
RCS

Pierfrancesco Lombardo

Definizione di Radar Cross Section

- La radar cross section di un bersaglio è definita come l'area proiettata di una sfera metallica che se messa al posto del bersaglio fornisce al radar lo stesso segnale di ritorno

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E_s|^2}{|E_0|^2}$$

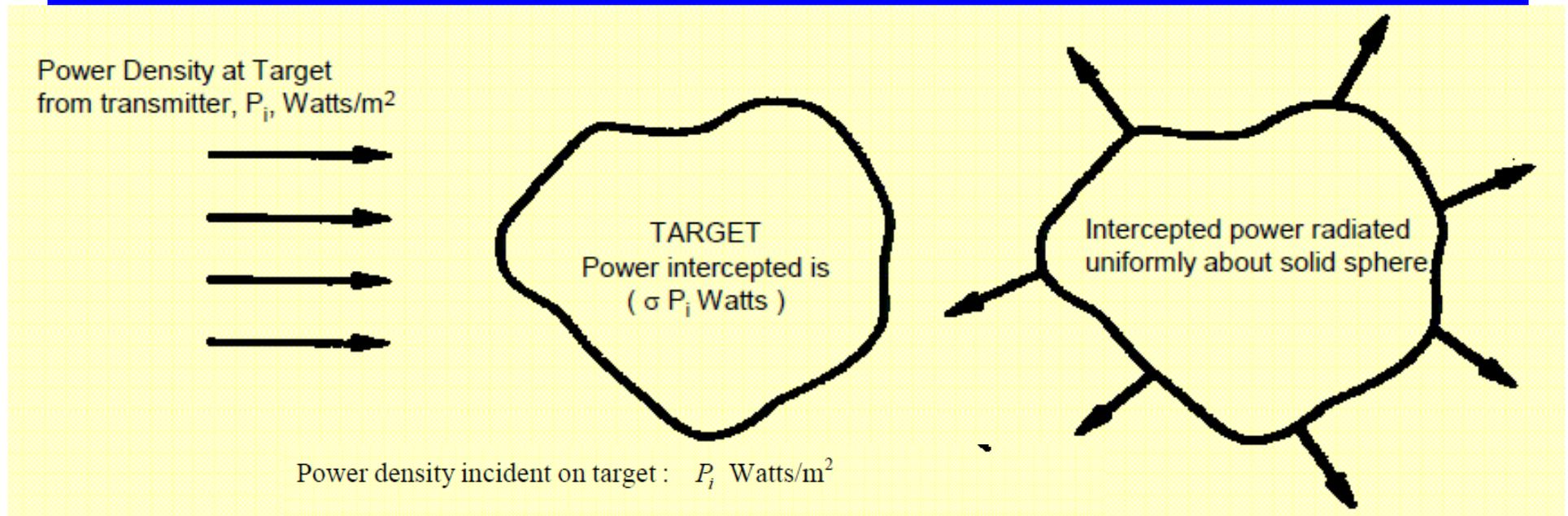
R: distanza radar-bersaglio;

E_0 : ampiezza campo elettrico incidente al bersaglio;

E_s : ampiezza campo elettrico scatterato dal bersaglio incidente sul radar;

- mentre una sfera dà un ritorno indipendente dall'angolo di vista tutti i bersagli danno ritorni che variano con tale angolo \Rightarrow in dipendenza del tipo di bersaglio queste variazioni possono essere più o meno veloci.

Radar Cross Section



Power density scattered by target : $P_s = \frac{\sigma P_i}{4\pi R^2}$ Watts/m²

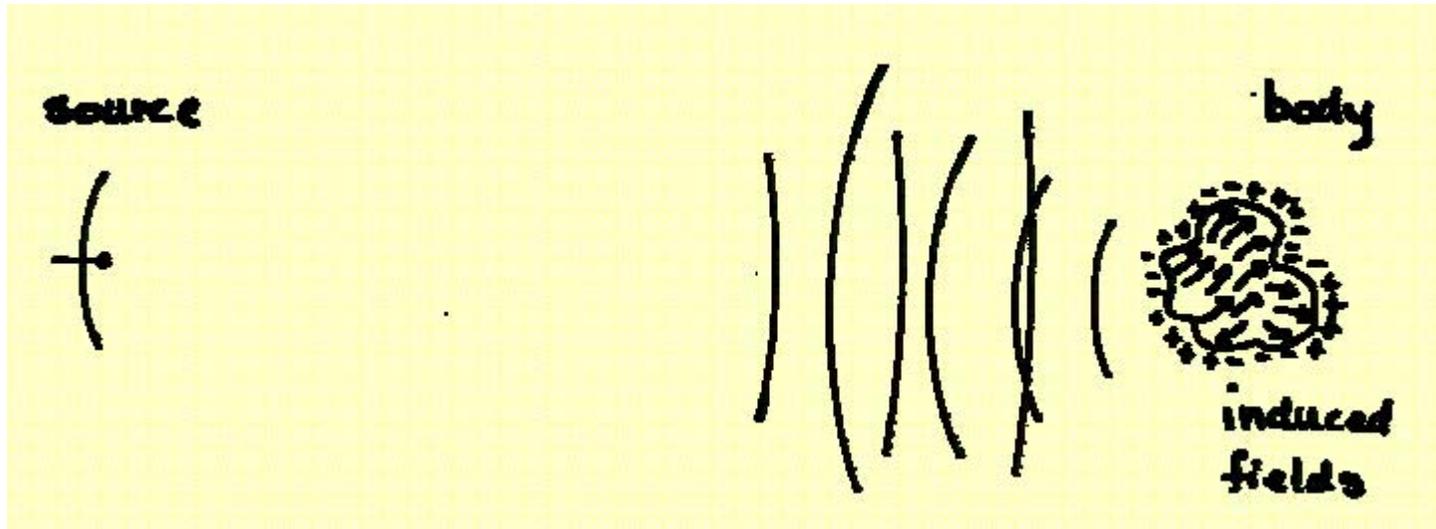
Solve for RCS :

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{P_s}{P_i} = 4\pi R^2 \frac{|E^s|^2}{|E^i|^2} = 4\pi R^2 \frac{|H^s|^2}{|H^i|^2}$$

Power ratio, independent of distance to radar, $R \Rightarrow \infty$

Units of AREA, typically square meters

Fisica dello scattering (I)



- **Boundary condition for perfect conductor:**
 - Tangential electric field is zero, i.e., surface is a short circuit, $(E^{\text{total}})_{\text{tan}}$
 - Faraday shield, no fields inside closed PEC (perfect electric conductor)
- Incident wave on conductor induces electric currents and charges which enforce boundary conditions

