
Rivelazione e Funzione di Ambiguità

Pierfrancesco Lombardo

- impulsi lunghi \longrightarrow compressione FA
- $\cdot x \longrightarrow$ Forme d'onda?
- $x \cdot x \longrightarrow$ FA con effetto Doppler?

Filtro adattato

Il contributo di segnale utile nel rivelatore, quando in ingresso si ha un segnale con ritardo τ e Doppler v è:

$$e^{j2\pi f_0 \xi} e^{j2\pi v t_d} \int s_0(t') s_0^*(t'+\tau) e^{j2\pi v t'} dt'$$

$s_0(t)$
 $s_0(t) e^{j2\pi v t}$

pari all'uscita del filtro adattato a segnale in ingresso con Doppler v

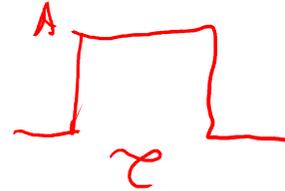
$$e^{j2\pi f_0 \xi} e^{j2\pi v t_d} \int s_0(t') s_0^*(t'-\xi) e^{j2\pi v t'} dt'$$

per ritardo $\xi = -\tau$:

Funzione di ambiguità (I)

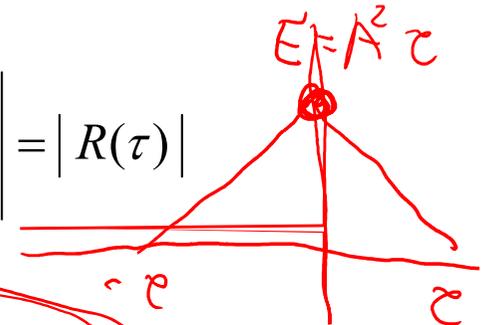
$$|\chi(\tau, \nu)| = \left| \int_{-\infty}^{\infty} s_0(t) s_0^*(t + \tau) e^{j2\pi\nu t} dt \right|$$

- **Tagli della funzione di ambiguità:**
(assumendo che l'energia di $s_0(t)$ sia unitaria)



Taglio a Doppler zero:
Autocorrelazione del segnale

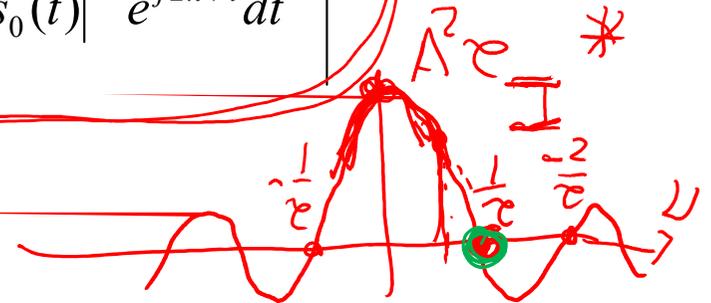
$$|\chi(\tau, 0)| = \left| \int_{-\infty}^{\infty} s_0(t) s_0^*(t + \tau) dt \right| = |R(\tau)|$$



Taglio a ritardo zero:
~~Autocorrelazione del segnale~~

$$|\chi(0, \nu)| = \left| \int_{-\infty}^{\infty} |s_0(t)|^2 e^{j2\pi\nu t} dt \right|$$

$s_0(t)$? $|s_0(t)| = K$ per $|t| < \frac{\tau}{2}$
0 altrove



Funzione di ambiguità (II)

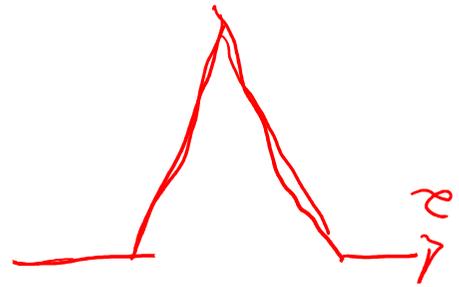
- Funzione di Ambiguità:
Impulso rettangolare a frequenza costante

$$s_0(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau_p}} \text{rect}_{\tau_p}(t)$$

