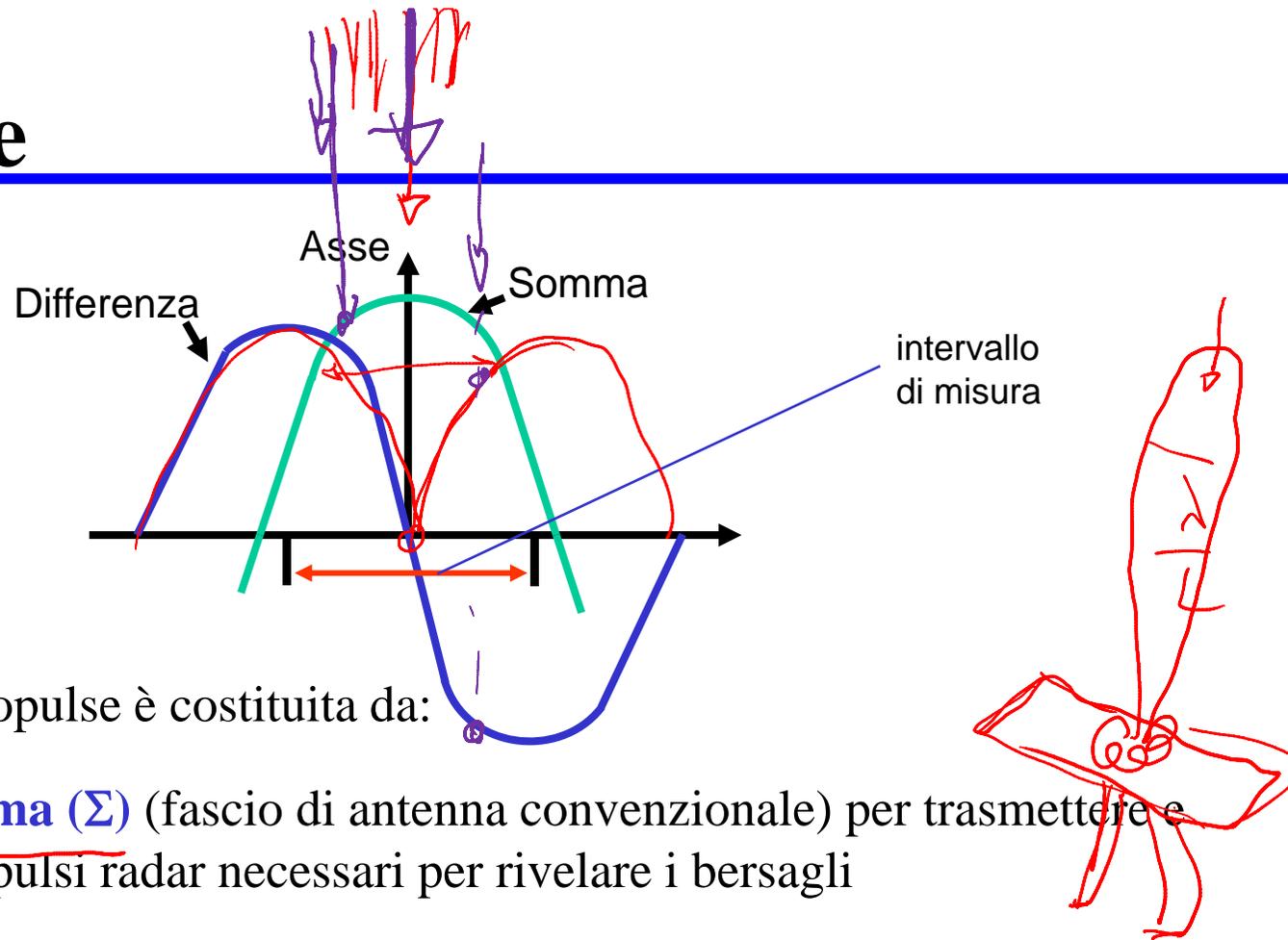

Stima DOA

Tecnica Monopulse

Monopulse

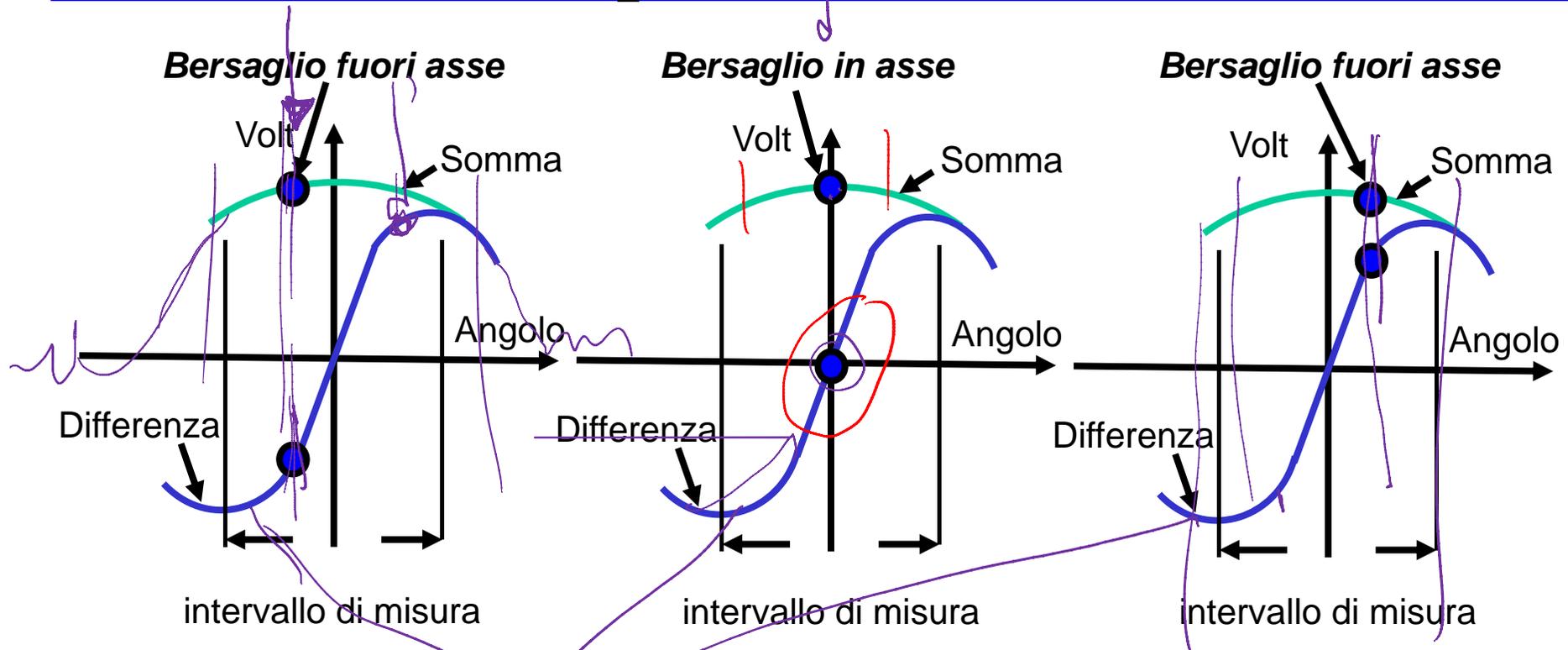


Una antenna Monopulse è costituita da:

- un fascio somma (Σ) (fascio di antenna convenzionale) per trasmettere e ricevere gli impulsi radar necessari per rivelare i bersagli
- un fascio differenza (Δ), che
 - presenta un nullo molto profondo sull'asse principale (in corrispondenza del massimo del fascio somma);
 - ha un pattern antisimmetrico, cosicché bersagli provenienti da angoli simmetrici rispetto all'asse principale vengono visti con ampiezza di segno opposto

