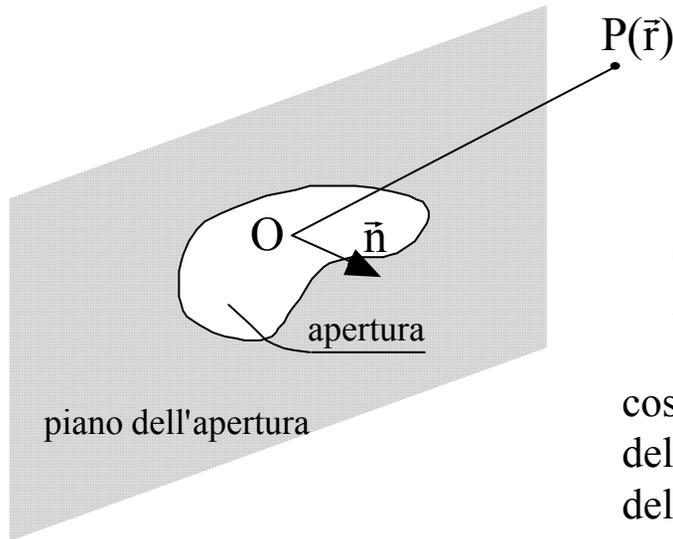


# Valutazione della radiazione da un'apertura con il metodo del vettore di radiazione (magnetico)



$$u = \sin \mathcal{G} \cos \varphi$$

$$v = \sin \mathcal{G} \sin \varphi$$

coseni direttori della proiezione  
della direzione di P sul piano  
dell'apertura

$$\vec{E}(\vec{r}) = jk \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} \vec{u}_r \times \vec{L}$$

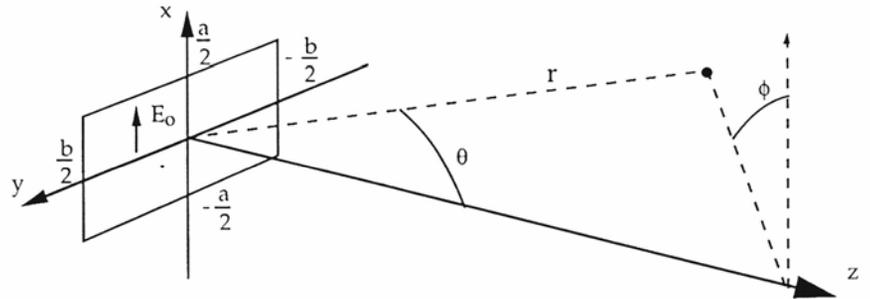
$$\vec{H}(\vec{r}) = \frac{1}{\eta} \vec{u}_r \times \vec{E}(\vec{r})$$

$$\begin{aligned} \vec{L} &= \iint_{\text{apertura}} e^{jk\vec{u}_r \cdot \vec{r}'} \left( -2\vec{n} \times \vec{E}_a(\vec{r}') \right) ds' = \\ &= -4\pi \vec{n} \times \vec{e}_a(-ku, -kv) \end{aligned}$$

$$\vec{e}(\xi, \psi) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \vec{E}_a(x, y) e^{-j(\xi x + \psi y)} dx dy$$

trasformata di Fourier dell'illuminazione

# radiazione da un'apertura rettangolare illuminata uniformemente



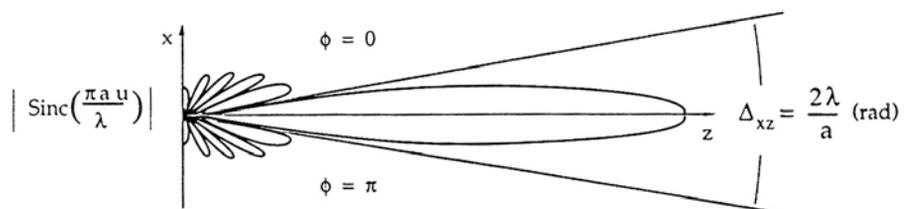
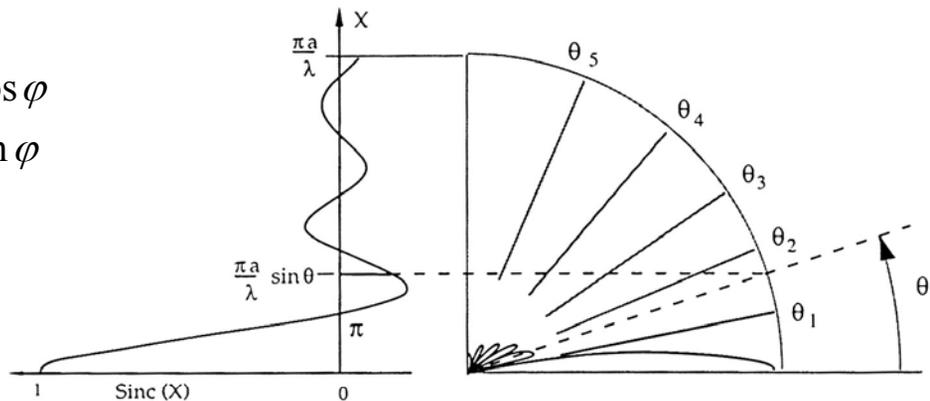
$$\vec{e}(\xi, \psi) = \vec{u}_x E_0 \frac{ab}{2\pi} \operatorname{sinc} \frac{\pi au}{\lambda} \operatorname{sinc} \frac{\pi bv}{\lambda}$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = jabE_0 \frac{e^{-jkr}}{\lambda r} (\vec{u}_\theta \cos \varphi - \vec{u}_\phi \cos \vartheta \sin \varphi) \operatorname{sinc} \frac{\pi au}{\lambda} \operatorname{sinc} \frac{\pi bv}{\lambda}$$

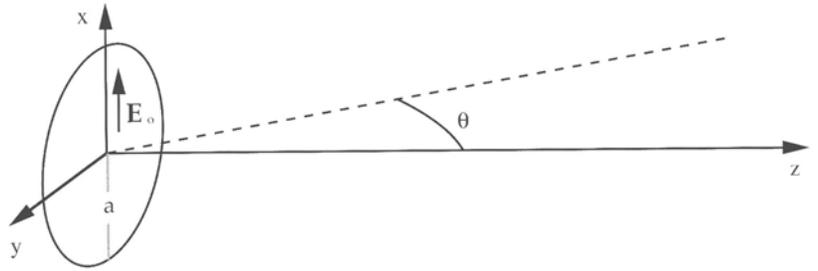
$$K(\vec{u}_r) = \frac{E_0^2}{2\eta} \frac{a^2 b^2}{\lambda^2} (\cos^2 \varphi + \cos^2 \vartheta \sin^2 \varphi) \operatorname{sinc}^2 \frac{\pi au}{\lambda} \operatorname{sinc}^2 \frac{\pi bv}{\lambda}$$

$$u = \sin \vartheta \cos \varphi$$

$$v = \sin \vartheta \sin \varphi$$



# radiazione da un'apertura circolare illuminata uniformemente



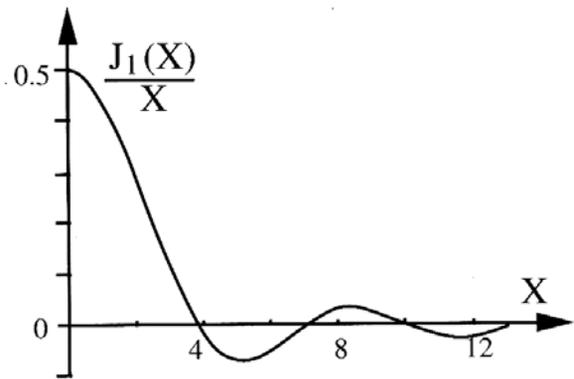
$$\vec{e}(\xi, \psi) = \vec{u}_x E_0 a^2 \frac{J_1(ka \sin \mathcal{G})}{ka \sin \mathcal{G}}$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = j2\pi a^2 E_0 \frac{e^{-jkr}}{\lambda r} (\vec{u}_\mathcal{G} \cos \varphi - \vec{u}_\varphi \cos \mathcal{G} \sin \varphi) \frac{J_1(ka \sin \mathcal{G})}{ka \sin \mathcal{G}}$$

$$K(\vec{u}_r) = \frac{2E_0^2}{\eta} \frac{\pi^2 a^4}{\lambda^2} (\cos^2 \varphi + \cos^2 \mathcal{G} \sin^2 \varphi) \left( \frac{J_1(ka \sin \mathcal{G})}{ka \sin \mathcal{G}} \right)^2$$

$$u = \sin \mathcal{G} \cos \varphi$$

$$v = \sin \mathcal{G} \sin \varphi$$



andamento tipico del campo di radiazione  
da un'antenna a riflettore di grandi  
dimensioni

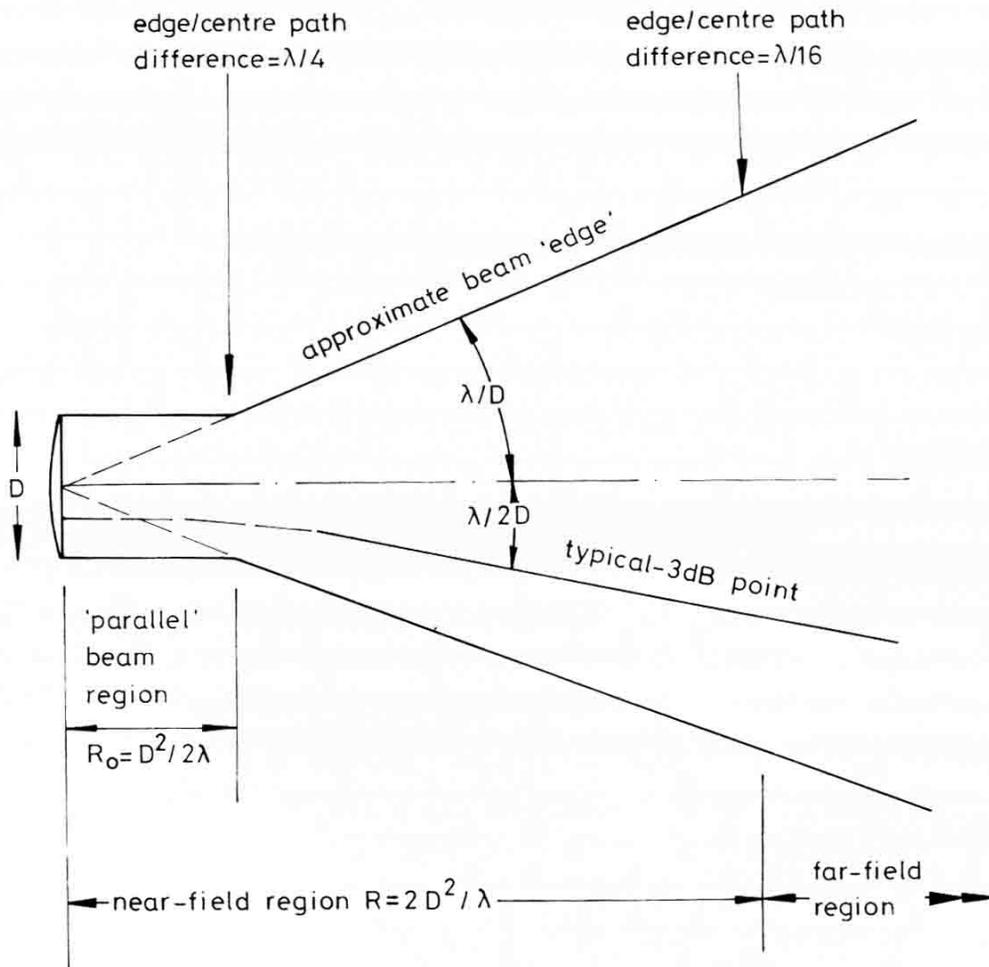
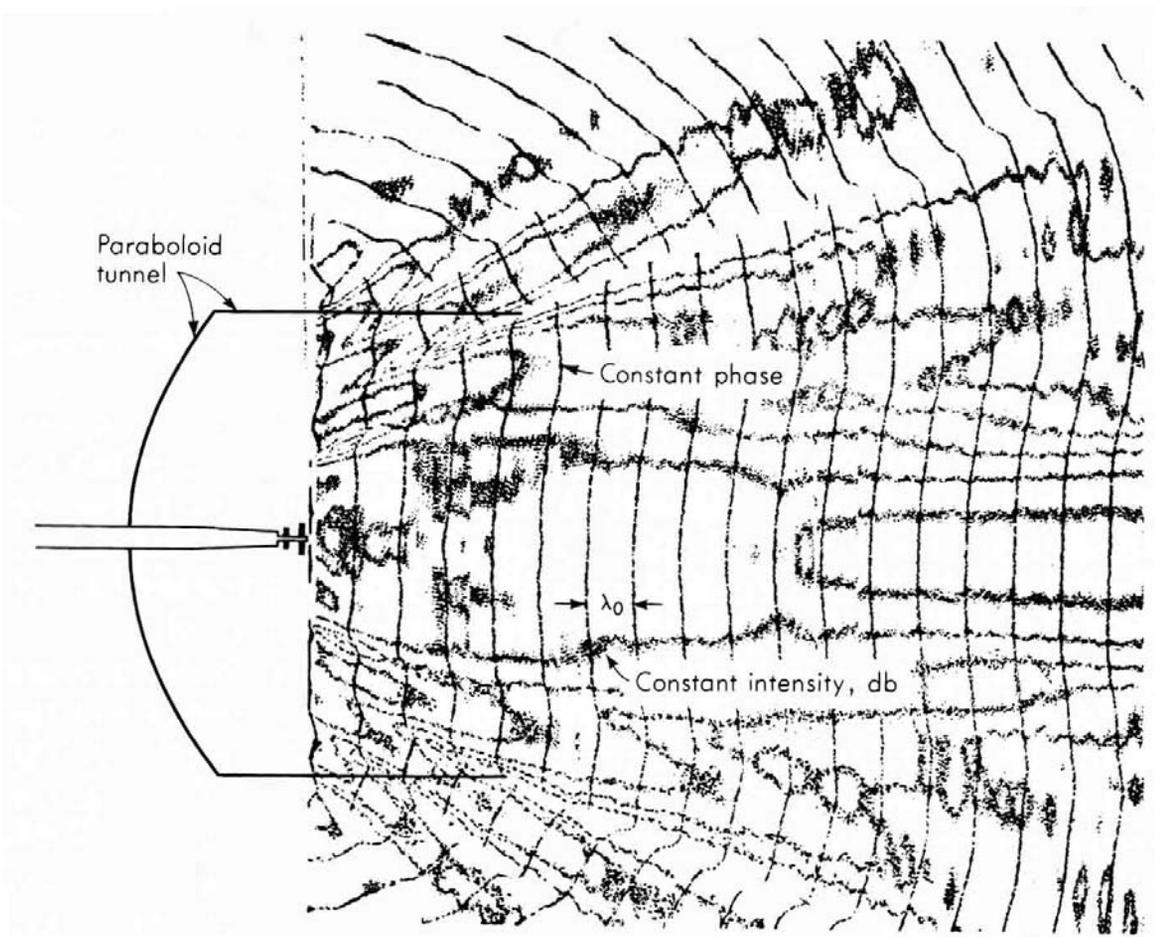


diagramma sperimentale della distribuzione di fase e ampiezza del campo elettrico nella regione dell'apertura di un paraboloide con colletto assorbente



# riflettore parabolico

$$\overline{FP} = \overline{PQ}$$

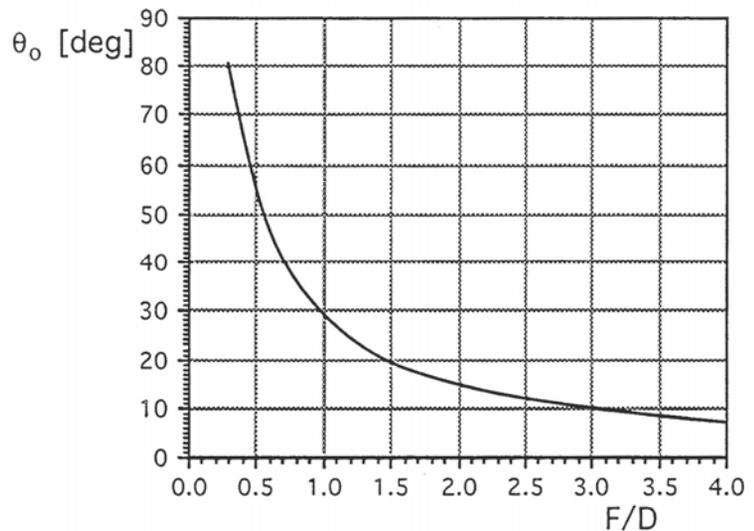
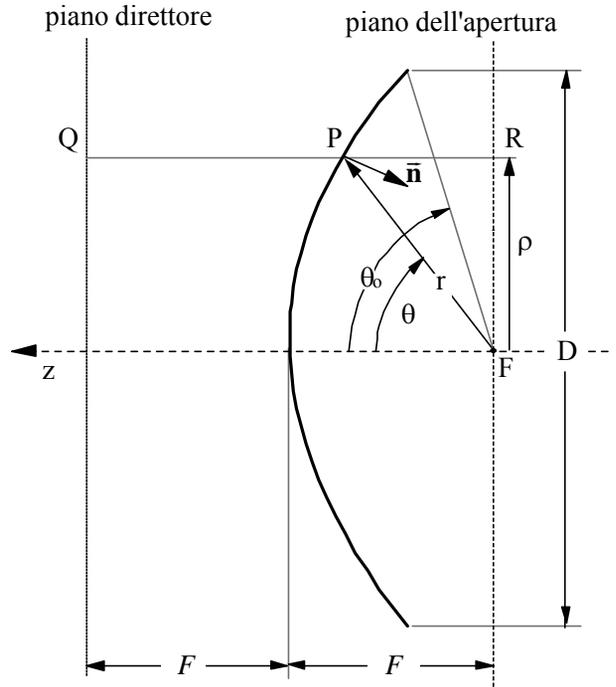
$$r = 2F - r \cos \vartheta$$

$$= \frac{F}{\cos^2 \vartheta/2}$$

$$\rho = r \sin \vartheta = 2F \tan \vartheta/2$$

$$\vec{n} = -\vec{u}_r \cos \vartheta/2 + \vec{u}_\vartheta \sin \vartheta/2$$

$$D = 4F \tan \vartheta_0/2$$



$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} g = \frac{\lambda^2 K}{P_{in}}$$

$$K = \frac{1}{8\eta\lambda^2} (|\vec{L}|^2 - |\vec{L} \cdot \vec{u}_r|^2)$$

$$|\vec{L}|^2 = 16\pi^2 |\vec{e}|^2$$

$$= 4 \left| \iint_{\text{apertura}} \vec{E}_a(x, y) e^{jk(ux+vy)} dx dy \right|^2 \leq 4A \iint_{\text{apertura}} |\vec{E}_a(x, y)|^2 dx dy$$

disuguaglianza di Schwarz

$$K \leq \frac{A}{2\eta\lambda^2} \iint_{\text{apertura}} |\vec{E}(x, y)|^2 dx dy$$

$$P_{in} \geq \frac{1}{2\eta} \iint_{\text{apertura}} |\vec{E}(x, y)|^2 dx dy$$

$$A_{eff} \leq A$$

efficienza d'apertura

$$\eta_a = \frac{A_{eff}}{A}$$

$$\eta_a = \eta_{ill} \eta_{spill} \eta_{fase} \eta_{pol} \eta_{bloc} \eta_{ohm}$$

$\eta_{ill}$  efficienza d'illuminazione

$\eta_{spill}$  efficienza di spill over

$\eta_{fase}$  efficienza di fase

$\eta_{pol}$  efficienza di polarizzazione

$\eta_{bloc}$  efficienza di bloccaggio

$\eta_{ohm}$  efficienza ohmica (di radiazione)

