
Moving Target Indicator (MTI) convenzionale

Pierfrancesco Lombardo

Super-clutter vs. Sub-Clutter visibility (I)

- Rivelazione di bersagli contro clutter:

A) Super-Clutter Visibility:

- eco di target $>$ livello medio di clutter
- elaborazione in range con CFAR / log
- potenziale uso di integrazione non-coerente

B) Sub-Clutter Visibility:

- eco di target \ll livello medio di clutter
- integrazione non-coerente è inefficace
- elaborazione in range con CFAR / log non porta ad alcuna rivelazione

È necessario “estrarre” il segnale dal clutter:

trovare un modo per

- amplificare la sola eco dal segnale utile ma non gli echi di clutter;
- oppure attenuare gli echi di clutter, senza attenuare della stessa quantità anche l'eco del bersaglio

Super-clutter vs. Sub-Clutter visibility (II)

- In cosa differisce l'eco del bersaglio dagli echi di clutter?
- se non ci sono differenze, non si può pensare di “estrarre il bersaglio”!

- per bersagli di “piccole dimensioni”

si può pensare di capitalizzare sul fatto che il clutter è distribuito spazialmente, mentre il bersaglio è concentrato spazialmente:

Riducendo la dimensione della cella di risoluzione l'eco del bersaglio non diminuisce, mentre l'eco di clutter si riduce. Ovviamente il limite è dato dalle dimensioni del bersaglio.

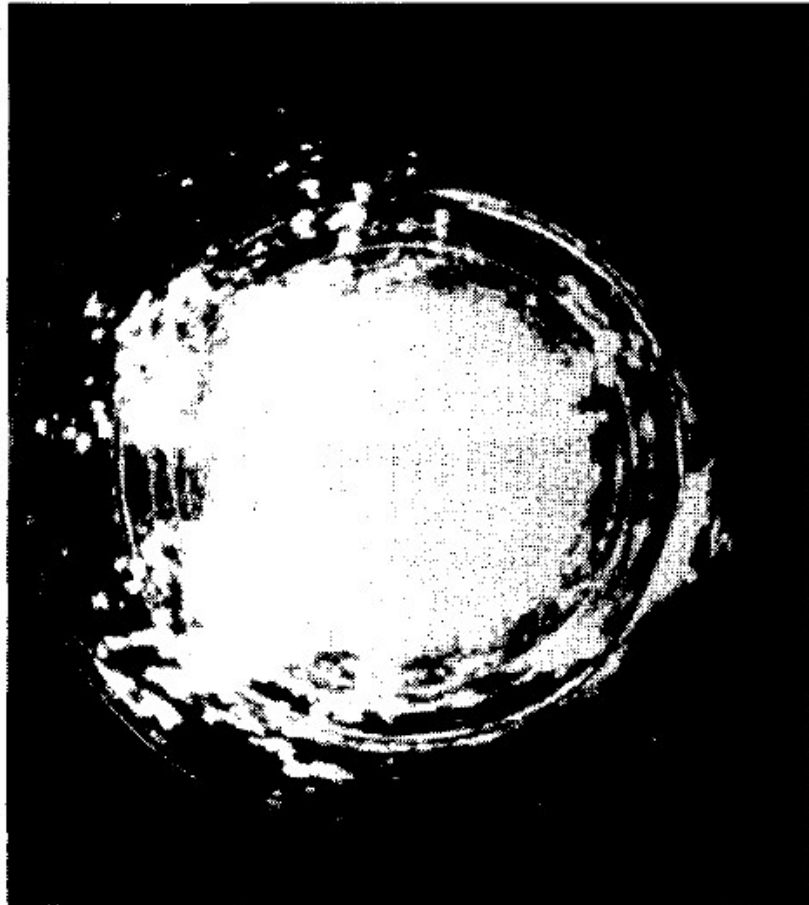
→ **passo da condizione “sub-clutter” a condizione “super-clutter” aumentando la banda della forma d'onda utilizzata**

- per bersagli aerei (o in generale in movimento)

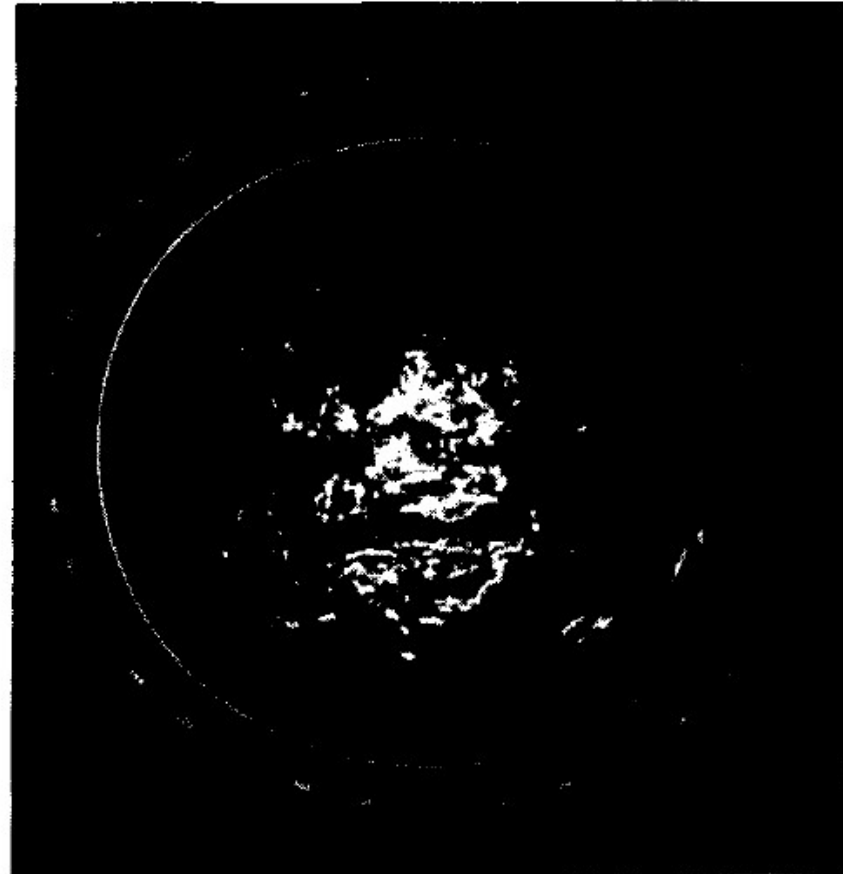
si può pensare di capitalizzare sul fatto che il clutter è fermo, mentre il bersaglio si muove:

→ **sfrutto effetto Doppler per “estrarre il bersaglio”**

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.

