

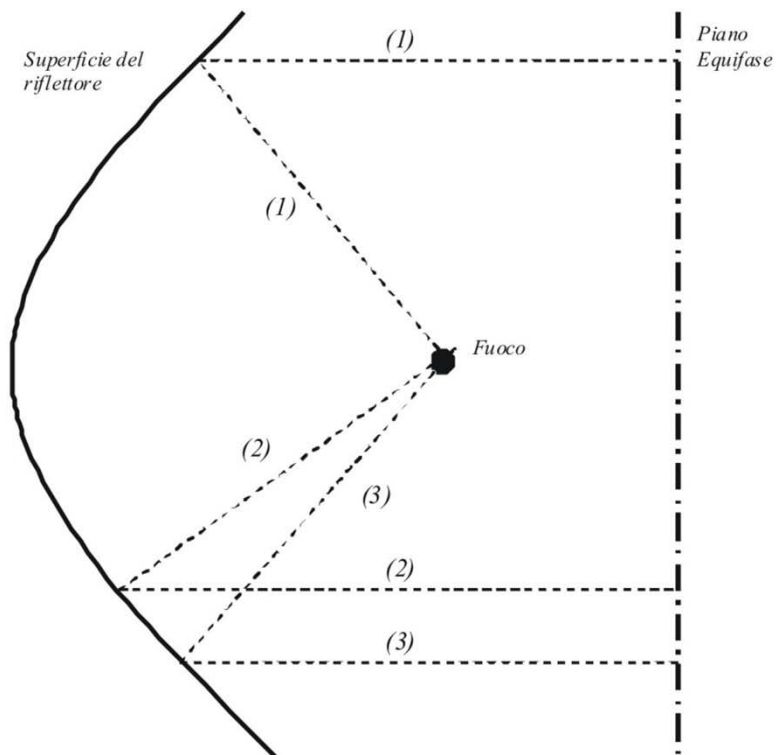
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

La più semplice antenna a riflettore consiste in un riflettore di forma parabolica o sagomata, alimentato con un feed di piccole dimensioni.

In tal caso il riflettore è nel campo lontano del feed e questo semplifica l'analisi.

Se ad esempio il riflettore ha forma parabolica ed i raggi partono dal suo fuoco, tali raggi si riflettono tutti secondo la stessa direzione, che è la direzione dell'asse del paraboloide stesso.



L'alimentazione del riflettore (sorgente) è posta nel suo fuoco, per ottenere raggi irradiati tutti paralleli fra loro.

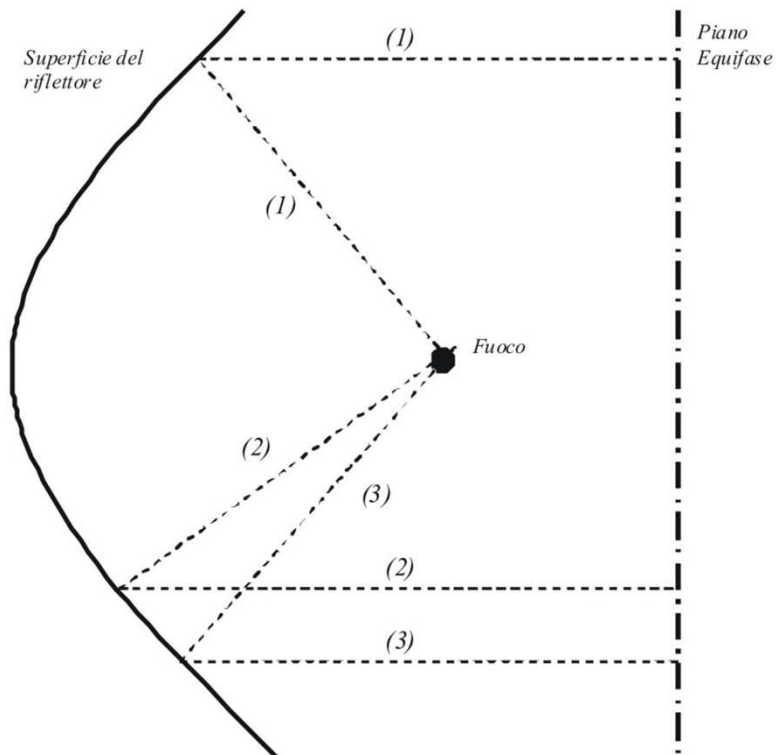
I percorsi (1), (2) e (3) sono uguali, dunque un qualunque piano ortogonale all'asse del riflettore è il fronte d'onda di un'onda piana.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Ovviamente per poter lavorare in termini di raggi il riflettore deve avere dimensioni molto maggiori della lunghezza d'onda.

Questa proprietà del paraboloide consente di trasformare raggi divergenti (onda sferica nel fuoco) in raggi paralleli (onde piane).



L'alimentazione del riflettore (sorgente) è posta nel suo fuoco, per ottenere raggi irradiati tutti paralleli fra loro.

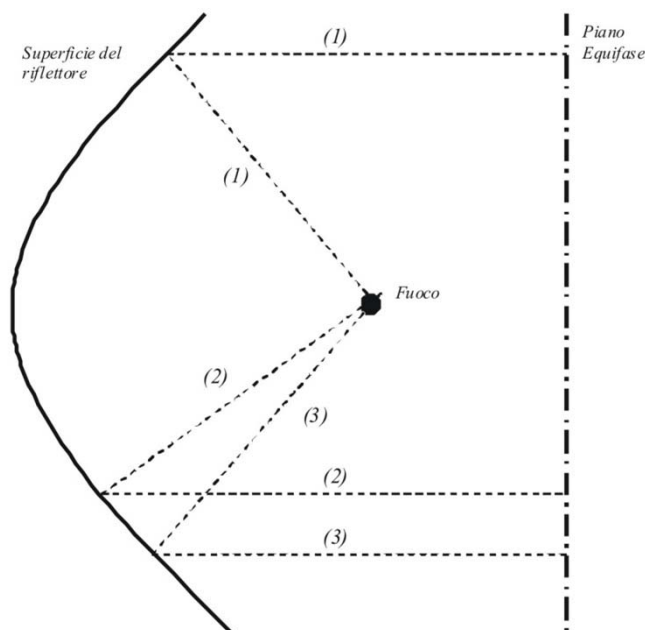
I percorsi (1), (2) e (3) sono uguali, dunque un qualunque piano ortogonale all'asse del riflettore è il fronte d'onda di un'onda piana.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Inoltre, il percorso di un qualunque raggio che parte dal fuoco ed arriva ad un qualunque piano ortogonale all'asse del paraboloide è sempre lo stesso.