# apertura circolare

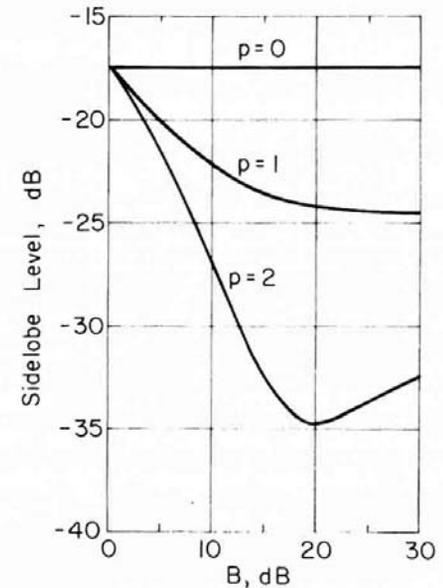
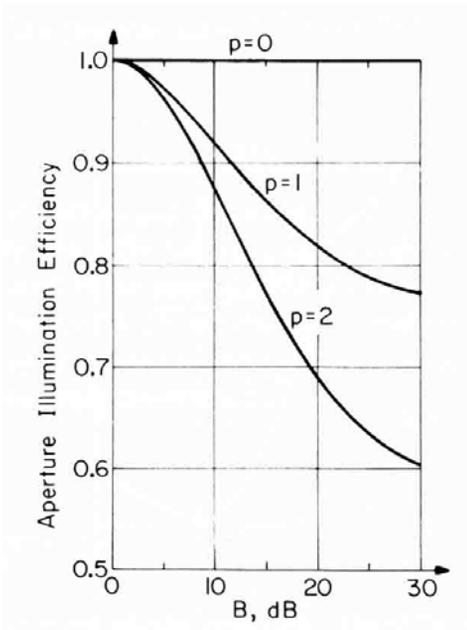
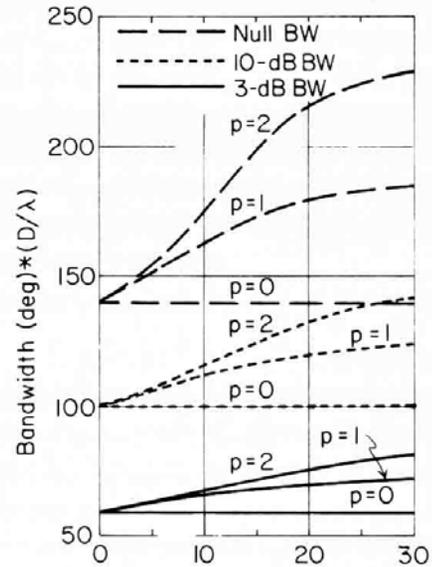
l'apertura circolare di raggio  $a$  è illuminata in modo da avere sull'apertura un campo polarizzato linearmente, equifase, con legge d'illuminazione d'ampiezza a simmetria assiale data dal polinomio

$$I = B + (1 - B)(1 - r^2/a^2)^p$$

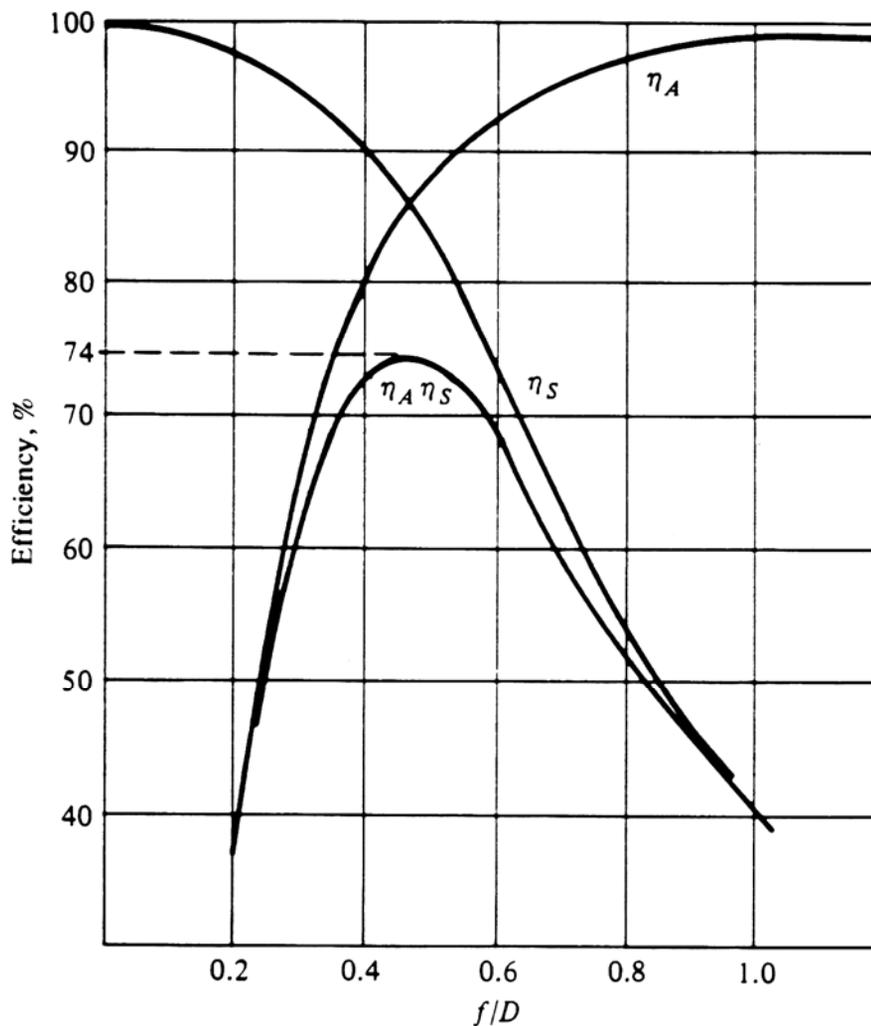
$r$  è la coordinata radiale ( $0 \leq r \leq a$ )

$B$  è il rapporto tra l'intensità d'illuminazione al bordo ed al centro ( $0 \leq B \leq 1$ )

$p$  è l'ordine del polinomio ( $p = 0, 1, \dots$ )

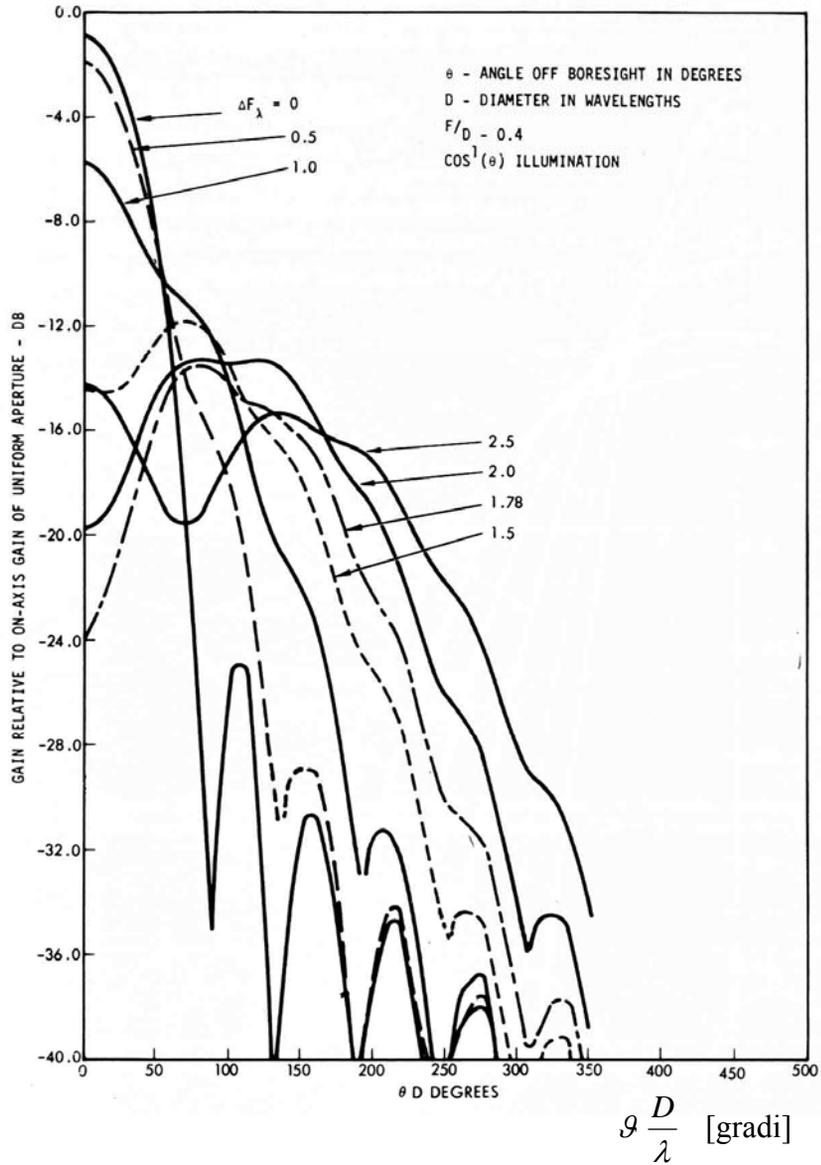


efficienze d'illuminazione e di spillover  
(illuminazione dovuta al modo  $TE_{11}$  di una guida  
circolare di raggio  $a = 0.48 \lambda$ )



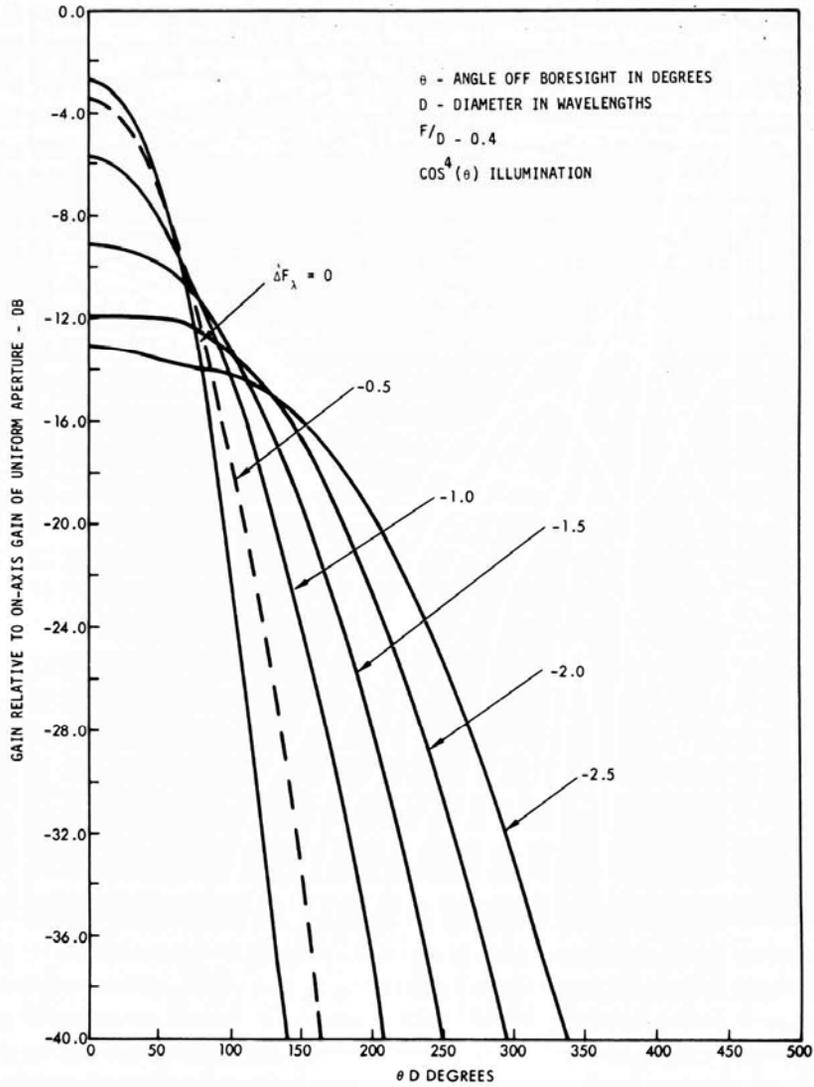
# sfuocamento assiale

( $F/D = 0.4$ , illuminazione tipo  $\cos \vartheta$ )



# sfuocamento assiale

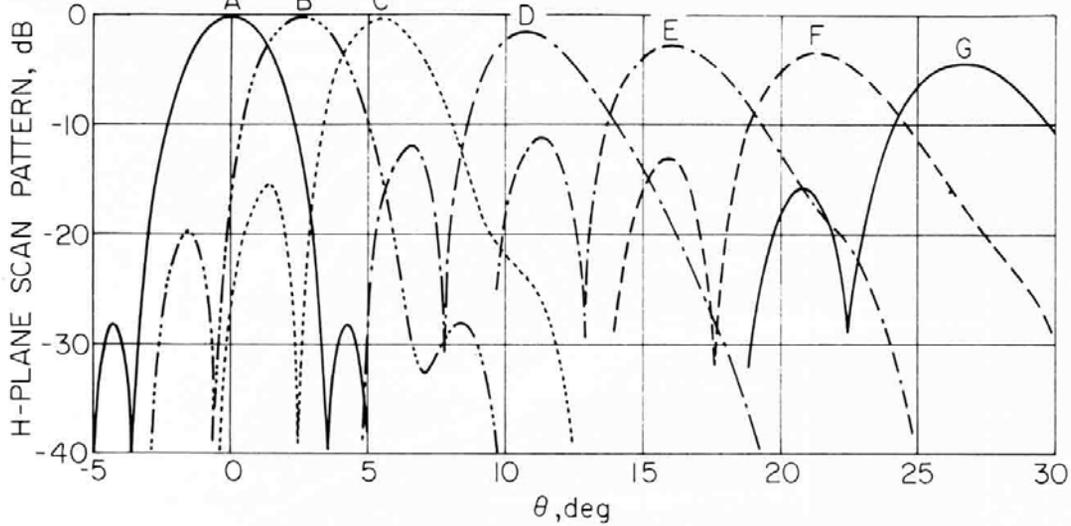
( $F/D = 0.4$ , illuminazione tipo  $\cos^4 \mathcal{G}$ )



$$\mathcal{G} \frac{D}{\lambda} \text{ [gradi]}$$

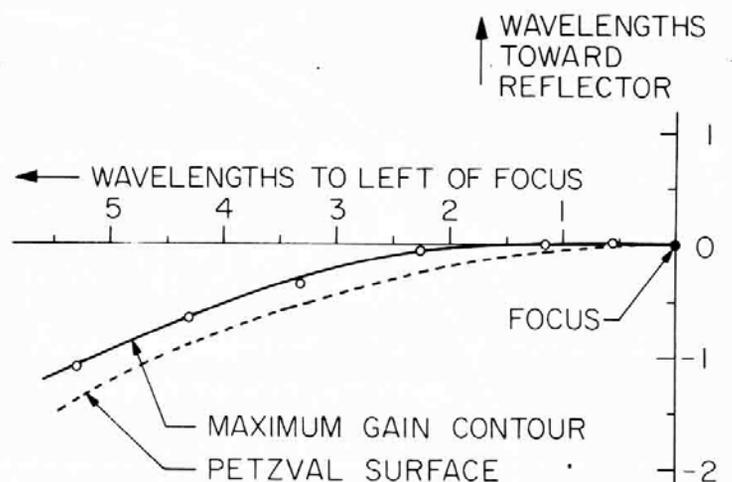
deviazione del fascio in un riflettore parabolico illuminato da una guida circolare troncata di diametro pari a  $\lambda$  funzionante nel modo  $TE_{11}$  ( $D = 25\lambda$ ,  $F/D = 0.4$ )

diagramma di radiazione sul piano H

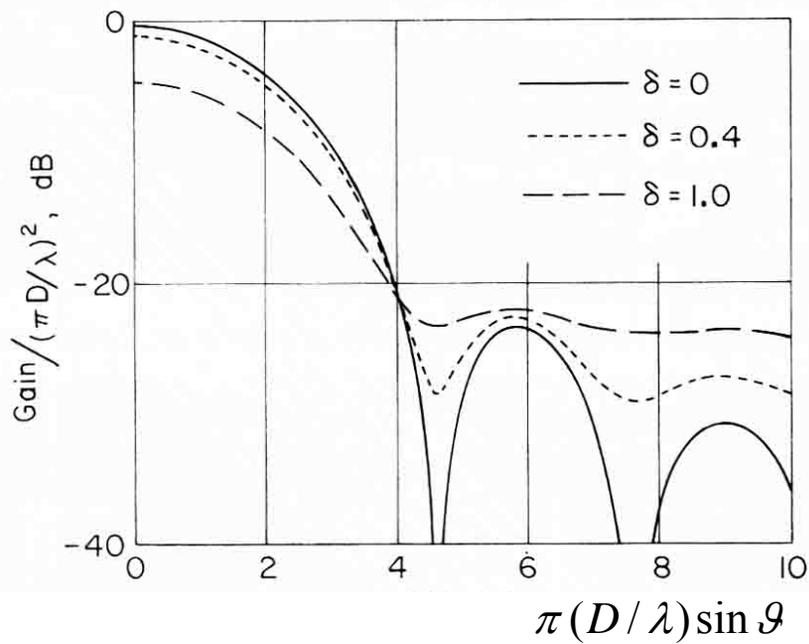
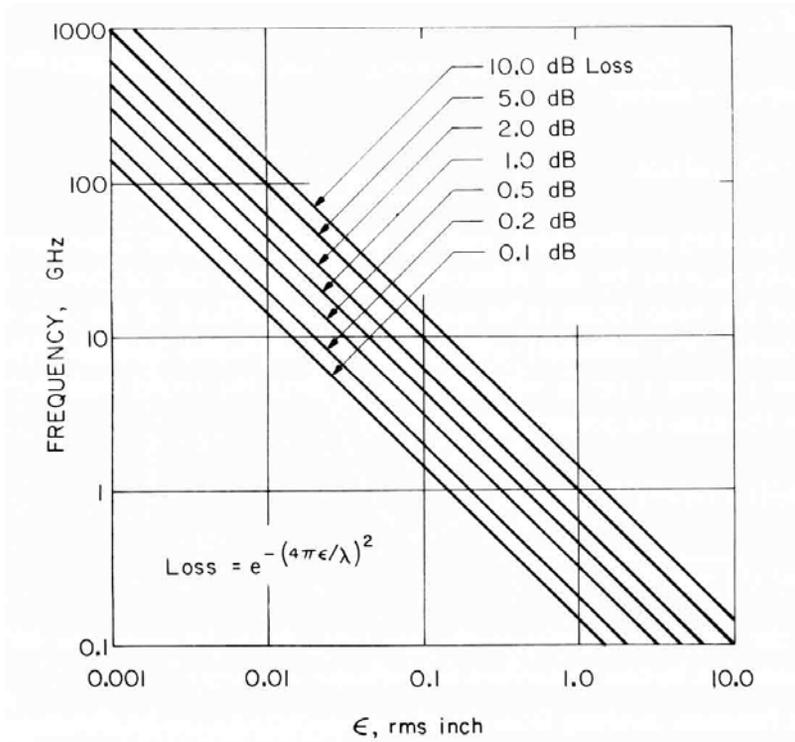


- A: l'illuminatore è posizionato sul fuoco
- B, C, D, E, F, G: l'illuminatore è spostato dalla posizione focale in modo da ottenere il fascio fuori asse di 1, 2, 4, 6, 8, 10 larghezze del fascio a  $-3\text{dB}$

corrispondente posizione dell'illuminatore



# effetto degli errori casuali sulla superficie del riflettore



$$\delta = 4\pi\epsilon/\lambda$$

## effetto del bloccaggio centrale sul livello dei lobi laterali

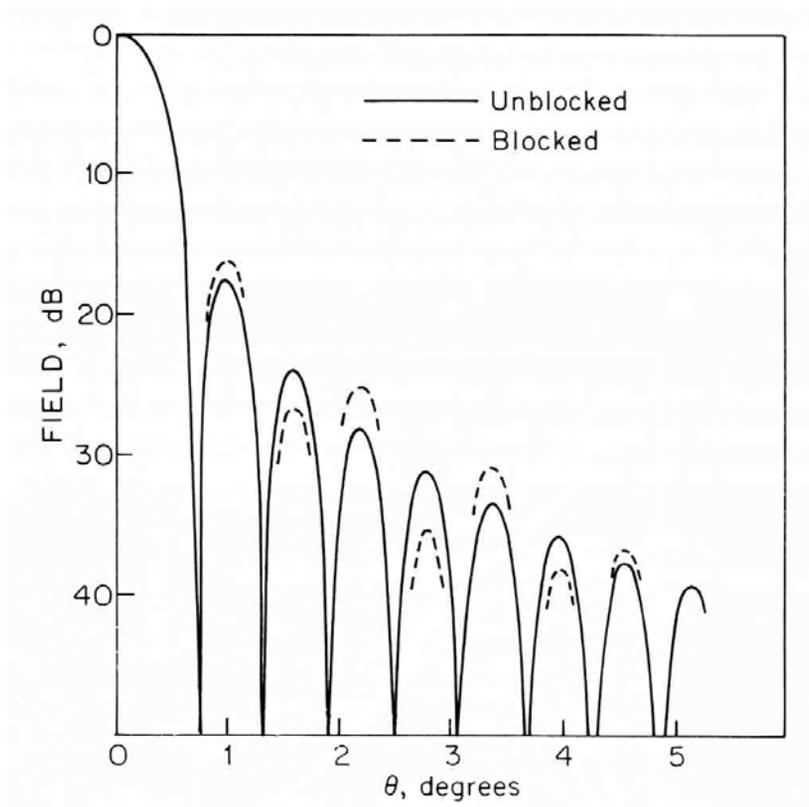
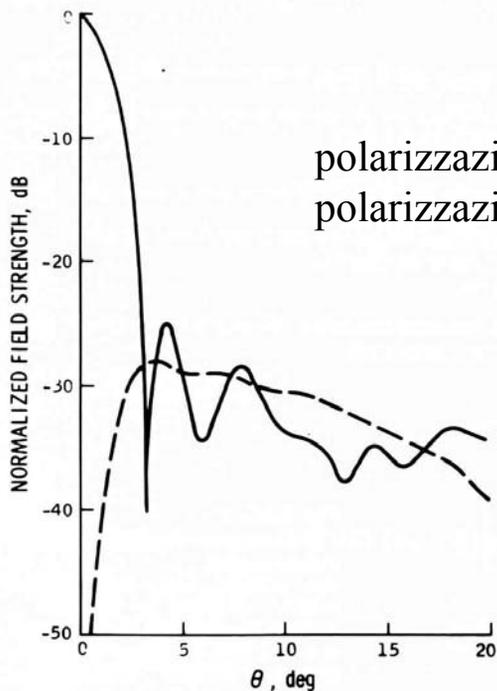
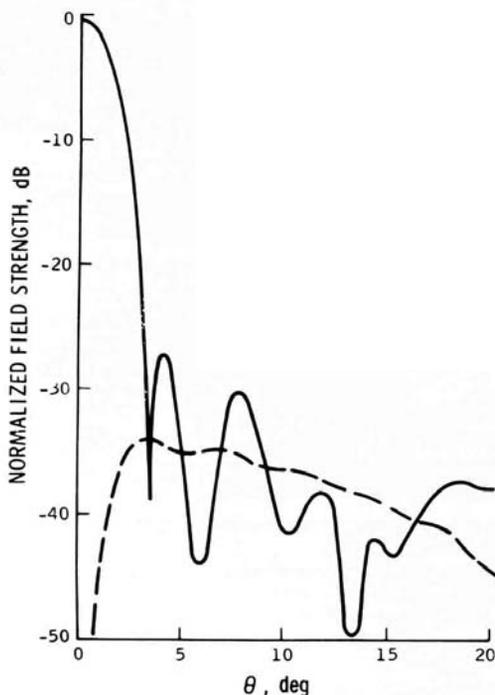


diagramma di radiazione sul piano  $\varphi = 0$  di un'apertura circolare ( $D/\lambda = 27.5$ ,  $F/D = 0.5$ ) illuminata da una tromba circolare ( $d/D = 0.076$ ) sostenuta da quattro strutture identiche di sezione rettangolare ( $0.275 \lambda \times 1.6 \lambda$ ) inclinate di  $47.7^\circ$  e giacenti sui piani  $\varphi = 0, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$