Sistemi Radar

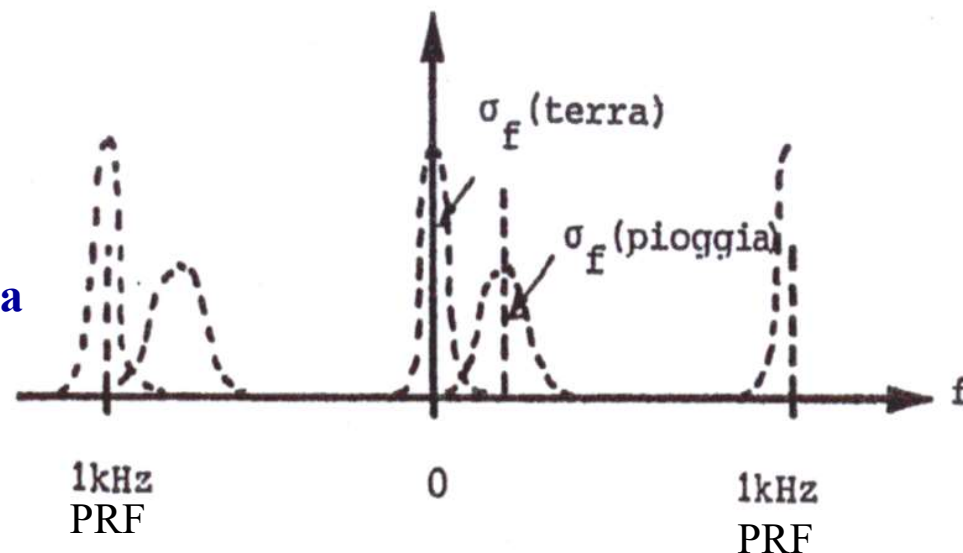
Shrader & Gregers-Hansen "MTI Radar"
in M. Skolnik - Radar Handbook 2° Ed.

Efficacia delle tecniche MTI

Figure 15.11*a* shows a PPI display of all clutter observed with a surveillance radar with a 1.3° by $2\text{-}\mu\text{s}$ resolution cell in the mountainous region of Lakehead, Ontario, Canada. (The PPI range is set for 30 nmi.) Clutter that exceeds the minimum-discernible signal (MDS) level of the radar by 60 dB is shown in Fig. 15.11*b*. Note that the clutter in Fig. 15.11*b* is very spotty in character, including the strong fixed-point targets and returns from extended targets. It is significant that the extended targets are no longer very extended. The face of a mountain at 10 mi from 5 to 7 o'clock is only a line. If the MTI system were incapable of displaying an aircraft while it was over the mountain face, it would display the aircraft on the next scan of the antenna because the aircraft would have moved either farther or nearer. The PPI does not have a resolution that approaches the resolution of the signal-processing

Discriminazione in base alla Doppler (I)

- Si può sfruttare la Doppler, se si ha una sufficiente capacità di discriminazione in Doppler.
- Serve una sequenza coerente di impulsi sufficientemente lunga
- Per l'ambiguità della FdA della sequenza un bersaglio quale un aereo può essere in una posizione qualunque della campata.

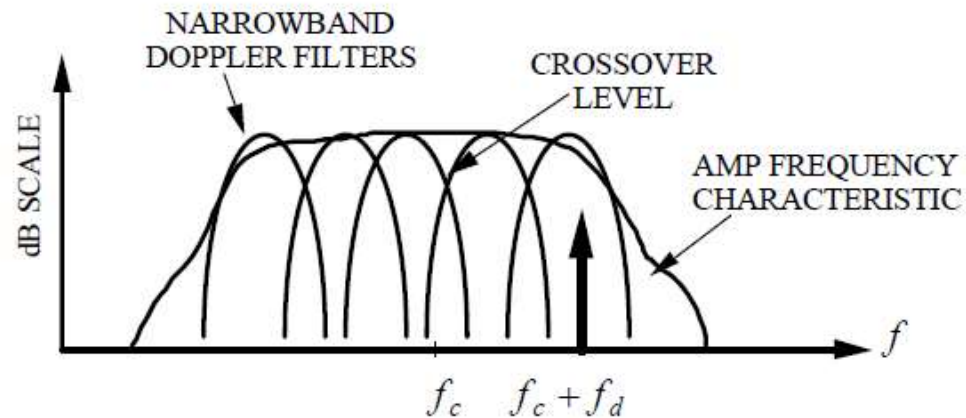
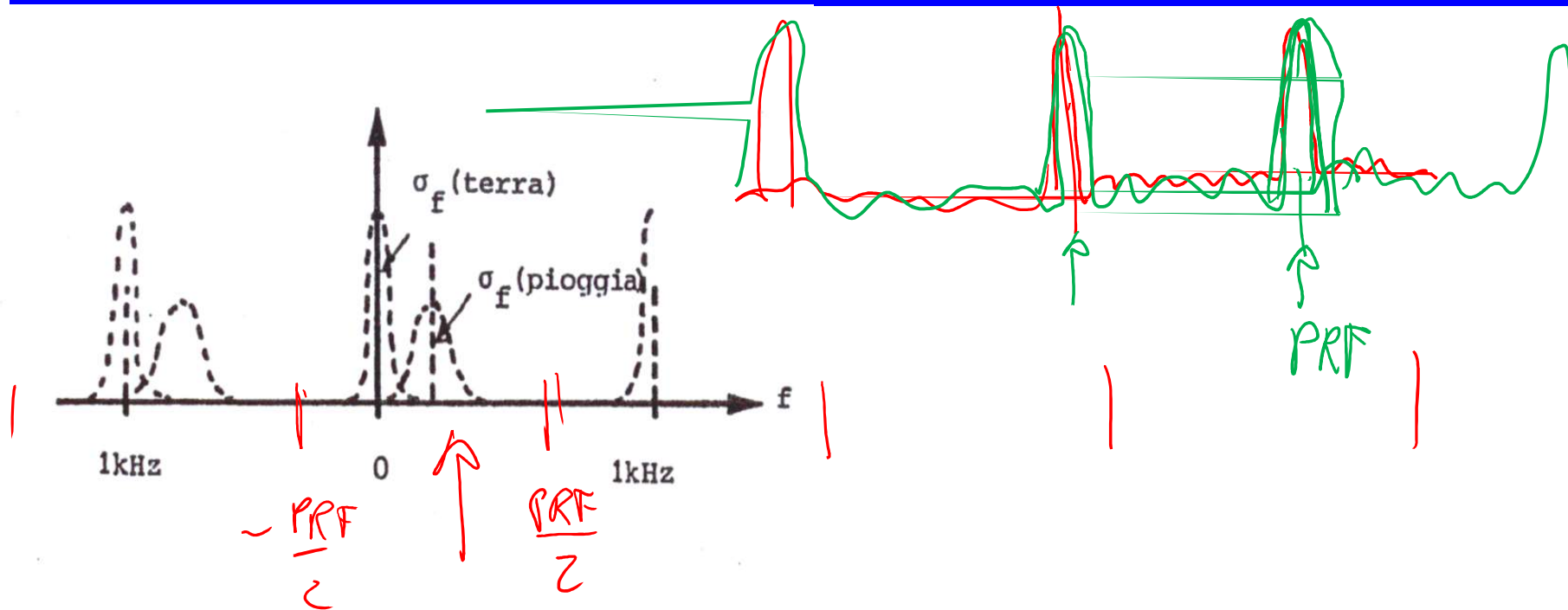


Caratteristiche di movimento:

bersaglio	{	nave:	velocità tipica 0 m/s $\Rightarrow f_d=0$ Hz;
		aereo:	velocità tipiche 200÷300 m/s $\Rightarrow f_d=4 \div 6$ KHz ($\lambda=0.1\text{m}$ banda S);
clutter	{	puntiforme:	velocità 0 m/s $\Rightarrow f_d=0$ Hz;
		terra:	velocità 0 m/s $\Rightarrow f_d=0$ Hz;
		mare:	fino a velocità tipiche 4 ÷ 10 m/s $\Rightarrow f_d=80 \div 200$ Hz ($\lambda=0.1\text{m}$ banda S);
		pioggia:	fino a velocità tipiche 10 ÷ 20 m/s $\Rightarrow f_d=200 \div 400$ Hz ($\lambda=0.1\text{m}$ banda S);