Sistemi radar

Uscita del Monopulse



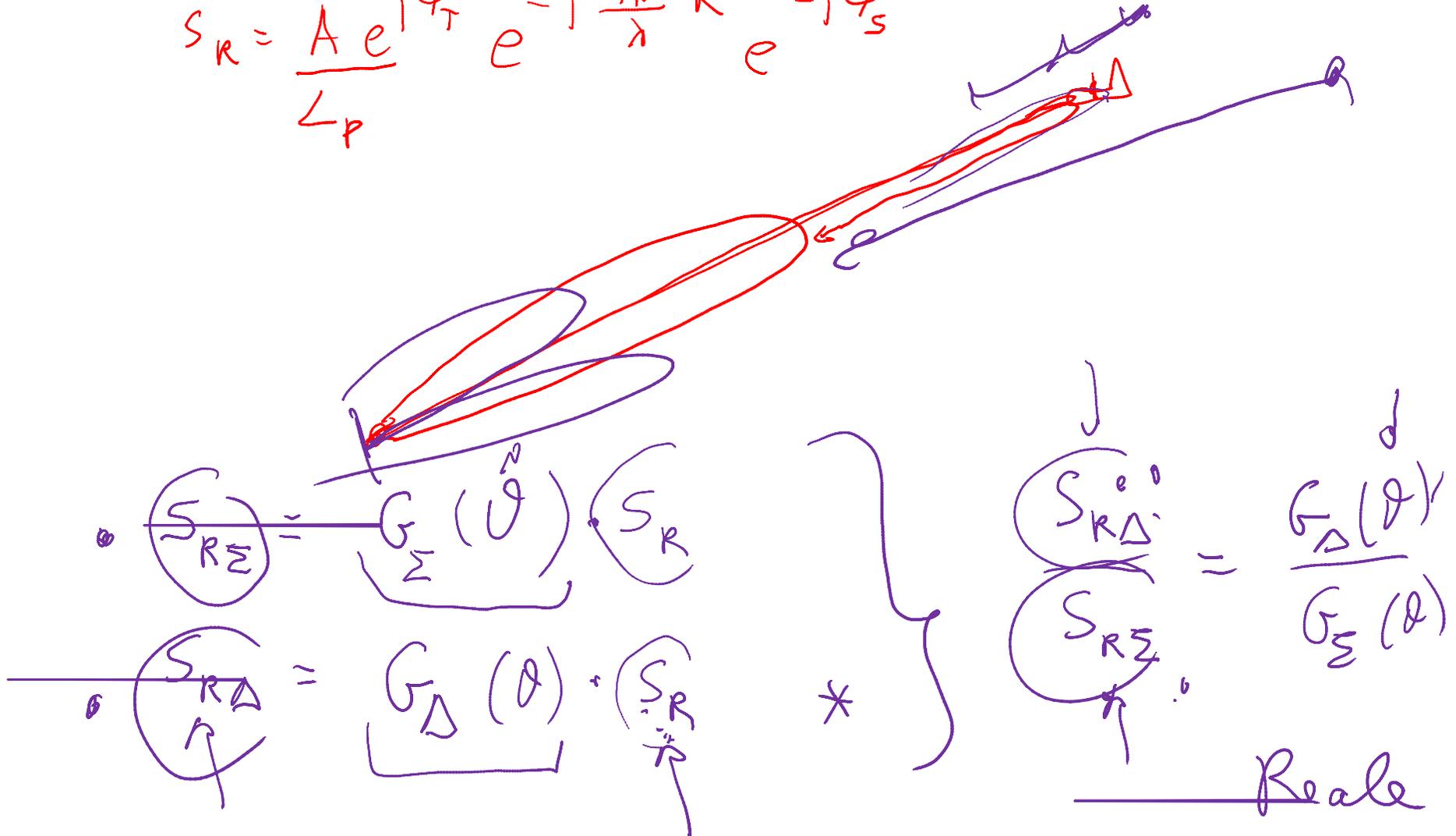
Osservazioni:

- Sia il valore ricevuto dal **fascio Σ** che dal **fascio Δ** sono moltiplicati per lo stesso valore di ampiezza e fase del bersaglio (incogniti in ricezione)
- Quindi il rapporto fra Δ e Σ è indipendente da ampiezza e fase del bersaglio
- Il valore misurato dal **fascio Δ** , dipende in modo monotono dall'angolo di arrivo del bersaglio (nell'intervallo di misura); al contrario il valore del **fascio Σ** si mantiene pressoché costante

Sistemi radar

$$s_p = A e^{j\phi_T}$$

$$s_R = \frac{A e^{j\phi_T}}{L_p} e^{-j \frac{4\pi R}{\lambda}} e^{-j\phi_S}$$



Sistemi radar

$$S_{R\Sigma} = G_{\Sigma}(\theta) S_R + n_{\Sigma}$$

$$S_{R\Delta} = G_{\Delta}(\theta) S_R + n_{\Delta}$$

$$\frac{S_{R\Delta}}{S_{R\Sigma}}$$

numero
surplus

$$\frac{G_{\Delta}(\theta) S_R + n_{\Delta}}{G_{\Sigma}(\theta) S_R + n_{\Sigma}}$$

↑
alto

basso

$$\frac{G_{\Delta}(\theta)}{G_{\Sigma}(\theta)} + \frac{n_{\Delta}}{G_{\Sigma}(\theta) S_R}$$

$\eta(\theta)$

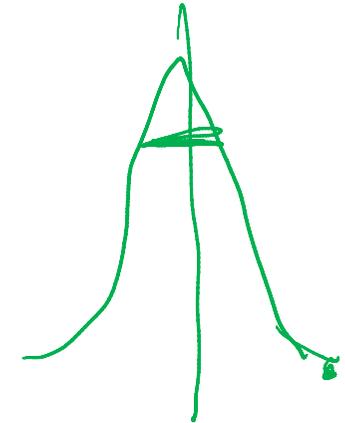
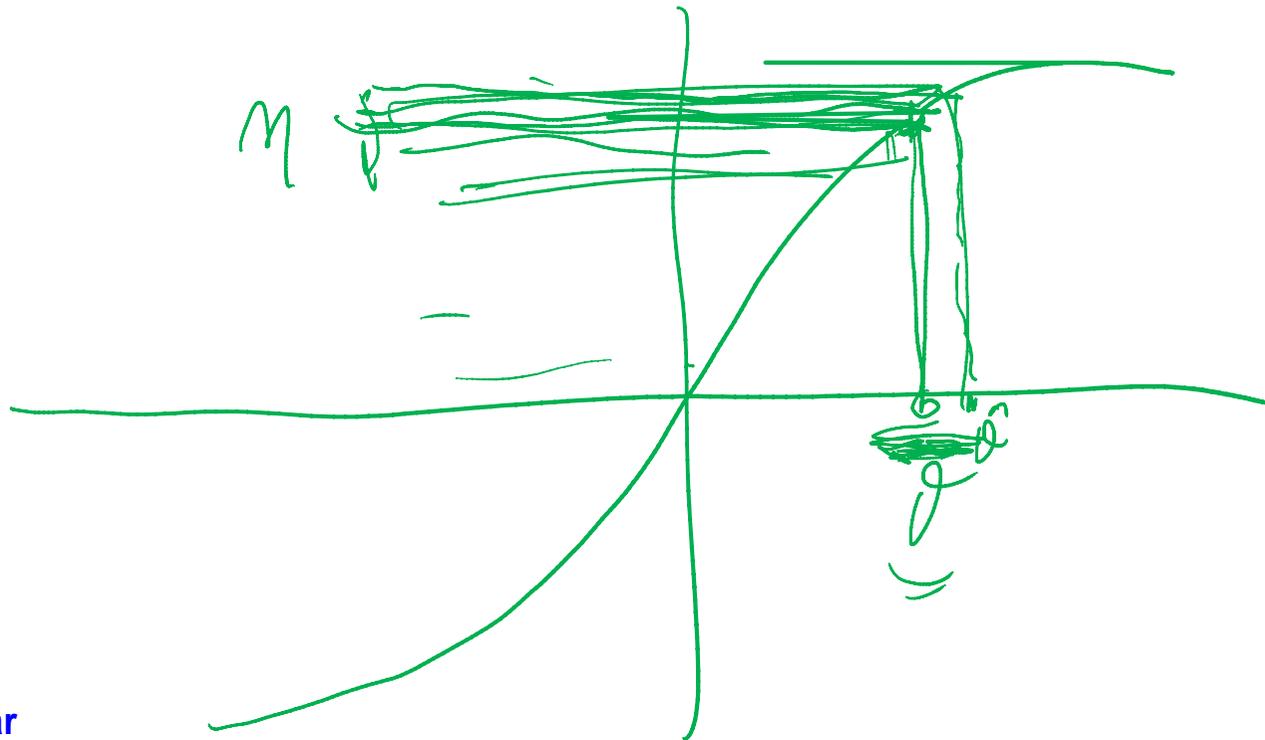
reale