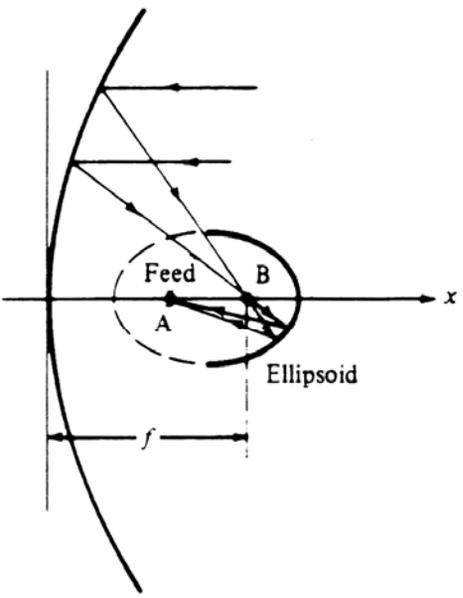
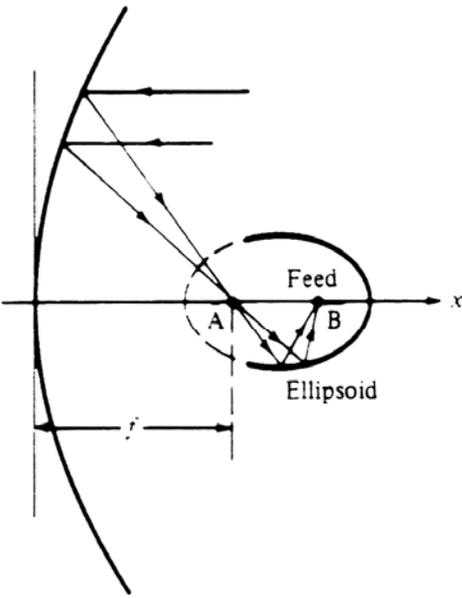


polarizzazione lineare secondo y  
polarizzazione incrociata

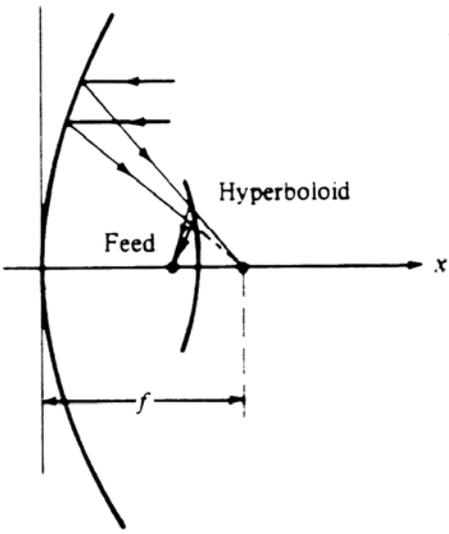
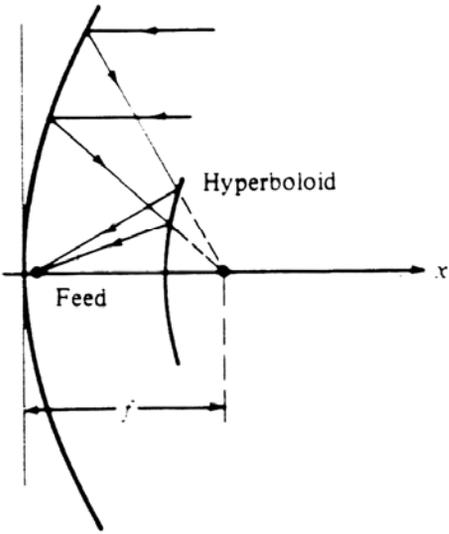
— polarizzazione circolare  
- - - polarizzazione incrociata



# configurazioni a doppio riflettore



gregoriana



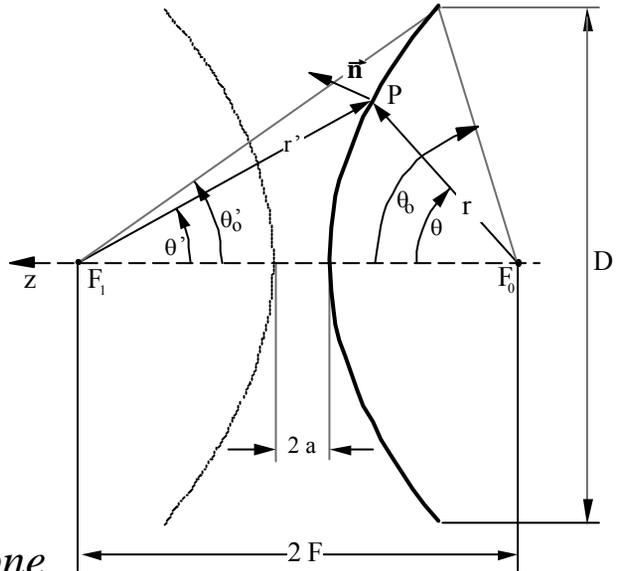
cassegrain

# riflettore iperbolico

$$r'' - r = 2a$$

$$e = \frac{F}{a} > 1 \quad \text{eccentricità}$$

$$M = \frac{e+1}{e-1} \quad \text{magnificazione}$$



$$\vec{r}'' = -2F\vec{u}_z + \vec{r}$$

$$\vec{n} = \frac{\vec{u}_r - \vec{r}''/r''}{|\vec{u}_r - \vec{r}''/r''|}$$

$$r = \frac{F(e^2 - 1)}{e(1 + e \cos \vartheta)}$$

$$r'' = \frac{F(1 + 2e \cos \vartheta + e^2)}{e(1 + e \cos \vartheta)}$$

$$\vec{n} = \frac{\vec{u}_r(1 + e \cos \vartheta) - \vec{u}_\vartheta e \sin \vartheta}{\sqrt{1 + 2e \cos \vartheta + e^2}}$$

$$\tan \vartheta/2 = M \tan \vartheta'/2$$

riflettore iperbolico ( $e > 1$ )

la radiazione da una sorgente puntiforme posta su un fuoco, caratterizzata dal guadagno  $g(\mathcal{G}, \varphi)$ , dalla polarizzazione  $\vec{p}(\mathcal{G}, \varphi)$  e dalla fase  $\psi(\mathcal{G}, \varphi)$ , dopo la riflessione sull'iperboloide è equivalente alla radiazione dalla sorgente puntiforme posta sull'altro fuoco con le seguenti caratteristiche:

$$g_{eq}(\mathcal{G}, \varphi) = \frac{e^2 - 1}{1 + 2e \cos \mathcal{G} + e^2} g(\mathcal{G}', \varphi)$$

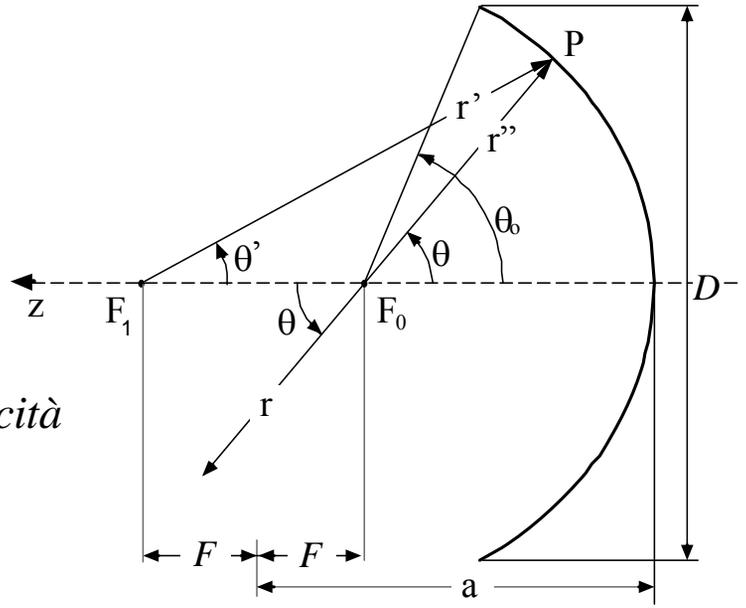
$$\psi_{eq}(\mathcal{G}, \varphi) = \psi(\mathcal{G}', \varphi) - 2ka$$

$$\vec{p}_{eq}(\mathcal{G}, \varphi) = 2(\vec{n}(\mathcal{G}) \cdot \vec{p}(\mathcal{G}', \varphi))\vec{n}(\mathcal{G}) - \vec{p}(\mathcal{G}', \varphi)$$

$$\tan \mathcal{G}' / 2 = \frac{1}{M} \tan \mathcal{G} / 2$$

$$M = \frac{e + 1}{e - 1}$$

# riflettore ellissoidale



$$r' + r'' = 2a$$

$$e = \frac{F}{a} < 1$$

*eccentricità*

$$\vec{r}'' = -2F\vec{u}_z + \vec{r}$$

$$\vec{n} = \frac{\vec{u}_r + \vec{r}''/r''}{|\vec{u}_r + \vec{r}''/r''|}$$

$$r = \frac{F(1-e^2)}{e(1-e \cos \vartheta)}$$

$$r'' = \frac{F(1-2e \cos \vartheta + e^2)}{e(1-e \cos \vartheta)}$$

$$\vec{n} = -\frac{\vec{u}_r(1-e \cos \vartheta) + \vec{u}_\vartheta e \sin \vartheta}{\sqrt{1-2e \cos \vartheta + e^2}}$$

riflettore ellissoidale ( $e < 1$ )

la radiazione da una sorgente puntiforme posta su un fuoco, caratterizzata dal guadagno  $g(\mathcal{G}, \varphi)$ , dalla polarizzazione  $\vec{p}(\mathcal{G}, \varphi)$  e dalla fase  $\psi(\mathcal{G}, \varphi)$ , dopo la riflessione sull'ellissoide ed il passaggio per il secondo fuoco, è equivalente alla radiazione dalla sorgente puntiforme posta su quest'ultimo fuoco con le seguenti caratteristiche:

$$g_{eq}(\mathcal{G}, \varphi) = \frac{1 - e^2}{1 - 2e \cos \mathcal{G} + e^2} g_{eq}(\mathcal{G}', \varphi)$$

$$\psi_{eq}(\mathcal{G}, \varphi) = \psi(\mathcal{G}', \varphi) - 2ka - \pi$$

$$\vec{p}_{eq}(\mathcal{G}, \varphi) = 2(\vec{n}(\mathcal{G}) \cdot \vec{p}(\mathcal{G}', \varphi))\vec{n}(\mathcal{G}) - \vec{p}(\mathcal{G}', \varphi)$$

$$\tan \mathcal{G}' / 2 = \frac{1}{M} \tan \mathcal{G} / 2$$

$$M = \frac{1 + e}{1 - e}$$



# riflettore parabolico offset

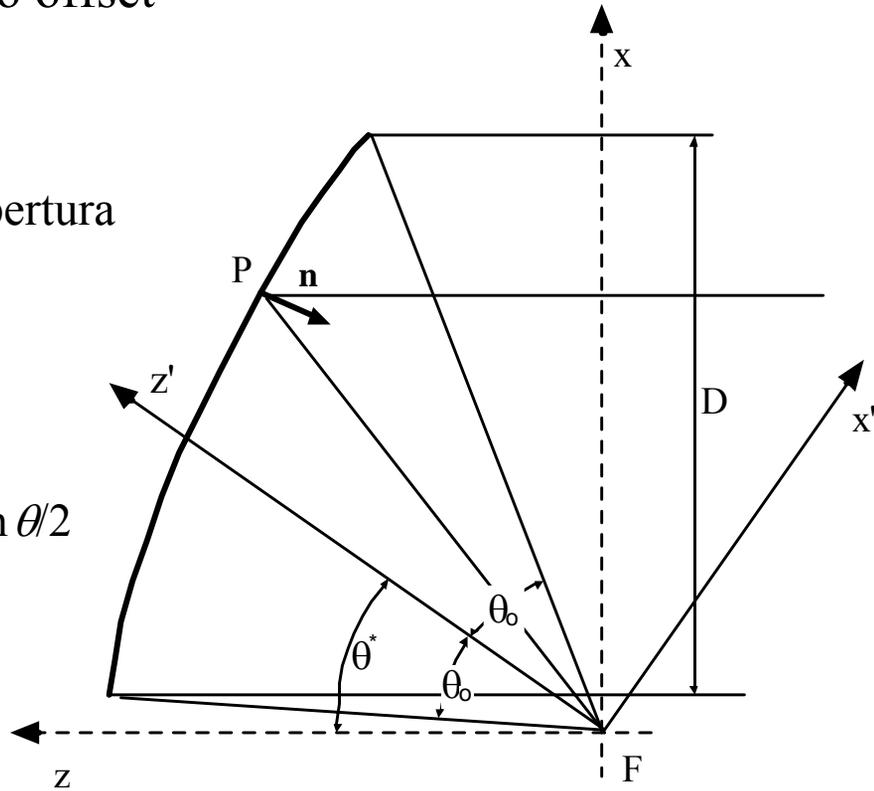
$\theta^*$  : angolo di offset

$\theta_o$  : angolo di semi-apertura

$$r = \frac{F}{\cos^2 \theta/2}$$

$$\rho = 2F \operatorname{tg} \theta/2$$

$$\vec{n} = -\vec{u}_r \cos \theta/2 + \vec{u}_\theta \sin \theta/2$$



nel sistema proprio del paraboloide (asse z) :

$$\vec{r} = \vec{u}_x \sin \mathcal{G} \cos \varphi + \vec{u}_y \sin \mathcal{G} \sin \varphi + \vec{u}_z \cos \mathcal{G}$$

nel sistema proprio dell'illuminatore (asse z') :

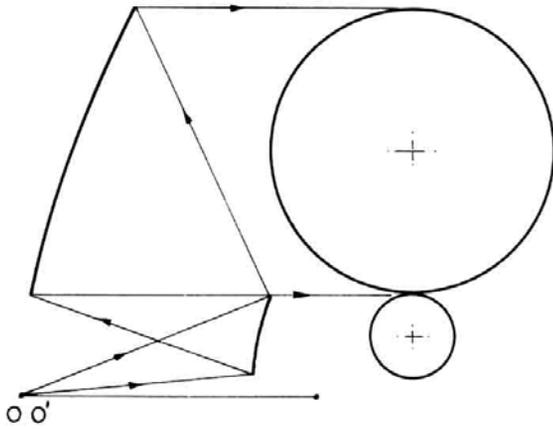
$$\vec{r} = \vec{u}_{x'} \sin \mathcal{G}' \cos \varphi' + \vec{u}_{y'} \sin \mathcal{G}' \sin \varphi' + \vec{u}_{z'} \cos \mathcal{G}'$$

uguagliando le componenti rispetto ad  $\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z$  si ottiene

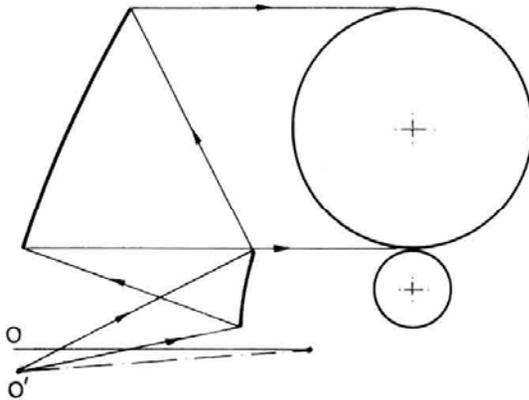
$$\begin{cases} \sin \theta \cos \varphi = \cos \theta^* \sin \theta' \cos \varphi' + \sin \theta^* \cos \theta' \\ \sin \theta \sin \varphi = \sin \theta' \cos \varphi' \\ \cos \theta = \cos \theta^* \cos \theta' - \sin \theta^* \sin \theta' \cos \varphi' \end{cases}$$

$$\begin{aligned} D = \rho_{\max} - \rho_{\min} &= 2F \left( \operatorname{tg} \frac{\theta^* + \theta_o}{2} - \operatorname{tg} \frac{\theta^* - \theta_o}{2} \right) \\ &= 4F \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \theta^*/2) \operatorname{tg} \theta_o/2}{1 - \operatorname{tg}^2 \theta^*/2 \quad \operatorname{tg}^2 \theta_o/2} \end{aligned}$$

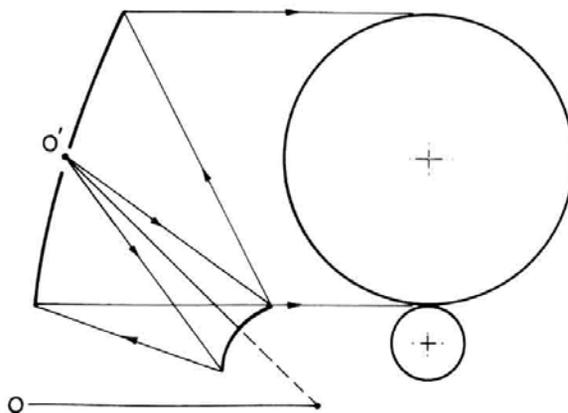
# configurazioni doppio-offset



doppio offset

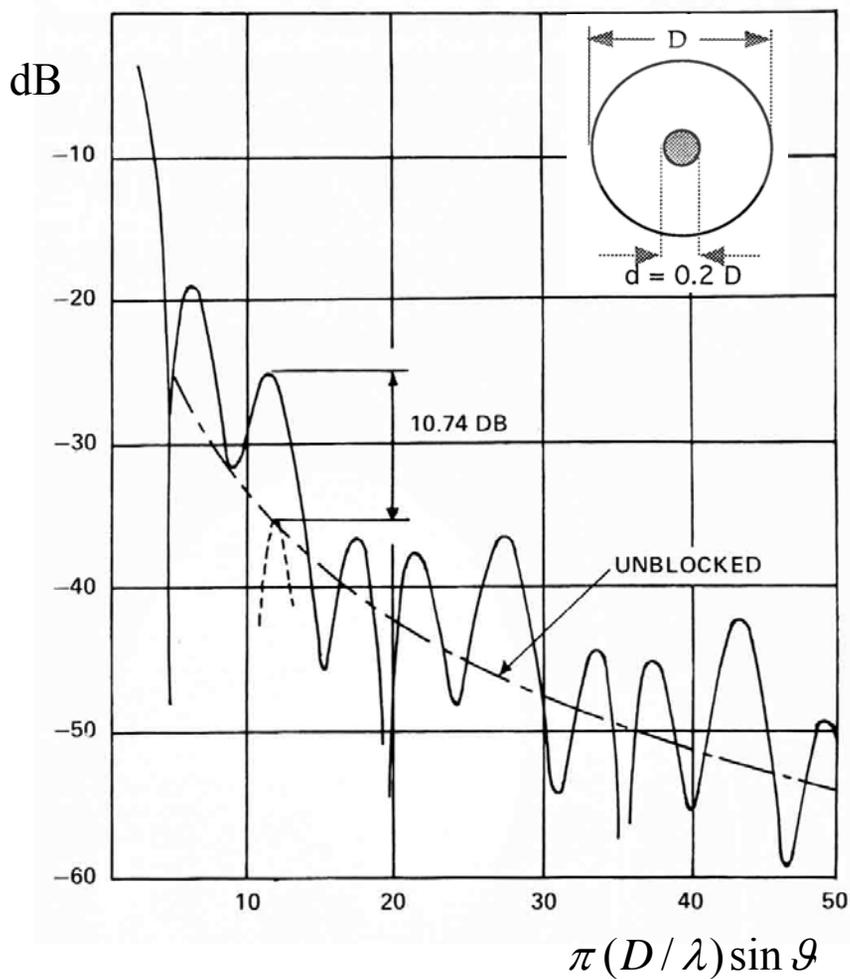


doppio offset  
ottimizzato

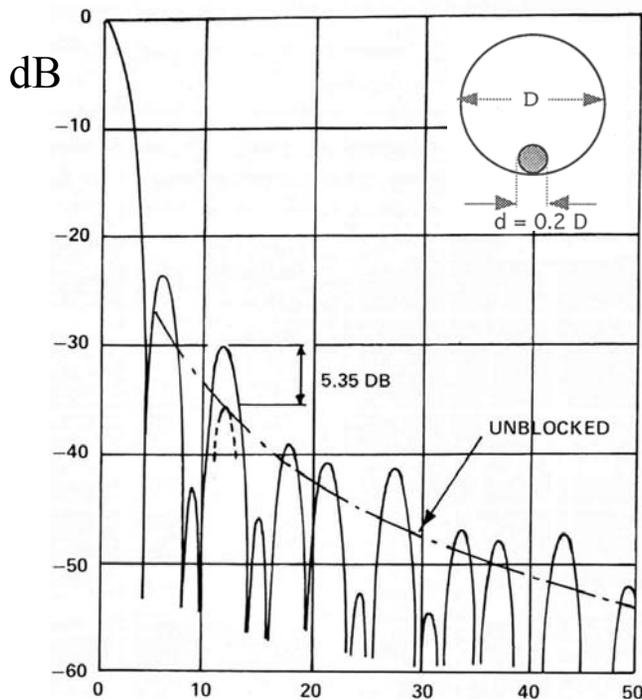


Cassegrain  
aperto

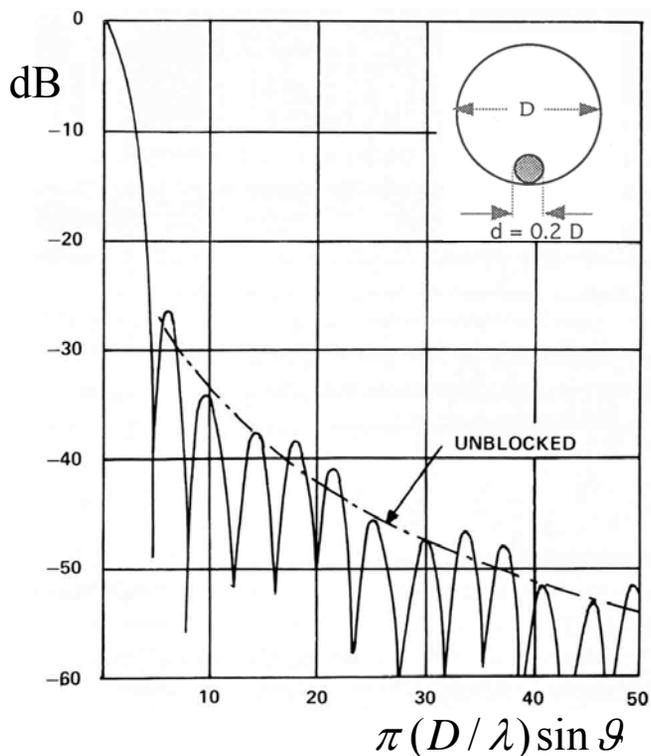
# effetto del bloccaggio sul livello dei lobi laterali (configurazione simmetrica)