Quindi in qualunque piano ortogonale all'asse del paraboloide si ha un'onda piana (il campo sul piano ha la stessa fase in tutti i punti, quindi il piano è il luogo dei punti equifase per l'onda, ossia è il fronte d'onda dell'onda piana).



L'alimentazione del riflettore (sorgente) è posta nel suo fuoco, per ottenere raggi irradiati tutti paralleli fra loro.

I percorsi (1), (2) e (3) sono uguali, dunque un qualunque piano ortogonale all'asse del riflettore è il fronte d'onda di un'onda piana.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Il campo incidente sul riflettore viene riflesso e produce sulla superficie dell'antenna una distribuzione di corrente indotta \underline{J}_i .

Dal teorema di equivalenza sappiamo che possiamo utilizzare tale corrente per calcolare il campo del riflettore in tutte le direzioni dello spazio.

Il riflettore di solito è costituito da un CEP; si calcola quindi la corrente indotta sul riflettore, si sostituisce ad esso la sua corrente indotta e si calcola il campo prodotto da tale corrente (e quindi dal riflettore) in tutto lo spazio.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Si potrebbe ad esempio pensare di utilizzare il Metodo dei Momenti.

Il problema è infatti analogo a quello di una antenna filiforme in spazio libero, con due grandi differenze, però: l'antenna filiforme è di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda, mentre il riflettore, per funzionare come tale, deve essere molto maggiore della lunghezza d'onda; inoltre il riflettore è una superficie curva, quindi con il Metodo dei Momenti dovrei utilizzare funzioni di discretizzazione a sottodominio (essendo la normale alla superficie del riflettore diversa in ogni punto della superficie curva) e potrei arrivare ad avere un numero di incognite elevatissimo (10^5 ed oltre) per ogni sottodominio.

Dunque il Metodo dei Momenti è una tecnica di analisi impraticabile per i riflettori, e si utilizza solo nei casi in cui si vogliono ottenere delle precisioni molto elevate.

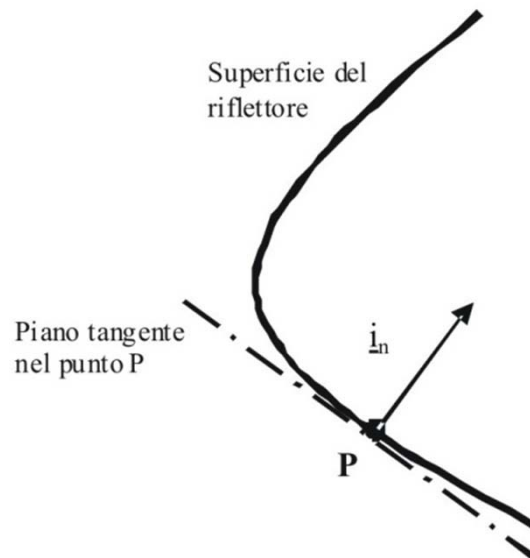
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Se la corrente indotta \underline{J}_i fosse nota esattamente, la principale sorgente di errore sarebbe legata al solo bloccaggio del feed, e dei suoi supporti.

In realtà, però, \underline{J}_i non è nota.

Se il raggio di curvatura della superficie del riflettore è grande e il campo incidente è un campo lontano, la corrente \underline{J}_i può essere approssimata con la corrente di ottica fisica:



$$\underline{J}_L^{PO} = 2\underline{i}_n \times \underline{H}_{inc}$$

che è la corrente che si indurrebbe su di un piano coincidente col piano tangente al paraboloide nel punto considerato.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Si parte dalla soluzione di un problema elettromagnetico esatto:



sul CEP il coefficiente di riflessione è $\Gamma = -1$ ed il campo elettrico tangente è nullo.

Il campo magnetico tangente sul CEP è invece pari a due volte il campo magnetico incidente.

Si ha dunque sul CEP una corrente indotta $\underline{J}_L^{PO} = 2\underline{i}_n \times \underline{H}_{inc}$ che sostiene la discontinuità del campo magnetico tangente (dato che a sinistra del CEP il campo è nullo ed a destra è pari alla somma fra campo incidente e campo riflesso).

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Quindi se si ha un riflettore con dimensioni molto maggiori della lunghezza d'onda e con raggio di curvatura anch'esso $\gg \lambda$, e se il feed è piccolo rispetto a λ , la corrente è pari alla corrente dell'approssimazione del piano di CEP \underline{J}_L^{PO} appena ottenuta.

Utilizzo quindi questa corrente per calcolare il campo prodotto dal riflettore, pertanto dato che tale corrente \underline{J}_L^{PO} dipende unicamente dal campo magnetico incidente sul riflettore \underline{H}_{inc} (campo che è generato dal feed), è sufficiente conoscere il feed per determinare la \underline{J}_L^{PO} e di conseguenza il campo irradiato dal riflettore.

Questa approssimazione è molto accurata per calcolare il campo nel lobo principale dell'antenna e nei primi lobi laterali, ma diviene via via meno accurata al crescere dell'angolo.

