Doppler Area of interest  $= 2 * 2000 * 8/3 * 10^{-3} = 32/3 \cong 10$