# effetto del bloccaggio sul livello dei lobi laterali (configurazione offset)

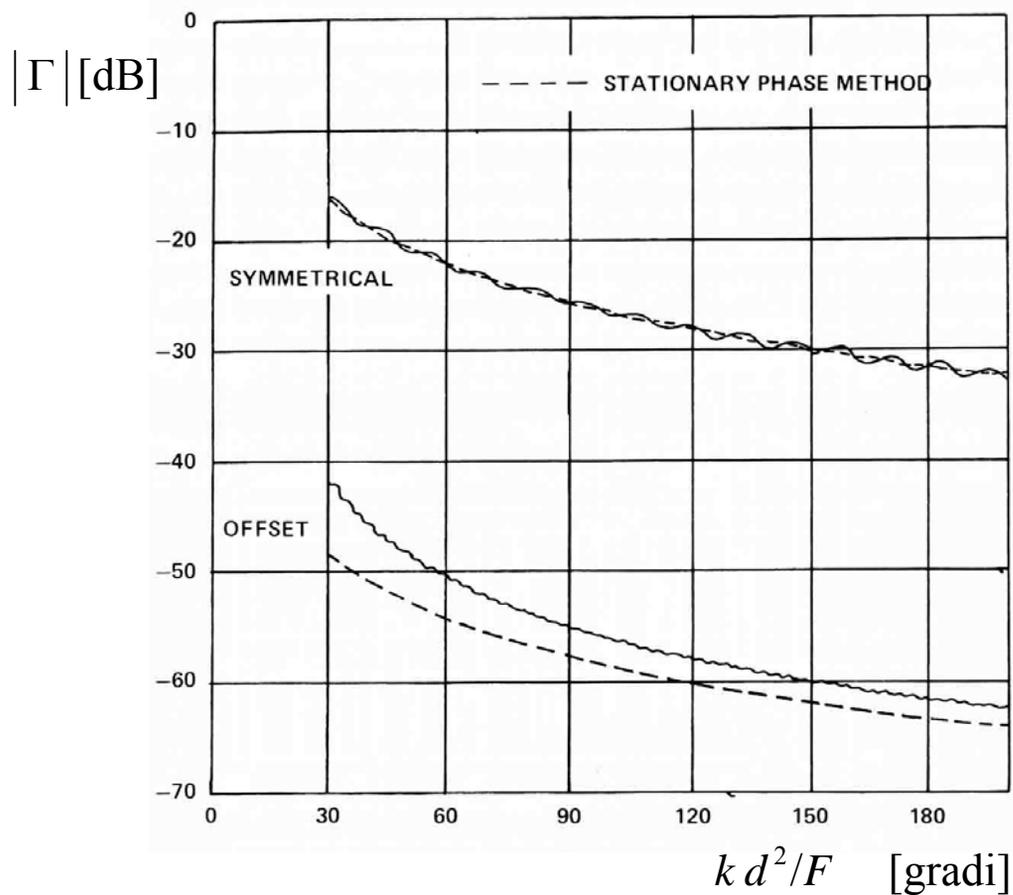


piano orizzontale

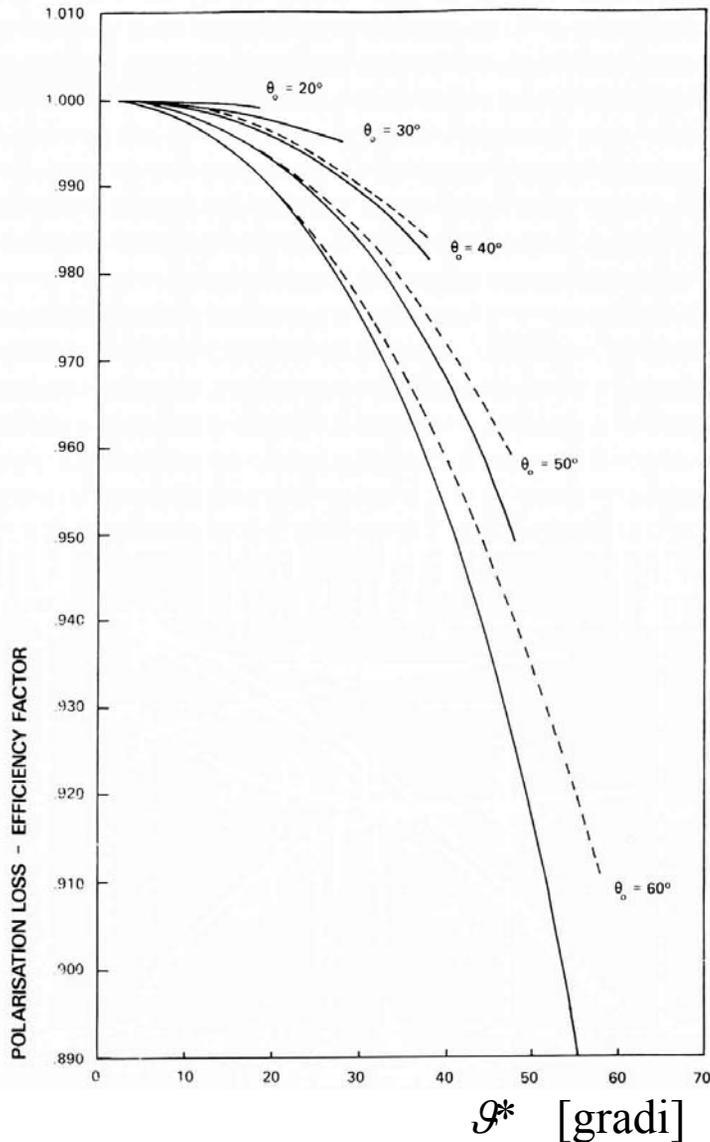


piano verticale

## effetto del bloccaggio sul coefficiente di riflessione (configurazione simmetrica e offset)

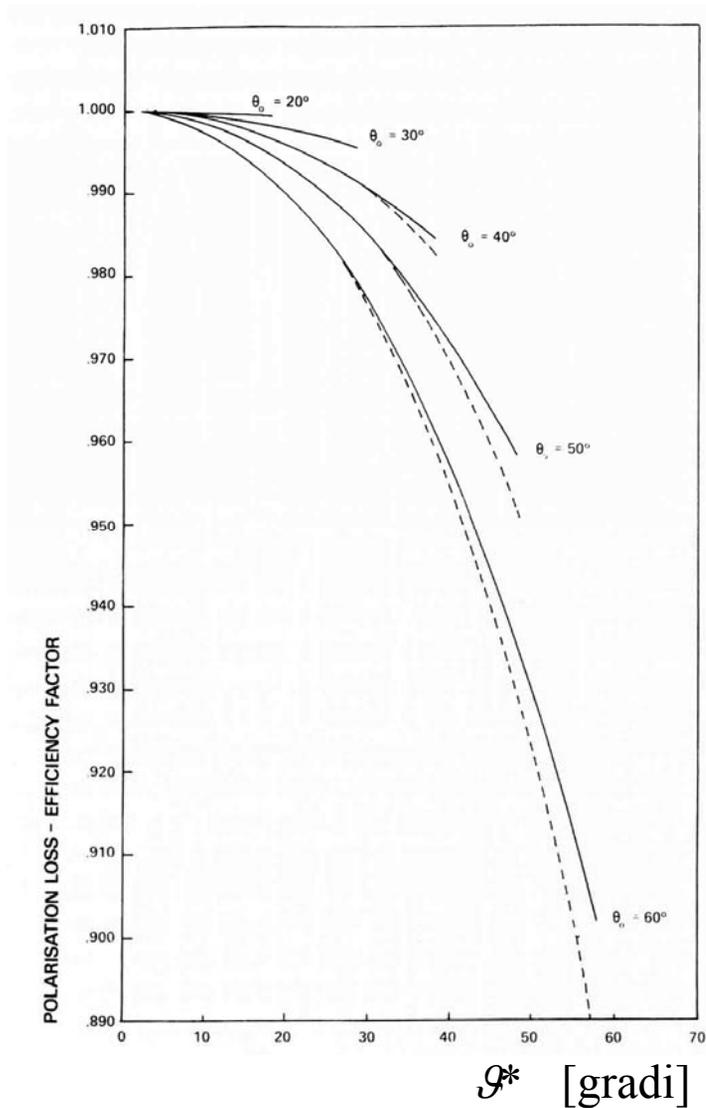


# efficienza di polarizzazione in riflettori offset



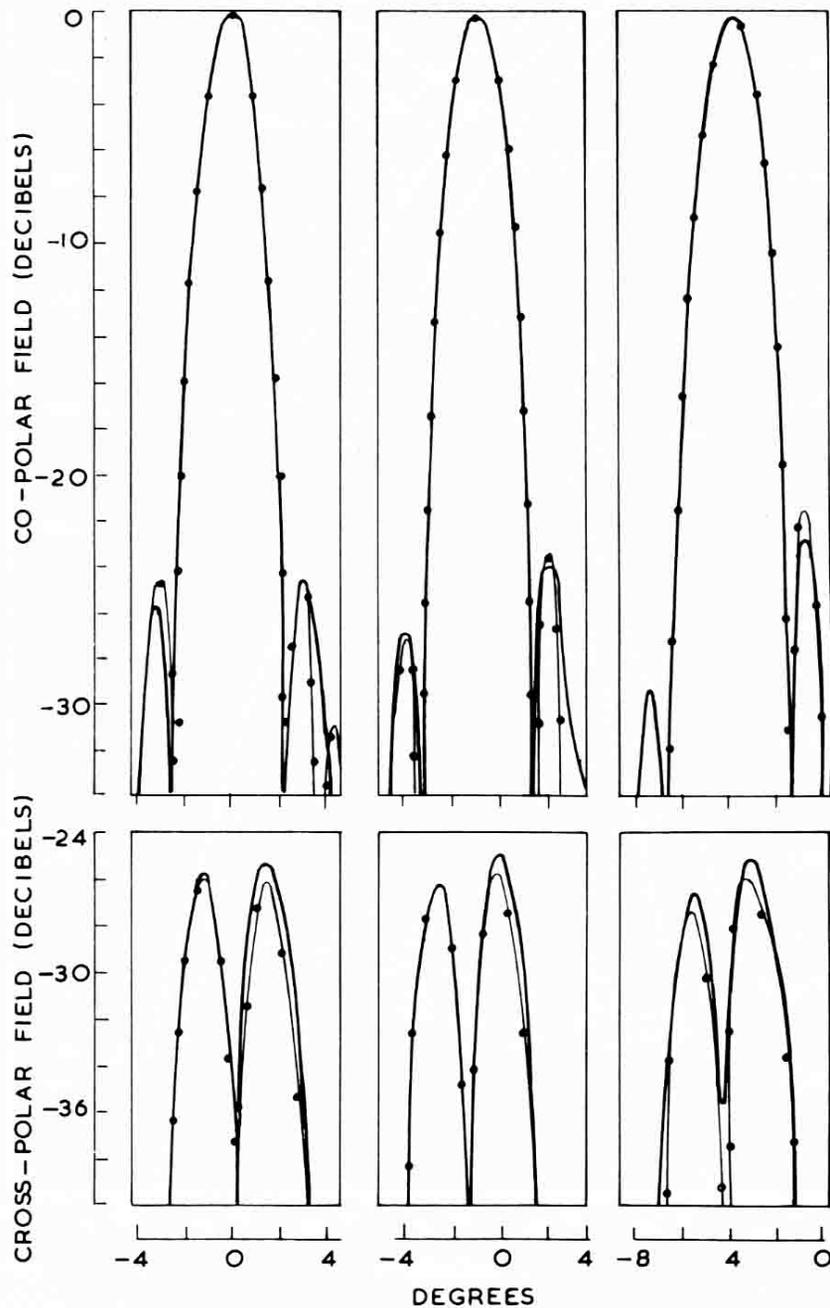
variazione dell'efficienza di polarizzazione di un riflettore parabolico offset al variare dell'angolo di offset  $\mathcal{G}^*$ , quando il riflettore è illuminato da un dipolo orientato secondo l'asse  $x'$  o da una sorgente di Huygens (linea continua), oppure da un dipolo orientato secondo l'asse  $y'$  (linea tratteggiata)

# efficienza di polarizzazione in riflettori Cassegrain aperti

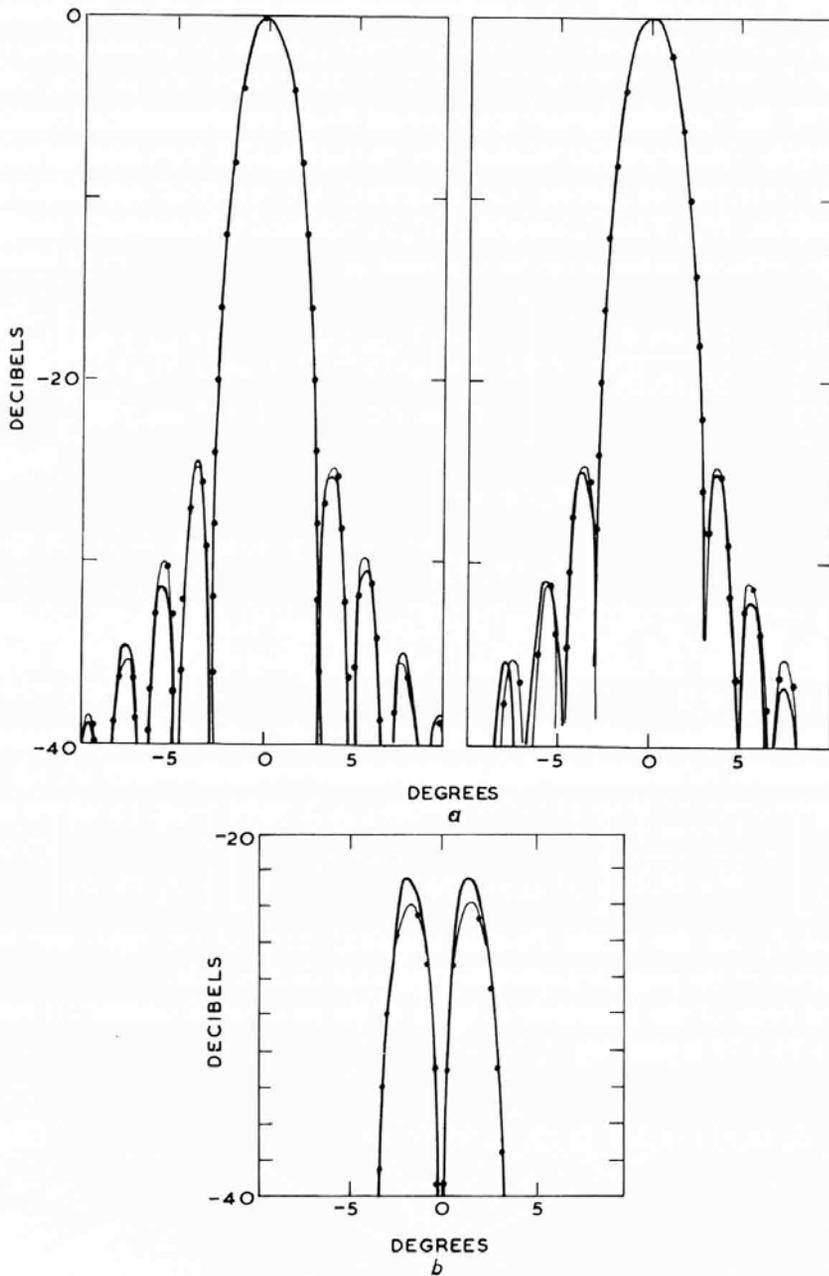


variazione dell'efficienza di polarizzazione di un riflettore parabolico offset al variare dell'angolo di offset  $\mathcal{G}^*$ , quando il riflettore è illuminato da un dipolo orientato secondo l'asse  $x'$  o da una sorgente di Huygens (linea continua), oppure da un dipolo orientato secondo l'asse  $y'$  (linea tratteggiata)

diagrammi di radiazione di un riflettore offset  
 ( $F / \lambda = 30.4$ ,  $\vartheta^* = 35^\circ$ ,  $\vartheta_0 = 30^\circ$ ) illuminato da una tromba  
 piramidale (polarizzazione lineare) spostata trasversalmente  
 lungo l'asse y di  $0$ ,  $0.83 \lambda$  e  $2.5 \lambda$  rispettivamente



diagrammi di radiazione di un'antenna a riflettore offset.  
sul piano di asimmetria ( $\varphi = \pi / 2$ ), b) e di simmetria ( $\varphi = 0$ )  
e intensità di radiazione per la polarizzazione incrociata sul piano di  
asimmetria (valori misurati — e calcolati ..... )



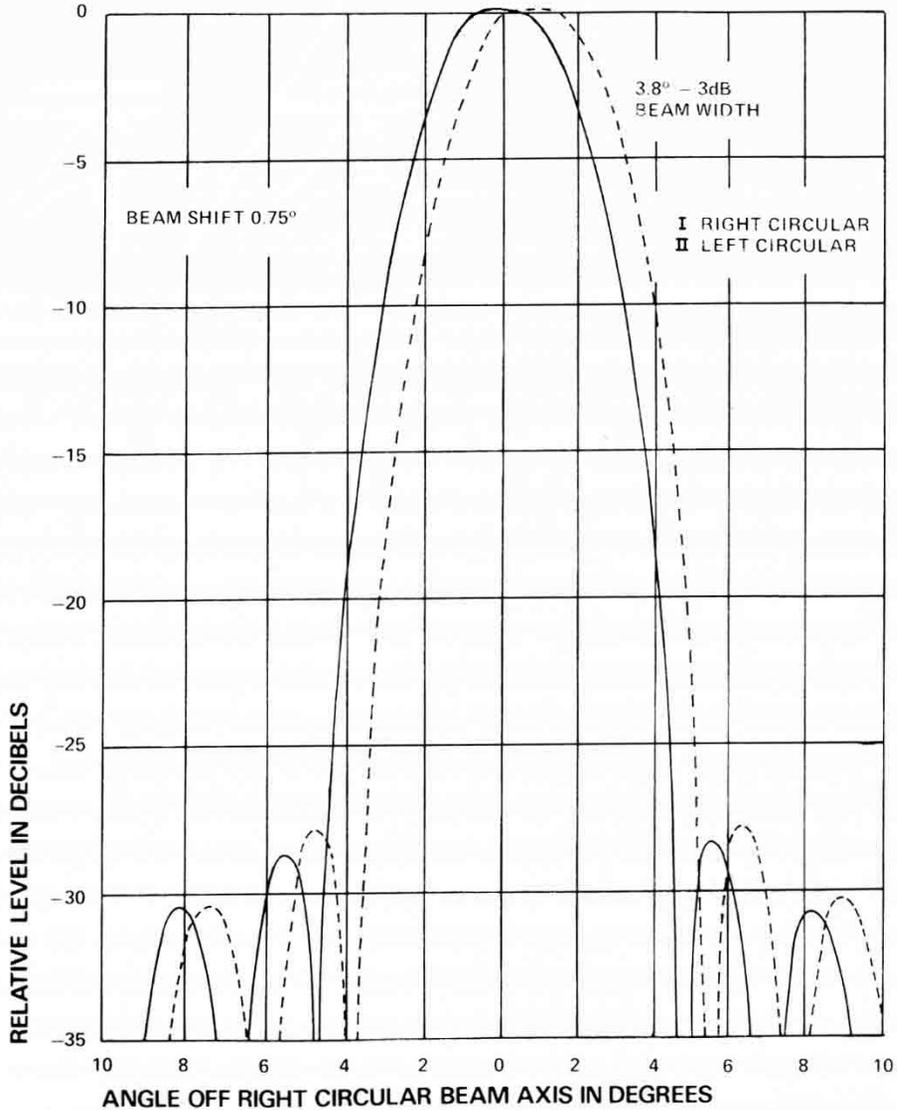
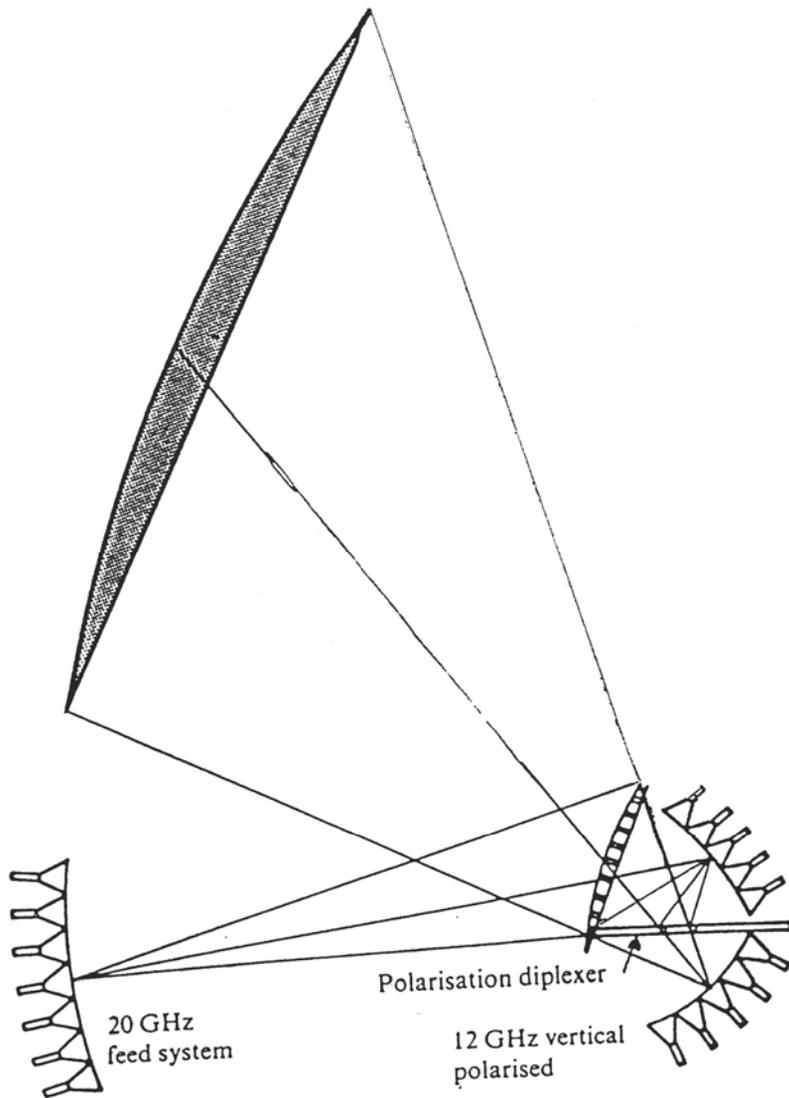
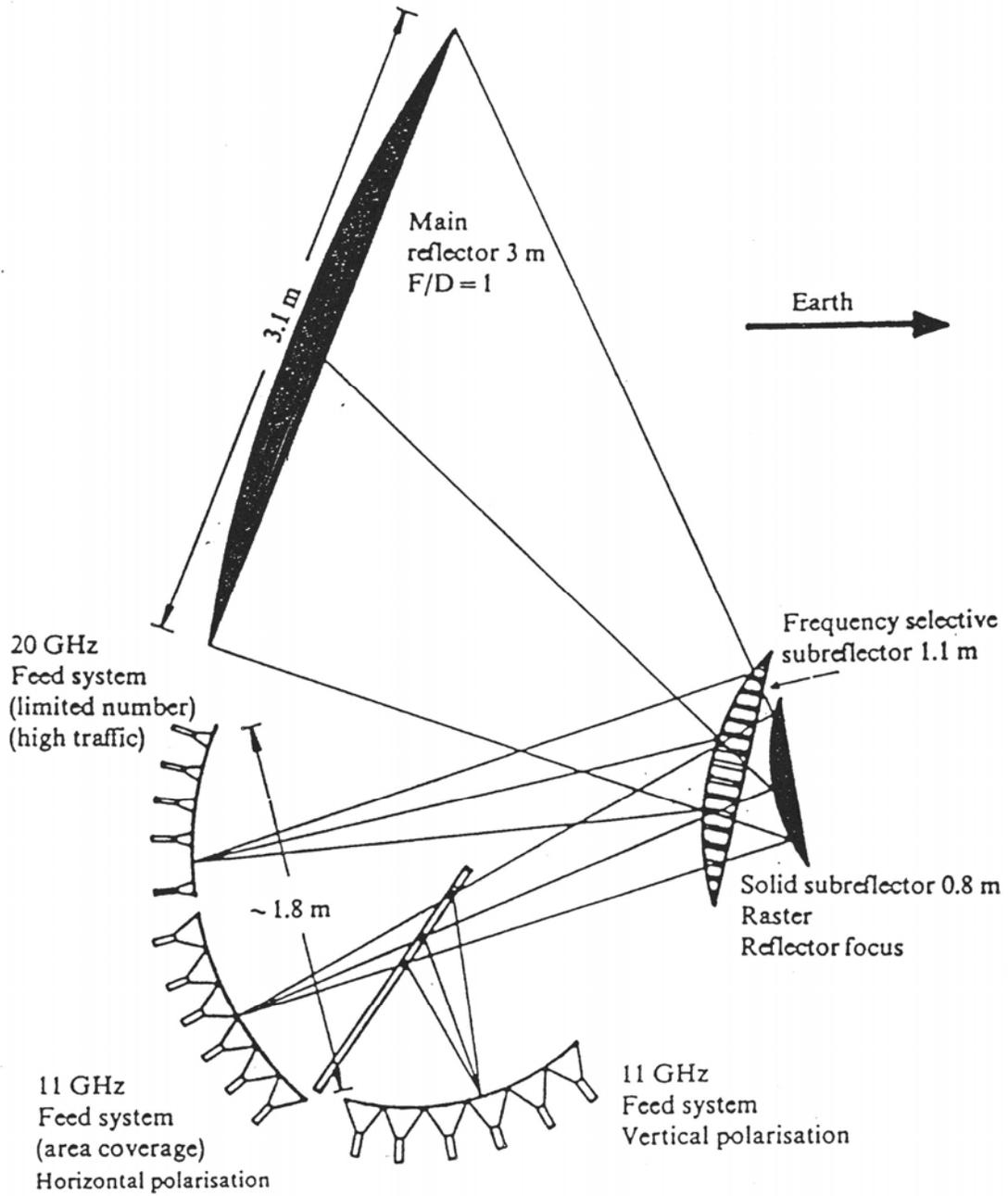


diagramma di radiazione misurato di un'antenna a riflettore offset con polarizzazione circolare operante a 18.5 GHz ( $F / \lambda = 9.4$ ,  $\vartheta_0 = \vartheta^* = 45^\circ$ )