Fisica dello scattering (II)

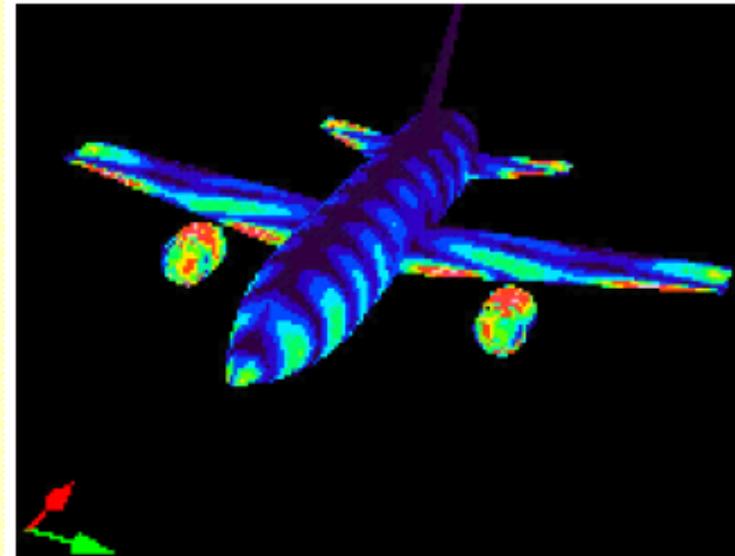
- Maxwell's equations, integral form:

$$\vec{E}^{scat}(\vec{R}_f) = \int \left(-j\omega\mu \vec{J} g - \vec{M} \times \nabla g + \frac{\rho}{\varepsilon} \nabla g \right) dS$$

$$\vec{H}^{scat}(\vec{R}_f) = \int \left(-j\omega\varepsilon \vec{M} g + \vec{J} \times \nabla g + \frac{\rho^*}{\varepsilon} \nabla g \right) dS$$

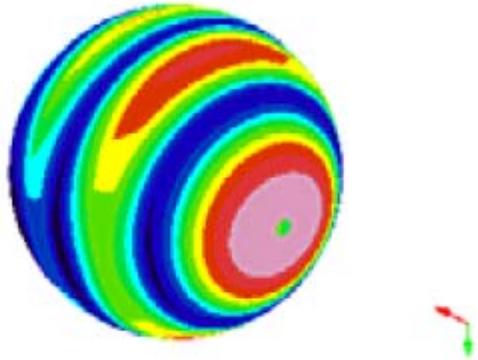
- Green's function is a "Huygen's spherical wavelet"

$$g = \frac{e^{j\vec{k} \cdot (\vec{R}_f - \vec{R}_s)}}{4\pi(R_f - R_s)}$$

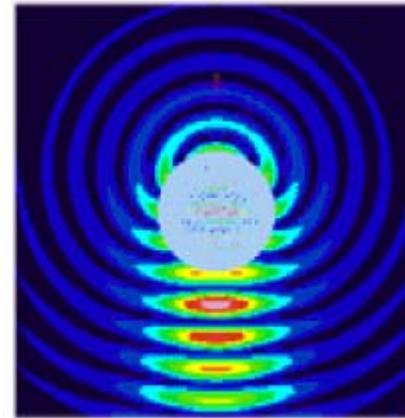


737 Currents

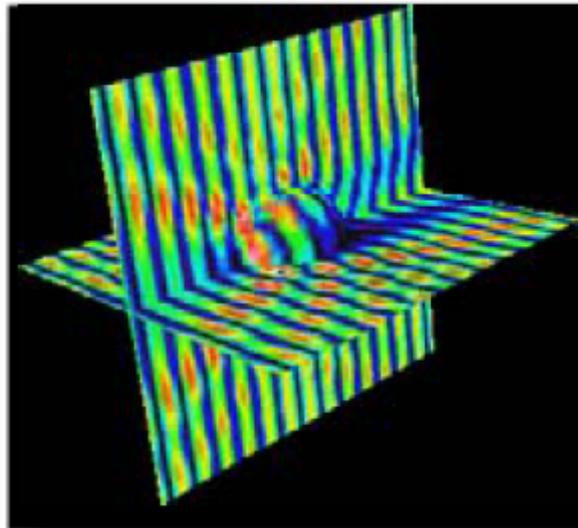
Fisica dello scattering (III)



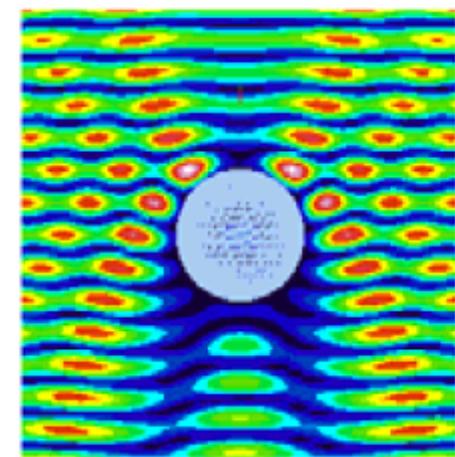
PEC Sphere with Plane wave illumination
Time harmonic currents



Scattered Field



Currents and Total Fields



Total Field

RCS parameters (I)

- Backscatter (Monostatic) RCS : Receiver and transmitter at same location.
(This is the usual case of interest.)
- Bistatic RCS : Receiver and transmitter at different locations,
hence must specify angle between each

RCS depends on transmitted and received polarizations.

- Scattering Matrix S relates incident to scattered field components:

$$\vec{E}^s = \vec{S} \vec{E}^i$$
$$\begin{bmatrix} E_v^s \\ E_h^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{vv} & S_{vh} \\ S_{hv} & S_{hh} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_v^i \\ E_h^i \end{bmatrix} \quad S_{ij} \propto \left(\frac{\sigma_{ij}}{4 \pi R} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- The four complex S's give rise to five- independent scalar parameters for backscatter.
- Scattering Matrix S completely describes target for given aspect angle (θ, ϕ) .