$$|\chi(\tau, \nu)| = \left| \int_{-\infty}^{\infty} s_0(t) s_0^*(t + \tau) e^{j2\pi\nu t} dt \right| = \frac{1}{\tau_p} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect}_{\tau_p}(t) \text{rect}_{\tau_p}(t + \tau) e^{j2\pi\nu t} dt \right| = \frac{1}{\tau_p} \left| \int_{\max\left\{-\frac{\tau_p}{2}, -\frac{\tau_p}{2} - \tau\right\}}^{\min\left\{\frac{\tau_p}{2}, \frac{\tau_p}{2} - \tau\right\}} e^{j2\pi\nu t} dt \right| =$$

$$= \frac{1}{\tau_p} \left\{ \begin{array}{l} \left| \int_{-\tau_p/2 - \tau}^{\tau_p/2} e^{j2\pi\nu t} dt \right|, \quad \tau \leq 0 \\ \left| \int_{\tau_p/2 - \tau}^{\tau_p/2} e^{j2\pi\nu t} dt \right|, \quad \tau \geq 0 \end{array} \right. = \frac{1}{\tau_p} \left\{ \begin{array}{l} (\tau_p + \tau) \text{sinc}[\pi\nu(\tau_p + \tau)], \quad \tau \leq 0 \\ (\tau_p - \tau) \text{sinc}[\pi\nu(\tau_p - \tau)], \quad \tau \geq 0 \end{array} \right.$$

$\tau = 0$ — 1



$$|\chi(\tau, \nu)| = \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_p}\right) \text{sinc}[\pi\nu\tau_p \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_p}\right)]$$