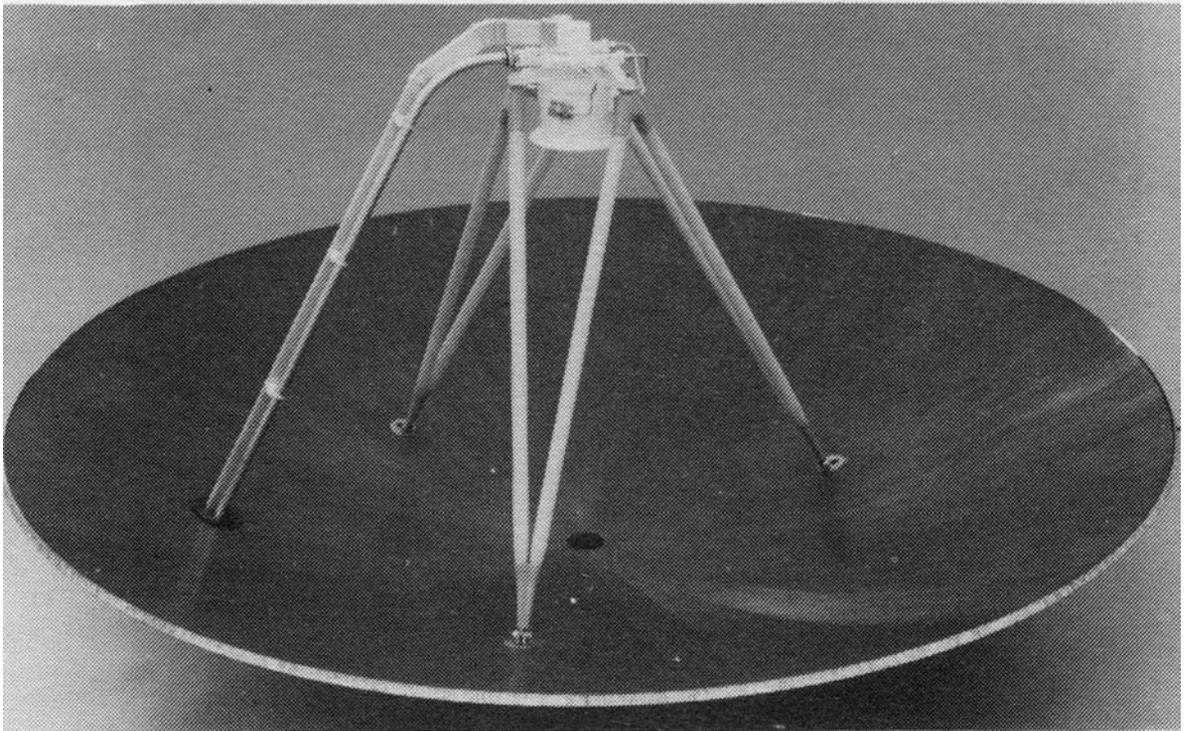
# Schema di un'antenna multifascio



# Schema di un'antenna multifascio

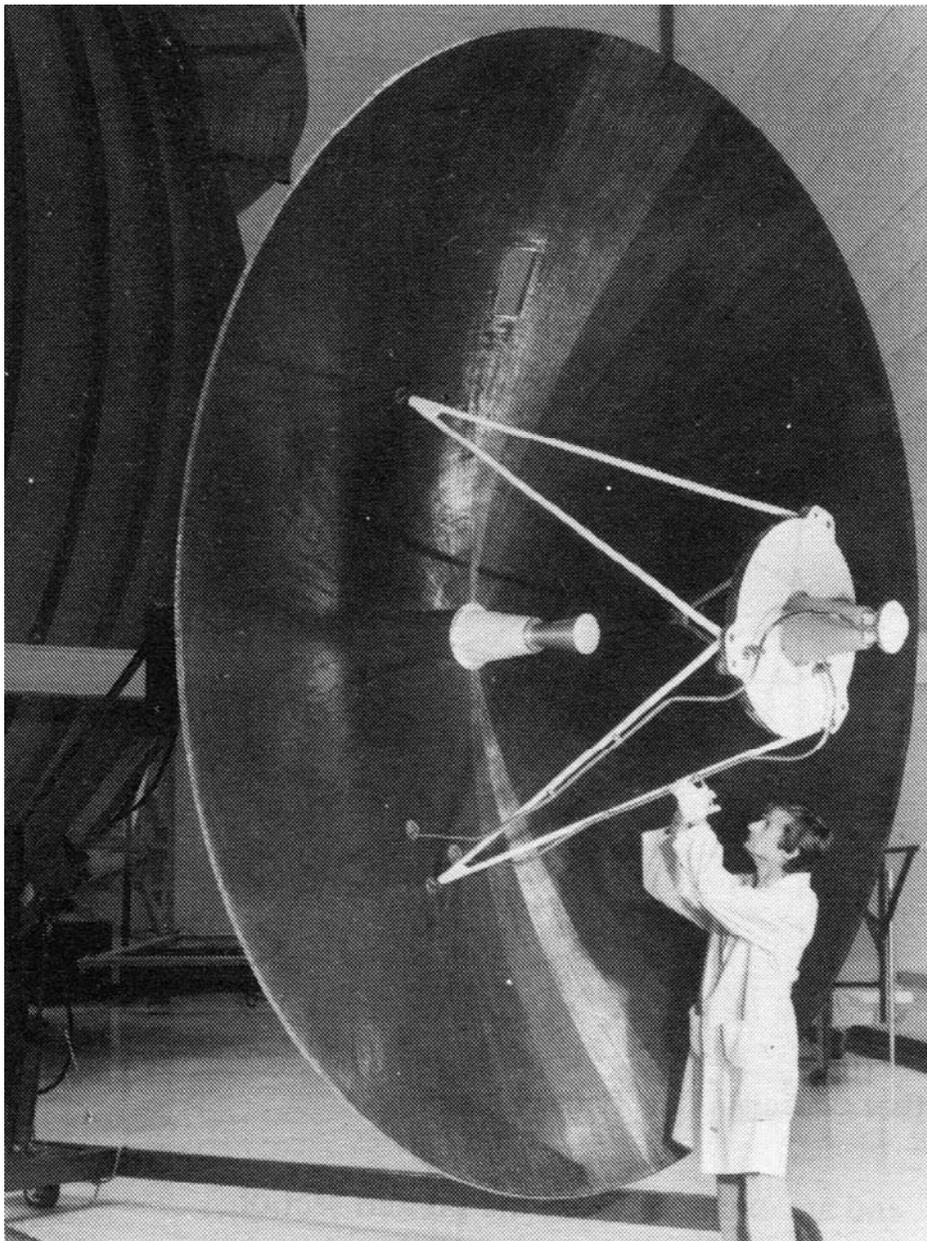


## antenna di bordo del satellite Viking Orbiter (1975)

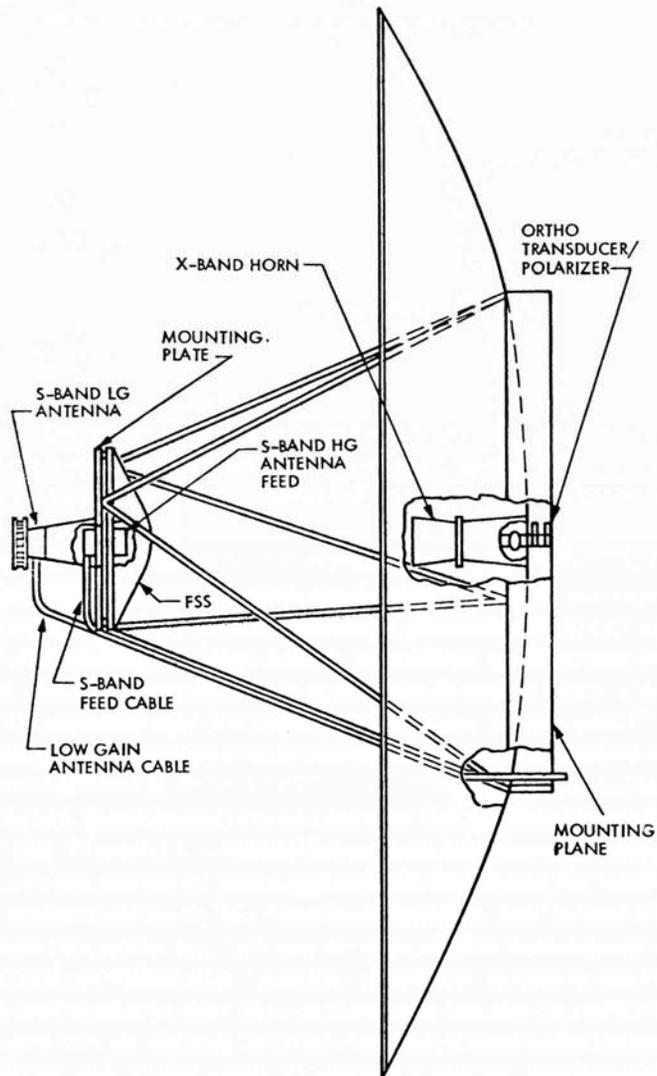


il riflettore dell'antenna, a doppia banda, ha un diametro di 1.5 m ed è formato da un supporto a nido d'ape dello spessore di 1.27 cm rivestito da uno strato di 0.25 mm di grafite epossidica

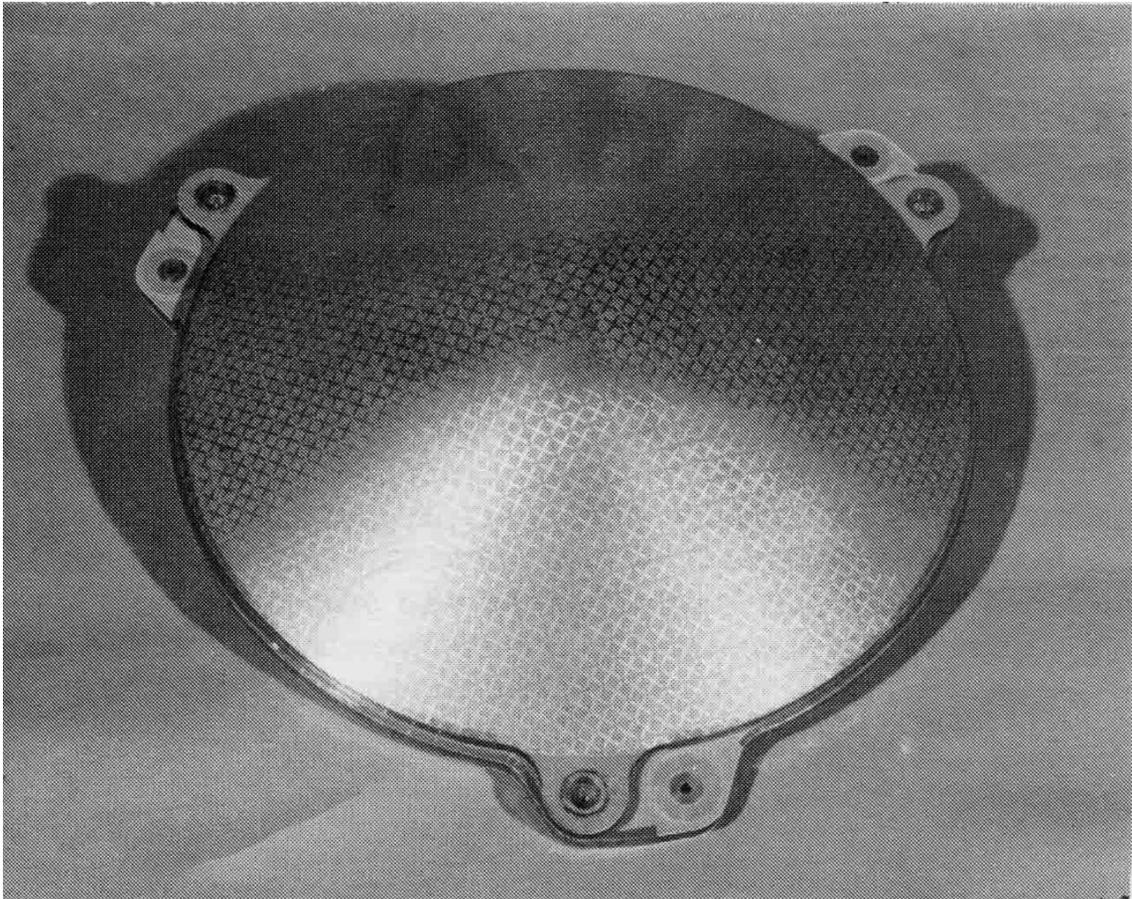
## antenna di bordo del satellite Voyager



l'antenna , in configurazione Cassegrain, usa un riflettore principale rigido di 16 ft di diametro, sagomato al fine di migliorare l'efficienza d'apertura

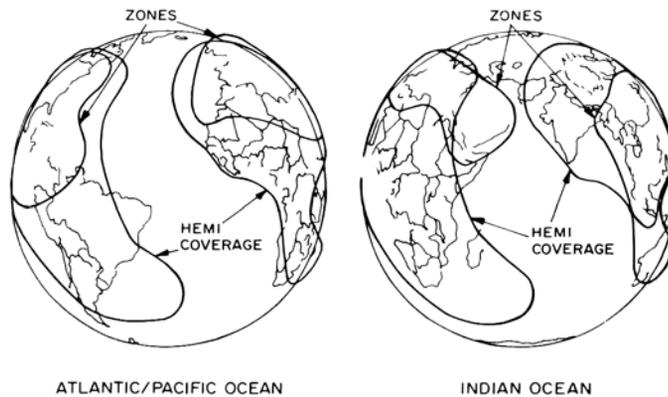
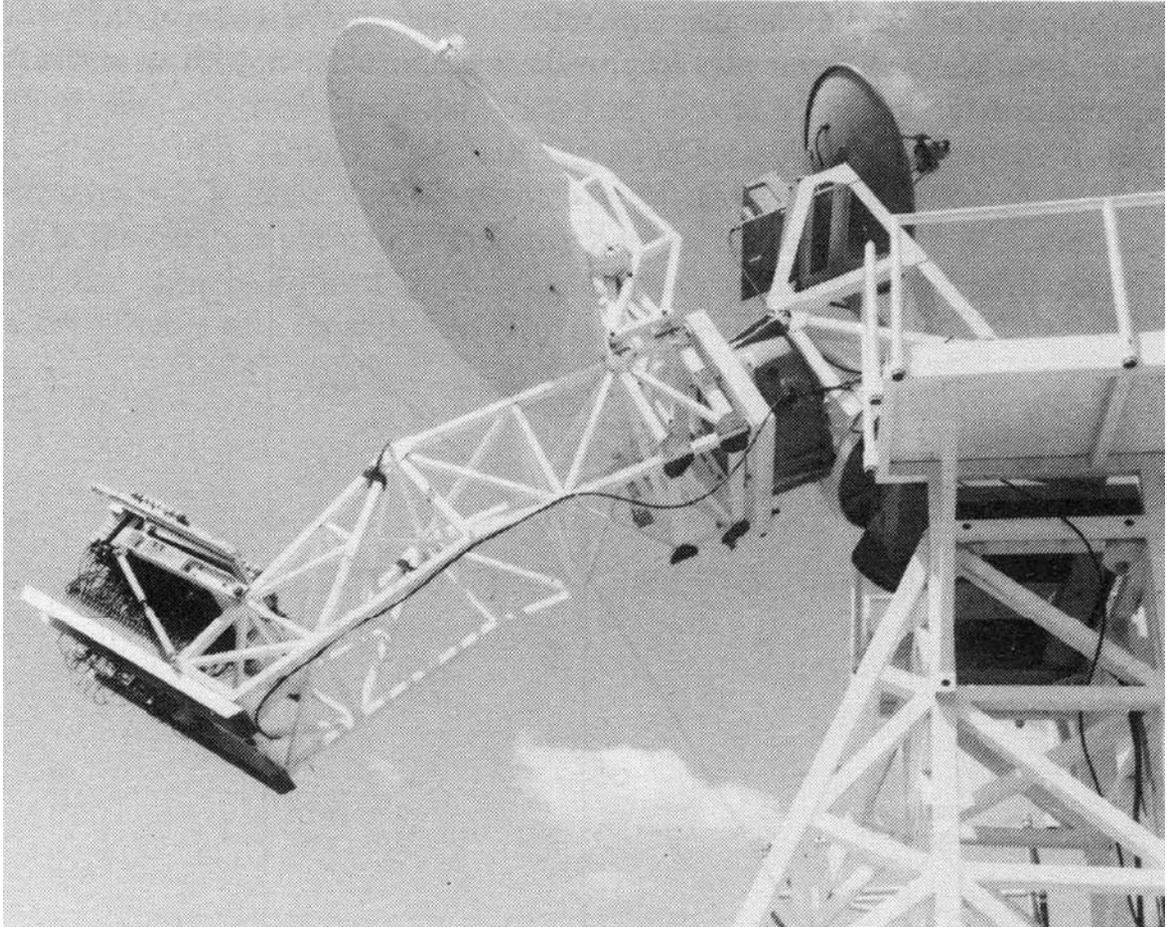


schema di principio dell'antenna ad alto guadagno del Voyager

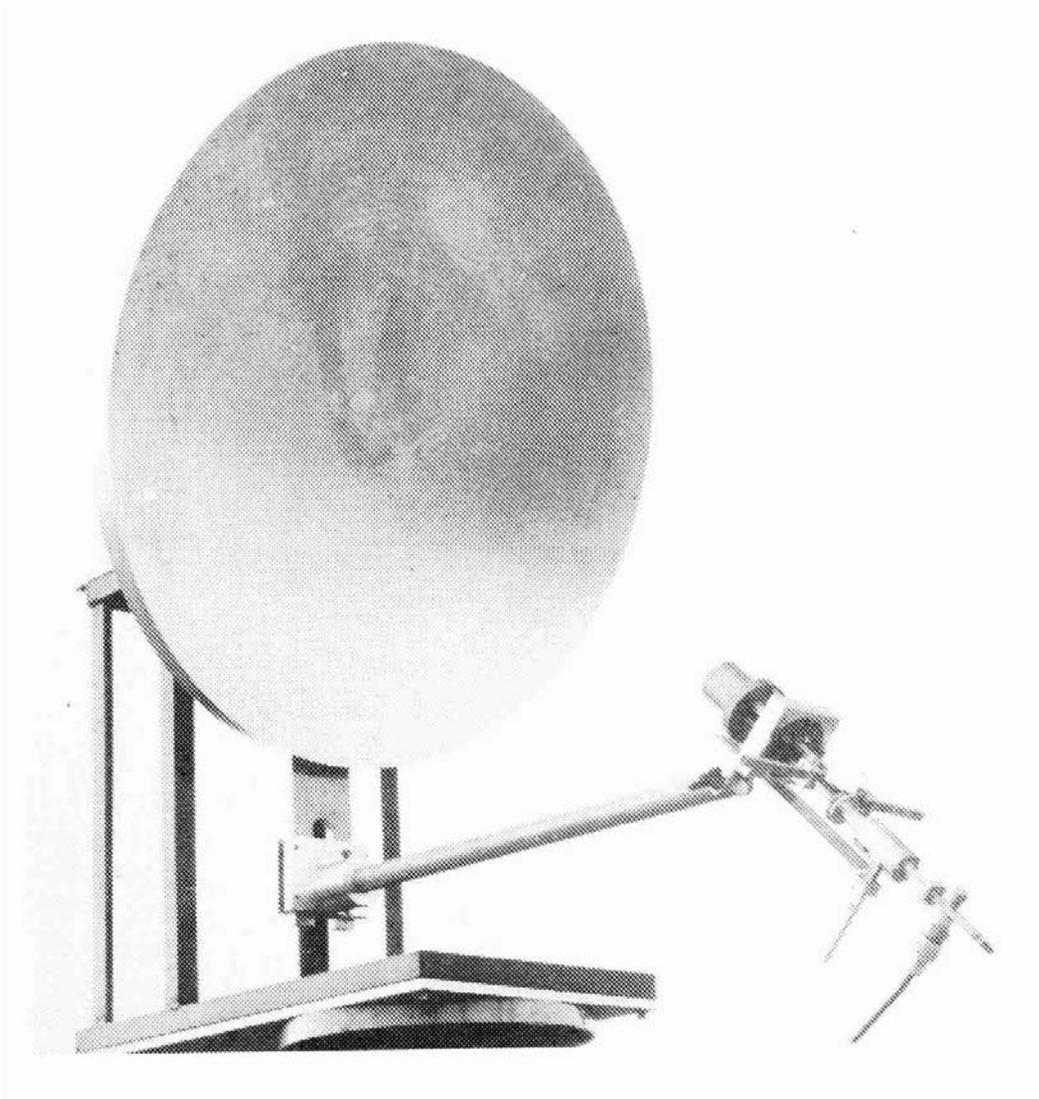


sub-riflettore selettivo in frequenza (2115 / 8448 MHz) dell'antenna Cassegrain sagomata usata dal Voyager. Il sub-riflettore è costituito da croci di alluminio risonanti in banda X incise su una lamina di mylar unita ad uno strato di kevlar epossidico. Entrambe le perdite, di riflessione in banda X e di trasmissione in banda S sono inferiori a 0.1 dB