RCS parameters (II)

- RCS is a function of:
 - Target geometry: material, size, shape
 - Incident and Received polarizations
 - Frequency (wavelength)
 - Viewing angle of radar wrt target
 - Monostatic or Bistatic
 - Pulse Length:

- Long Pulse:

$$\tau \gg \frac{2R}{c}$$

Usual Case

- Short Pulse:

$$\tau \ll \frac{2R}{c}$$

Image, Separate Scattering centers

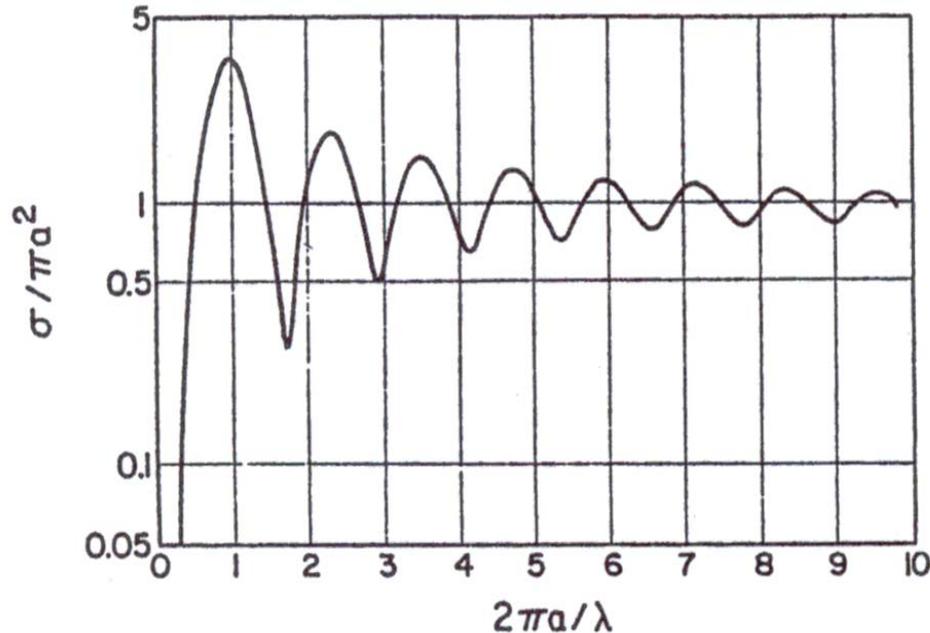
- Customary backscatter notation:

$$\sigma = \sigma^{ij}(\theta, \phi)$$

where i,j is polarization: HH, VV, HV

- RCS is independent of range and RADAR characteristics.

RCS di una sfera



Sfera metallica di raggio a

Si individuano 3 diverse regioni:

► **regione ottica:** $\lambda \ll a \Rightarrow \sigma = \pi a^2$;

► **regione di Rayleigh:** $\lambda \gg a \Rightarrow \sigma = \pi a^2 9(ka)^4$
 $k = 2\pi/\lambda$;

► **regione di Mie:** andamento oscillatorio \Rightarrow fenomeni di interferenza costruttiva o distruttiva tra l'onda riflessa dalla parte frontale della sfera con quella che si propaga nella parte posteriore.

Osservazioni:

- a causa della simmetria la sfera ha lo stesso comportamento per tutti gli angoli di aspetto;
- nella regione ottica la radar cross section è indipendente dalla frequenza: utile per la calibrazione di radar.

Sistemi Radar

RCS di una superficie piana

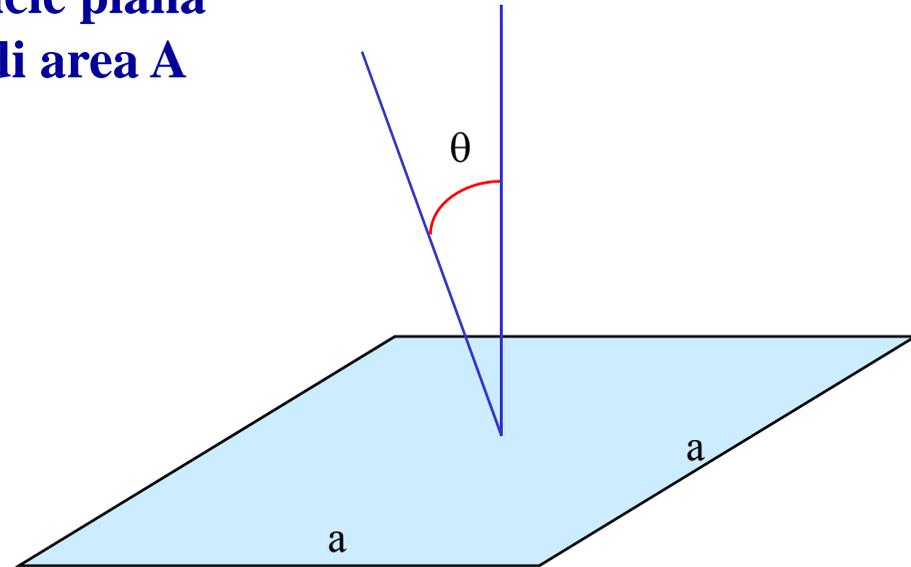
Superficie piana liscia di area A

- ▶ Caso di incidenza normale:

$$\sigma = A \cdot G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A^2$$

- ▶ Caso di incidenza con angolo θ :

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} A^2 \text{sinc}(k a \sin\theta)$$

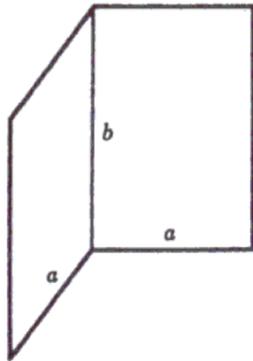


Osservazioni:

- il pattern di reirradiazione va come una forma d'onda di tipo sinc con il primo nullo a $1/2a$: tanto maggiore è la superficie tanto più la risposta è concentrata intorno a $\theta=0$;
- la superficie piana utilizzata prevalentemente per incidenza normale: per avere elevati valori di cross section su un ampio intervallo di angoli di aspetto si utilizzano in genere dei corner reflectors.

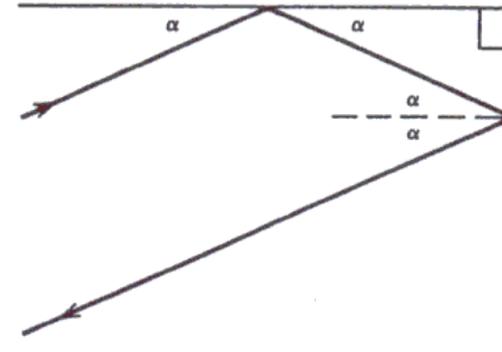
Sistemi Radar

RCS di un corner reflector (I)



Corner reflector diedro

Corner reflector diedro



Riflessione da un angolo

- Indipendentemente dal valore di α dopo due riflessioni il raggio riflesso esce parallelo al raggio incidente.
- La radar cross section può essere calcolata tramite l'area efficace del corner reflector cioè l'area che partecipa alla riflessione proiettata normalmente alla direzione di incidenza:

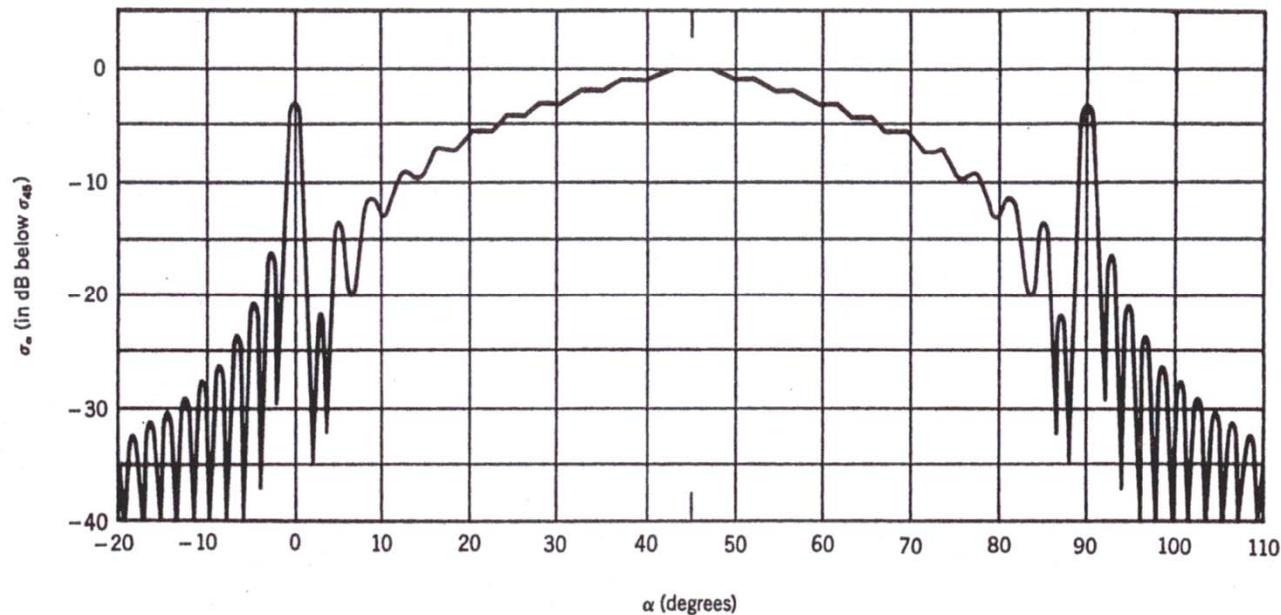
$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e^2 = \frac{4\pi}{\lambda^2} (2absin\alpha)^2 \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$$

$$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \quad \alpha \rightarrow 90^\circ - \alpha$$

- In realtà si hanno ritorni anche per $\alpha=0^\circ$ e 90° (una sola superficie riflette specularmente) e per $\alpha<0^\circ$ e $\alpha>90^\circ$ fintanto che non subentrano fenomeni d'ombra.
- La direzione di incidenza del raggio deve essere normale alla direzione dell'intersezione delle due superfici costituenti il corner.

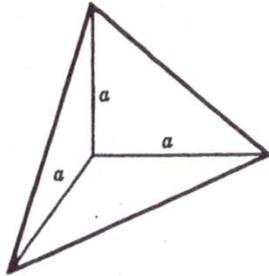
Sistemi Radar

RCS di un corner reflector (II)



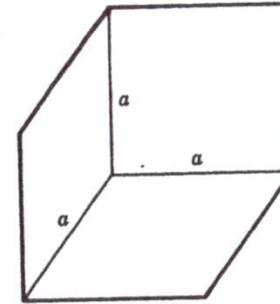
Calculated radar cross section of a dihedral corner reflector.

RCS di un corner reflector (III)