E' comunque valida nella zona centrale del riflettore, che è la zona di massima irradiazione.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Nelle zone di bordo (dove tra l'altro non vale neanche l'approssimazione di Kirchhoff), si utilizzano tecniche come la GTD o la UTD per tenere conto della diffrazione.

L'approssimazione mediante Ottica Fisica che si è appena descritta è applicabile se il riflettore è di CEP, e vale per qualunque oggetto metallico (ad esempio va bene per un disco metallico, anche se non è un riflettore) .

Per tale motivo esistono generalizzazioni di tale approssimazione per superfici non CEP.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Si deve ricavare la corrente in un piano infinito, costituito del materiale di cui è fatto il riflettore, quando su di esso incide un'onda piana.

Assumendo un sistema di coordinate locali (x,y) sulla superficie del riflettore, con l'asse z ortogonale al riflettore stesso (e quindi con $\underline{i}_n = -\underline{i}_z$) si può scrivere (si ricordi che la superficie del riflettore è, punto per punto, sostituita da un piano per calcolare \underline{J}_L^{PO} , e che il mio scopo è quello di trovare le componenti x ed y sul piano della corrente \underline{J}_L^{PO} in funzione del campo \underline{H}_{inc}):

$$\begin{pmatrix} J_x^{PO} \\ J_y^{PO} \end{pmatrix} = 2 \begin{pmatrix} R_{xx} & R_{xy} \\ R_{yx} & R_{yy} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -H_y^{inc} \\ H_x^{inc} \end{pmatrix} = 2 \underline{R} \cdot \begin{pmatrix} -H_y^{inc} \\ H_x^{inc} \end{pmatrix}$$

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

La matrice $\underline{\underline{R}}$ dipende dal tipo di superficie, è pari alla matrice identità per un CEP, ed è nient'altro che la matrice di riflessione di una onda piana (con polarizzazione arbitraria) sulla superficie del riflettore.

Tutte le caratteristiche del piano le includo in tale matrice $\underline{\underline{R}}$, che mi descrive la riflessione del campo sul piano nelle due direzioni del piano stesso.

In particolare se $\underline{\underline{i}}_s$ è il versore del vettore di Poynting del campo incidente, con componenti (S_x, S_y, S_z), la matrice $\underline{\underline{R}}$ può essere espressa tramite la matrice $\underline{\underline{Z}}$ di impedenza superficiale (matrice che tiene conto del mezzo di cui è costituito il riflettore) ed una matrice $\underline{\underline{W}}$ di “impedenza d'onda” dell'onda piana (matrice che quindi tiene conto della direzione del campo incidente):

$$\underline{\underline{R}} = (\underline{\underline{W}} + \underline{\underline{Z}})^{-1} \cdot (\underline{\underline{W}} - \underline{\underline{Z}})$$

dove:

$$\underline{\underline{W}} = \frac{\zeta}{s_z} \begin{pmatrix} -(1 - S_x)^2 & S_x S_y \\ S_x S_y & -(1 - S_y)^2 \end{pmatrix}$$

$$\underline{\underline{Z}} = \begin{cases} 0 & \text{CEP} \\ \sqrt{\frac{k}{2\zeta_0\sigma}}(i + j)\underline{\underline{I}} & \text{Buon Conduttore} \end{cases}$$

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Ottica Fisica

Ad esempio, per un conduttore ricoperto da uno strato dielettrico si ha:

$$\underline{\underline{R}} = \begin{pmatrix} -R_{TE} & 0 \\ 0 & R_{TM} \end{pmatrix}$$

dove R_{TE} , R_{TM} sono i coefficienti di riflessione per lo strato piano.

Tale rappresentazione di $\underline{\underline{R}}$ è utile anche per riflettori grigliati, utilizzati per ridurre peso e resistenza al vento, oltre che per ottenere particolari effetti di polarizzazione (ad esempio posso giocare sulla grigliatura per ottenere un campo irradiato in polarizzazione circolare utilizzando un feed che irradia in polarizzazione lineare).

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Il metodo della ottica fisica fornisce una tecnica di calcolo accurata del campo del riflettore, almeno nella zona del lobo centrale e di quelli vicini.

L'intervallo angolare di validità può essere esteso utilizzando tecniche ottiche (ottica geometrica più GTD ad esempio) nella zona lontana dal lobo centrale.

La tecnica è però abbastanza pesante dal punto di vista computazionale.

Risultati meno precisi, ma espressi in forma analitica o semi-analitica si possono ottenere semplicemente utilizzando il campo di apertura, calcolato mediante l'ottica geometrica (e non mediante l'ottica fisica, come in precedenza).

Si considera il piano di apertura del riflettore (o un qualunque piano ad esso parallelo), e si trattano i raggi che escono dal feed mediante l'ottica geometrica.