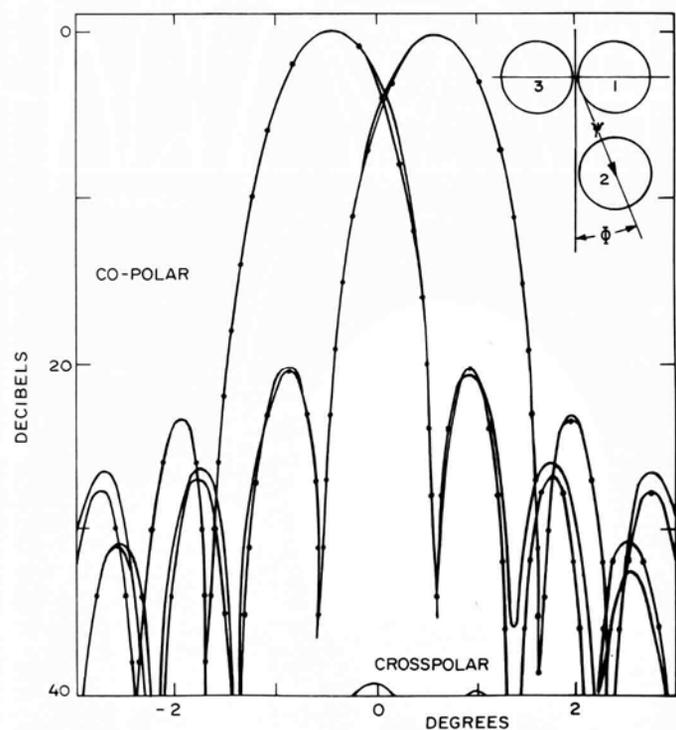
# prototipo di antenna satellitare per telecomunicazioni a fascio sagomato



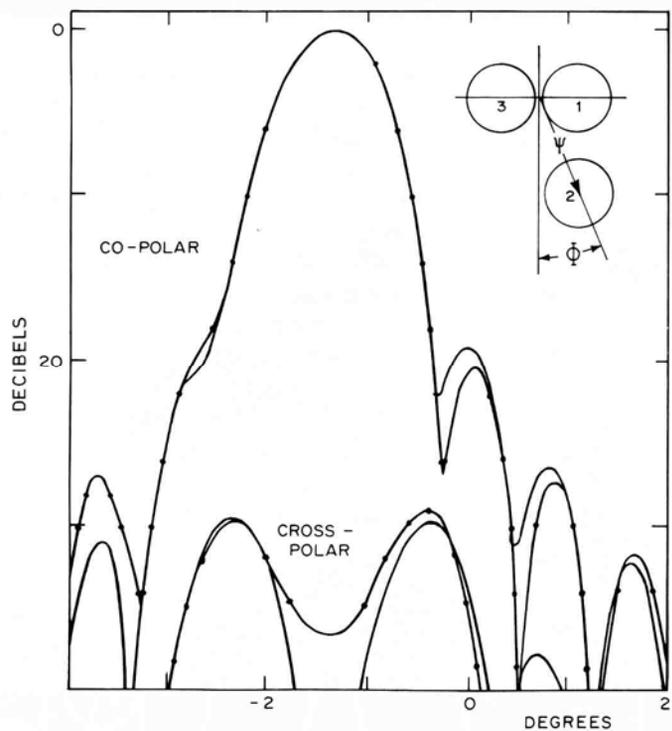
# antenna multifascio



# diagrammi di radiazione relativi alla co- e cross-polarizzazione dell'antenna multifascio

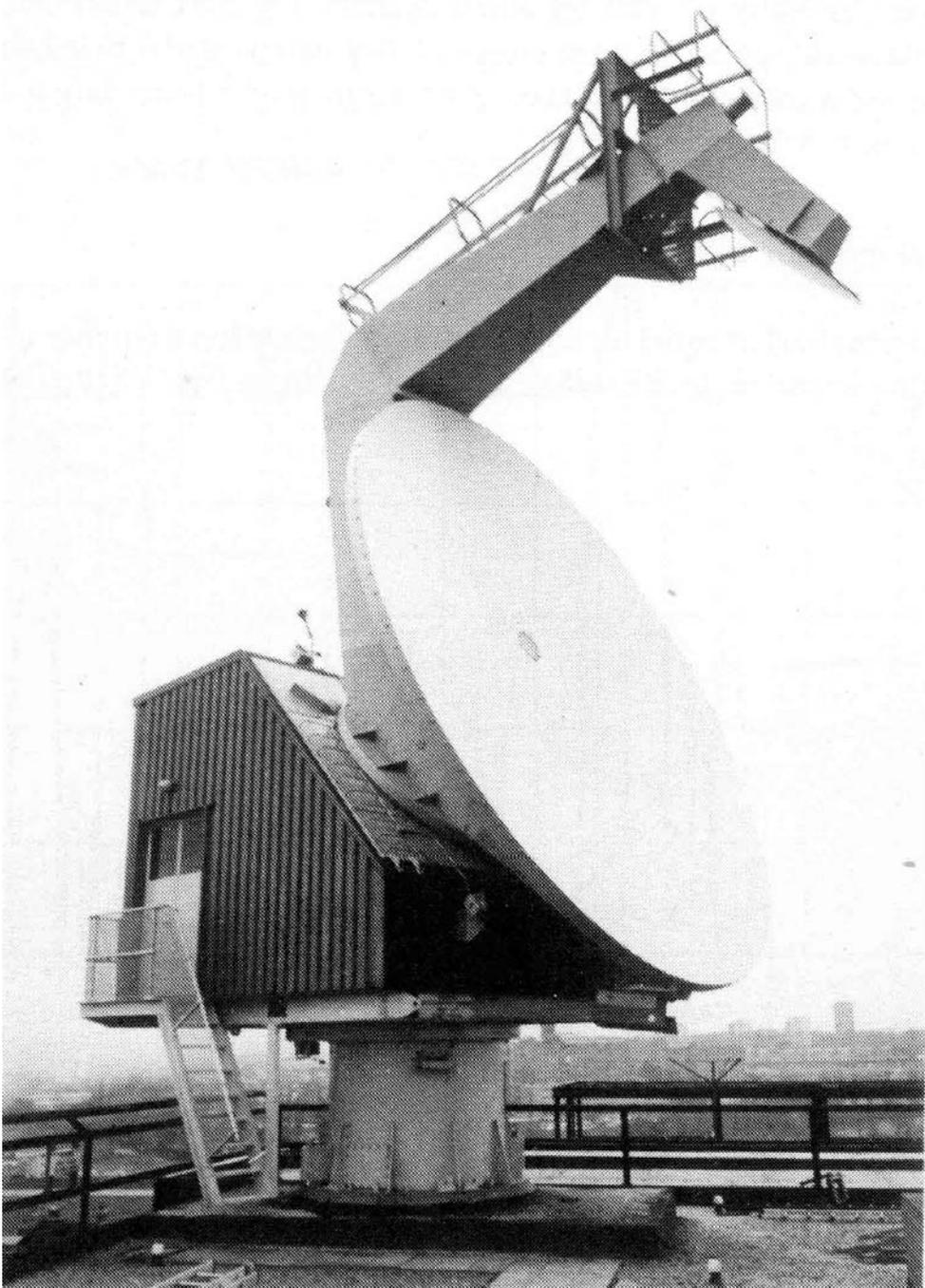


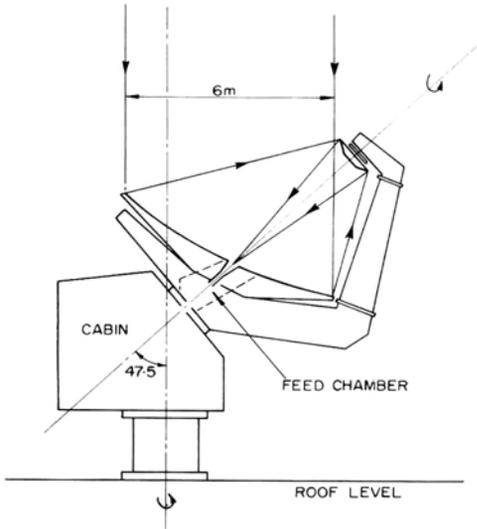
fasci 1 e 3 ( $\phi = 90^\circ$ )



fascio 2

antenna in configurazione open Cassegrain  
progettata dai laboratori Bell collocata  
all'Università di Birmingham (UK)





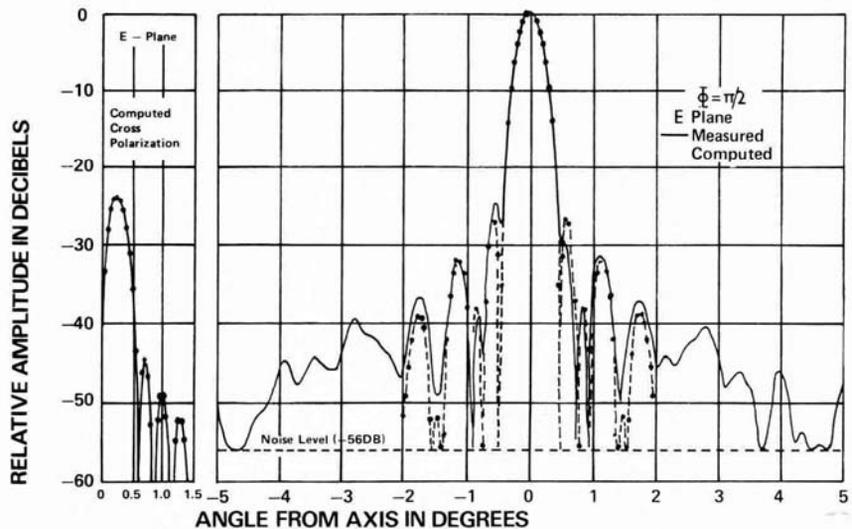
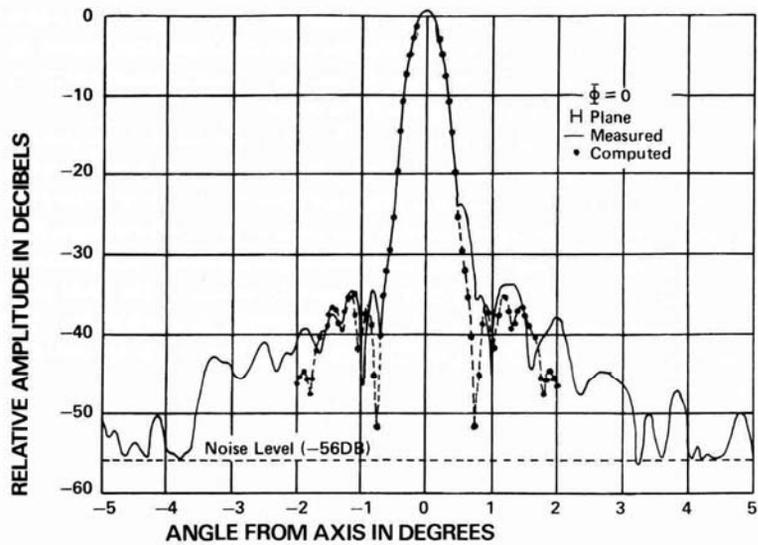
$$F = 152 \lambda$$

$$\vartheta_0 = 30.5^\circ$$

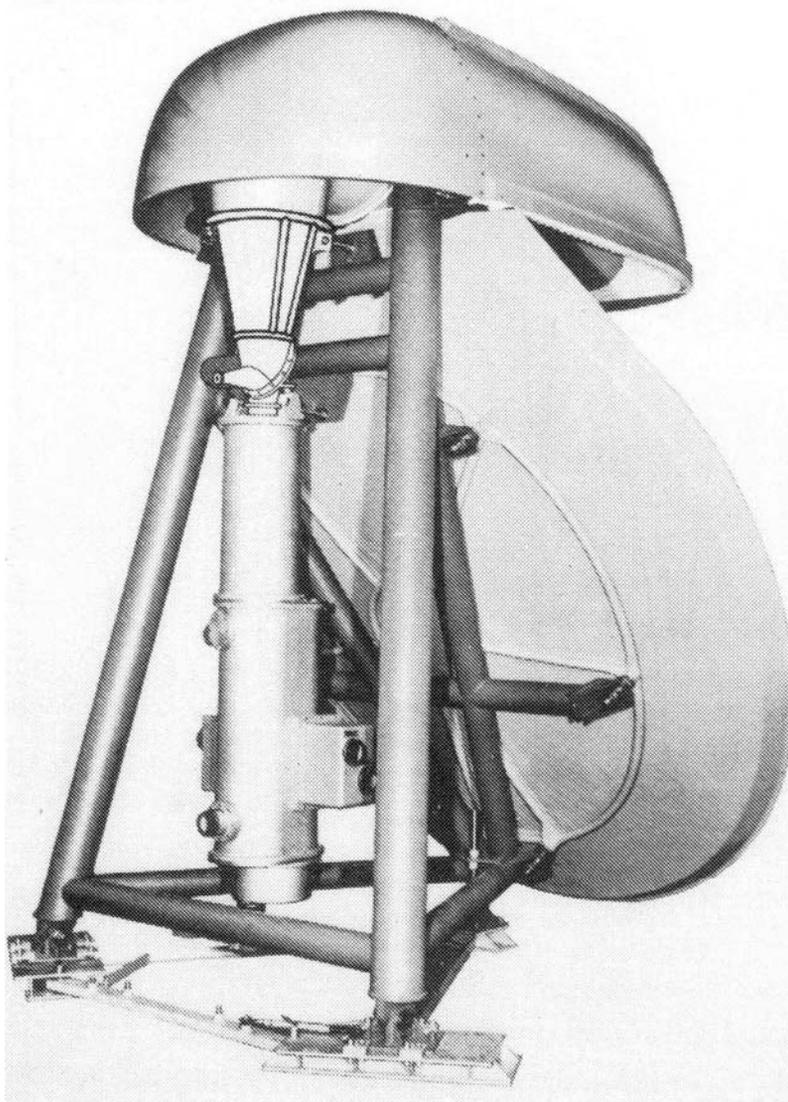
$$\vartheta^* = 47.5^\circ$$

$$d = 40 \lambda$$

diagrammi di radiazione sui piani H ed E di un prototipo dell'antenna in configurazione open Cassegrain dei laboratori Bell



# antenna cassegrain in configurazione offset operante su 4 bande (Thomson CSF)



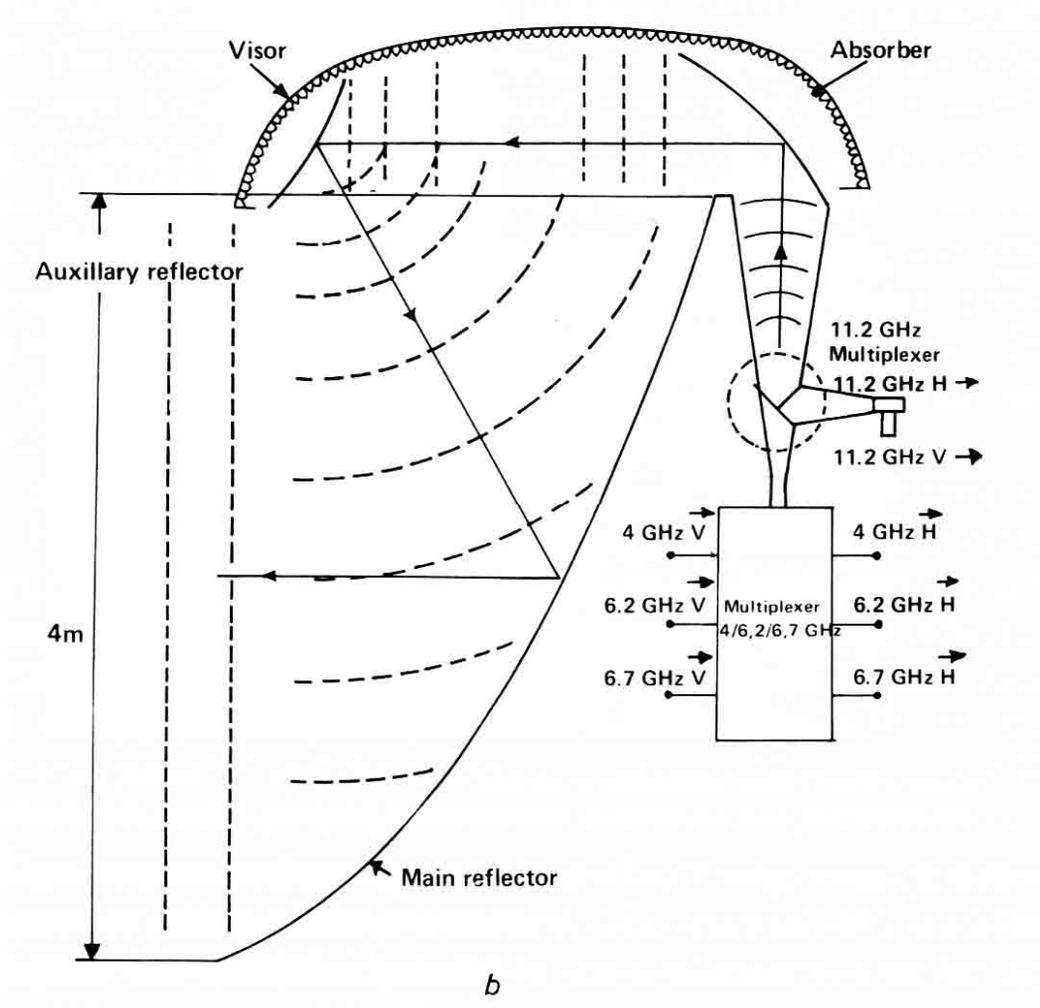
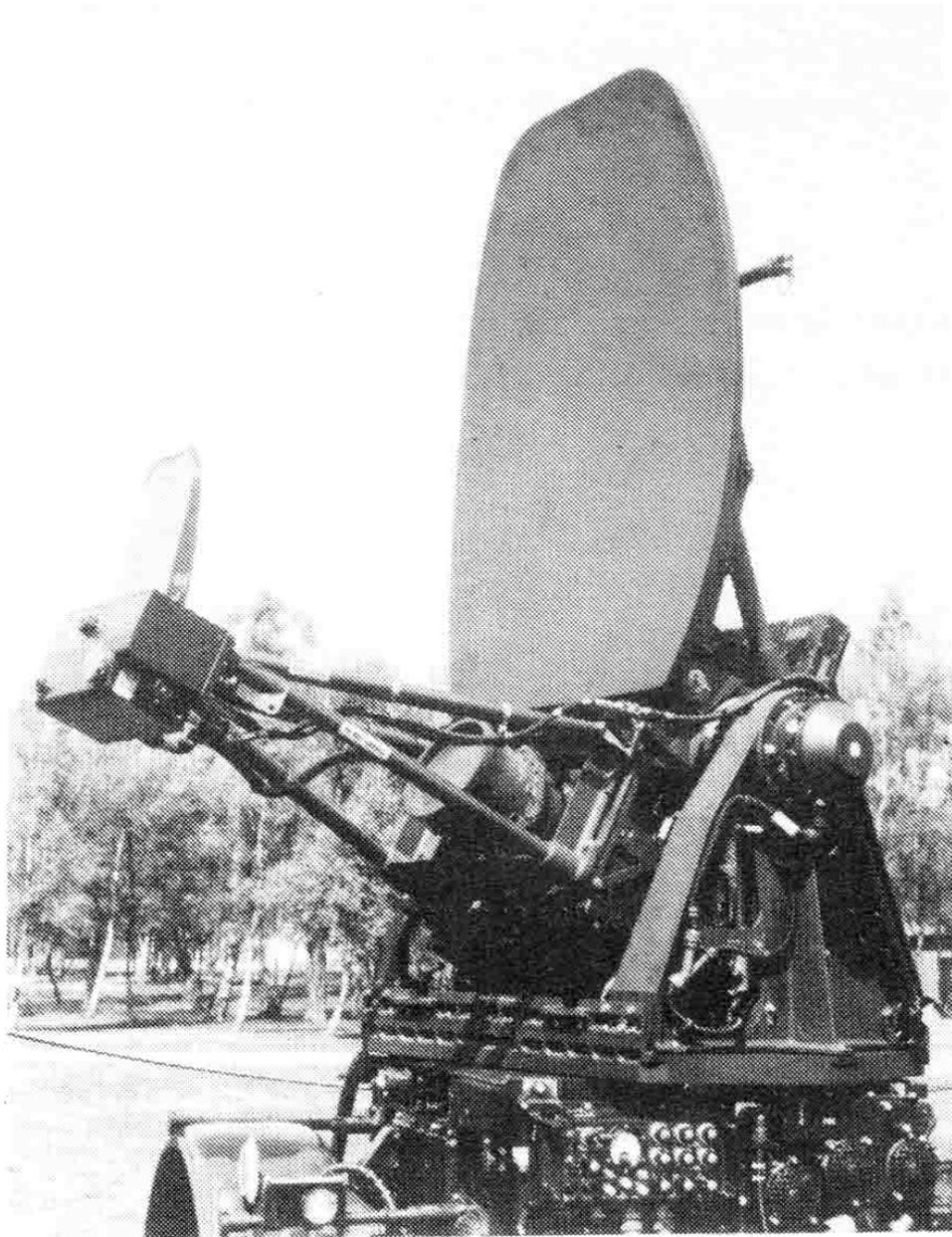
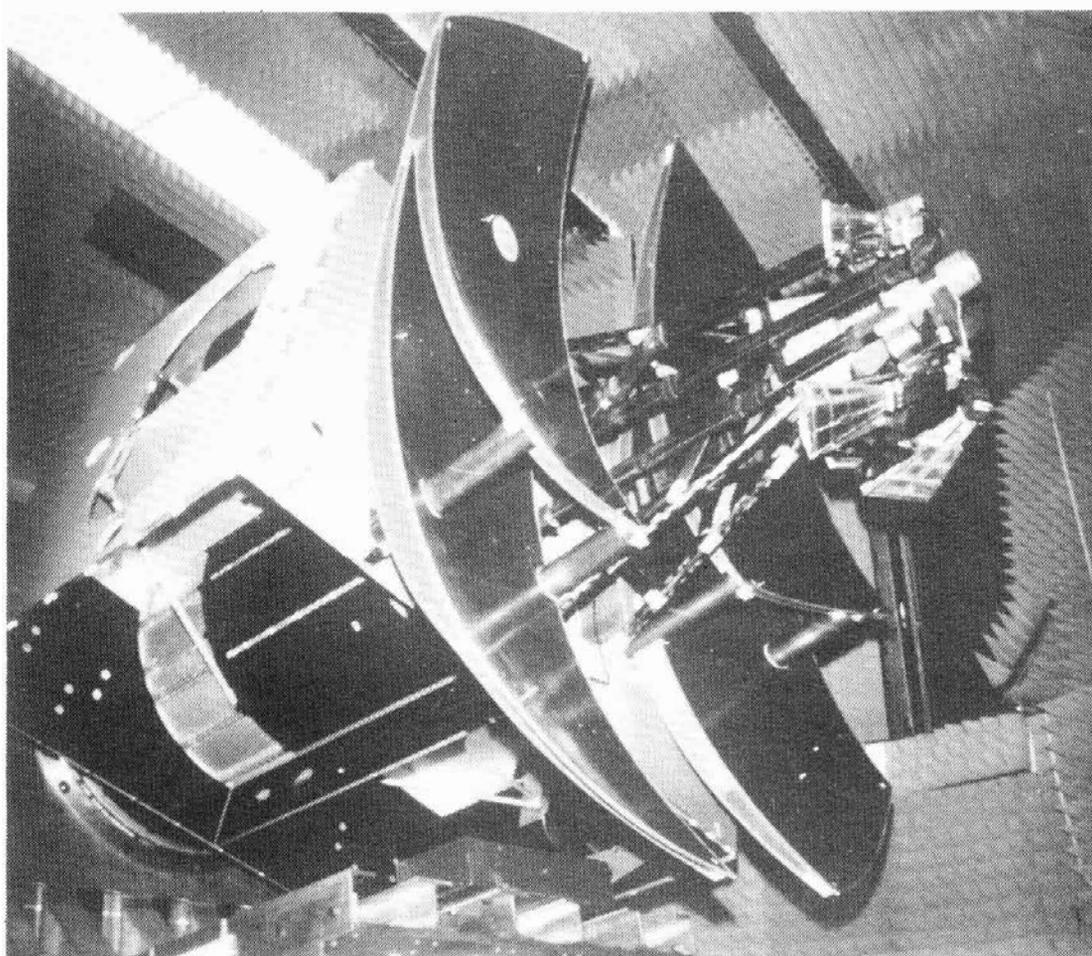