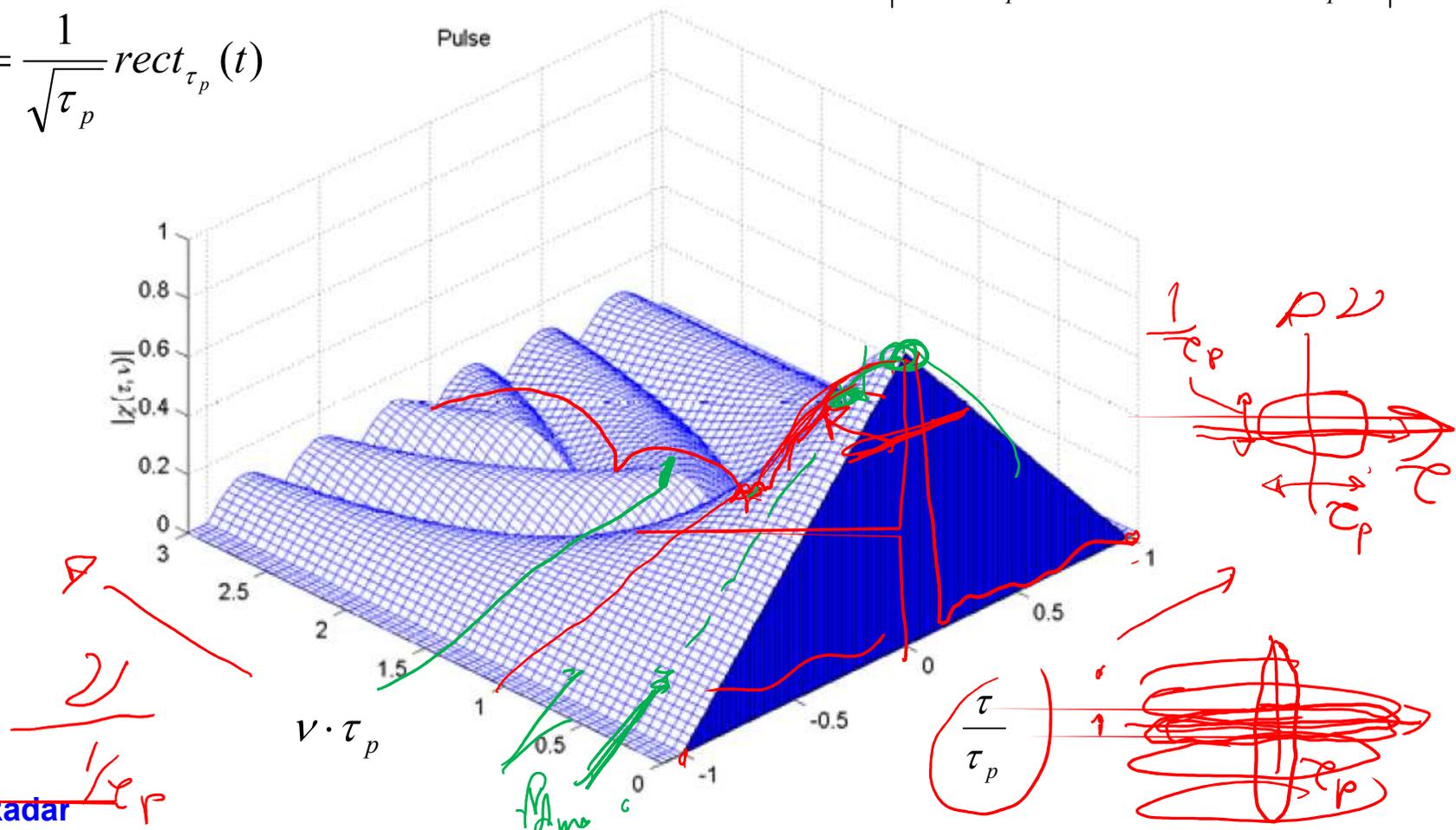
$\nu = 0$

Funzione di ambiguità (III)

- Funzione di Ambiguità:
Impulso rettangolare a frequenza costante

$$|\chi(\tau, \nu)| = \left| \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_p}\right) \sin c\left[\pi \nu \tau_p \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_p}\right)\right] \right|$$

$$s_0(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau_p}} \text{rect}_{\tau_p}(t)$$

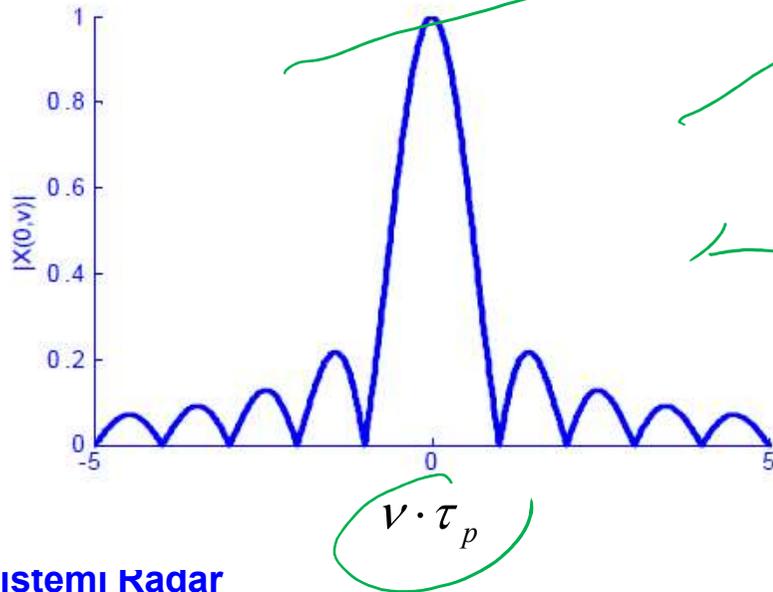
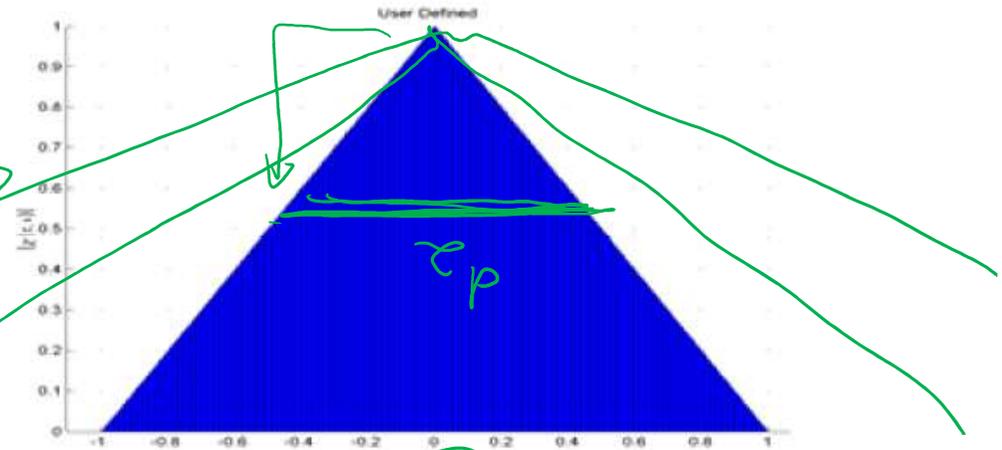