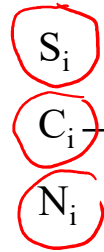
Sistemi Radar

Discriminazione in base alla Doppler (II)

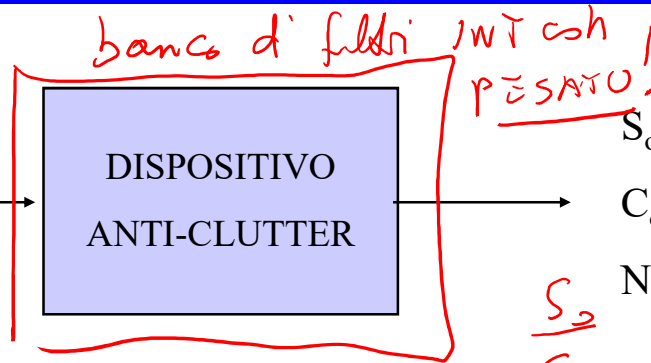


Discriminazione in base alla Doppler (III)

$S_i - C_i - N_i$: potenza di segnale utile, clutter e noise in ingresso al dispositivo anti-clutter;



$$\frac{S_i}{C_i}$$



$S_o - C_o - N_o$: potenza di segnale utile, clutter e noise in uscita al dispositivo anti-clutter;

$$\frac{S_o}{C_o}$$

$$S_o = |H(f_d)|^2 S_i$$

Improvement Factor

$$IF = \frac{S_o/C_o}{S_i/C_i} = \frac{S_o}{S_i} \cdot \frac{C_i}{C_o} = G \cdot CA$$

Clutter attenuation

Guadagno sul segnale

$$C_o = \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 P_c(f) df$$

$$C_i = \int_{-\infty}^{\infty} P_c(f) df$$

$$\frac{S}{C} \rightarrow 13dB$$

$$G = |H(f_d)|^2$$

$$IF = \frac{|H(f_d)|^2 \int_{-\infty}^{\infty} P_c(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 P_c(f) df}$$

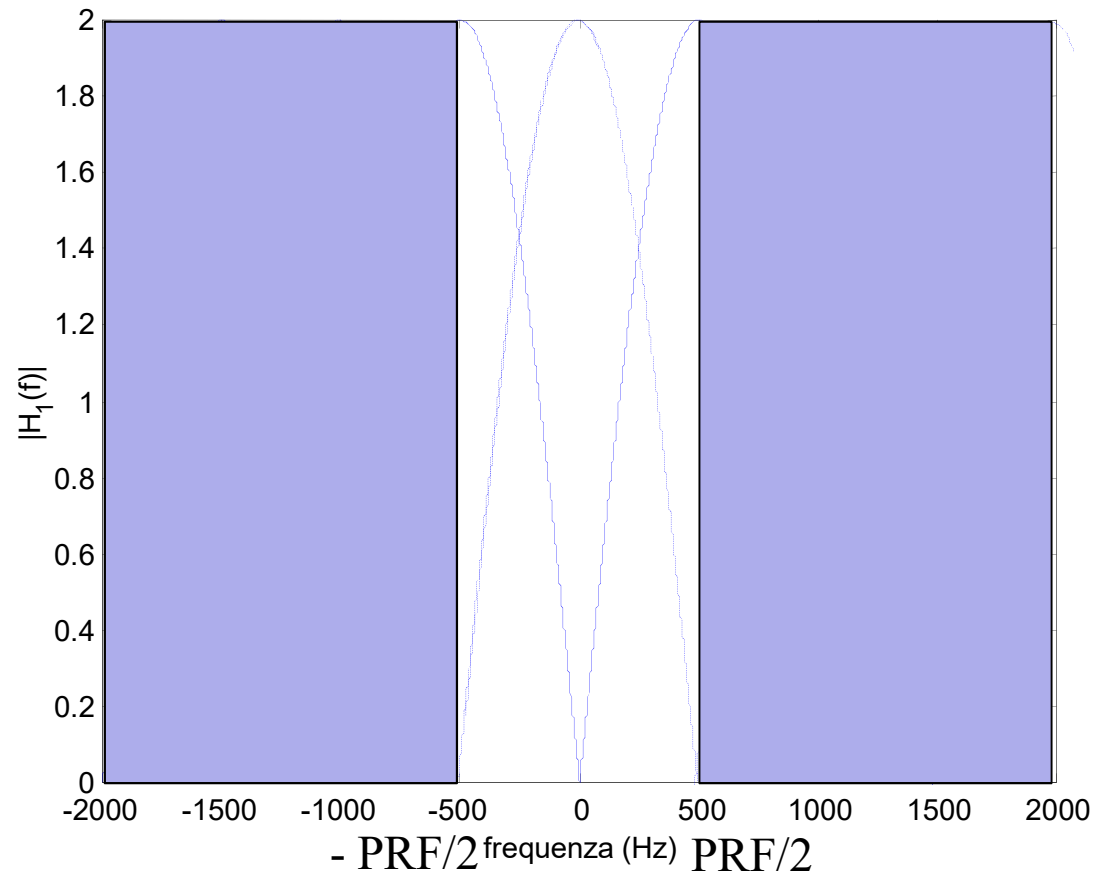
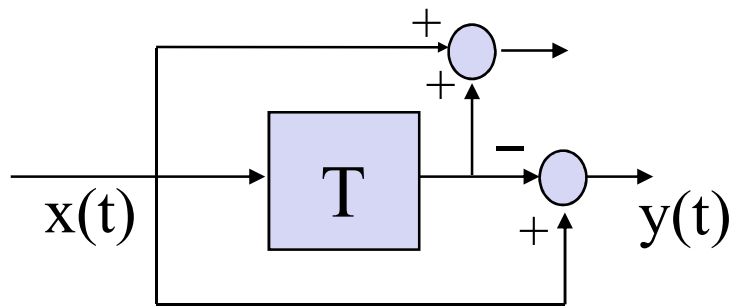
CA

Discriminazione in base alla Doppler (IV)

2 impulsi- 2 filtri:

FFT \rightarrow somma e differenza!

$$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} s(0) \\ s(1) \end{bmatrix} \quad \mathbf{r} = \begin{bmatrix} r(0) \\ r(1) \end{bmatrix}$$