diagramma schematico dell'ottica dell'antenna Cassegrain in configurazione offset Thomson CSF

antenna radar in configurazione dual-offset  
(Marconi Elliott Avionic Systems Ltd)

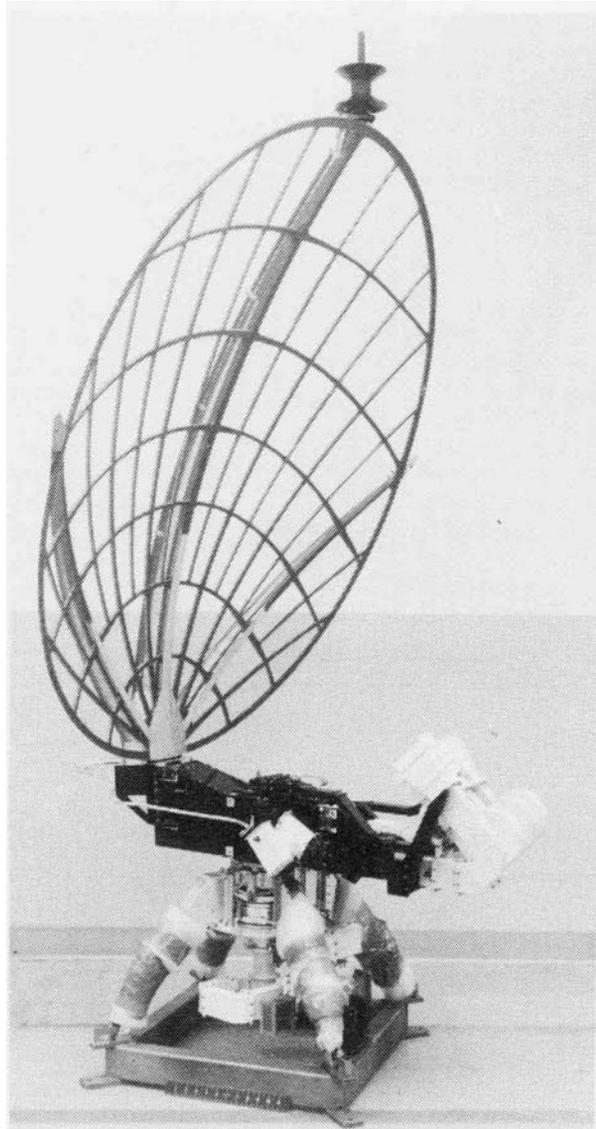


antenna multifascio di bordo del satellite RCA Satcom (1972).

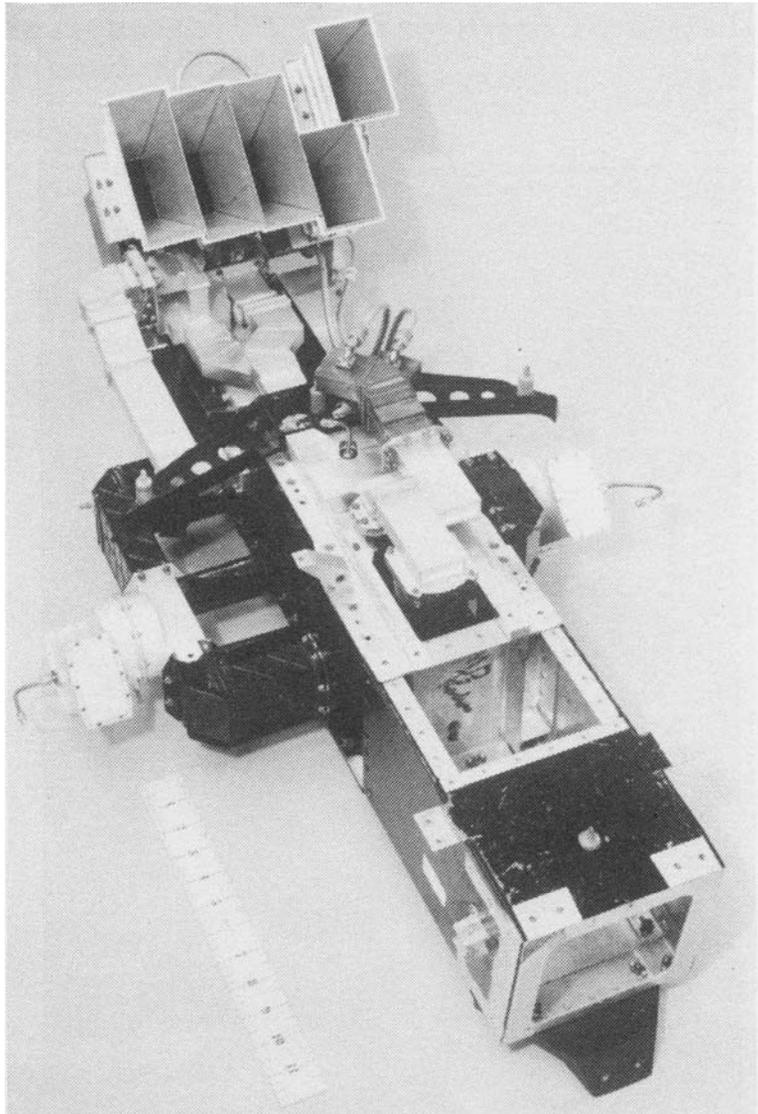


I riflettori sono costituiti da griglie di fili paralleli immersi in un substrato dielettrico a bassa perdita. I riflettori sono idealmente trasparenti alla radiazione polarizzata perpendicolarmente alla direzione delle griglie; l'isolamento tra i fasci migliore di 33 dB su tutte le bande

## antenna di bordo del satellite Westar (1975)

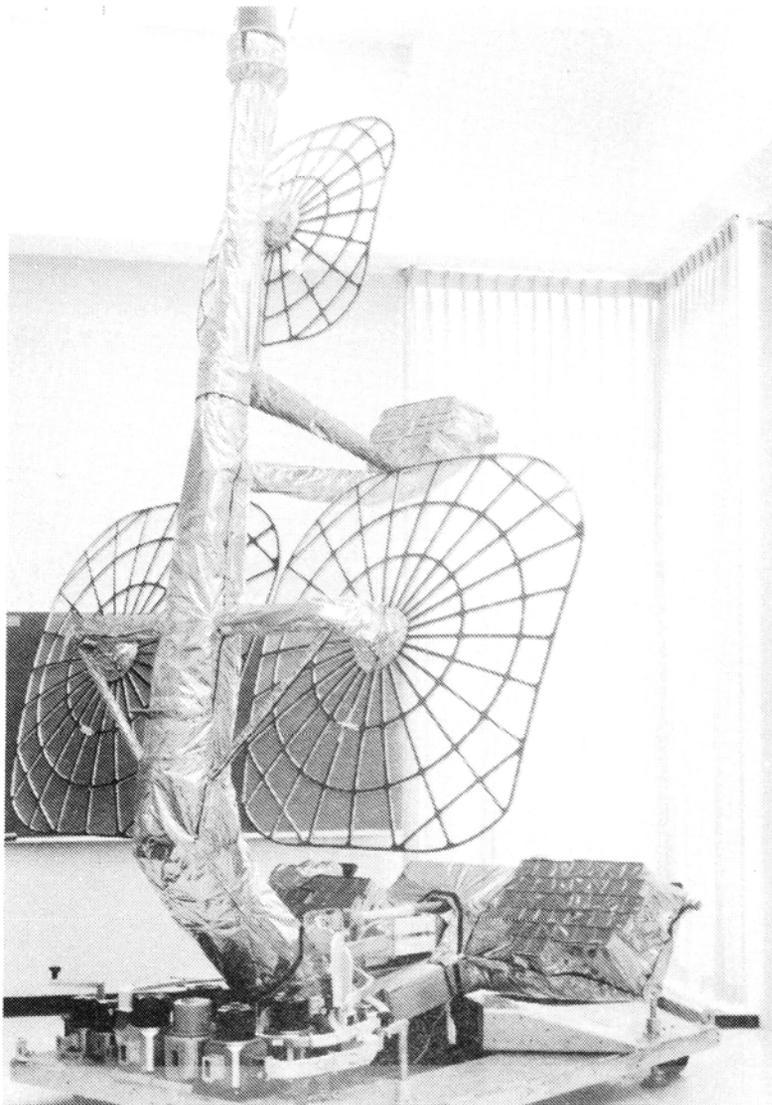


il fascio è sagomato per la copertura di tre stati contigui più l'Alaska e le Hawaii; l'antenna funziona alle frequenze di 4 GHz in polarizzazione orizzontale per il downlink e 6 GHz in polarizzazione verticale per l'uplink i due fasci usano lo stesso illuminatore costituito da una schiera di trombe



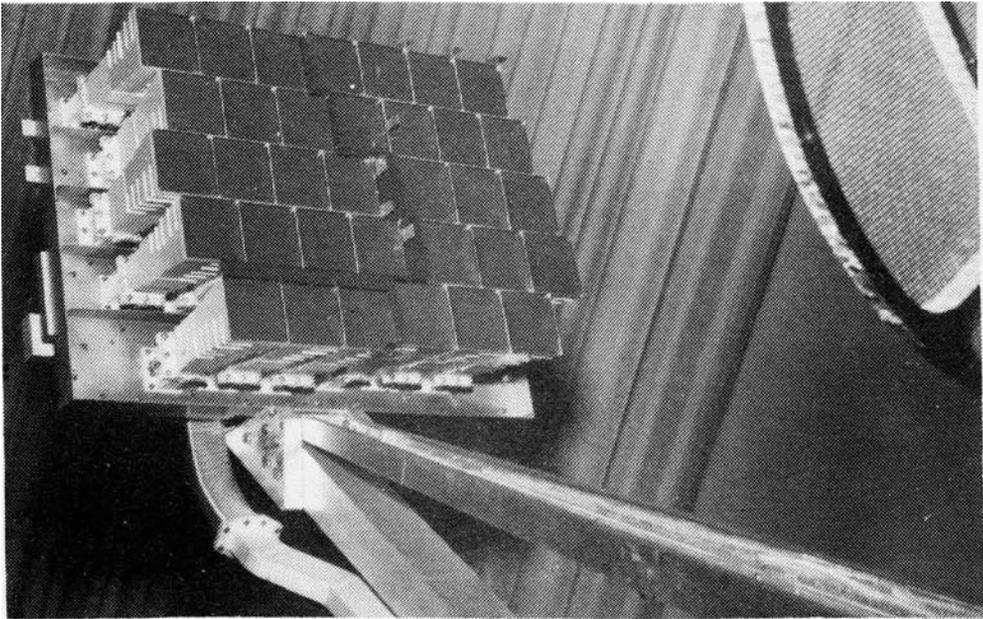
sistema di illuminazione dell'antenna di bordo del satellite Westar, la tromba scostata dalle altre è per il fascio che copre le Hawaii

## sistema d'antenna del satellite Intelsat IV-A (1975)



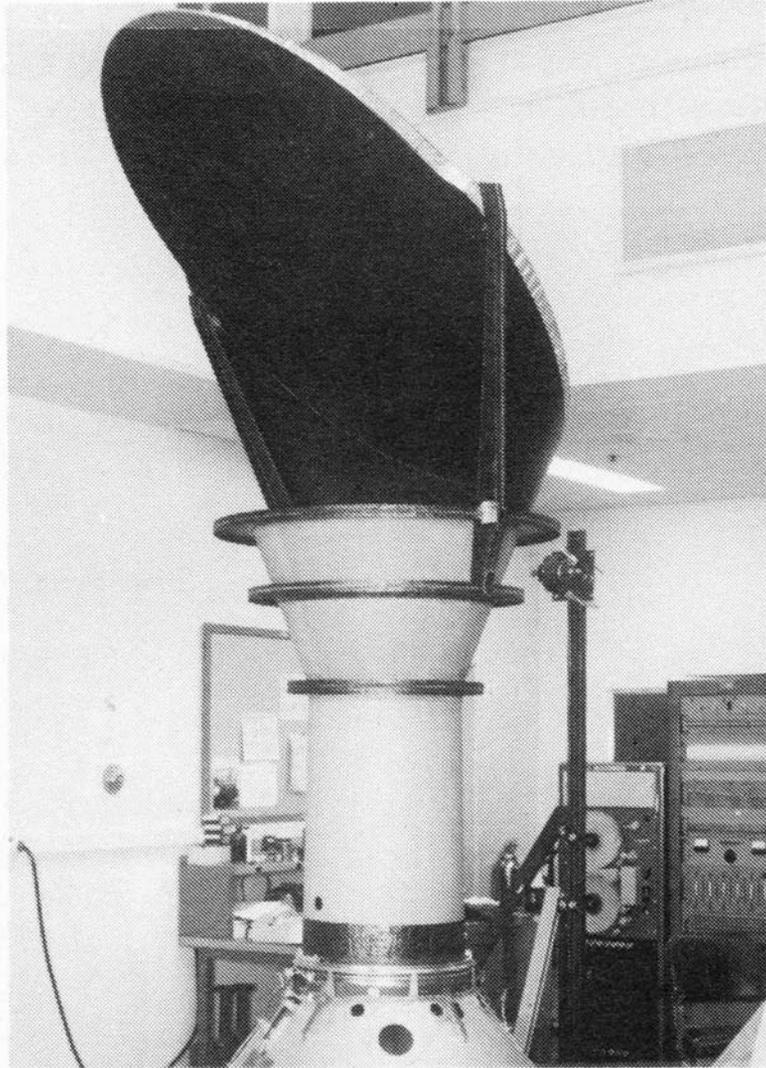
il sistema è costituito da tre paraboloidi offset, ciascuno illuminato da una schiera di trombe, il riuso di frequenza è stato ottenuto con la separazione spaziale dei fasci.

## sistema d'illuminazione d'antenna del satellite Intelsat IV-A



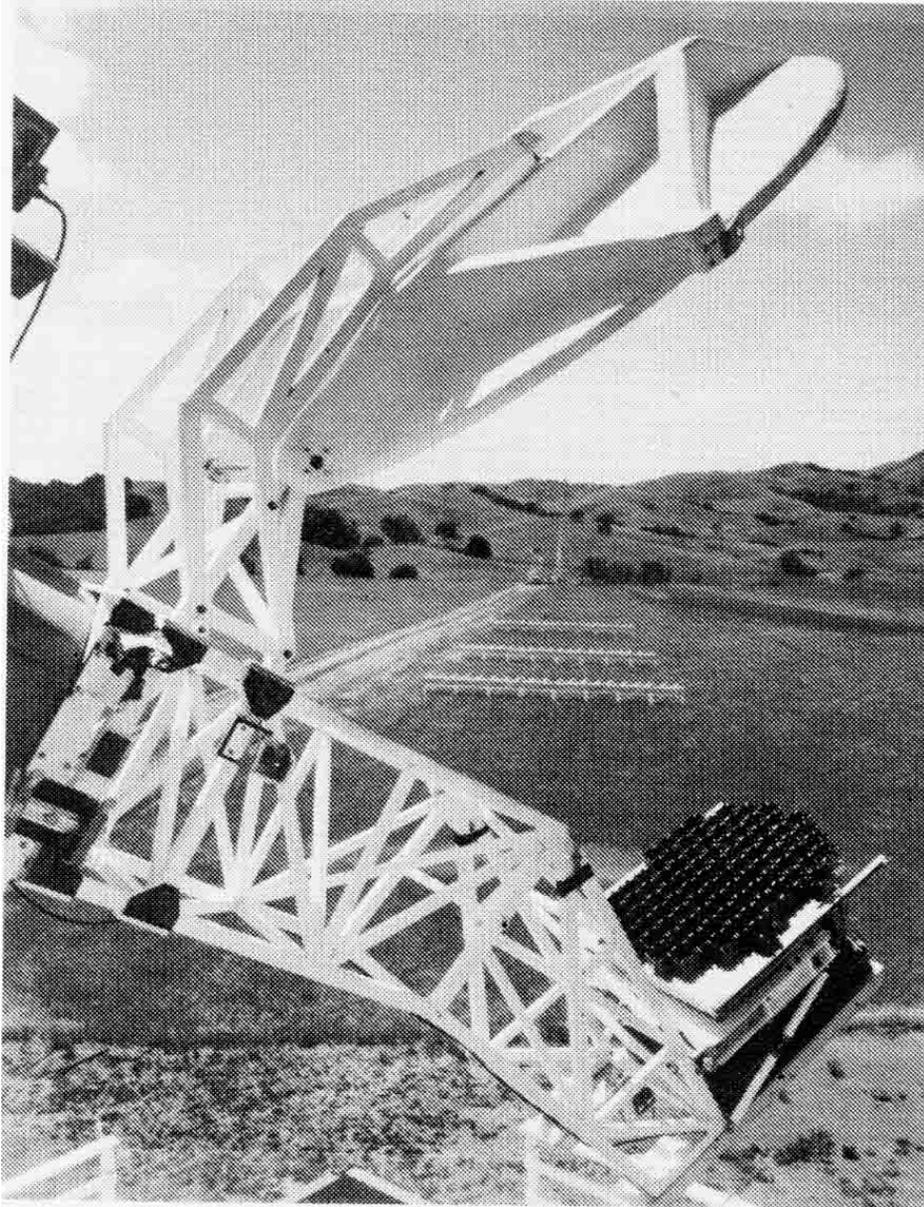
il sistema è costituito da 34 trombe con polarizzatori incorporati, funziona in ricezione tra 5.9 e 6.4 GHz e genera un fascio sagomato, polarizzato circolarmente in senso levogiro con rapporto assiale minore di 3 dB su tutta l'area di copertura

# antenna di bordo del satellite giapponese CS (1977)



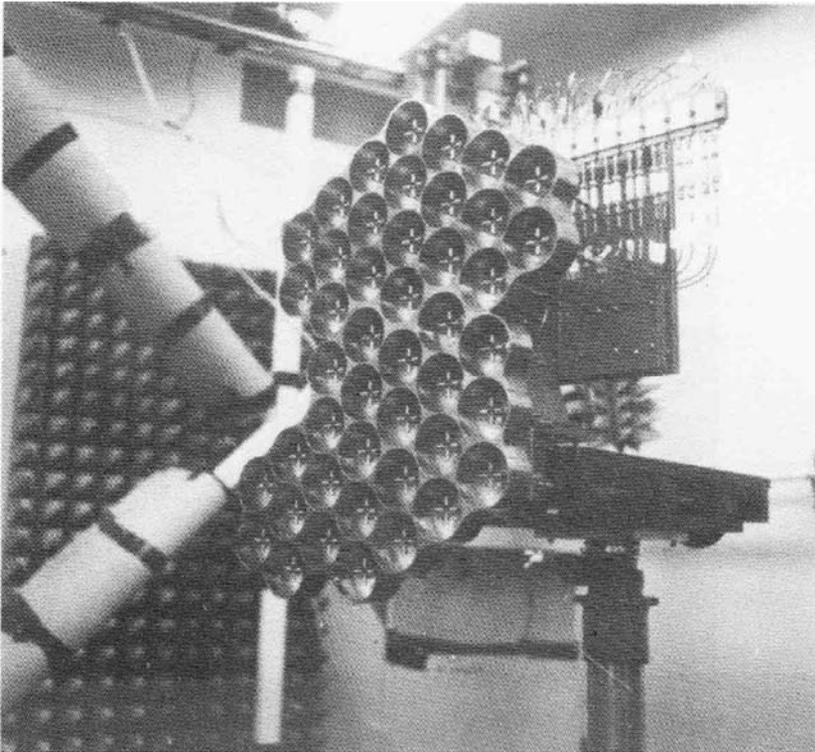
l'antenna gestisce 6 canali di 200 MHz nella banda 4-6 GHz.