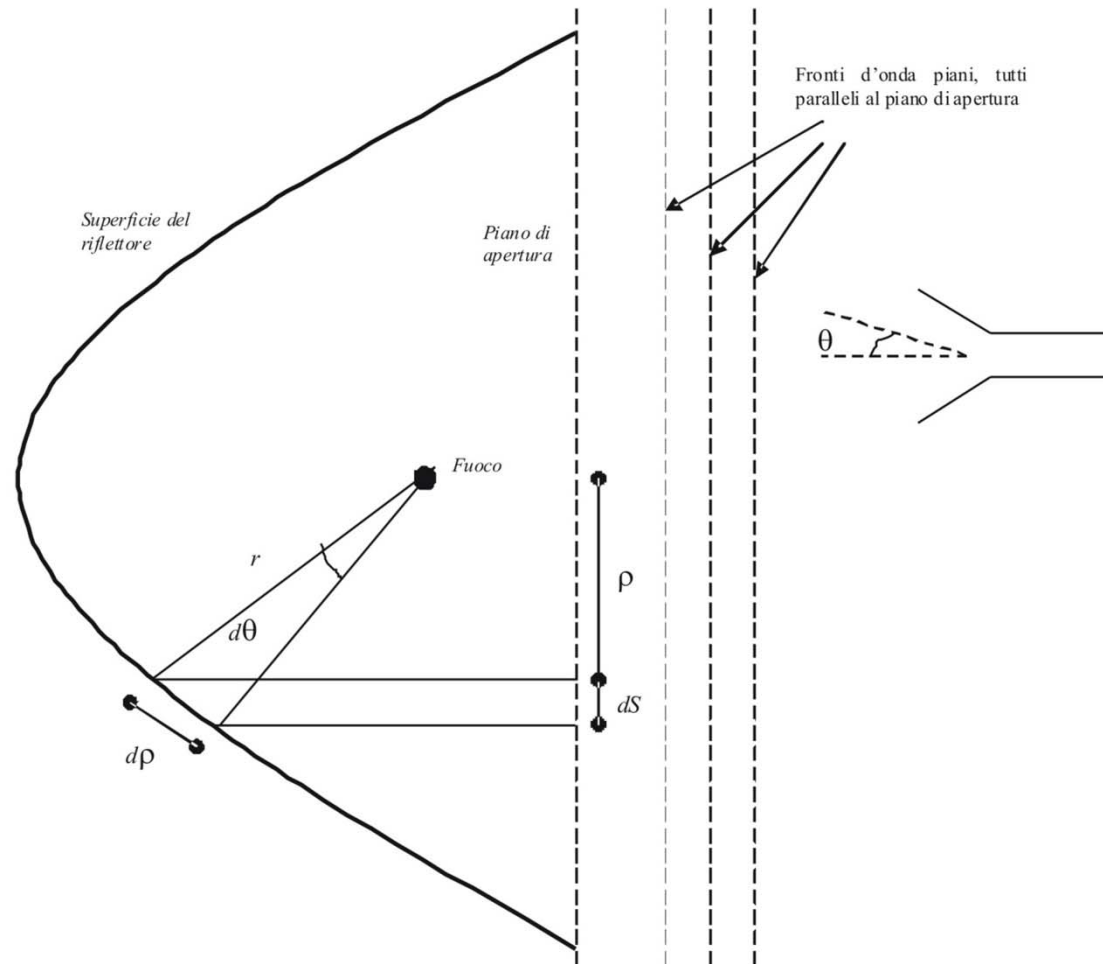
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Si è visto che i raggi che escono dal feed, se questo è posto nel fuoco, sono tutti in fase sul piano di apertura.

Vediamo come calcolare il campo sull'apertura, collegandolo al campo irradiato dal feed.

Consideriamo un riflettore alimentato da un feed posto nel fuoco, e sia $g(\theta, \varphi)$ il diagramma di irradiazione del feed.

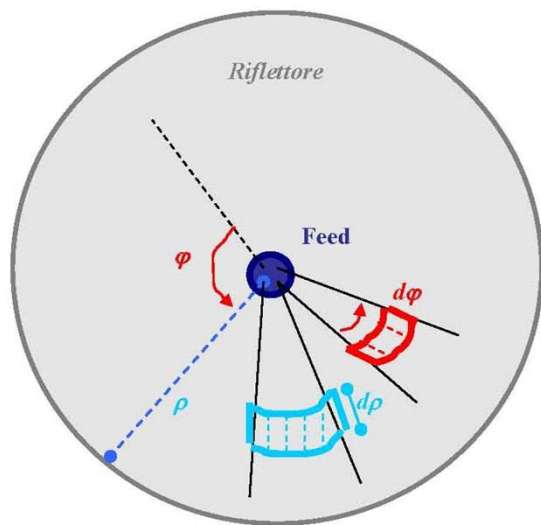


RIFLETTORI

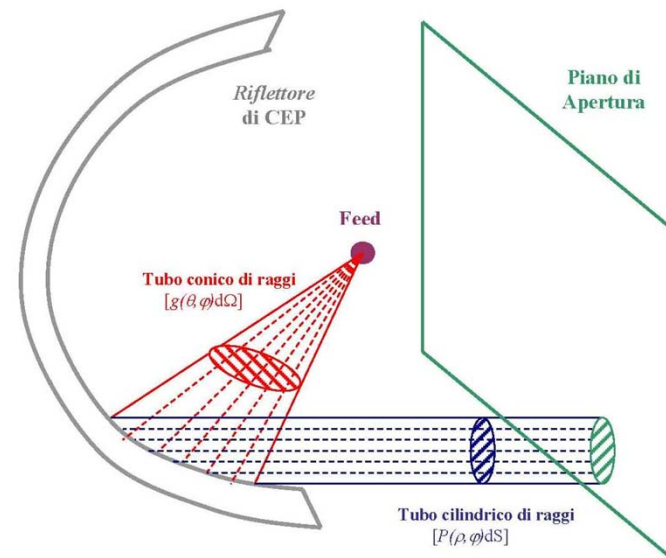
Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Fissata la distanza, $g(\theta, \varphi)$ è l'ampiezza del vettore di Poynting su un certo raggio di angolo θ, φ , che parte dal fuoco.

Ma il vettore di Poynting cambia dopo la riflessione dei raggi sul riflettore, e quindi cambia $g(\theta, \varphi)$.