numero

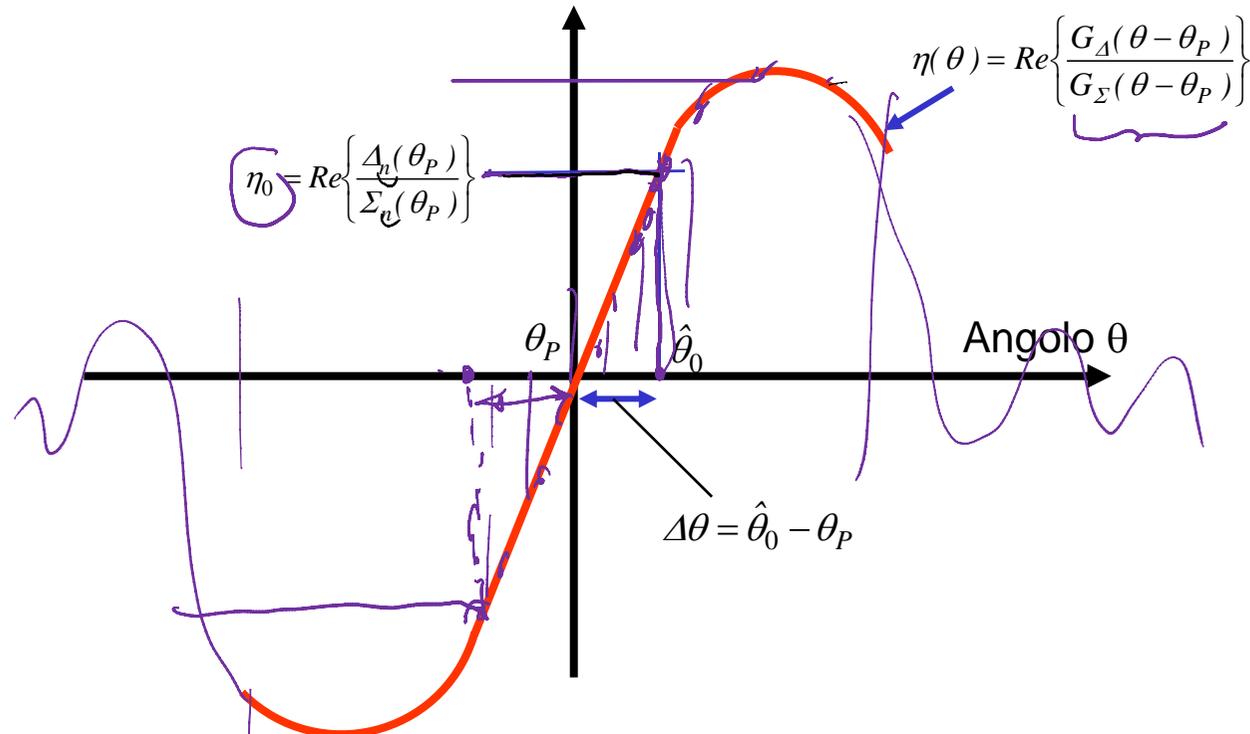
complesso

$$G_{\Sigma}(\theta) S_R \gg n_{\Sigma}$$

$$\operatorname{Re} \left\{ \frac{S_{RD}}{S_{RE}} \right\} = \eta(\theta) + \operatorname{Re} \left\{ \frac{h_{\Delta}}{G_{\Sigma}(\theta) S_R} \right\}$$



Misura di angolo con il Monopulse

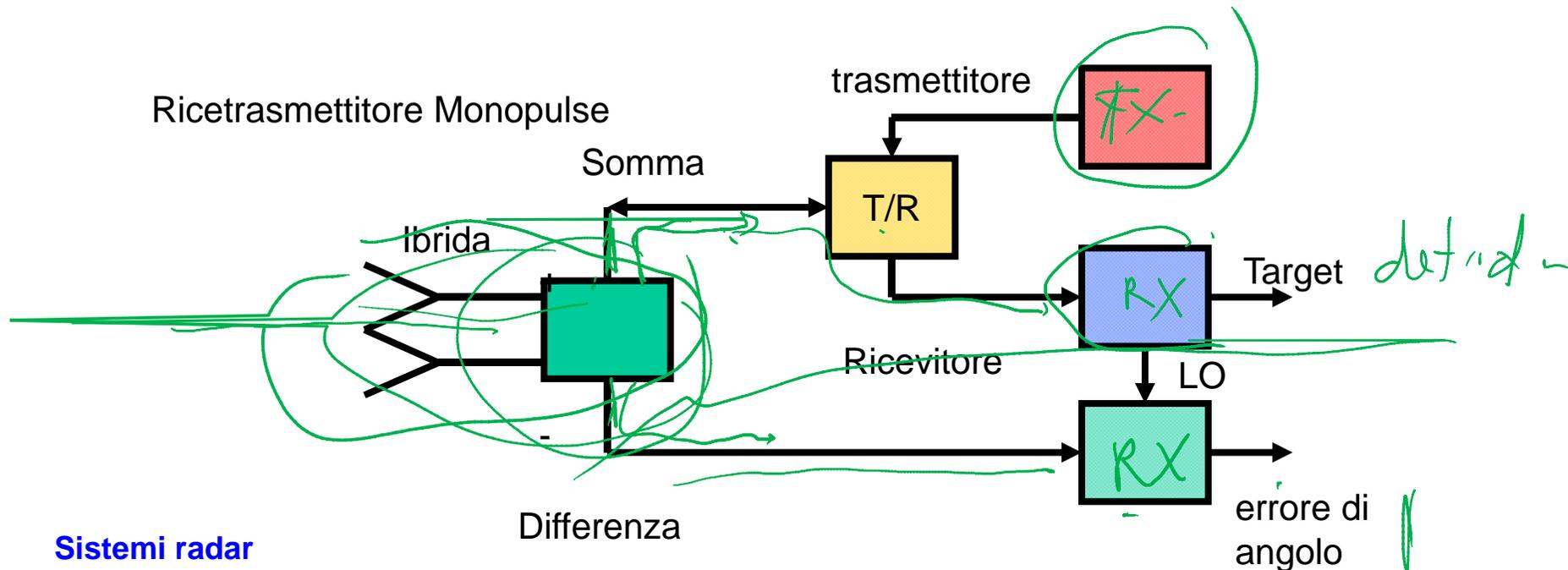


- **Parte reale:** non c'è contributo di segnale sulla parte immaginaria, e quindi la sua eliminazione corrisponde ad eliminare il rumore termico presente su quella componente
- **Se il valore misurato di $\text{Re}(\Delta/\Sigma)=0$,** certamente la stima dell'angolo di arrivo è $\hat{\theta}_0 = \theta_P$, angolo di puntamento del fascio Σ
- **Se il valore misurato di $\text{Re}(\Delta/\Sigma)=\eta_0$,** la stima si ottiene muovendosi dall'angolo di puntamento del fascio di $\Delta\theta$, cioè si ha $\hat{\theta}_0 = \theta_P + \Delta\theta$

Sistemi radar

Il Radar Monopulse

- Trasmissione sul fascio somma
- Ricezione sul fascio somma - rivelazione del bersaglio
- Ricezione sul fascio differenza (segnale molto piccolo- dinamiche differenti su Σ e Δ)
- Per effettuare la misura di angolo si confronta il segnale differenza con quello somma: **misura con un solo impulso** (da qui il nome mono-pulse)