Corner reflector triedro triangolare

Corner reflector triedro

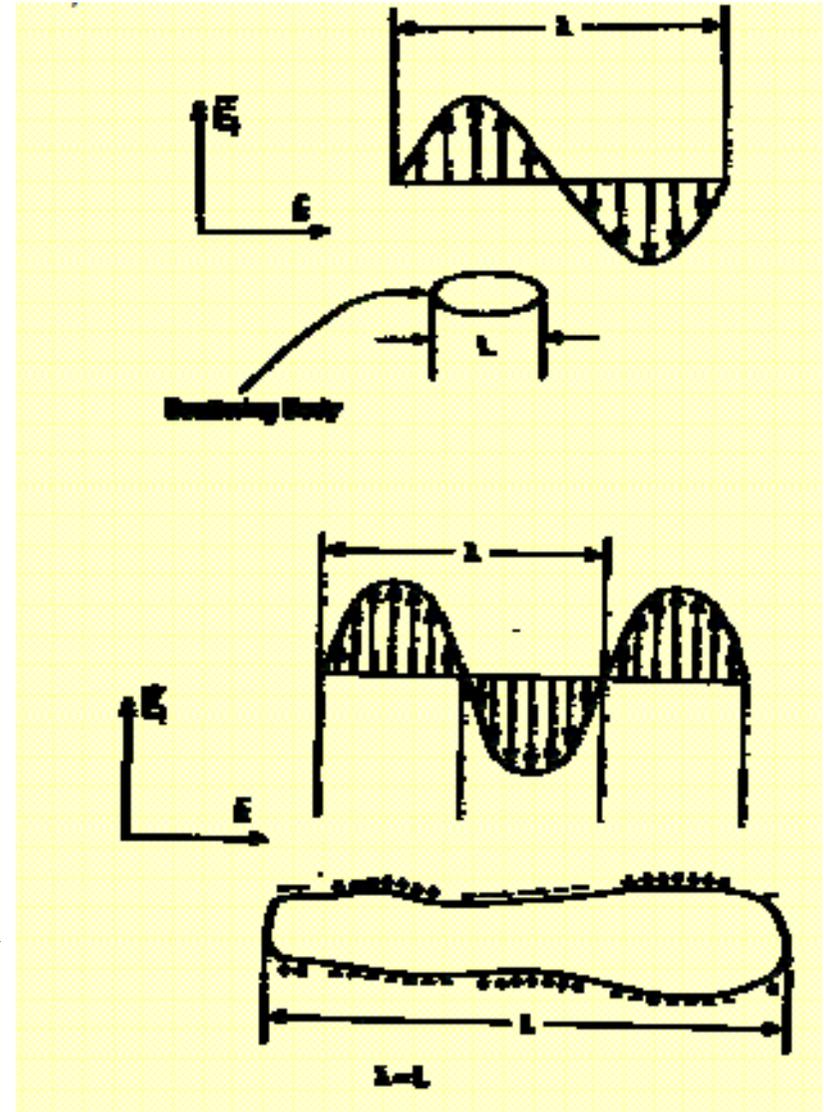


Corner reflector triedro quadrato

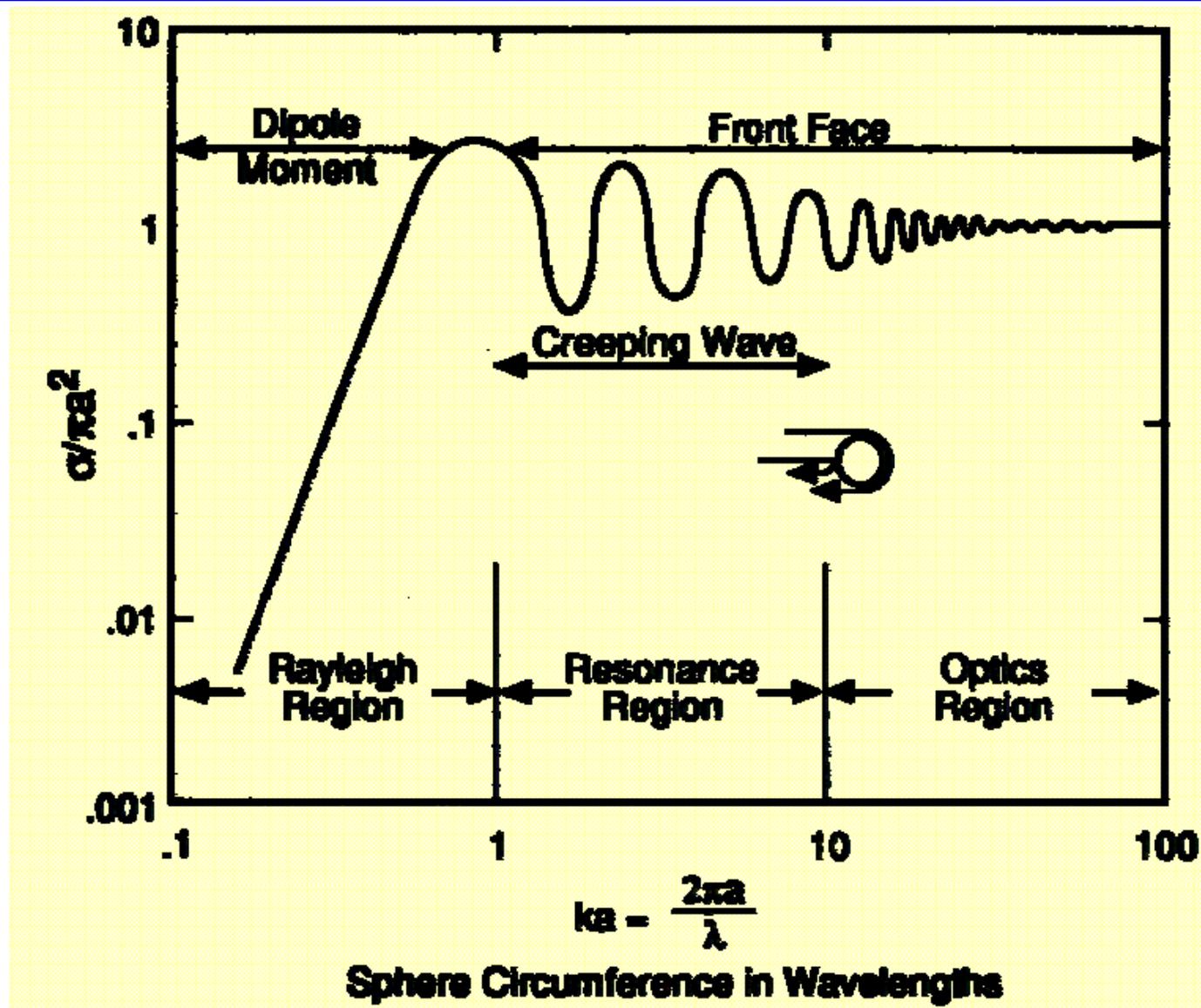
- Il corner reflector triedro ha un'asse di simmetria: qualunque sia il valore dell'angolo di incidenza in entrambi i piani di azimuth ed elevazione dopo tre riflessioni successive sulle tre pareti il raggio globalmente riflesso esce parallelo a quello incidente.
- Corner reflectors triedri triangolari hanno un valore massimo di radar cross section minore di quello proprio dei corner reflectors quadrati ma una copertura angolare intorno all'asse di simmetria maggiore (circa 20° a -3 dB).

Regimi di scattering

- Body Size measured relative to wavelength, L / λ
- **Low frequency Rayleigh region**
 - quasi static induced dipole moment
- **Resonant region:**
 - Optics (specular, diffraction)
 - local effect
 - Surface waves: traveling, edge, creeping
 - entire body effect
- **High frequency optics region**
 - local effect, separate scattering centers
 - specular, end region, diffraction



RCS della sfera per i tre regimi di scattering



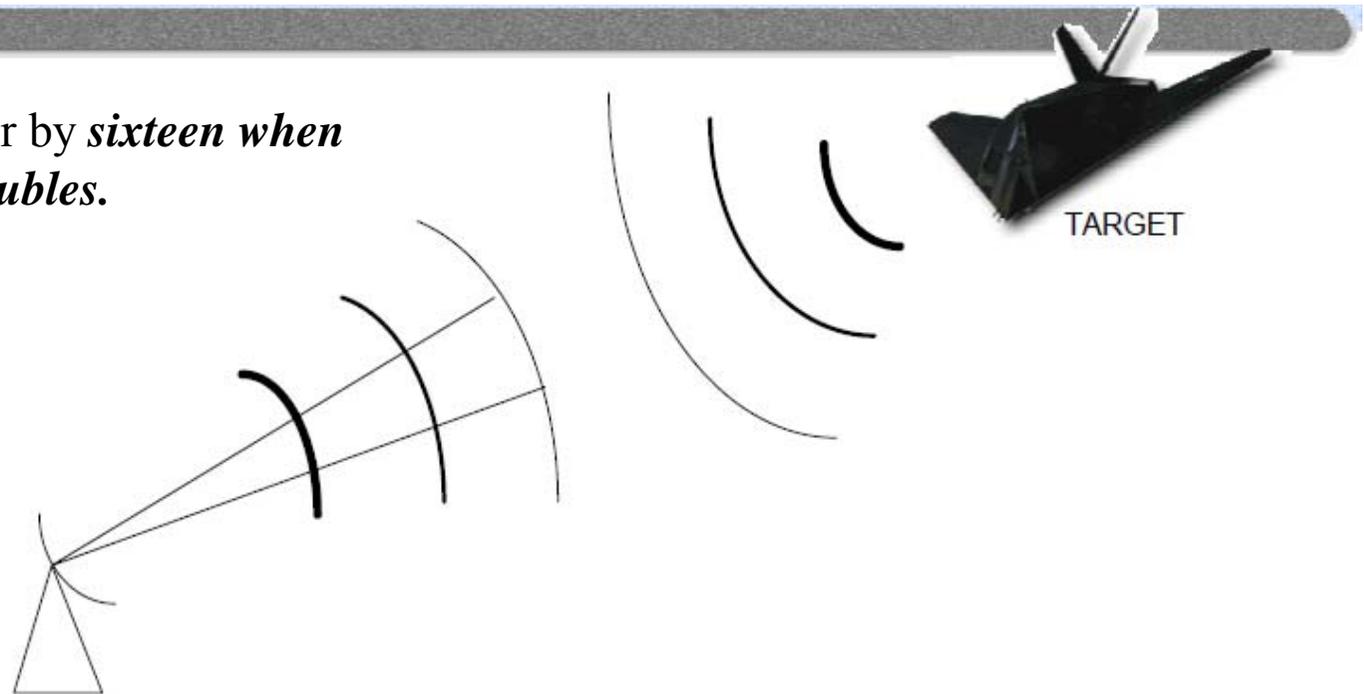
Stealth (I)