Riflettore visto di fronte, con il punto di alimentazione (in blu) posto nel suo centro in corrispondenza del fuoco. L'angolo φ è l'angolo di rotazione intorno all'asse del riflettore, mentre ρ rappresenta la distanza dal centro sul piano di apertura (o equivalentemente sulla bocca del riflettore)



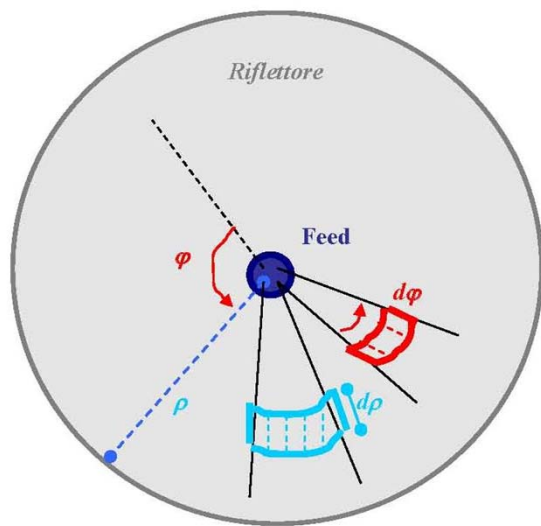
Il tubo conico di raggi uscente dal feed (evidenziato in rosso) viene riflesso dal CEP che costituisce il riflettore come un tubo cilindrico di raggi, occupando quindi una superficie diversa (evidenziata in blu). Tale superficie giunge infine sulla bocca del riflettore (o equivalentemente sul piano di apertura, evidenziato in verde), che è un piano equifase per i vari raggi: tutti i raggi che arrivano su tale piano sono in fase fra di essi, e costituiscono quindi il fronte di fase di un'onda piana.

RIFLETTORI

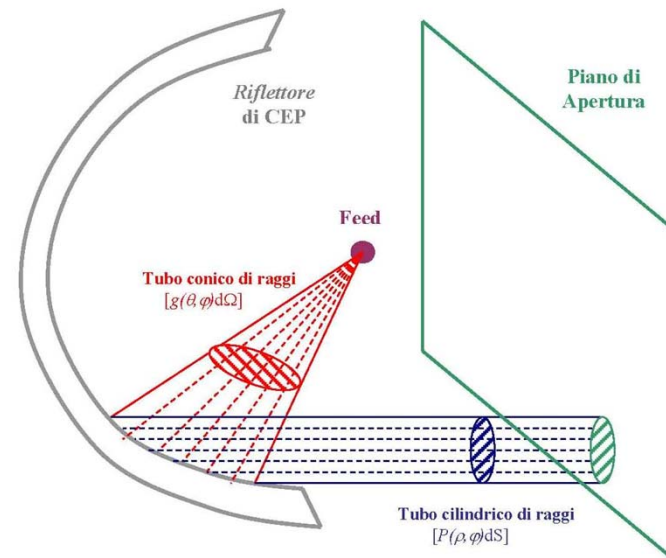
Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Infatti, se si considera un tubo conico di raggi di ampiezza $d\theta$ che esce dal feed, su di esso la potenza è costante.

Quando questo tubo conico di raggi viene riflesso, esso diventa un tubo cilindrico di raggi ed occuperà quindi una superficie diversa.



Riflettore visto di fronte, con il punto di alimentazione (in blu) posto nel suo centro in corrispondenza del fuoco. L'angolo φ è l'angolo di rotazione intorno all'asse del riflettore, mentre ρ rappresenta la distanza dal centro sul piano di apertura (o equivalentemente sulla bocca del riflettore)



Il tubo conico di raggi uscente dal feed (evidenziato in rosso) viene riflesso dal CEP che costituisce il riflettore come un tubo cilindrico di raggi, occupando quindi una superficie diversa (evidenziata in blu). Tale superficie giunge infine sulla bocca del riflettore (o equivalentemente sul piano di apertura, evidenziato in verde), che è un piano equifase per i vari raggi: tutti i raggi che arrivano su tale piano sono in fase fra di essi, e costituiscono quindi il fronte di fase di un'onda piana.

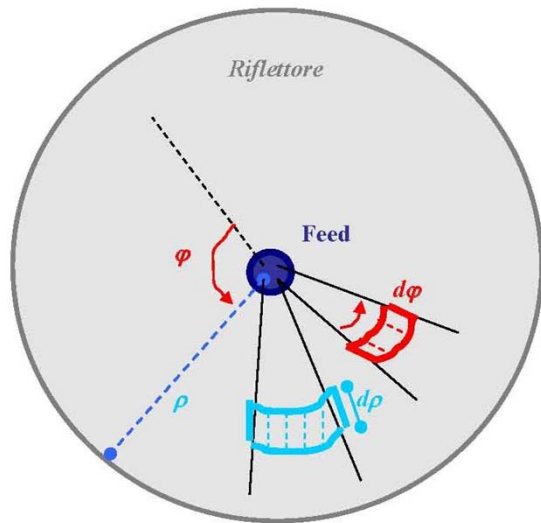
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

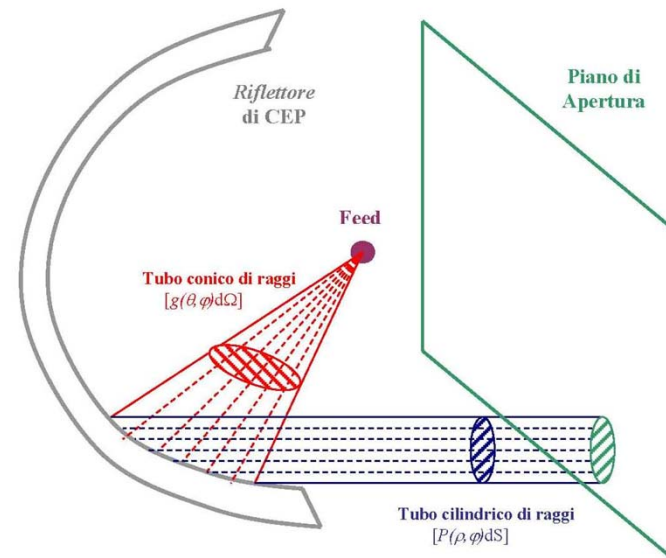
In un angolo solido $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$ è contenuta una potenza:

$$Potenza = g(\vartheta, \varphi) d\Omega \rightarrow \text{Potenza contenuta nel tubo conico di raggi}$$

che, dopo la riflessione, è compresa in un elemento cilindrico di superficie dS sull'apertura che è dato da $r \sin\theta d\varphi d\rho$.