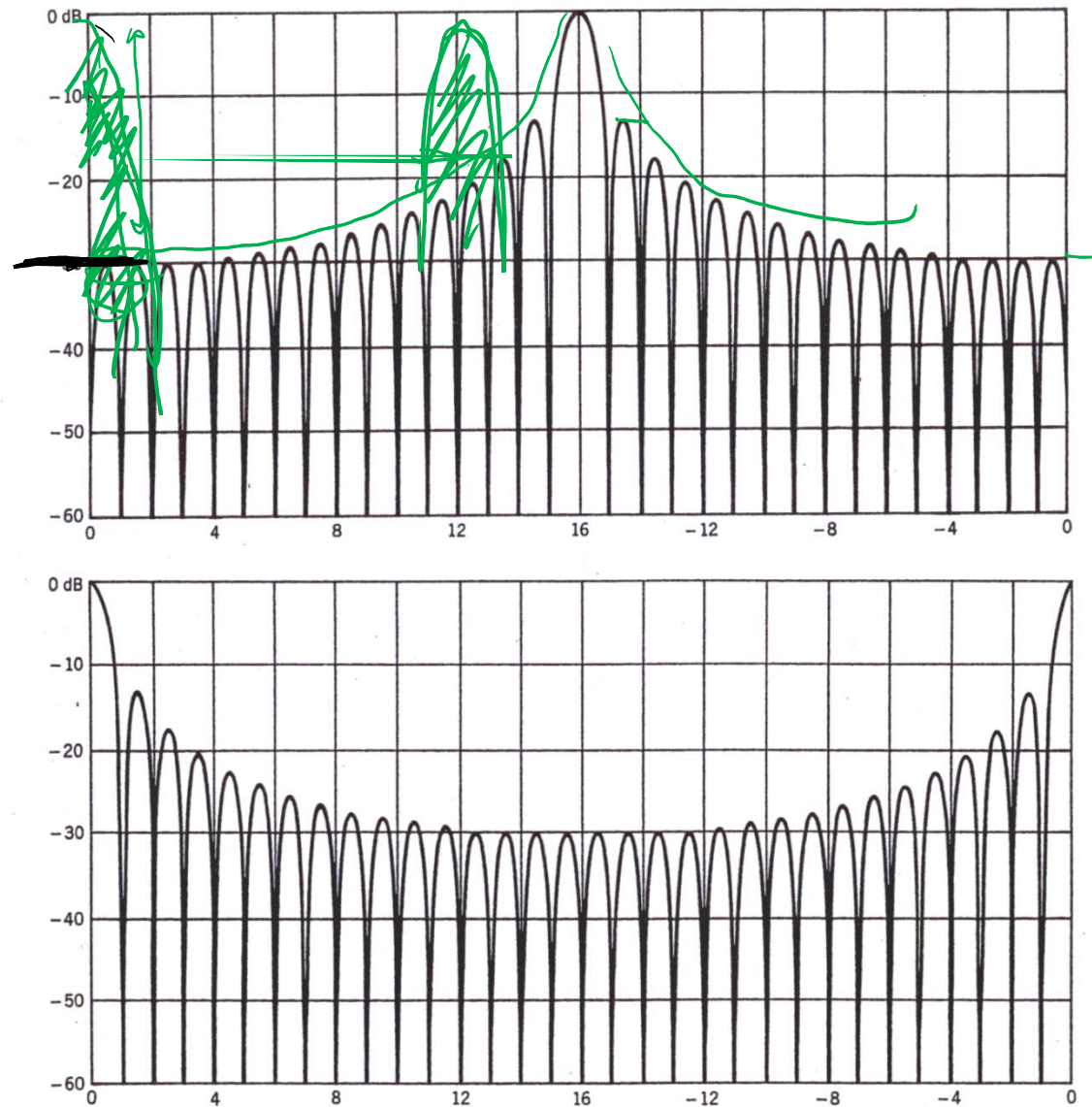


Discriminazione in base alla Doppler (V)

N impulsi - N filtri:

FFT →

banco di filtri a SINC!



Discriminazione in base alla Doppler (VI)

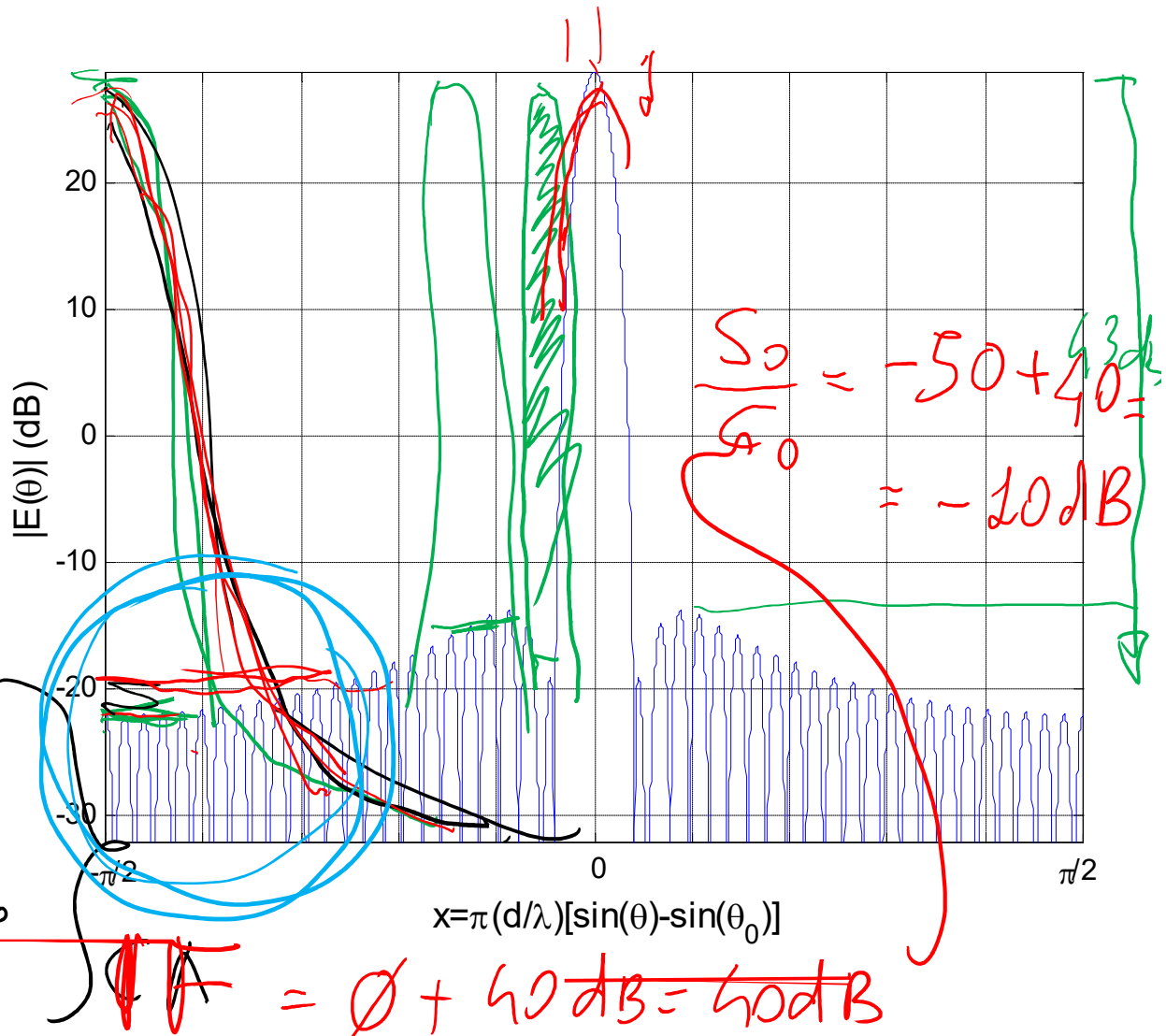
N impulsi - N filtri:

banco di filtri pesato

$$\frac{S_i}{C_i} = -30 \text{ dB}$$

$$G \approx 1 \text{ (0 dB)}$$

$$CA \approx 40 \text{ dB?}$$



Discriminazione in base alla Doppler (VII)