Funzione di ambiguità (IV)

- Funzione di Ambiguità:
Impulso rettangolare a frequenza costante

$$s_0(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau_p}} \text{rect}_{\tau_p}(t)$$

$$|\chi(\tau, 0)| = 1 - \frac{|\tau|}{\tau_p}, \quad |\tau| \leq \tau_p$$



$$|\chi(0, \nu)| = \left| \text{sinc}[\pi \nu \tau_p] \right|$$

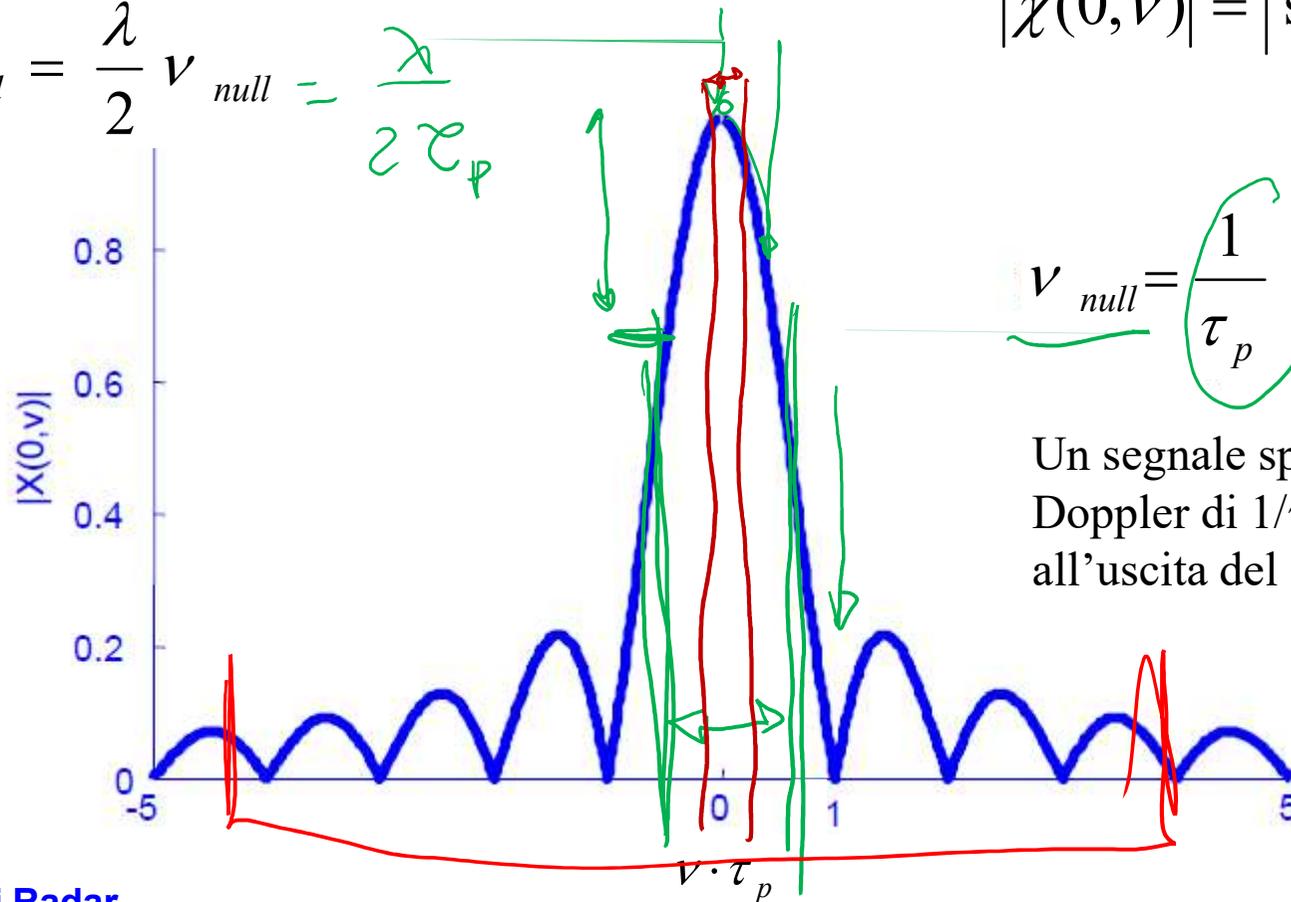
Funzione di ambiguità (V)