## antenna del satellite Intelsat V (1981)

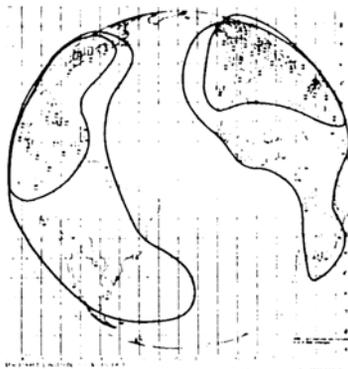


l'antenna copre quattro bande tra 4-6 GHz e 11-14 GHz con una capacità di 11-12 mila canali.

## sistema di illuminazione dell'antenna di Intelsat V

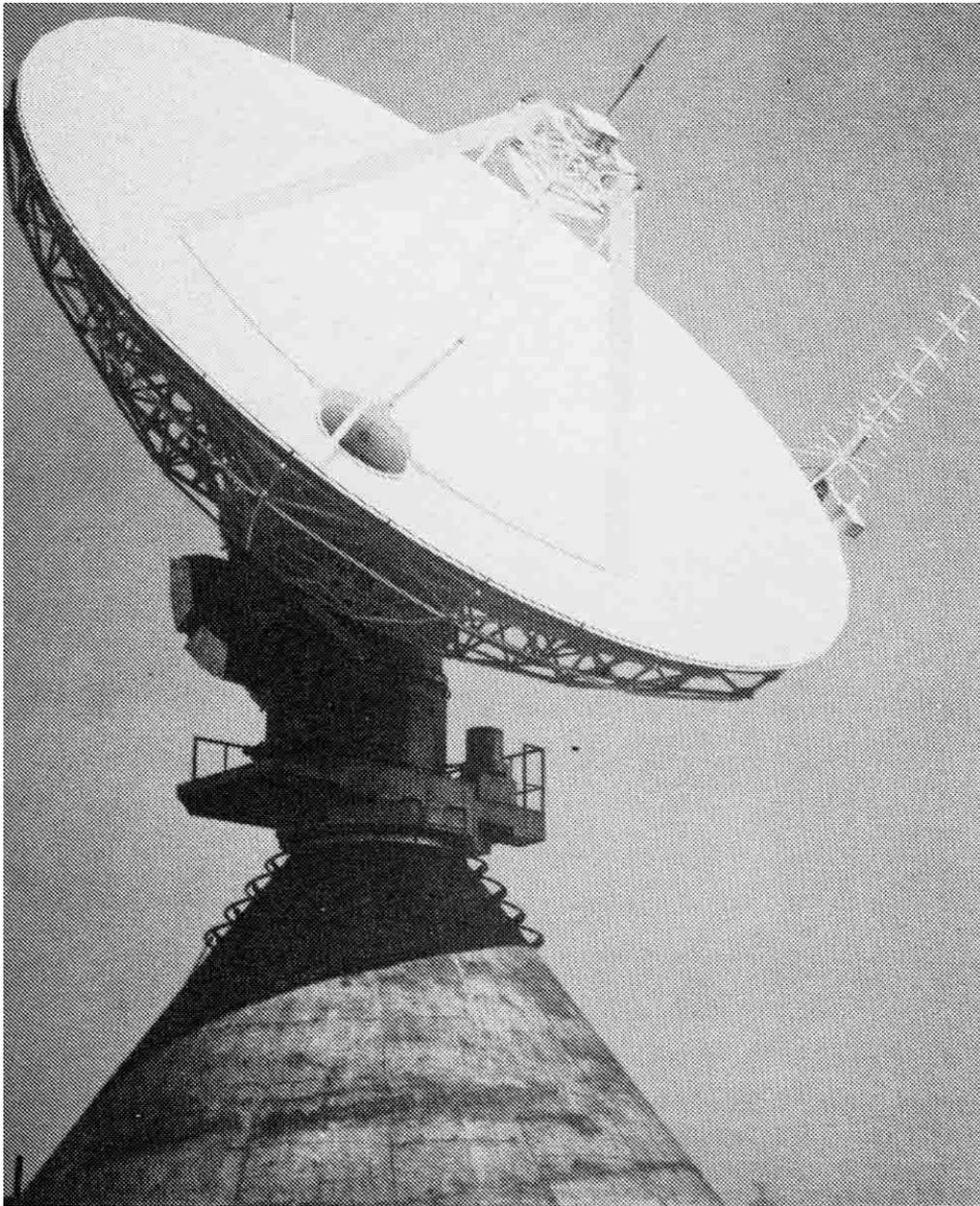


Il sistema di illuminazione è costituito da 45 elementi. I circuiti di alimentazione sono in guida rettangolare, ciascun elemento radiante è costituito da una transizione guida-coassiale, un setto polarizzatore ed un trasformatore con due porte d'ingresso per fornire una polarizzazione circolare in entrambe i sensi



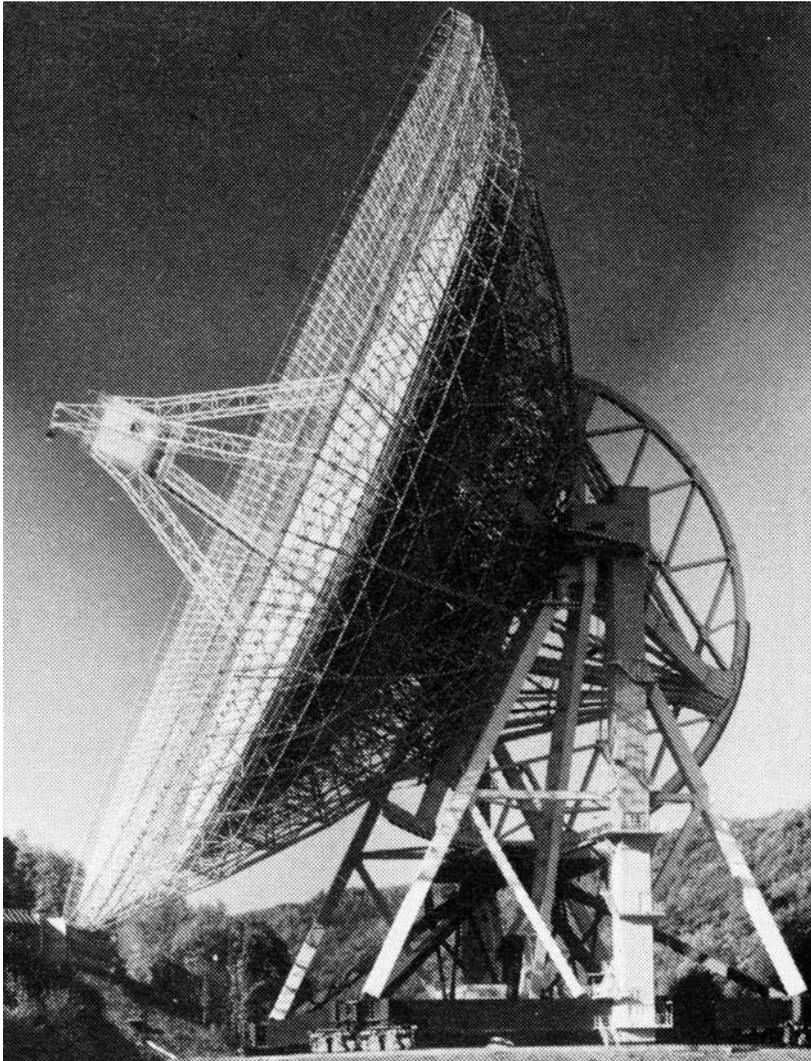
A. Atlantic Ocean

zone di copertura del  
fascio sagomato  
dell'antenna

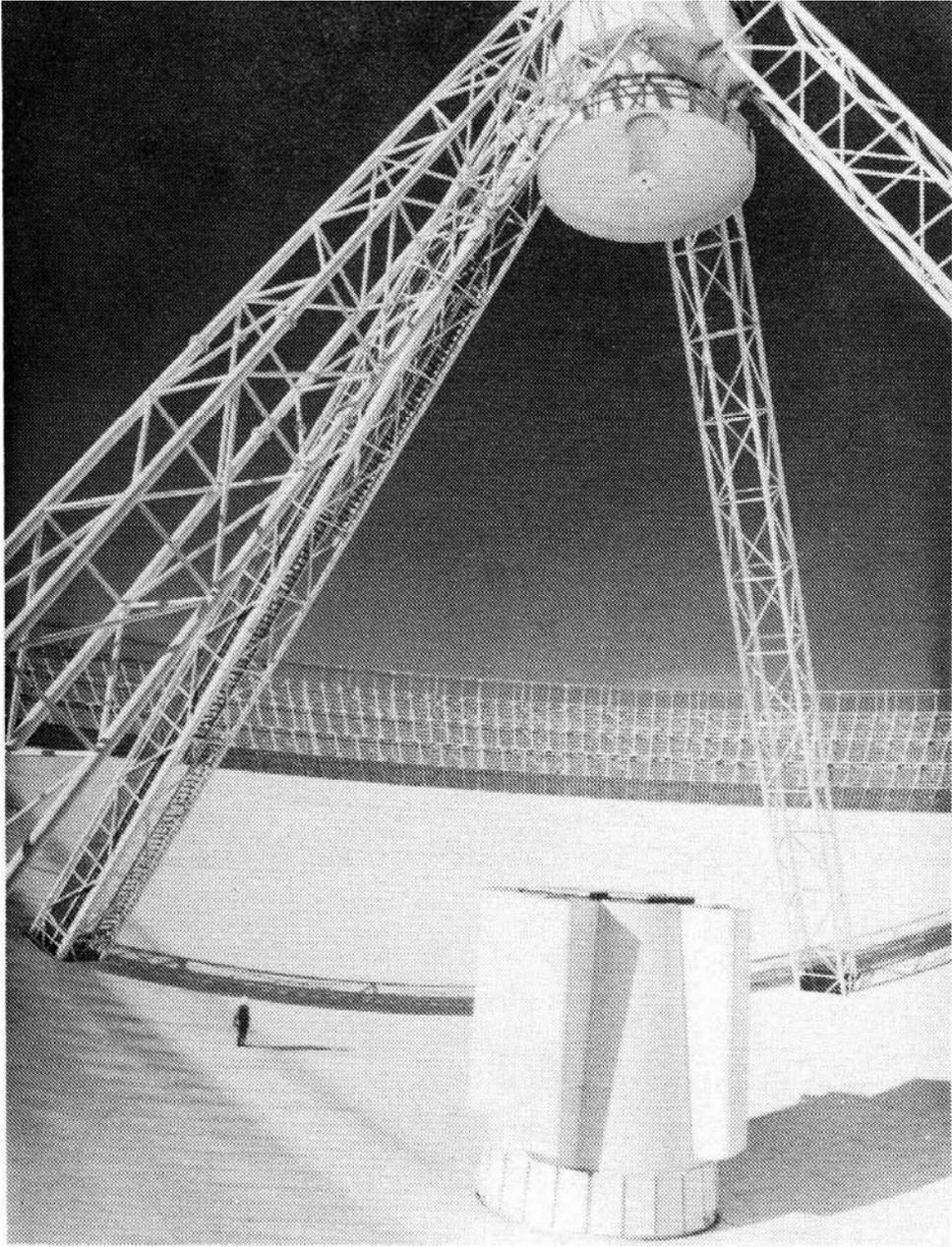


antenna di terra in configurazione “*kingpost*” per tracking di satelliti

antenna per radiotelescopio del Max Planck Institute.

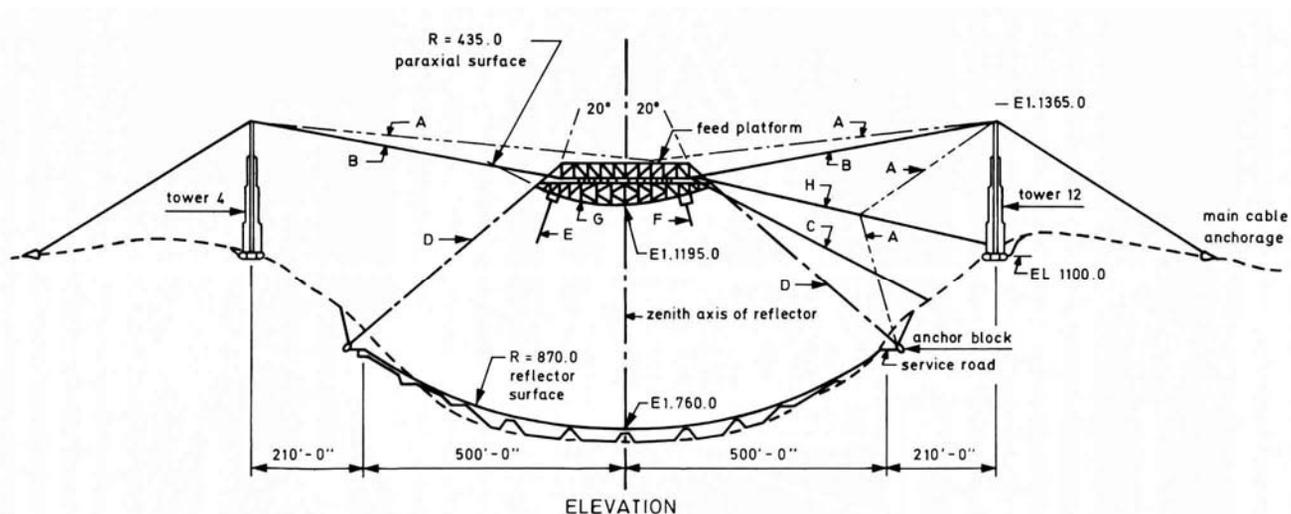


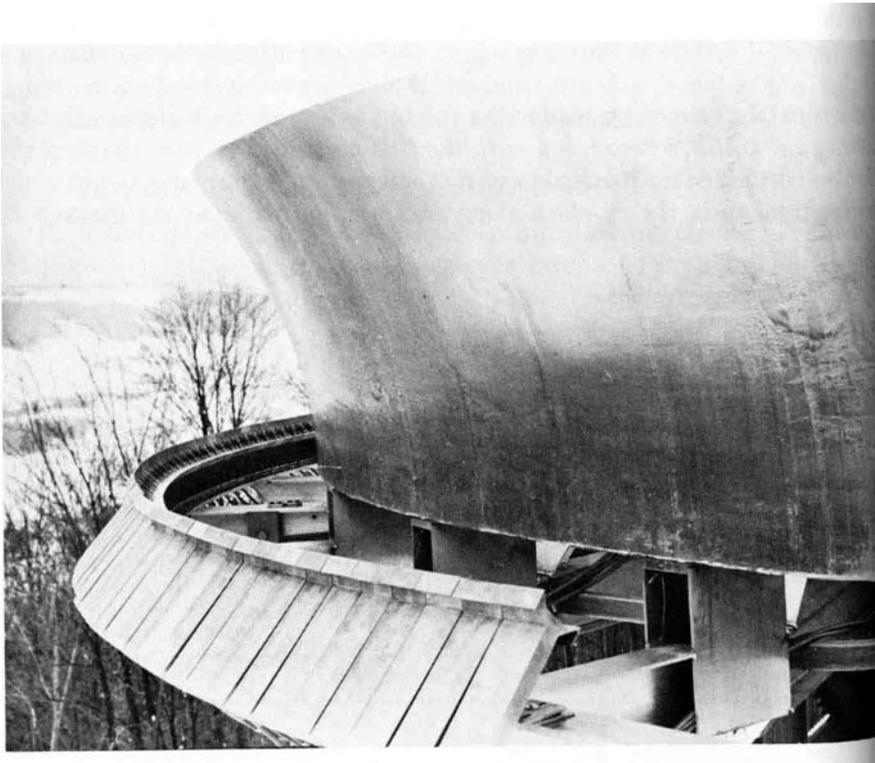
Il diametro dell'antenna è di 100 m, la parte interna della superficie (80 m di diametro) è costituita da pannelli che assicurano una tolleranza della superficie in valore quadratico medio inferiore ad 1 mm. L'antenna, operante dal 1972 opera fino a frequenze dell'ordine di 25 GHz

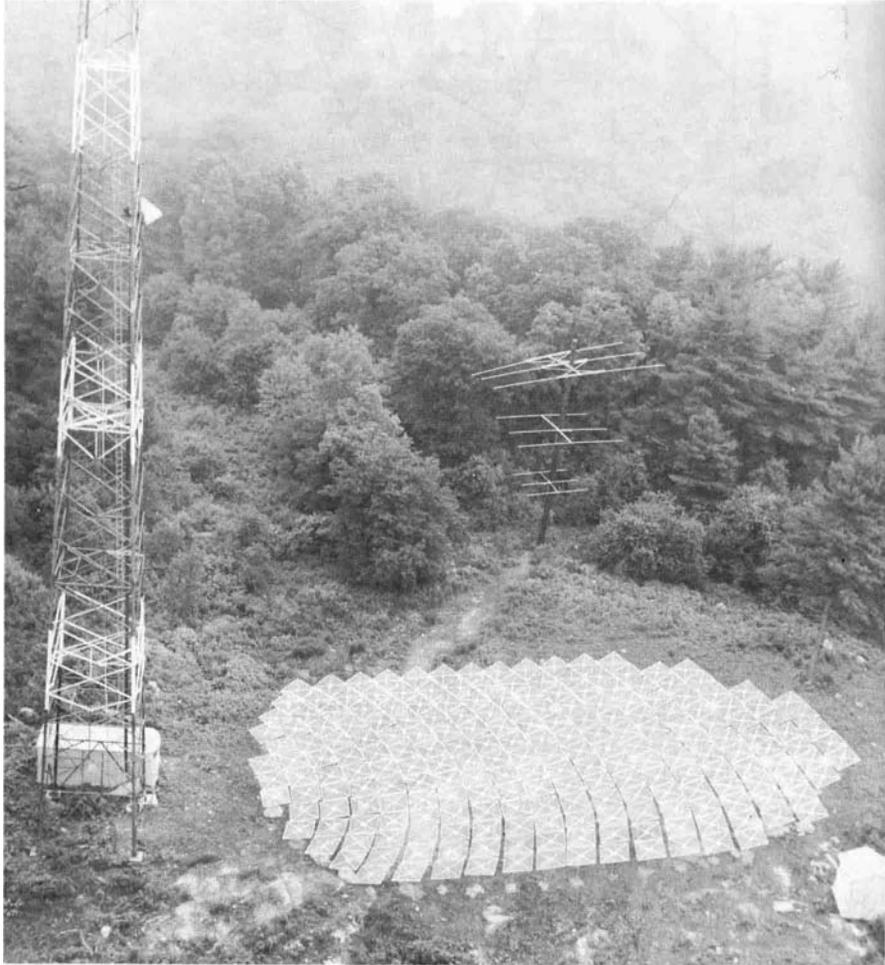


particolare dell'antenna del Max Planck Institute.che mette in evidenza l'illuminatore in configurazione Gregoriana

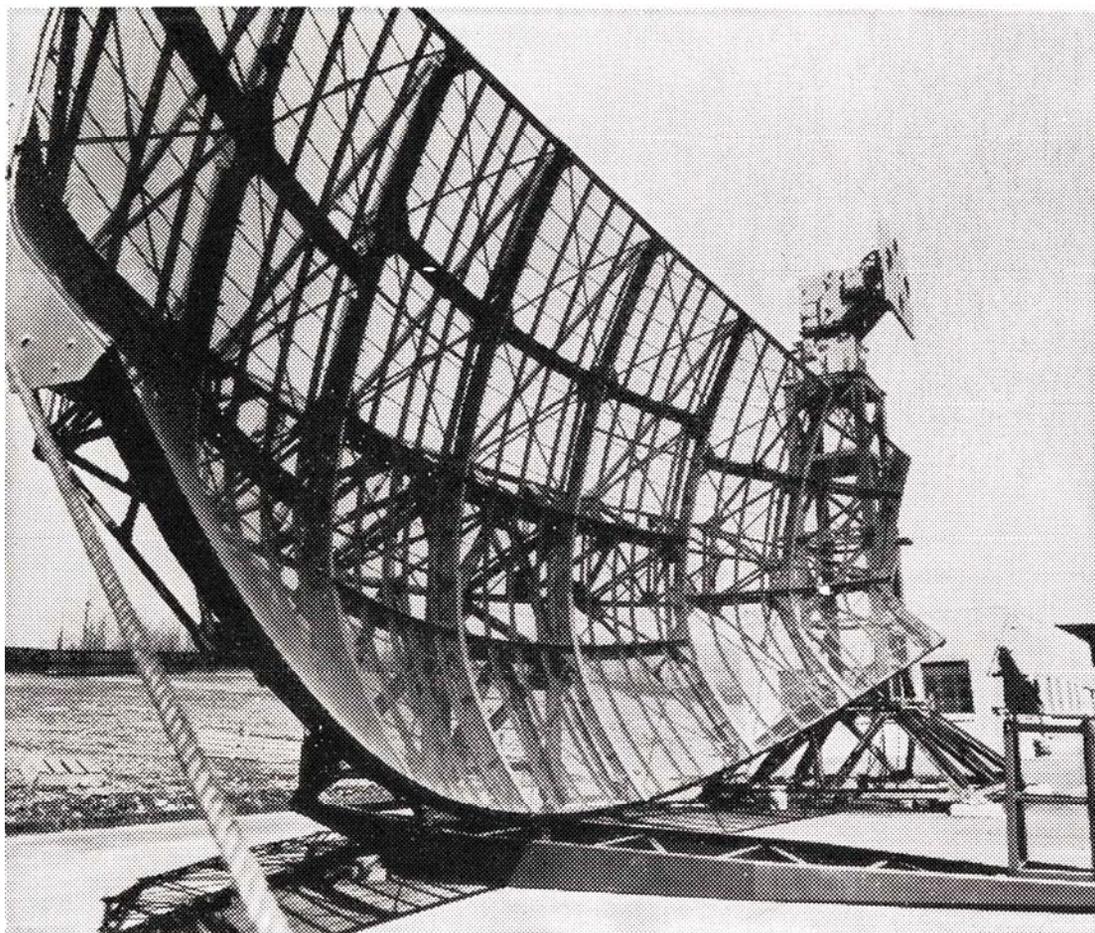
# schema del riflettore sferico dell'antenna di Arecibo







# antenna radar



# diagrammi di radiazione dell'antenna radar (tipo secante)