Monopulse di ampiezza e fase

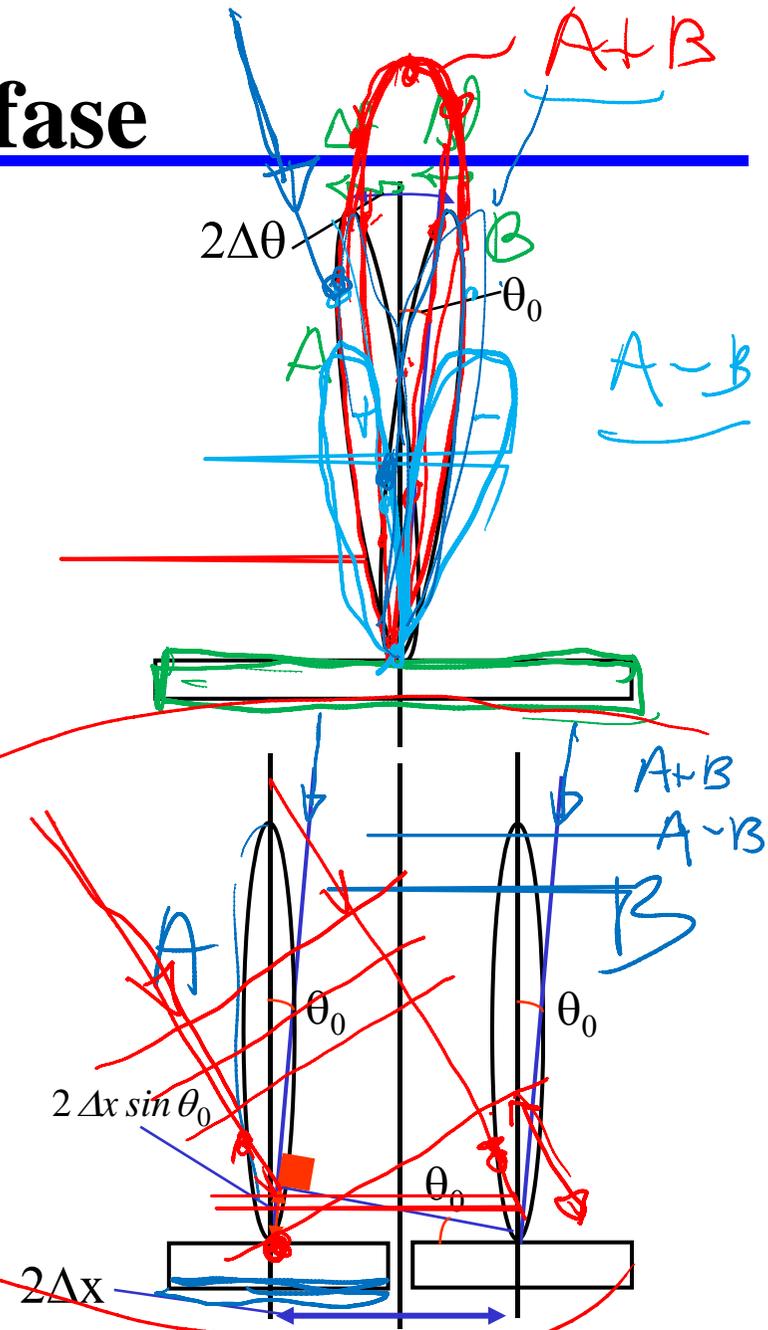
Il fascio differenza Δ determina il tipo di monopulse usato:

- **Monopulse di ampiezza:**

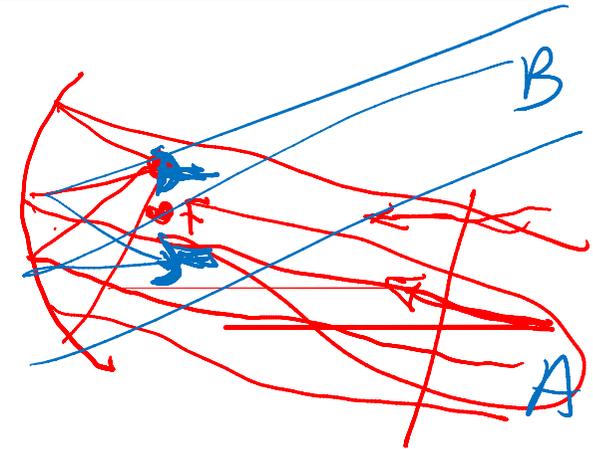
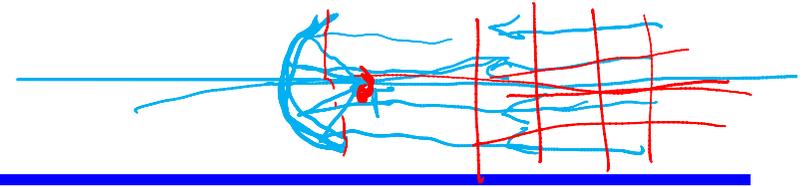
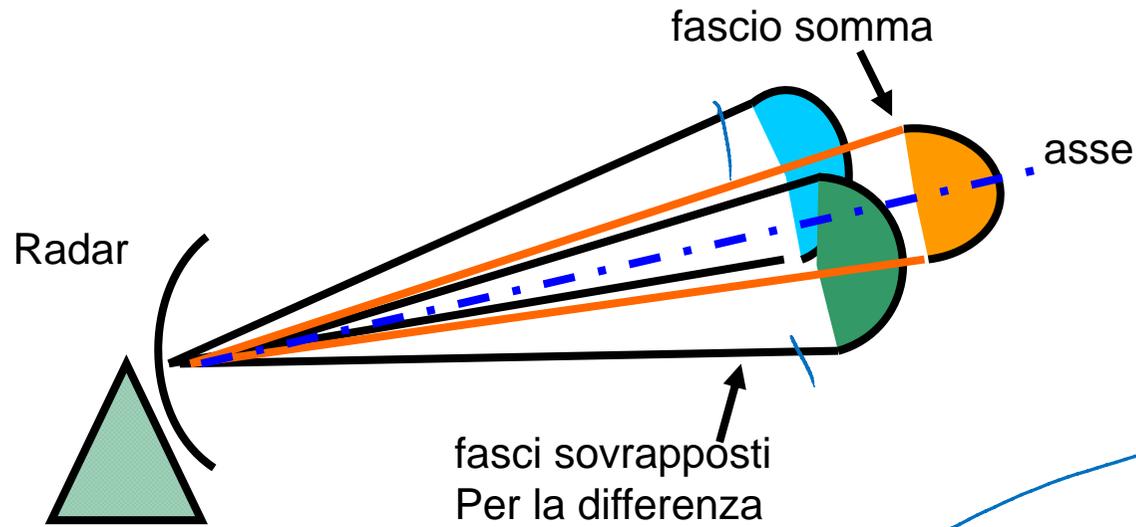
il fascio Δ è ottenuto dalla differenza fra due fasci uguali, con lo stesso centro di fase, che sono puntati rispettivamente di $\pm\Delta\theta$ rispetto all'asse

- **Monopulse di fase:**

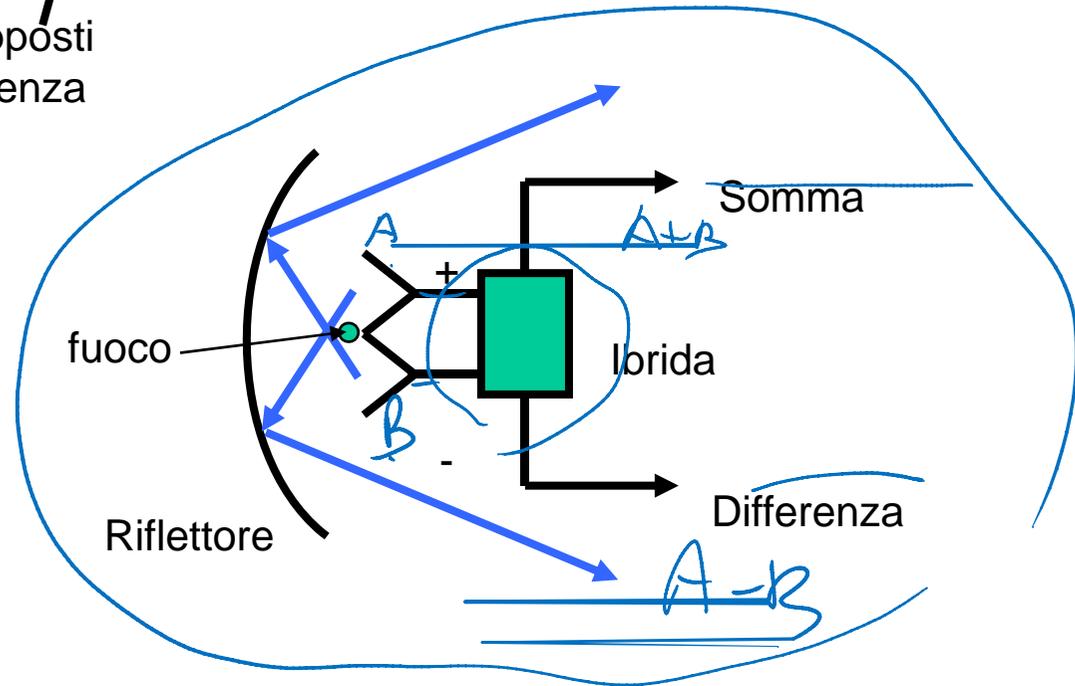
il fascio Δ è ottenuto dalla differenza fra due fasci uguali, puntati nella direzione dell'asse, che hanno centri di fase spostati di $\pm\Delta x$ rispetto all'asse