- **stealth (stelh) :**

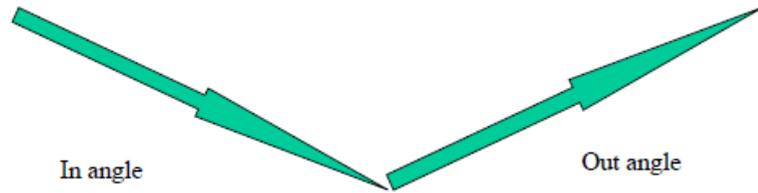
1. *The act of moving, proceeding, or acting in a covert way.*
2. **The quality or characteristic of being furtive or covert.**
3. *Archaic. The act of stealing.*

- The act of proceeding slowly, deliberately, and secretly to escape observation:
 - furtiveness, slinkiness, sneakiness

Echo intensity gets smaller by *sixteen when* radar to target distance *doubles*.

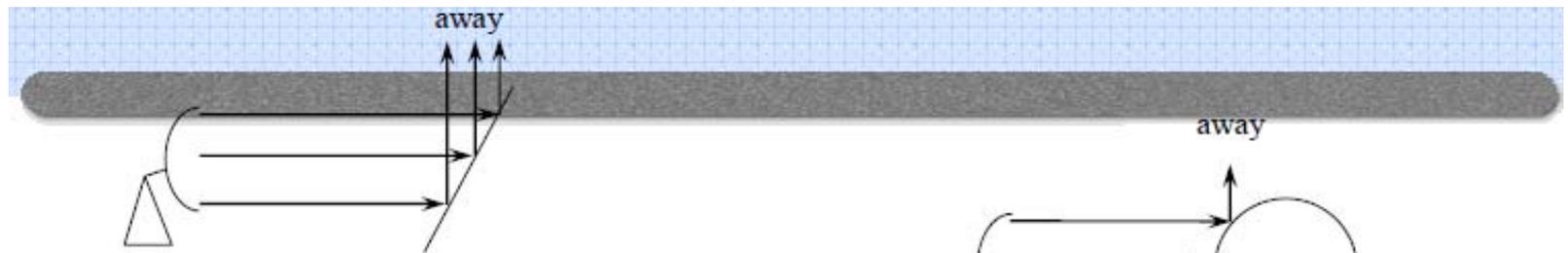


Stealth (II)

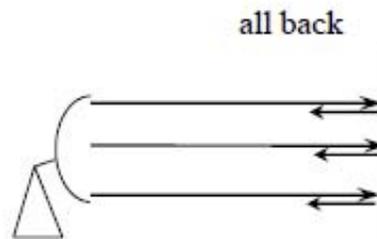


Radar wave bounces like a billiard ball:
(in angle) = (out angle)

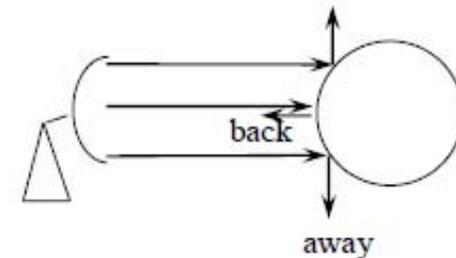
Energy bounces back only when
“local surface” faces toward radar