Riflettore visto di fronte, con il punto di alimentazione (in blu) posto nel suo centro in corrispondenza del fuoco. L'angolo φ è l'angolo di rotazione intorno all'asse del riflettore, mentre ρ rappresenta la distanza dal centro sul piano di apertura (o equivalentemente sulla bocca del riflettore)



Il tubo conico di raggi uscente dal feed (evidenziato in rosso) viene riflesso dal CEP che costituisce il riflettore come un tubo cilindrico di raggi, occupando quindi una superficie diversa (evidenziata in blu). Tale superficie giunge infine sulla bocca del riflettore (o equivalentemente sul piano di apertura, evidenziato in verde), che è un piano equifase per i vari raggi: tutti i raggi che arrivano su tale piano sono in fase fra di essi, e costituiscono quindi il fronte di fase di un'onda piana.

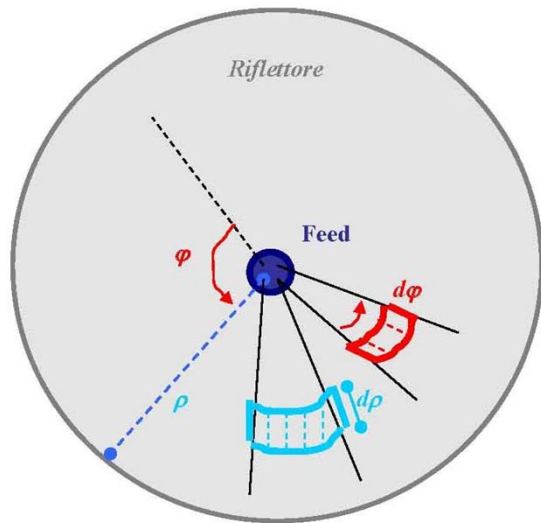
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

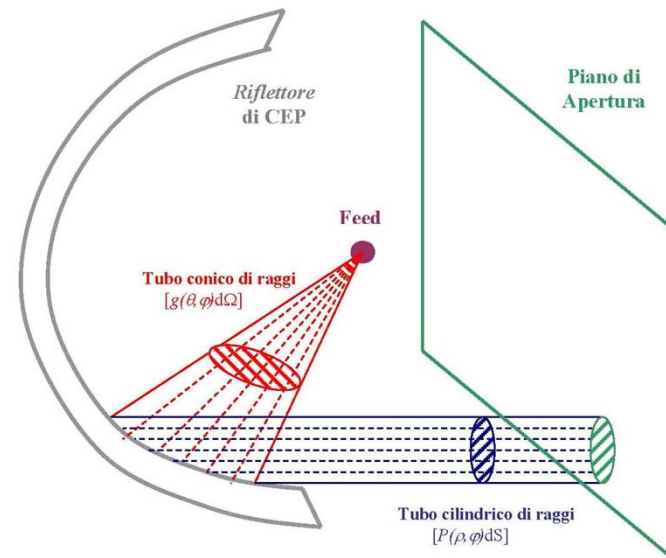
La potenza in tale elemento, e quindi il campo di apertura $P(\rho, \varphi)$, si ottiene uguagliando le potenze:

$$P(\rho, \varphi)dS = g(\vartheta, \varphi)d\Omega \rightarrow P(\rho, \varphi) = g(\vartheta, \varphi) \frac{\sin \vartheta d\vartheta d\varphi}{\rho d\rho d\varphi} = g(\vartheta, \varphi) \frac{d\vartheta}{r d\rho}$$

essendo $\rho = r \sin \theta$ ed essendo l'elemento di superficie sferico dato da $d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$ e quello cilindrico dato da $dS = \rho d\rho d\varphi$.



Riflettore visto di fronte, con il punto di alimentazione (in blu) posto nel suo centro in corrispondenza del fuoco. L'angolo φ è l'angolo di rotazione intorno all'asse del riflettore, mentre ρ rappresenta la distanza dal centro sul piano di apertura (o equivalentemente sulla bocca del riflettore)



Il tubo conico di raggi uscente dal feed (evidenziato in rosso) viene riflesso dal CEP che costituisce il riflettore come un tubo cilindrico di raggi, occupando quindi una superficie diversa (evidenziata in blu). Tale superficie giunge infine sulla bocca del riflettore (o equivalentemente sul piano di apertura, evidenziato in verde), che è un piano equifase per i vari raggi: tutti i raggi che arrivano su tale piano sono in fase fra di essi, e costituiscono quindi il fronte di fase di un'onda piana.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Se f è la distanza focale, allora l'equazione della parabola che funge da riflettore sul piano è:

$$r = \frac{2f}{1 + \cos \vartheta}$$

Da tale relazione posso ottenere una relazione che lega θ e ρ :

$$\rho = r \sin \vartheta = \frac{2f \sin \vartheta}{1 + \cos \vartheta} = \frac{2f \left(2 \sin \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \right)}{2 \cos^2 \frac{\vartheta}{2}} = 2f \tan \frac{\vartheta}{2} = f \frac{\sin \vartheta}{\cos^2 \frac{\vartheta}{2}}$$