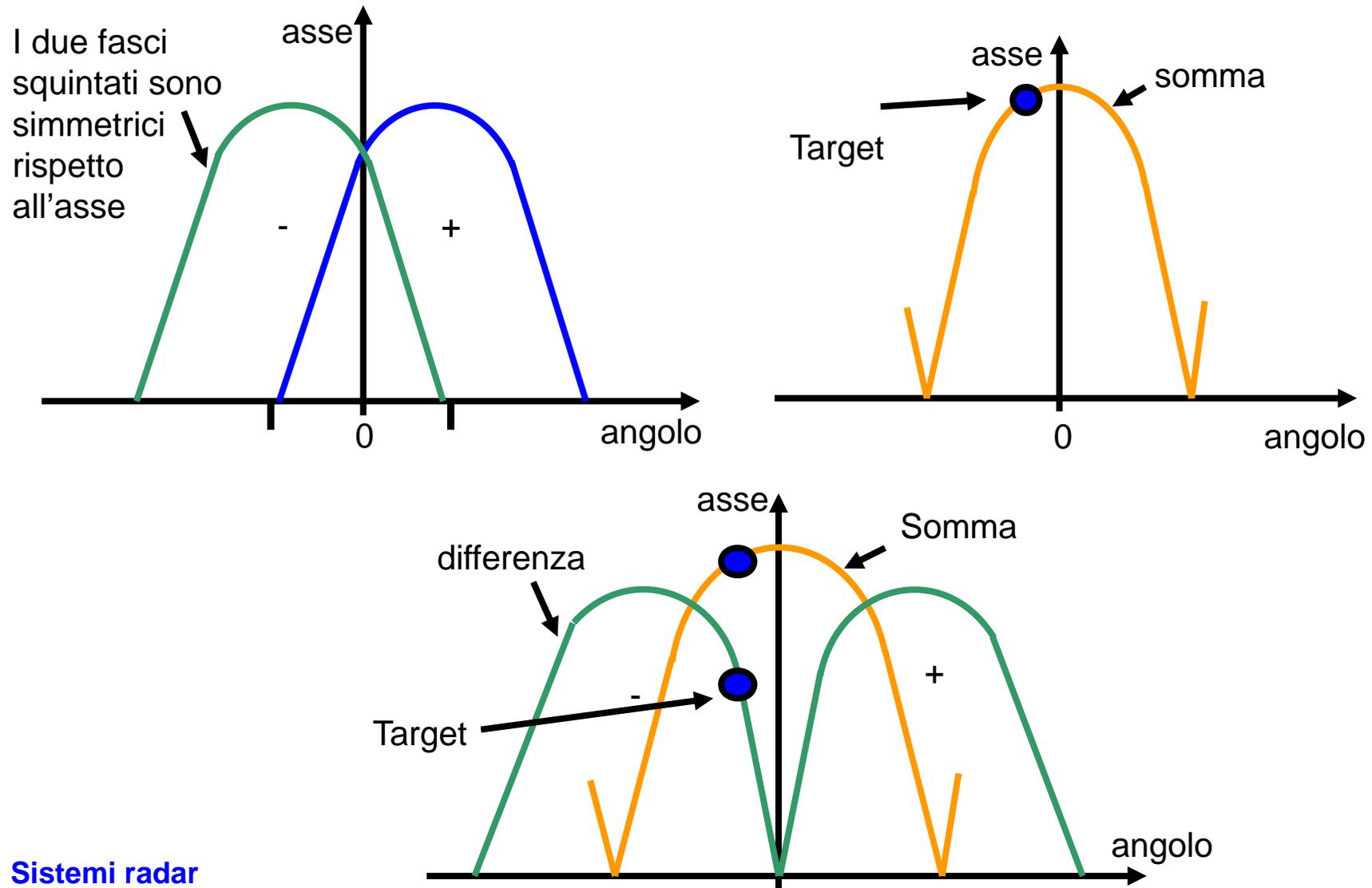
Monopulse di ampiezza



**feed con offset
per i fasci squintati**

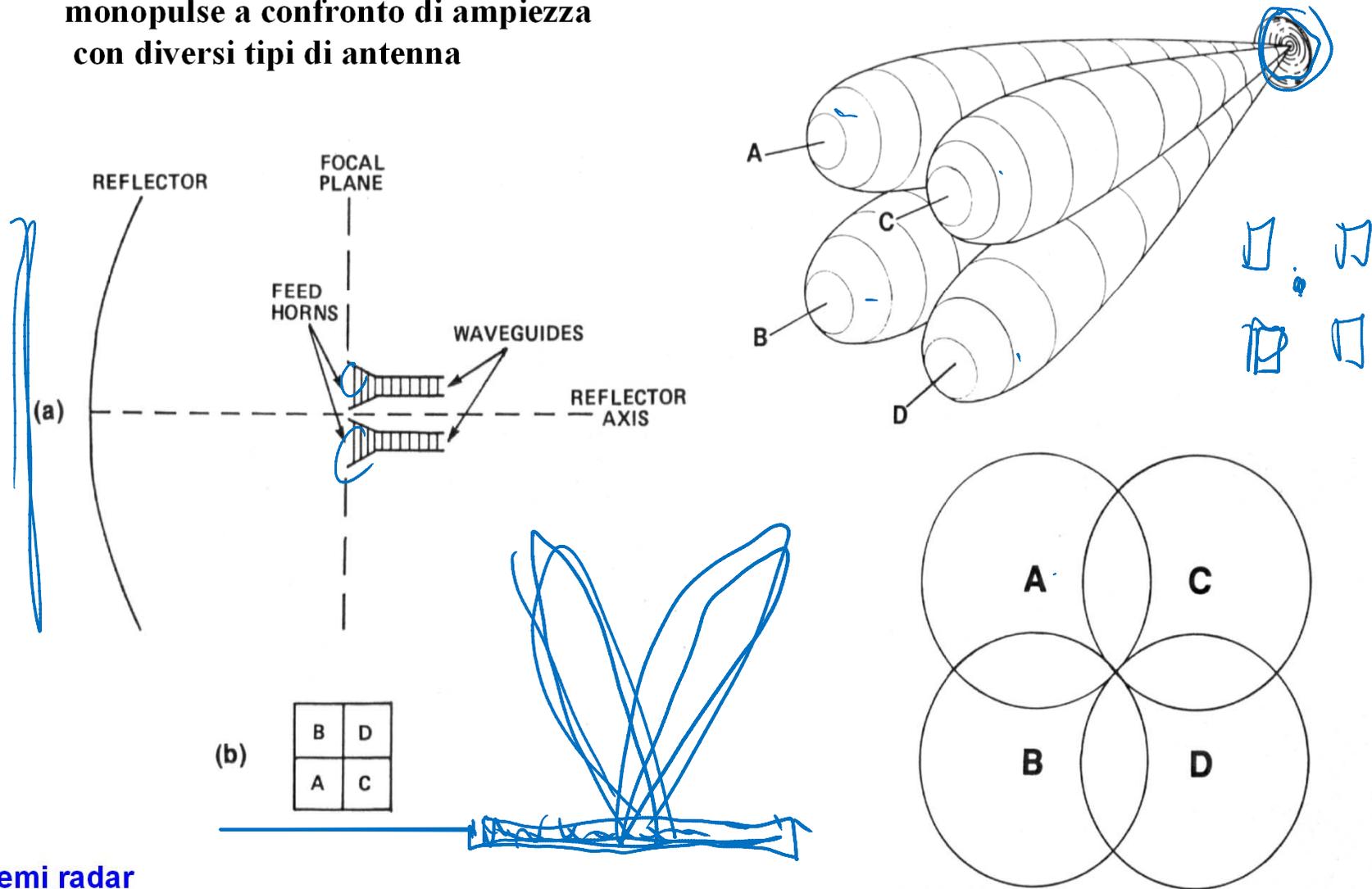


Monopulse di ampiezza (II)