- Funzione di Ambiguità:
Impulso rettangolare a frequenza costante

$$s_0(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau_p}} \text{rect}_{\tau_p}(t)$$

$$|\chi(0, \nu)| = |\sin c[\pi \nu \tau_p]|$$

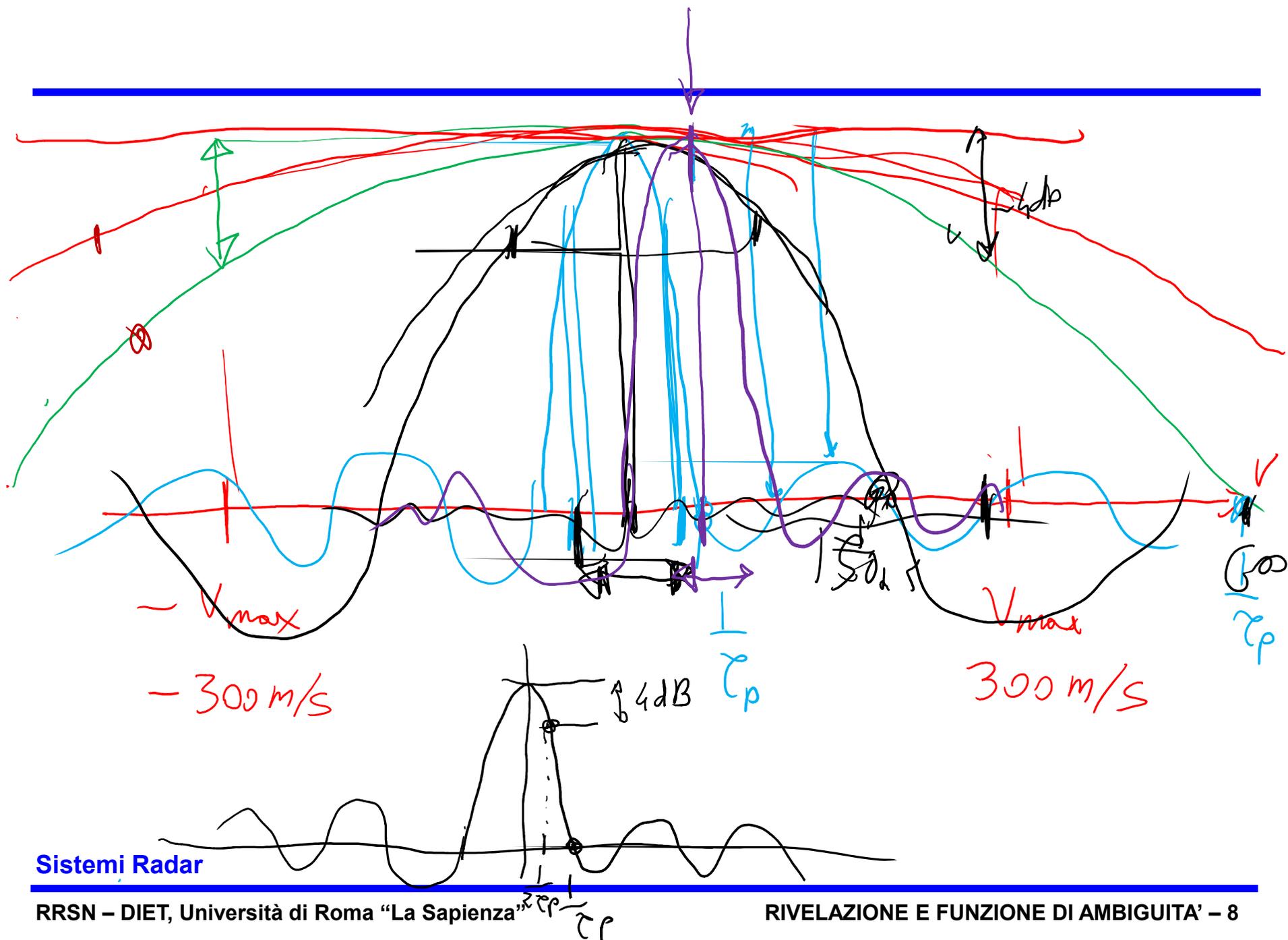
$$V_{null} = \frac{\lambda}{2} \nu_{null} = \frac{\lambda}{2 \tau_p}$$