Flat plate: Energy bounces away because
plate does not point at radar



Flat plate: Energy bounces back because
plate points at radar

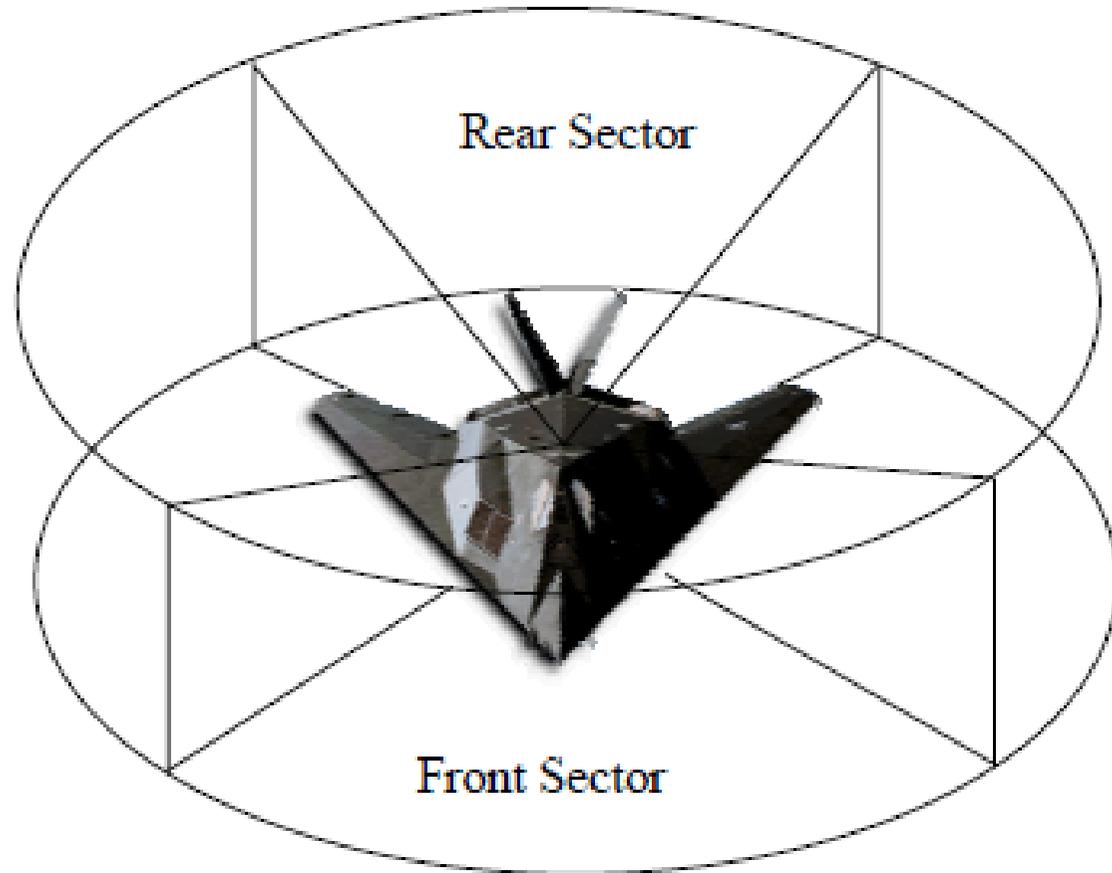


Curved surface: Energy bounces back and
away depending on where “local
surface” points

Stealth (III)

Want reduced echo in horizontal plane for: Front, Rear, and Side Sectors

Aircraft radar threats are in the front sector and horizontal plane

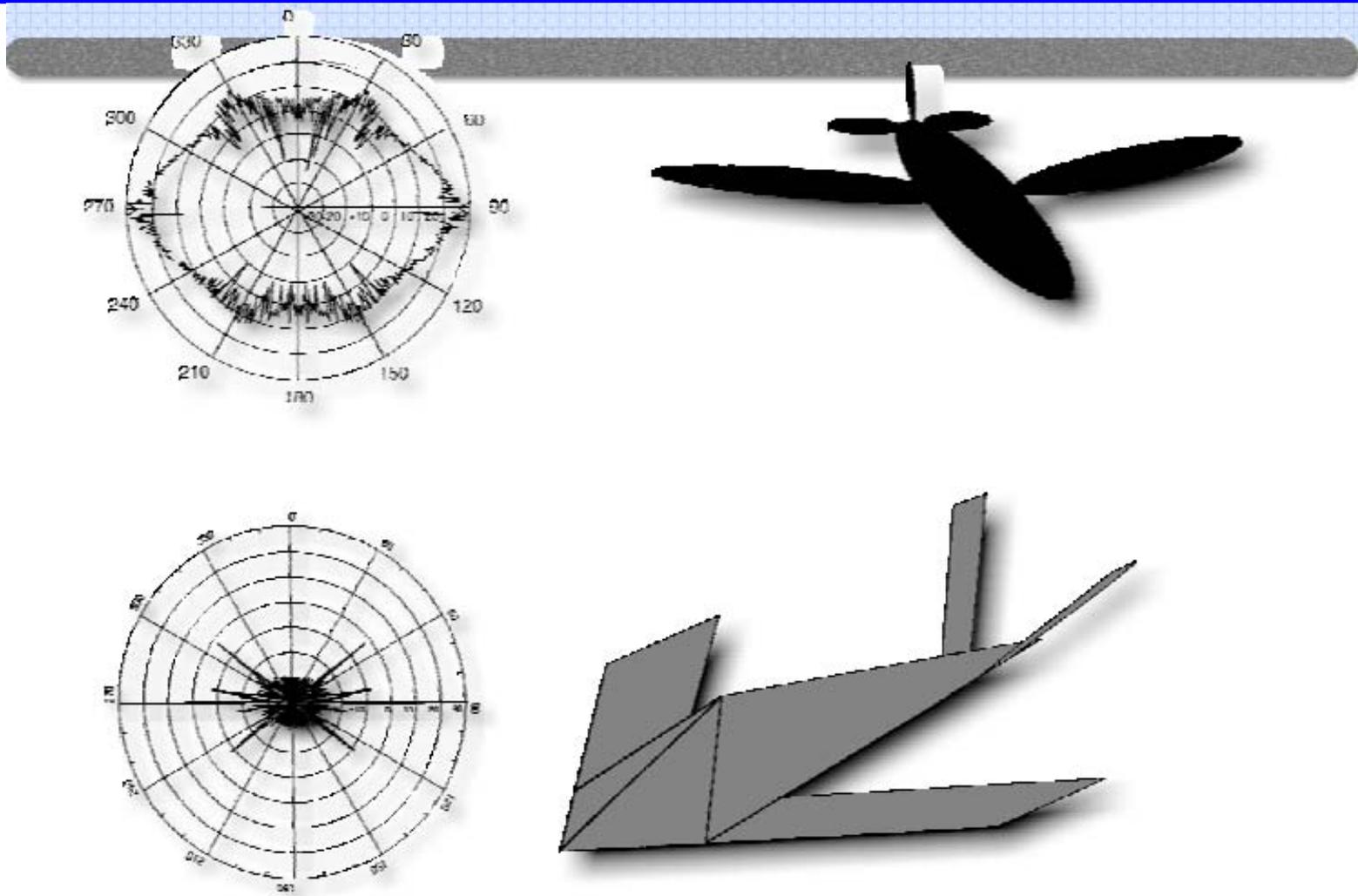


Stealth (IV)