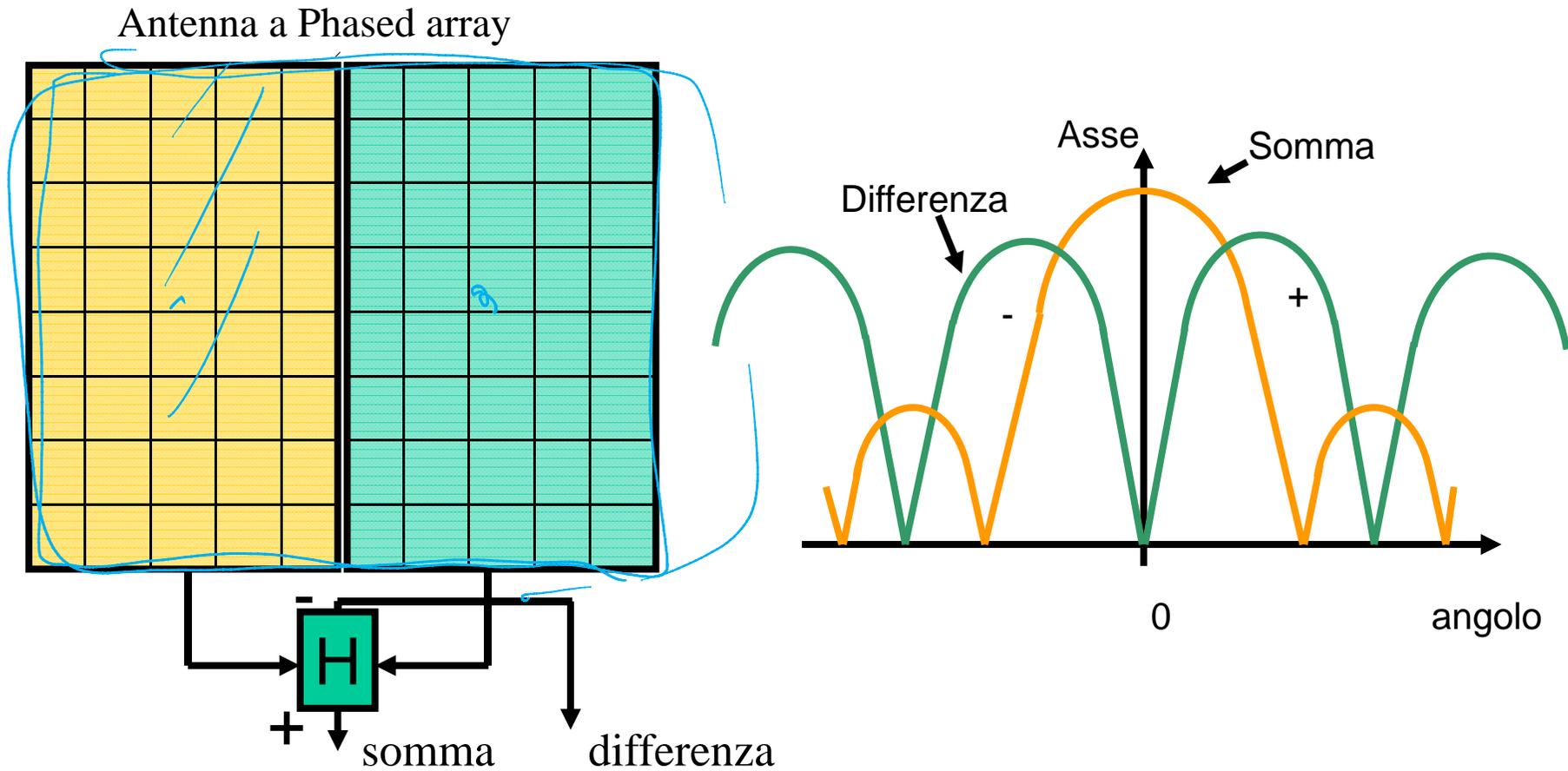
Monopulse di ampiezza (III)

monopulse a confronto di ampiezza
con diversi tipi di antenna



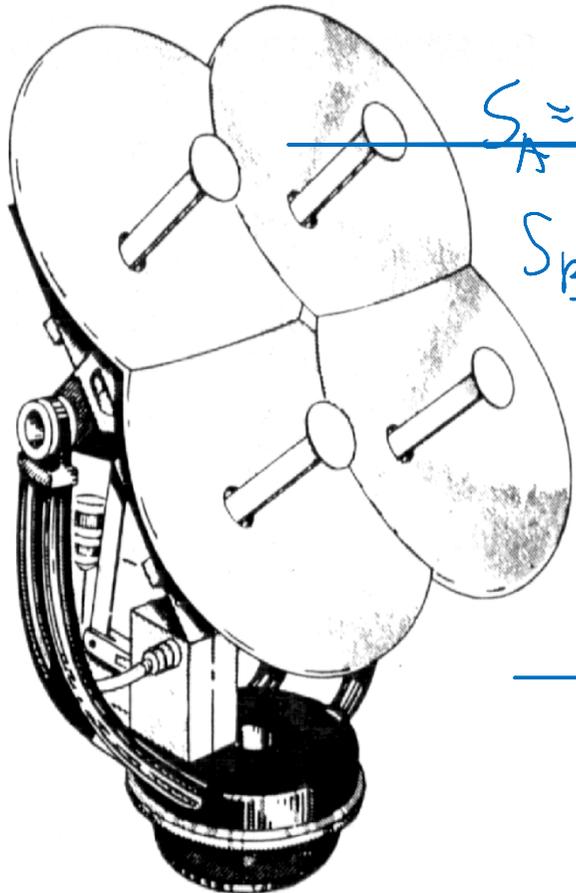
Sistemi radar

Monopulse di fase



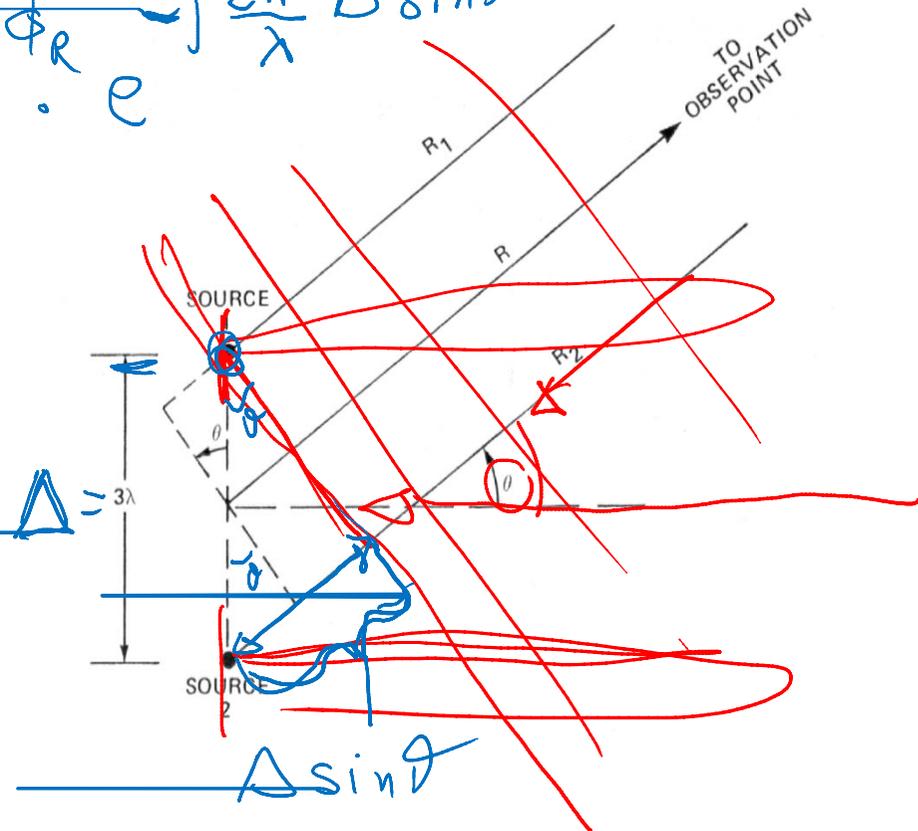
Monopulse di fase (II)

monopulse a confronto di fase con diversi tipi di antenna



$$S_A = A e^{j\phi_R}$$

$$S_B = A e^{j\phi_R} \cdot e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \sin \theta}$$



$$\Delta = S_A - S_B = A e^{j\phi_R} - A e^{j\phi_R - j\frac{2\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta}$$

antisimmetric $= A e^{j\phi_R} [1 - e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta}] =$