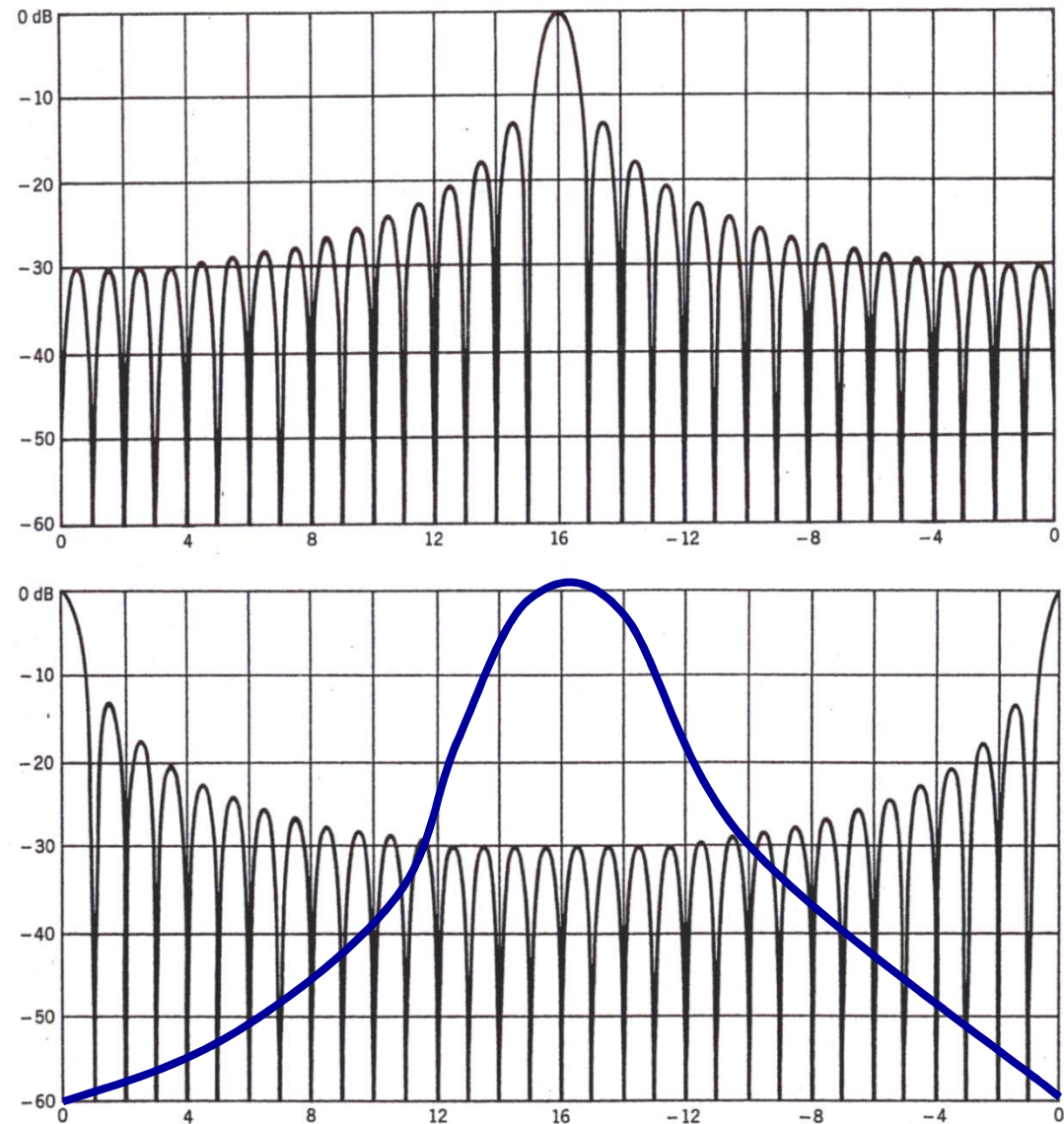
N impulsi - N filtri:

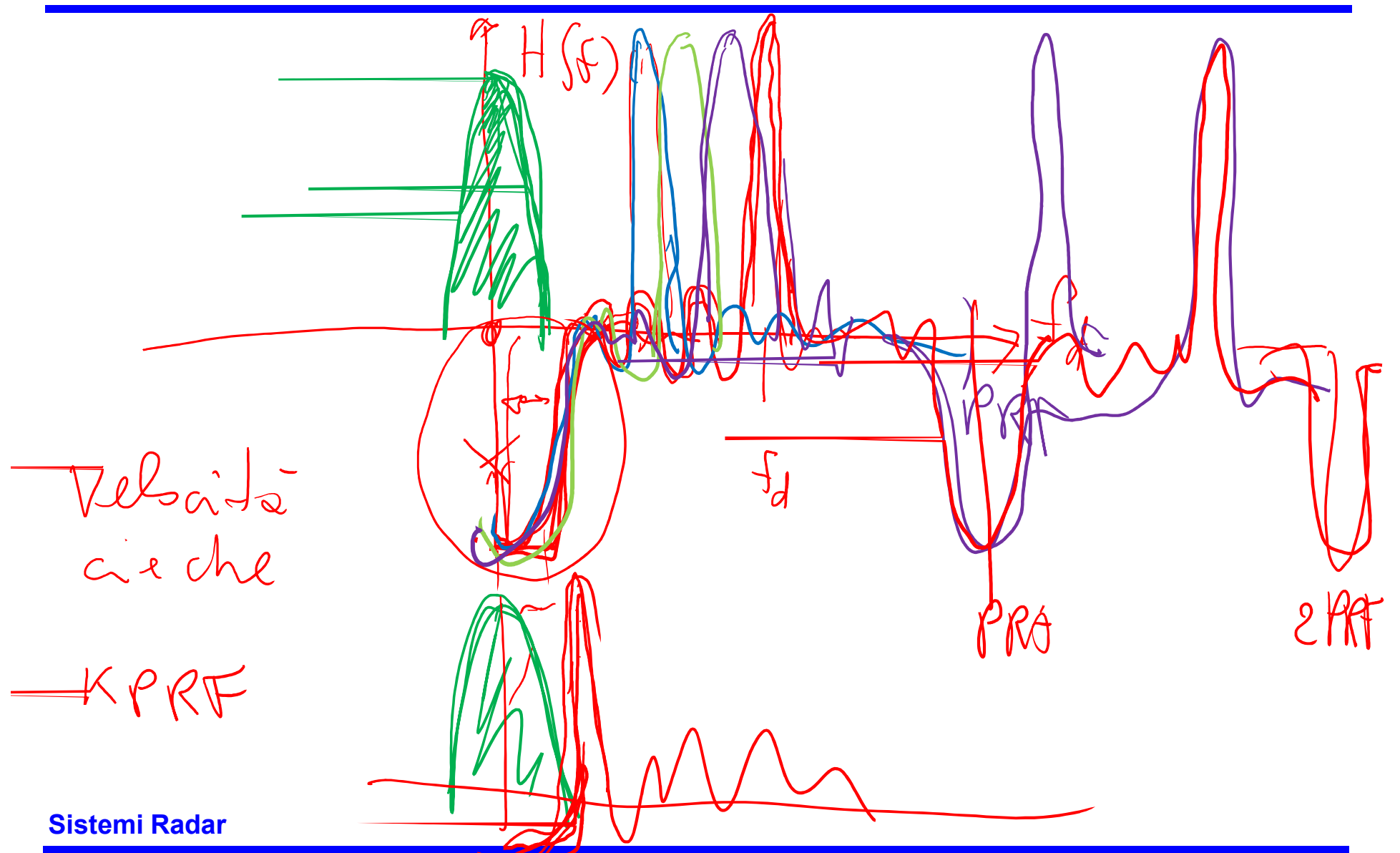
FFT →

banco di filtri a SINC!