Da cui:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \vartheta} = \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left(\frac{2f \sin \vartheta}{1 + \cos \vartheta} \right) = 2f \frac{\cos \vartheta (1 + \cos \vartheta) - \sin \vartheta (-\sin \vartheta)}{(1 + \cos \vartheta)^2} = 2f \frac{\cos \vartheta + \cos^2 \vartheta + \sin^2 \vartheta}{(1 + \cos \vartheta)^2} = \frac{2f}{1 + \cos \vartheta} = r$$

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Sostituendo:

$$P(\rho, \varphi) = g(\vartheta, \varphi) \frac{d\vartheta}{r d\rho} = g(\vartheta, \varphi) \frac{1 + \cos \vartheta}{2fr} = g(\vartheta, \varphi) \left(\frac{1 + \cos \vartheta}{2f} \right)^2 = g(\vartheta, \varphi) \frac{1}{r^2} = g(\vartheta, \varphi) \frac{16f^2}{(4f^2 + \rho^2)^2}$$

essendo nella precedente:

$$2f = r(1 + \cos \vartheta)$$

$$\rho = r \sin \vartheta$$

ed elevando al quadrato e sommando membro a membro si ottiene:

$$\rho^2 + 4f^2 = r^2 \sin^2 \vartheta + r^2 (1 + \cos \vartheta)^2 = r^2 2(1 + \cos \vartheta) = 2r^2 \frac{2f}{r} = 4fr \rightarrow r = \frac{\rho^2 + 4f^2}{4f}$$

Quindi la distribuzione di campo sull'apertura dipende sia dal diagramma di irradiazione del feed , sia da fattori geometrici..

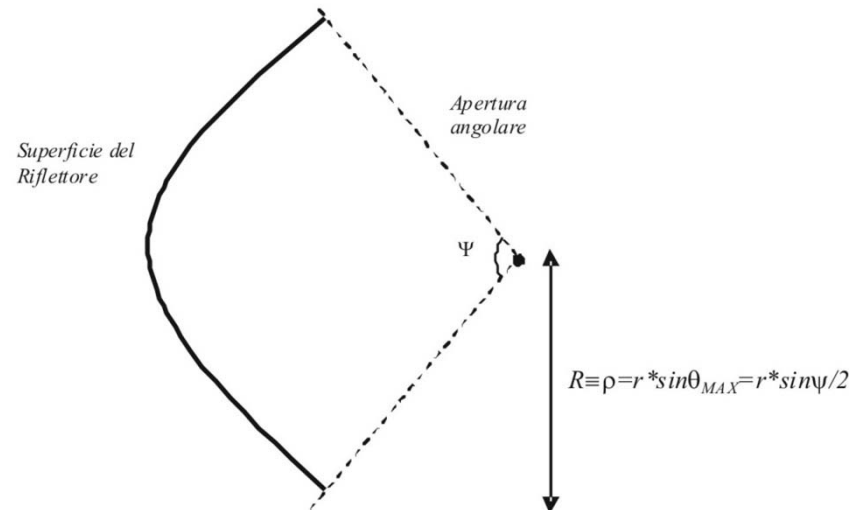
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

In pratica, dato che si vorrebbe avere una potenza costante (per avere il massimo di direttività), è necessario che la $g(\theta, \varphi)$ vari come r^2 in modo che la potenza P sia costante ($P(\theta, \varphi) = g(\theta, \varphi)/r^2$).

In termini di angolo di apertura del riflettore, per ottenere una distribuzione uniforme sull'apertura occorrerebbe una $g(\theta, \varphi) \propto \sec^4 \theta/2$.

Tuttavia una distribuzione con $g(\theta)$ troppo elevato ai bordi crea problemi di spill-over, ovvero di potenza non intercettata dal riflettore: non tutti i raggi che escono dal feed raggiungono il riflettore.



RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Detta Ψ l'apertura angolare totale del riflettore di raggio R , data da:

$$R = \frac{2f \sin \Psi / 2}{1 + \cos \Psi / 2} = 2f \tan \Psi / 4$$

l'efficienza di spill-over vale:

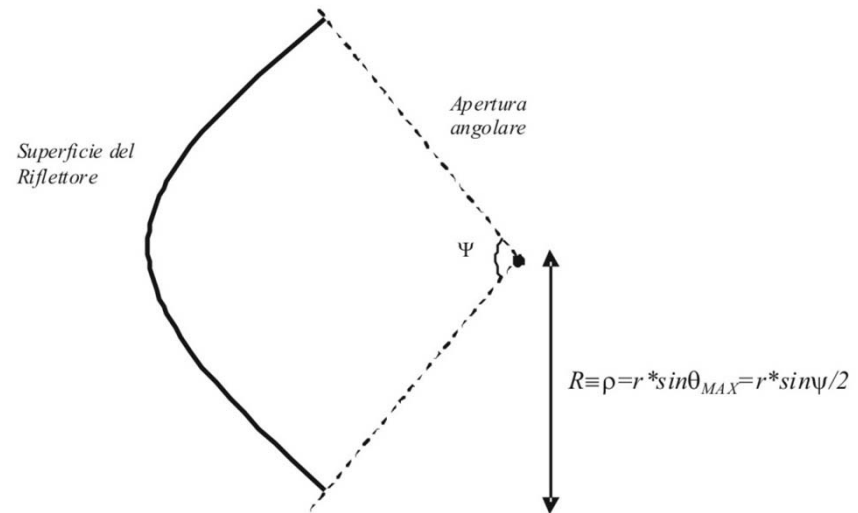
$$\eta_s = \frac{\int_0^{2\pi\Psi/2} \int_0^{2\pi\Psi/2} g(\vartheta, \varphi) d\Omega}{\int_0^{2\pi\Psi/2} \int_0^{2\pi\Psi/2} g(\vartheta, \varphi) d\Omega} = \frac{D_f}{4\pi} \int_0^{2\pi\Psi/2} \int_0^{2\pi\Psi/2} g(\vartheta, \varphi) d\Omega$$

essendo D_f la direttività del feed.