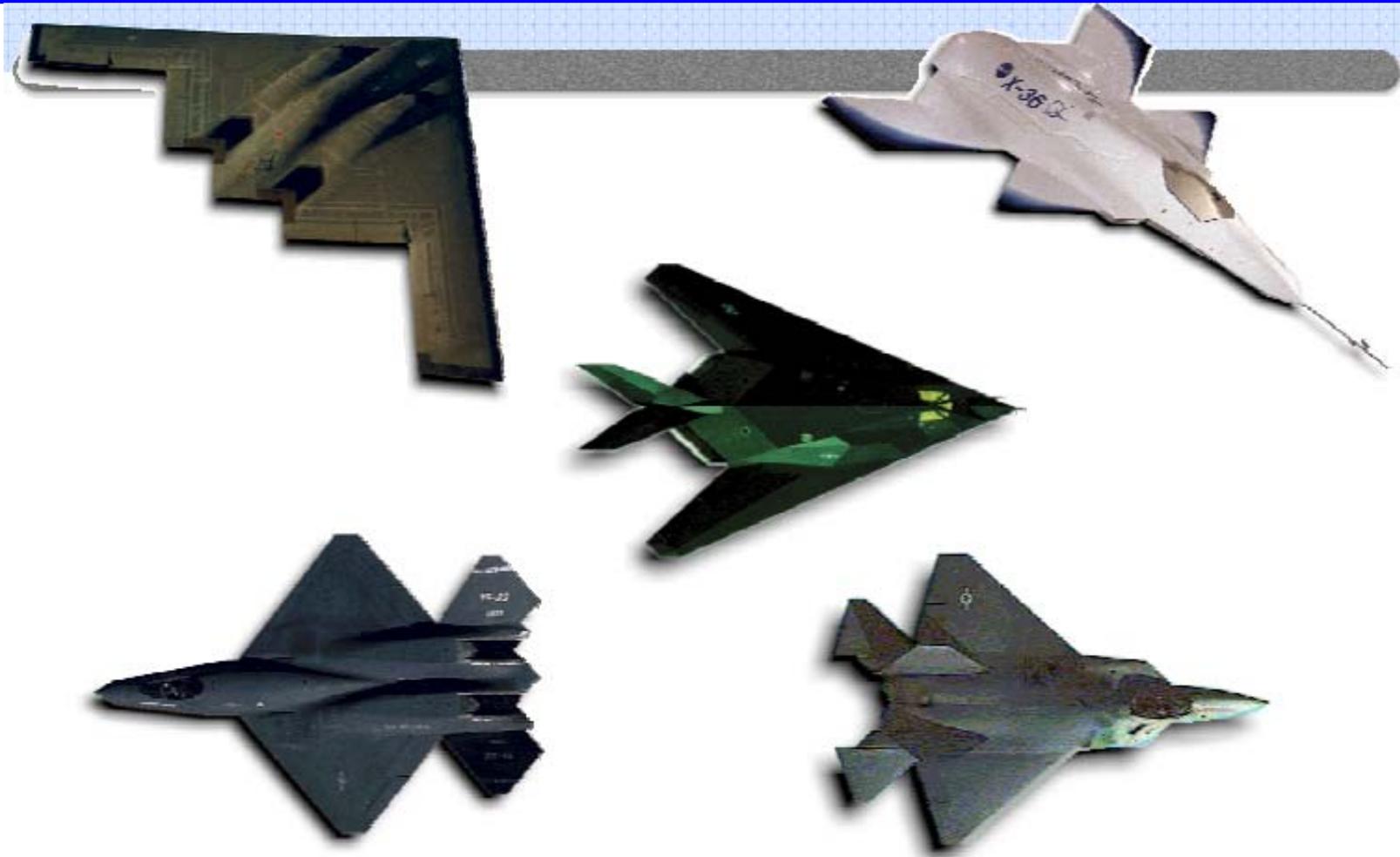
**Radar front view of stealth.
Surfaces do not point at radar, thus no backward bounce.**

Stealth (V)



Echo pattern for traditional and faceted shapes

Stealth (VI)



Top view of stealth aircraft showing where echo spikes occur perpendicular to major body edges

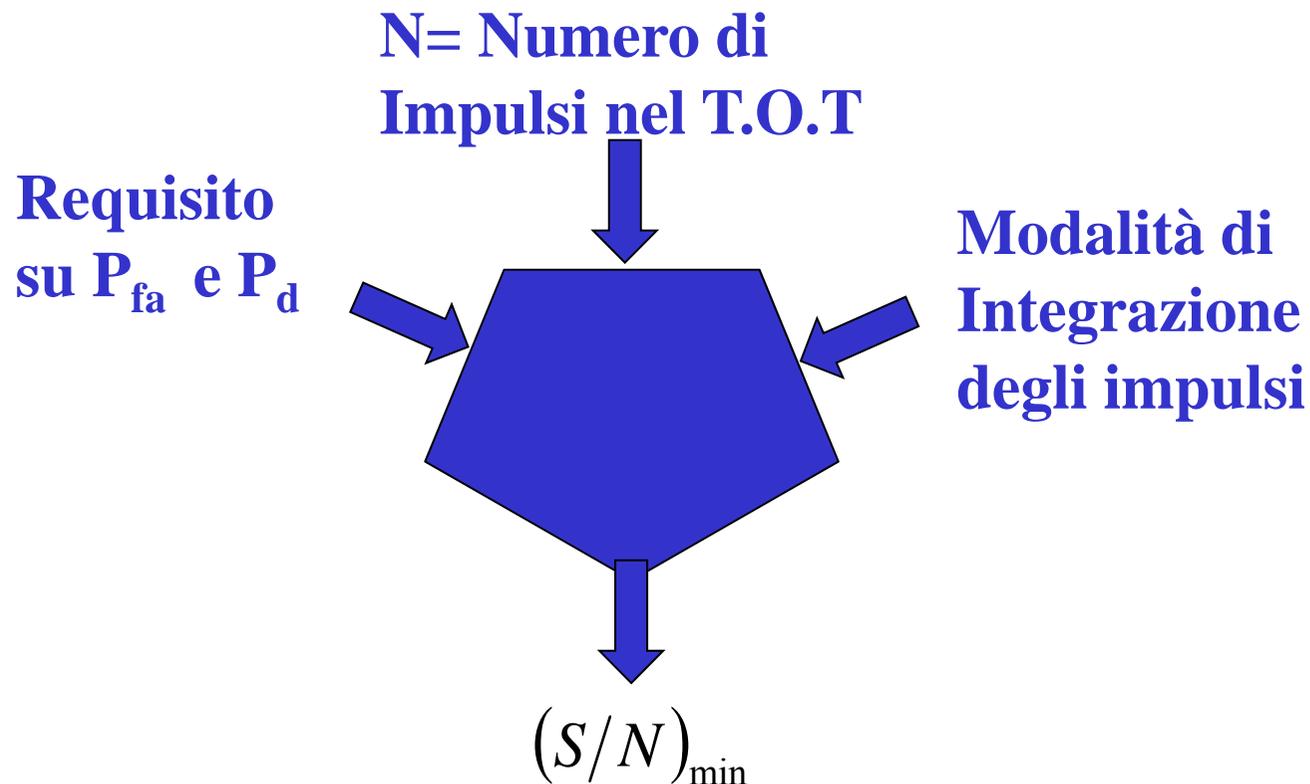
Stealth (VII)



Horizontal view of stealth aircraft.

Requisito sul (S/N) Minimo al Singolo Impulso

Dipende dalle prestazioni richieste al radar, numero impulsi e modalità di integrazione



Argomenti da affrontare

- **In quale modo è preferibile integrare gli impulsi nel T.O.T?**
 - Integrazione coerente o non coerente?
 - Parte coerente e parte non coerente?
 - Uso sempre la stessa PRF per tutto il T.O.T.?
- **In presenza di frequenza Doppler come si comporta il filtro adattato?**
 - Fornisce ancora max SNR?
 - Ho bisogno di uno schema di elaborazione diverso?
 - La rete di pesatura per il controllo dei lobi è ancora efficace?