Confronto:

N=2 vs. N grande



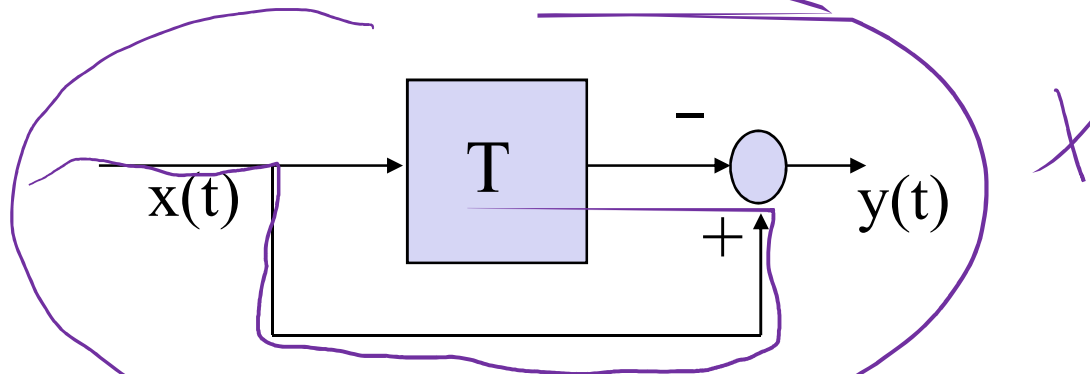




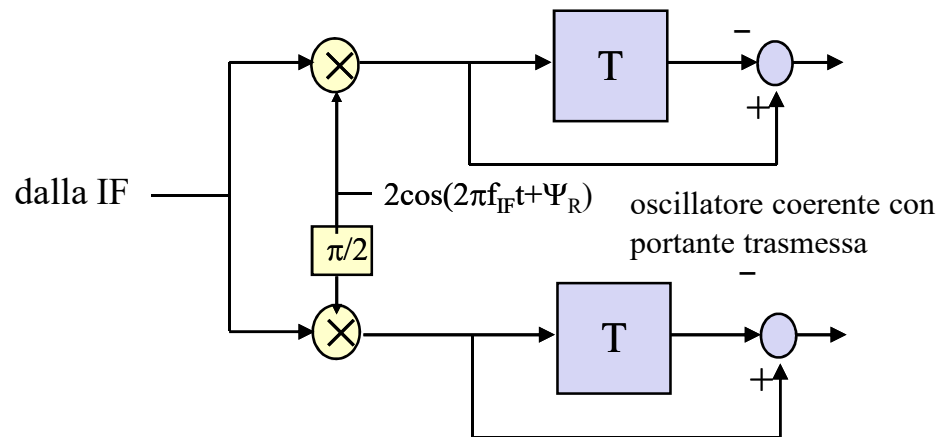
Passa-alto + bancs di filtri
(int coh,

Sistemi Radar

Schema base: MTI a singolo cancellatore (I)



- Tutto ciò che è fermo da un PRT al successivo viene cancellato
- Ci si aspetta dunque che cancelli molto gli echi di clutter fermo ma non l'eco dal bersaglio
- E' sottrazione **COERENTE** (nel complesso, o meglio su I & Q):



Schema base: MTI a singolo cancellatore (II)

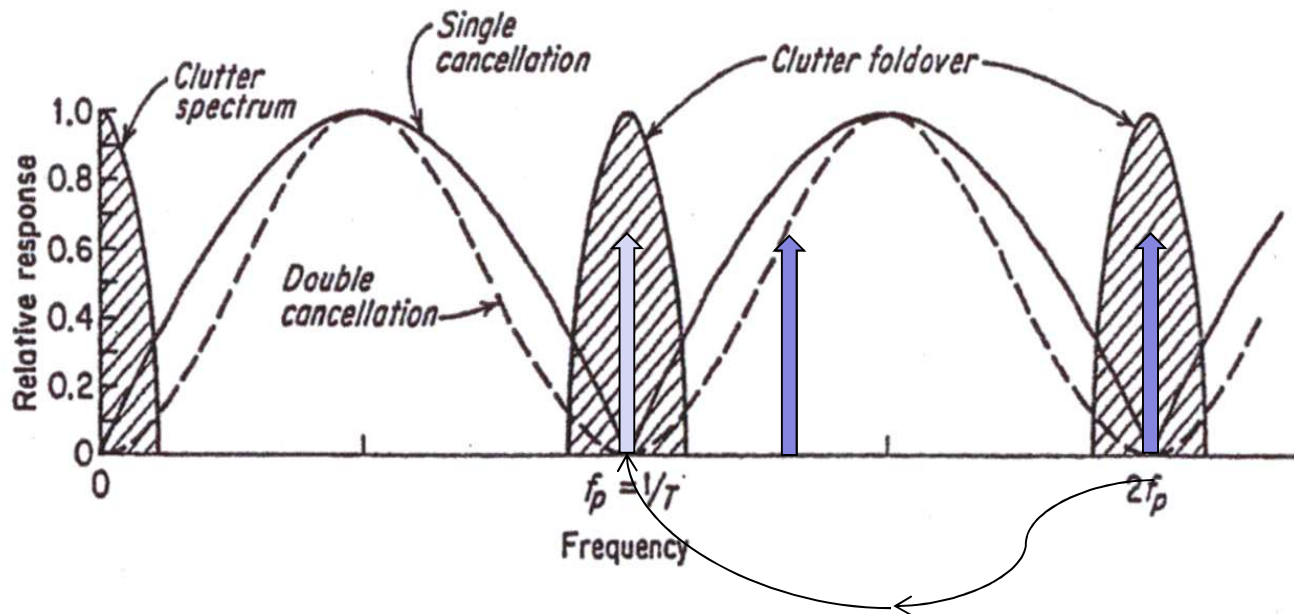
Risposta impulsiva

$$h_1(t) = \delta(t) - \delta(t - T)$$

$$H_1(f) = 1 - e^{-j2\pi fT} = 2je^{-j\pi fT} \frac{e^{j\pi fT} - e^{-j\pi fT}}{2j} = 2je^{-j\pi fT} \sin(\pi fT)$$

$$|H_1(f)| = 2|\sin(\pi fT)|$$

Il filtro ha degli zeri ai multipli della PRF.