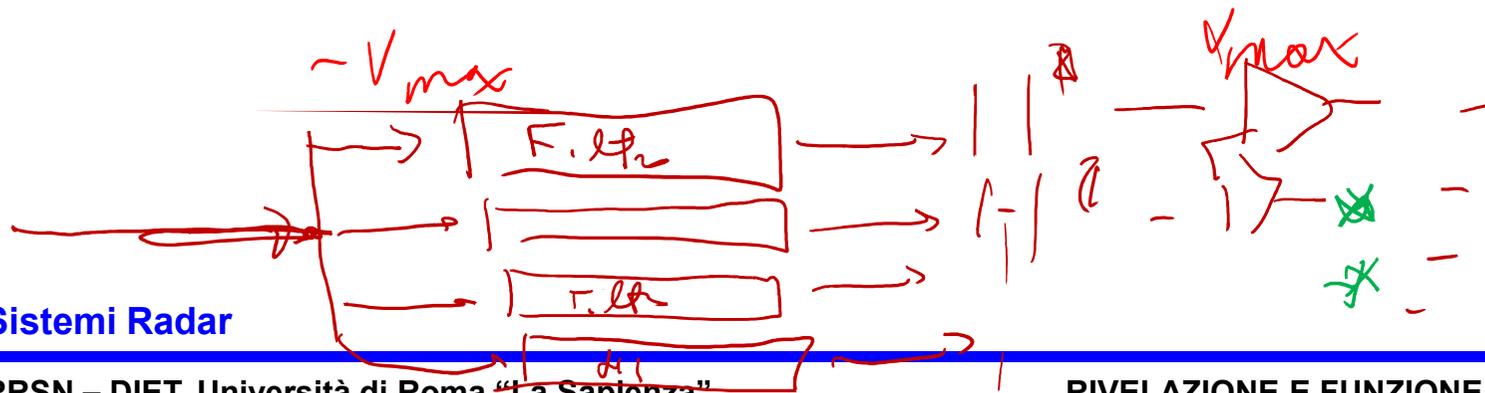
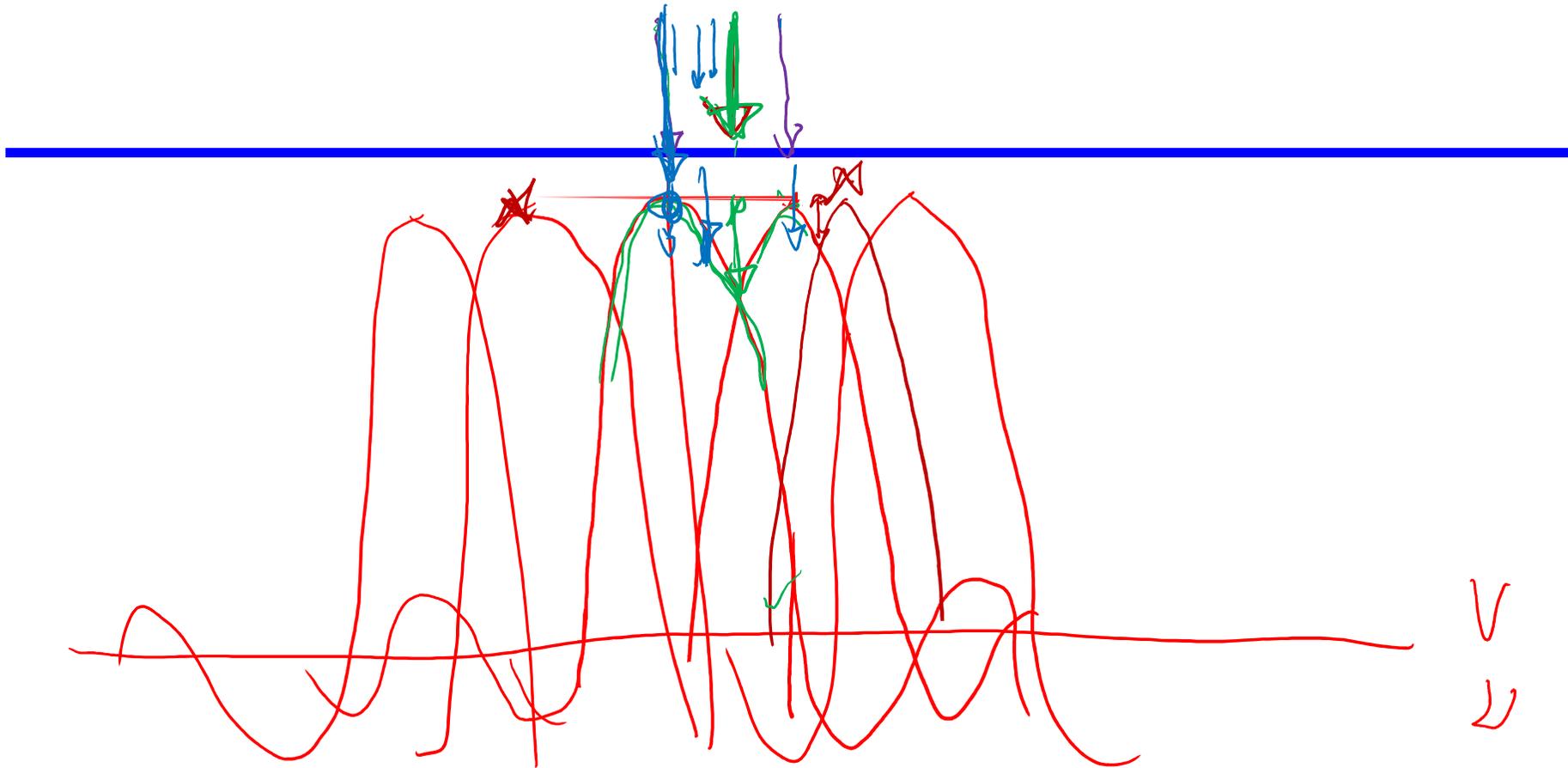