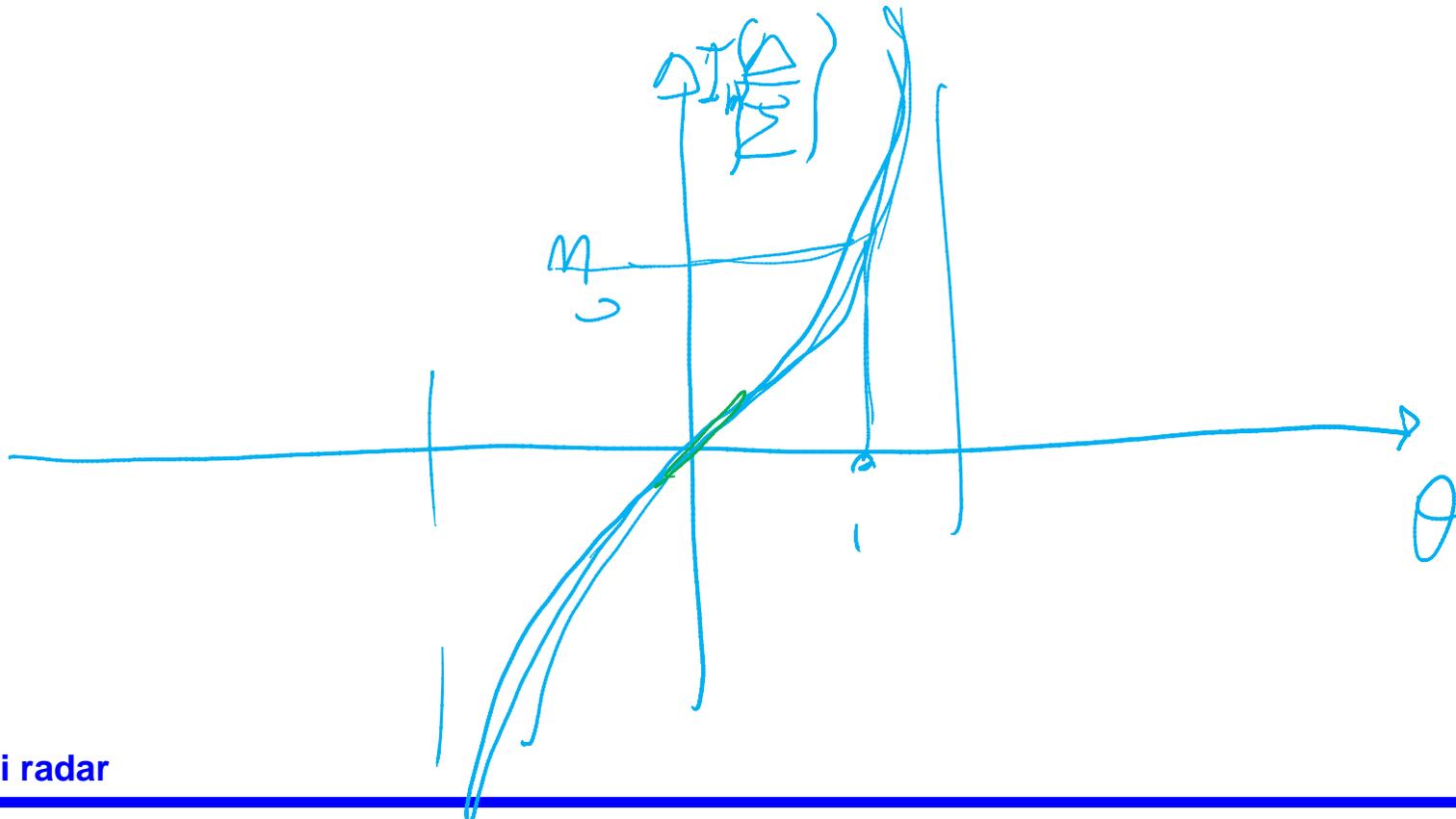
$$= A e^{j\phi_R} e^{-j\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta} [e^{j\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta} - e^{-j\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta}]$$

$$= A e^{j\phi_R} e^{-j\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta} \cdot 2j \sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta\right)$$

$$\Sigma = S_A + S_B = A e^{j\phi_R} e^{-j\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta} [e^{j\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta} + e^{-j\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta}]$$

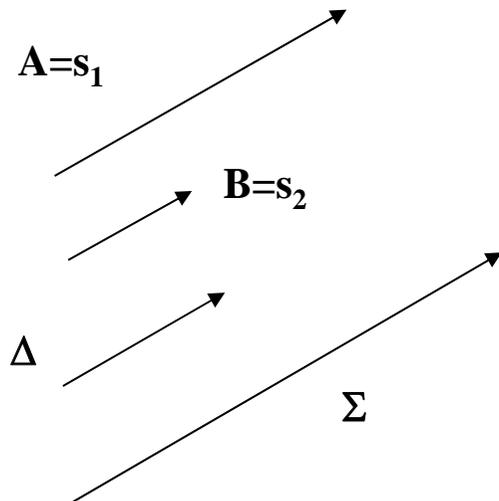
simmetric $= A e^{j\phi_R} e^{-j\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta} \cdot 2 \cos\left(\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin\theta\right)$

$$\frac{\Delta}{\Sigma} = \frac{j \sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin \theta\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin \theta\right)} = j \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{\lambda} \Delta \sin \theta\right)$$

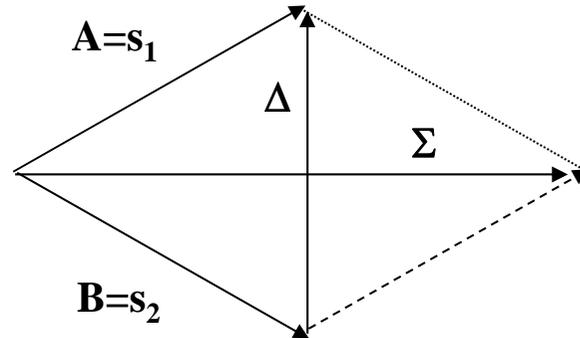


Confronto fra Monopulse di ampiezza e fase

Diagramma vettoriale per i due casi :

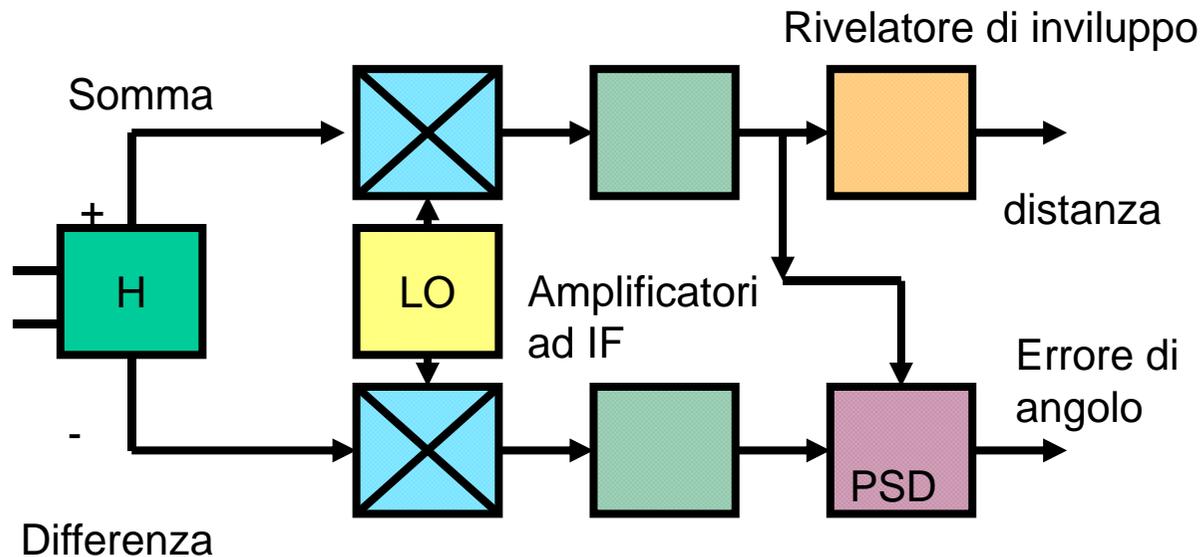


Confronto di ampiezza



Confronto di fase

Ricevitore Monopulse



- Il canale somma è convenzionale
- Il canale differenza ha lo stesso LO del canale somma (LO= local oscillator)
- Il canale differenza ha un rivelatore di fase che è pilotato dal canale somma (PSD= phase sensitive detector)

$$G_{\Sigma}(0) = \max$$

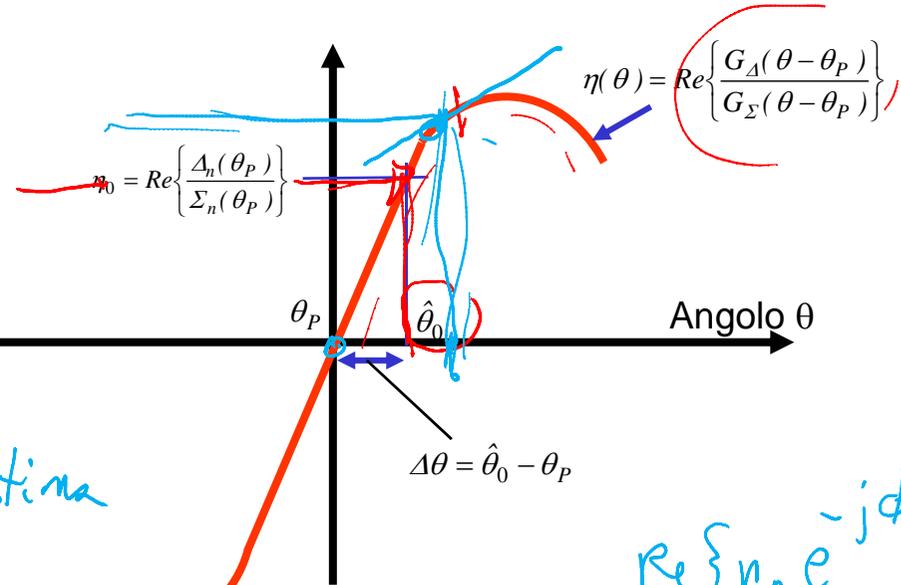
Stima di azimuth con Monopulse (I)