Prestazioni MTI a singolo cancellatore

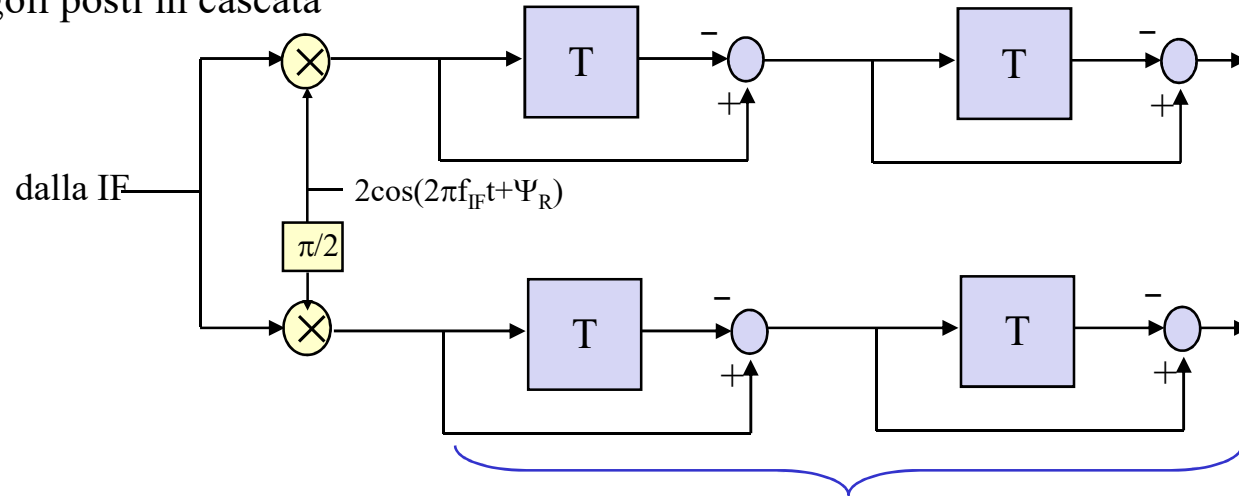
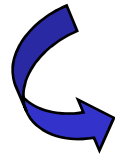
$$\begin{aligned}
 IF(f_d) &= \frac{|\sin(\pi f_d T)|^2 \int_{-\infty}^{\infty} S_i(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} \sin^2(\pi f T) S_i(f) df} = \frac{2 |\sin(\pi f_d T)|^2 \int_{-\infty}^{\infty} S_i(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} [1 - \cos(2\pi f T)] S_i(f) df} = \\
 &= \frac{2 |\sin(\pi f_d T)|^2 \int_{-\infty}^{\infty} S_i(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} S_i(f) df - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} S_i(f) e^{j2\pi f T} df - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} S_i(f) e^{-j2\pi f T} df} = \\
 &= \frac{2 |\sin(\pi f_d T)|^2 R_i(0)}{R_i(0) - \frac{1}{2} R_i(T) - \frac{1}{2} R_i(-T)} = \frac{2 |\sin(\pi f_d T)|^2}{1 - \frac{1}{2} \rho_i(T) - \frac{1}{2} \rho_i(-T)} = \frac{2 \sin^2(\pi f_d T)}{1 - \text{Re}\{\rho_i(T)\}}
 \end{aligned}$$

Curva funzione di f_d

$$IF_{\text{media}} = T \int_{-1/2T}^{1/2T} IF(f_d) df_d = T \int_{-1/2T}^{1/2T} \frac{2 \sin^2(\pi f_d T)}{1 - \text{Re}\{\rho_i(T)\}} df_d = \frac{1}{1 - \text{Re}\{\rho_i(T)\}}$$

MTI a doppio cancellatore

Due cancellatori singoli posti in cascata



- ▶ Risposta impulsiva cancellatore doppio:

$$h_2(t) = h_1(t) * h_1(t) = \delta(t) - 2\delta(t - T) + \delta(t - 2T)$$

- ▶ Funzione di trasferimento cancellatore doppio:

$$H_2(f) = H_1(f) \cdot H_1(f) = 4\sin^2(\pi f T)$$

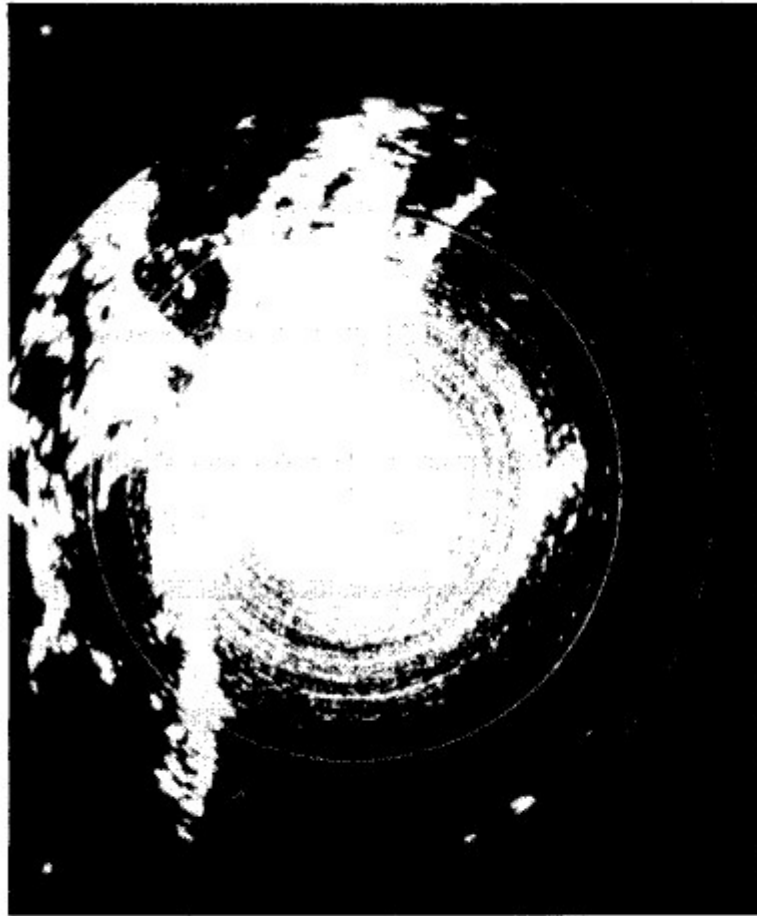
Prestazioni MTI a doppio cancellatore

$$IF(f_d) = \frac{|\sin(\pi f_d T)|^4 \int_{-\infty}^{\infty} S_i(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} \sin^4(\pi f T) S_i(f) df}$$

Curva funzione di f_d

$$IF_{\text{media}} = T \int_{-1/2T}^{1/2T} IF(f_d) df_d = \frac{1}{1 - \frac{4}{3} \operatorname{Re}\{\rho(T)\} + \frac{1}{3} \operatorname{Re}\{\rho(2T)\}}$$

Efficacia delle tecniche MTI



(a)

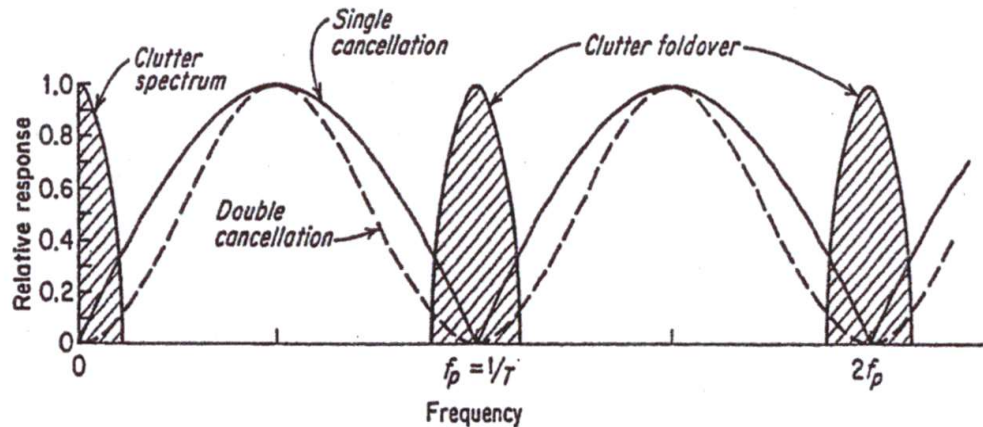


(b)

FIG. 15.1 (a) Normal video. (b) MTI video. These PPI photographs show how effective an MTI system can be. Aircraft appear as three consecutive blips in the right-hand picture because the camera shutter was open for three revolutions of the antenna. The PPI range is 40 nmi.