$$\nu_{null} = \frac{1}{\tau_p}$$

$$\nu = f_d = \frac{2V}{\lambda}$$

Un segnale spostato in Doppler di $1/\tau_p$ va a zero all'uscita del filtro adattato





Sistemi Radar

Sistemi Radar

Funzione di ambiguità (VI)

- **Funzione di Ambiguità:**
Impulso rettangolare a frequenza costante

Impulso da: A) $\tau_p=40$ ns
B) $\tau_p=100$ μ s

Risoluzione in distanza:

$$A) \quad r_d = \frac{c}{2} \tau_p = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot 40 \cdot 10^{-9} = 6 \text{ m}$$

$$B) \quad r_d = \frac{c}{2} \tau_p = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 15 \text{ Km}$$

Zona cieca:

A) $\tau_p=40$ ns 6 m
B) $\tau_p=100$ μ s 15 Km

$\text{SNR}_B/\text{SNR}_A=2500$

$R_{MB}/R_{MA}=(2500)^{1/4} \cong 7$

Risoluzione in frequenza Doppler (banda X: $\lambda=3$ cm):

$$A) \quad V_{null} = \frac{\lambda}{2} v_{null} = \frac{\lambda}{2 \tau_p} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 40 \cdot 10^{-9}} = \frac{15}{4} \cdot 10^5 = 375 \text{ Km/s} \quad (= 375 \cdot 3600 \text{ Km/h} = 1.350.000 \text{ Km/h})$$

$$B) \quad V_{null} = \frac{\lambda}{2} v_{null} = \frac{\lambda}{2 \tau_p} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 1,5 \cdot 10^2 = 150 \text{ m/s} \quad (= 150 \cdot 3,600 \text{ Km/h} = 540 \text{ Km/h})$$

Risoluzione in frequenza Doppler (banda L: $\lambda=30$ cm): A) $V_{null} = 3750 \text{ Km/s}$

B) $V_{null} = 1,5 \text{ Km/s}$

Sistemi Radar

Funzione di ambiguità (VI)

– Funzione di Ambiguità:
Impulso rettangolare a frequenza costante

Impulso da: A) $\tau_p=40$ ns
B) $\tau_p=100$ μ s
C) $\tau_p=40$ ms

Risoluzione in distanza/zona cieca:

$$A) \quad r_d = \frac{c}{2} \tau_p = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot 40 \cdot 10^{-9} = 6 \text{ m}$$

$$B) \quad r_d = \frac{c}{2} \tau_p = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 15 \text{ Km}$$

$$C) \quad r_d = \frac{c}{2} \tau_p = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 6000 \text{ Km}$$

$$\text{SNR}_B / \text{SNR}_A = 2500$$

$$R_{MB} / R_{MA} = (2500)^{1/4} \cong 7$$

$$\text{SNR}_C / \text{SNR}_A = 1.000.000$$

$$R_{MC} / R_{MA} = (1.000.000)^{1/4} \cong 31.6$$

Risoluzione in frequenza Doppler (banda X: $\lambda=3$ cm):

$$A) \quad V_{null} = \frac{\lambda}{2} v_{null} = \frac{\lambda}{2 \tau_p} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 40 \cdot 10^{-9}} = \frac{15}{4} \cdot 10^5 = 375 \text{ Km/s} \quad (= 375 \cdot 3600 \text{ Km/h} = 1.350.000 \text{ Km/h})$$

$$B) \quad V_{null} = \frac{\lambda}{2} v_{null} = \frac{\lambda}{2 \tau_p} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 1,5 \cdot 10^2 = 150 \text{ m/s} \quad (= 150 \cdot 3,600 \text{ Km/h} = 540 \text{ Km/h})$$

$$C) \quad V_{null} = \frac{\lambda}{2} v_{null} = \frac{\lambda}{2 \tau_p} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 40 \cdot 10^{-3}} = \frac{15}{4} \cdot 10^{-1} = 0,375 \text{ m/s} \quad (= 1,35 \text{ Km/h})$$

Risoluzione in frequenza Doppler (banda L: $\lambda=30$ cm): A) $V_{null} = 3750 \text{ Km/s}$

B) $V_{null} = 1,5 \text{ Km/s}$

C) $V_{null} = 3,75 \text{ m/s}$

Sistemi Radar

- 300 m/s 300 m/s

Caratteristiche di moto dei bersagli

– Tipiche caratteristiche di moto dei bersagli

Tipo di bersaglio	Radar cross-section	Velocità (m/s)
Nave	5-200	0
Aereo	1-50	200-300
Elicottero	3-7	100
Missile	0,1 -0,3	200-400
Colpo	0,001-0,003	600-900

Quindi per singolo impulso:

- perdita molto limitata a causa della Doppler
- Ma impossibile fornire una risoluzione utile in Doppler