Segnali di ritorno in azimuth in presenza di rumore dai canali Σ e Δ , assumendo un bersaglio all'angolo θ_0 che produce un segnale di ritorno con ampiezza A_0 e fase ϕ_0 , ed un angolo di puntamento delle antenne θ_P

$$\Sigma_n(\theta_P) = A_0 e^{j\phi_0} G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P) + n_{\Sigma}$$

$$\Delta_n(\theta_P) = A_0 e^{j\phi_0} G_{\Delta}(\theta_0 - \theta_P) + n_{\Delta}$$

La stima di θ_0 è data dal valore $\hat{\theta}_0$ tale che:



$$\eta_0 = \eta(\hat{\theta}_0) = \text{Re} \left\{ \frac{\Delta_n(\theta_P)}{\Sigma_n(\theta_P)} \right\} = \text{Re} \left\{ \frac{G_{\Delta}(\hat{\theta}_0 - \theta_P)}{G_{\Sigma}(\hat{\theta}_0 - \theta_P)} \right\}$$

Handwritten notes: "errore di stima", "θ-hat_0 - θ_0", "noise"

Assumendo alto SNR e trascurando il rumore sul Σ :

$$\text{Re} \left\{ \frac{A_0 e^{j\phi_0} G_{\Delta}(\theta_0 - \theta_P) + n_{\Delta}}{A_0 e^{j\phi_0} G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P) + n_{\Sigma}} \right\} \cong \text{Re} \left\{ \frac{G_{\Delta}(\theta_0 - \theta_P)}{G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} \right\} + \text{Re} \left\{ \frac{n_{\Delta}}{A_0 e^{j\phi_0} G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} \right\} = \text{Re} \left\{ \frac{G_{\Delta}(\theta_0 - \theta_P)}{G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} \right\} + \frac{n'_{\Delta R}}{A_0 G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)}$$

Handwritten note: "n'_ΔR"

Sistemi radar

Stima di azimuth con Monopulse (II)

Si ha dunque:

$$\delta\theta = \hat{\theta}_0 - \theta_0$$

$$\operatorname{Re} \left\{ \frac{G_{\Delta}(\theta_0 - \theta_P)}{G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} \right\} + \frac{n'_{\Delta R}}{A_0 G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{G_{\Delta}(\hat{\theta}_0 - \theta_P)}{G_{\Sigma}(\hat{\theta}_0 - \theta_P)} \right\}$$

Ponendo $\hat{\theta}_0 = \theta_0 + \delta\theta$ (nell'assunzione di errori piccoli), e sviluppando in serie di Taylor intorno a θ_0 otteniamo:

$$\operatorname{Re} \left\{ \frac{G_{\Delta}(\theta_0 - \theta_P)}{G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} \right\} + \frac{n'_{\Delta R}}{A_0 G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{G_{\Delta}(\theta_0 - \theta_P)}{G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} \right\} + \frac{\partial}{\partial \theta} \eta(\theta) \Big|_{\theta=\theta_0} \delta\theta$$

funze calcolata in $\hat{\theta}_0 = \theta_0$

$$\frac{n'_{\Delta R}}{A_0 G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} = \frac{\partial}{\partial \theta} \eta(\theta) \Big|_{\theta=\theta_0} \delta\theta$$

$$\sigma_{\delta\theta}^2 = E \left\{ \left[\frac{n'_{\Delta R}}{A_0 G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P)} - \frac{\partial}{\partial \theta} \eta(\theta) \Big|_{\theta=\theta_0} \delta\theta \right]^2 \right\}$$

$$\delta\theta = \frac{n'_{\Delta R}}{A_0 G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \eta(\theta) \Big|_{\theta=\theta_0}}$$

$E \{ \delta\theta \}$

Sistemi radar

Stima di azimuth con Monopulse (III)

Polarizzazione di stima

$$E\{\delta\theta\} = \frac{E\{n'_{\Delta R}\}}{A_0 G_{\Sigma}(\theta_0 - \theta_P) \cdot \left. \frac{\partial}{\partial \theta} \eta(\theta) \right|_{\theta=\theta_0}} = 0$$

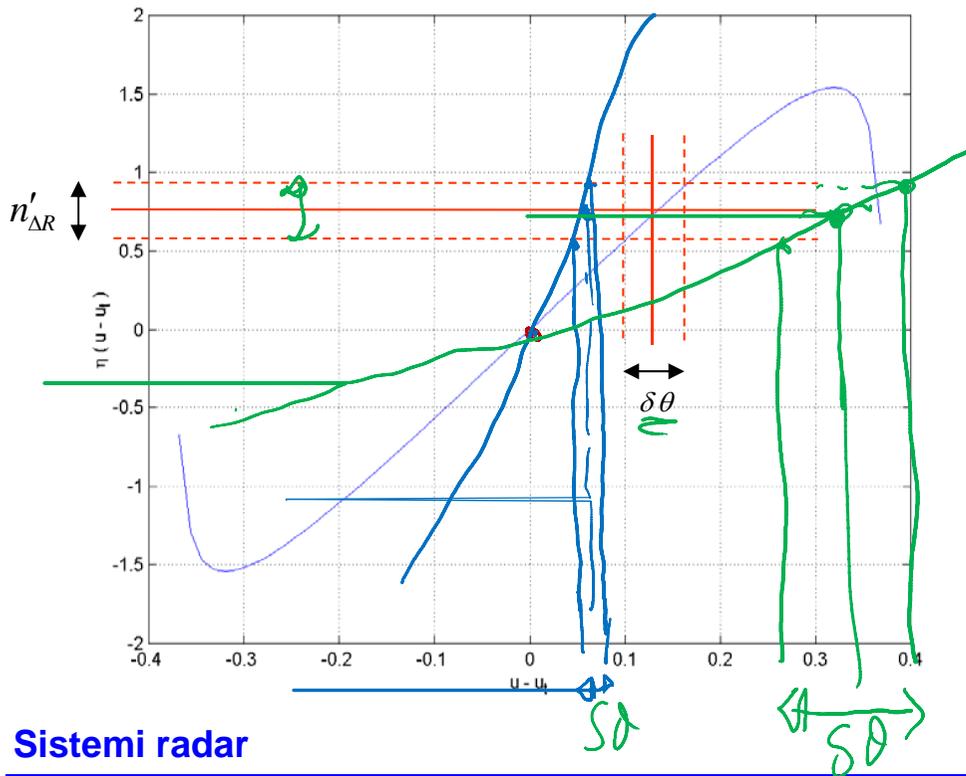
$P_S = A_0^2 G_{\Sigma}^2(0)$

$SNR = \frac{A_0^2 G_{\Sigma}^2(0)}{\sigma_n^2}$

$$E\{\delta\theta^2\} = \frac{E\{n'_{\Delta R}{}^2\}}{A_0^2 G_{\Sigma}^2(\theta_0 - \theta_P) \left(\left. \frac{\partial}{\partial \theta} \eta(\theta) \right|_{\theta=\theta_0} \right)^2}$$

Varianza di stima

$$\eta(\theta) = \text{Re} \left\{ \frac{G_{\Delta}(\theta - \theta_P)}{G_{\Sigma}(\theta - \theta_P)} \right\}$$



Sistemi radar

$$E\{\delta\theta^2\} = \frac{\sigma_{n\Delta}^2}{2A_0^2 G_{\Sigma}^2(\theta_0 - \theta_P) \left(\left. \frac{\partial}{\partial \theta} \eta(\theta) \right|_{\theta=\theta_0} \right)^2}$$

Handwritten notes: $\frac{2}{G_{\Sigma}^2(0)}$ and $G_{\Sigma}^2(0)$ are written in red.

$$E\{\delta\theta^2\} = \frac{1}{2 SNR_{picco} \left(\frac{G_{\Sigma}^2(\theta_0 - \theta_P)}{G_{\Sigma}^2(\theta)} \right) \left(\left. \frac{\partial}{\partial \theta} \eta(\theta) \right|_{\theta=\theta_0} \right)^2}$$

minime perdite e massima derivata in θ_P :
massima accuratezza nell'angolo di puntamento

GLINT

- Misure si modificano e sono poco precise se c'è più di un riflettore dominante che riflette l'impulso inviato sul bersaglio
- E' chiamato **GLINT**