Sistemi Radar

Confronto singolo/doppio cancellatore (I)



Cancellatore doppio ha zeri più larghi del singolo \Rightarrow migliore cancellazione del clutter di terra ma si riduce zona disponibile per il bersaglio.

Affinchè risulti $IF_2 > IF_1$ deve essere:

$$\frac{1}{1 - \frac{4}{3} \text{Re}\{\rho(T)\} + \frac{1}{3} \text{Re}\{\rho(2T)\}} > \frac{1}{1 - \text{Re}\{\rho(T)\}} \Rightarrow \text{Re}\{\rho(T)\} > \text{Re}\{\rho(2T)\}$$

Correlazione del clutter a passo T maggiore della correlazione a passo 2T

Confronto singolo/doppio cancellatore (II)

ESEMPIO: spettro del clutter gaussiano

$$\text{Re}\{\rho(\tau)\} = e^{-\frac{\tau^2}{2\sigma_\tau^2}} \cos(2\pi f_0 \tau) \quad \text{con } \sigma_\tau = \frac{1}{2\pi\sigma_f}$$

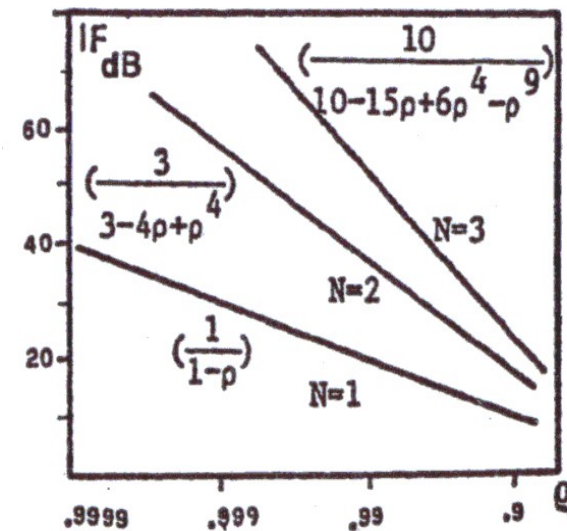
f_0 : portante del clutter;

- per $f_0=0$ (puntiforme&terra: importante per ATC) detto $\rho=\rho(T) \Rightarrow \rho(iT) = \rho^i \Rightarrow \rho(T) > \rho(2T)$ sempre $\Rightarrow IF_2 > IF_1$ sempre;
- per $f_0 \neq 0$ la relazione tra IF_1 e IF_2 dipende da f_0 ;

Tipodi clutter	σ_f	f_0	σ_τ	$\rho(T)$	$\rho(2T)$	I_1/dB	I_2/dB
Terra	31	--	$5.1 \cdot 10^{-3}$	0.9978	0.9912	26.6	50.2
Pioggia ($V_0=36 \text{ km/h}$)	86	200	$1.85 \cdot 10^{-3}$	0.8988	0.6270	9.9	19.7
Pioggia	86	--	$1.85 \cdot 10^{-3}$	0.9839	0.9371	17.9	33.0

E' possibile considerare cancellatori n-plici (n cancellatori singoli in cascata) \Rightarrow si cancella sempre meglio il clutter fisso (residui più bassi) ma si riduce sempre più lo spazio disponibile per il bersaglio.

Sistemi Radar



Efficacia delle tecniche MTI

$$\sigma_c = 2\sigma_v/\lambda$$

pulse repetition frequency f_r

first blind speed of the radar V_B

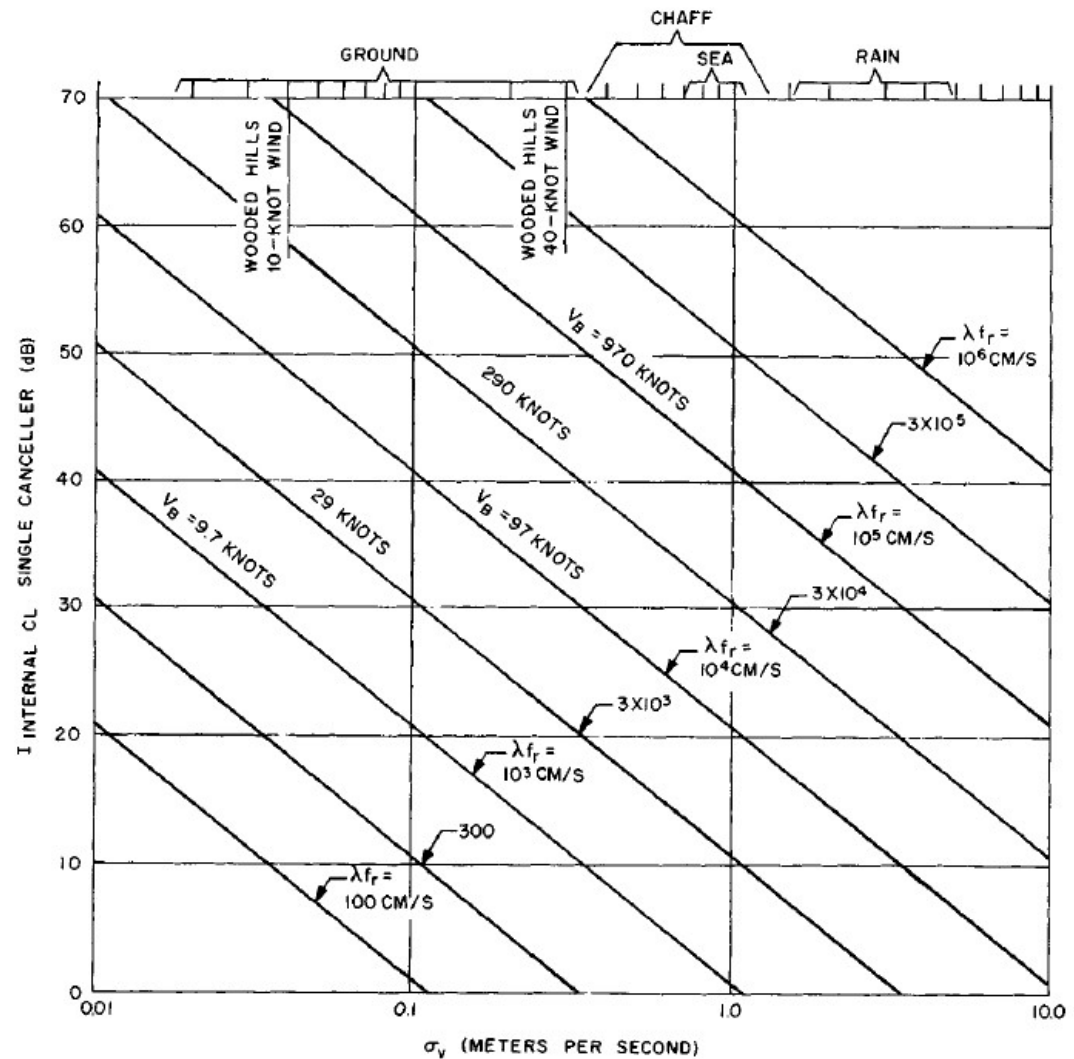


FIG. 15.13 MTI improvement factor as a function of the rms velocity spread of clutter for a two-pulse binomial-weight canceler.