L'efficienza di spill-over η_s è solo una delle efficienze da considerare.

Il guadagno del riflettore dovrà infatti tenere conto di tutti i meccanismi di perdita di potenza.

Sicuramente vi sarà una perdita dovuta alla componente cross-polare del campo irradiato, ed il guadagno da considerare è solo quello sulla polarizzazione nominale.



RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Un secondo termine è l'efficienza di apertura:

$$\eta_A = \frac{A_{eff}}{\pi R^2} = \left(\frac{\lambda}{2\pi R} \right)^2 D$$

dove A_{eff} va calcolata sulla sola componente co-polare del campo e D è la direttività del riflettore.

L'efficienza η_A è sempre minore di 1 a causa della disuniformità di ampiezza e fase della distribuzione di apertura, e della presenza eventuale della componente cross-polare.

Per incrementare η_A occorre un riflettore con un piccolo angolo Ψ e con una elevata illuminazione ai bordi, esattamente ciò che riduce η_S .

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

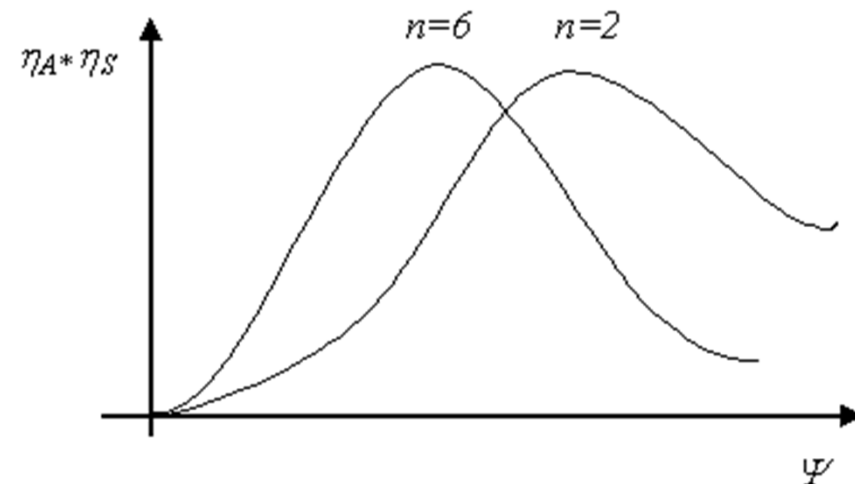
Per valutare il trade-off tra η_A ed η_S si può considerare un feed del tipo:

$$g(\vartheta, \varphi) = \begin{cases} 2(n+1) \cos^n \vartheta & 0 \leq \vartheta \leq \pi/2 \\ 0 & \vartheta > \pi/2 \end{cases}$$

che irradia complessivamente una “potenza” 4π .

Al crescere di n il diagramma si stringe.

Si trova che l'efficienza totale ha l'andamento mostrato in figura, con un massimo intorno a 80%, raggiunto per valori di Ψ via via decrescenti al crescere di n .



RIFLETTORI

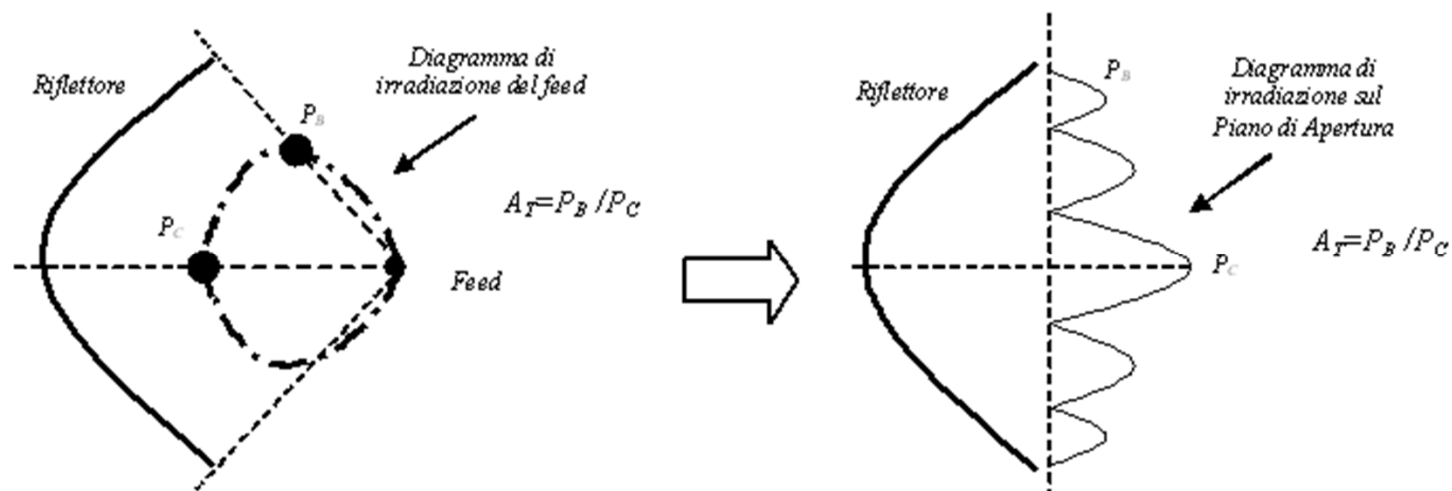
Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Il rapporto fra la densità di potenza ai bordi del riflettore P_B e la densità di potenza al centro P_C è detto Apertura del Taper e vale:

$$A_T = \frac{P_B}{P_C} = \frac{\cos^n \Psi_0 / 2 (1 + \cos \Psi_0 / 2)^2}{4}$$

che vale circa 0.3 (-10 dB) indipendentemente da n .

Riducendo A_T (Apertura Taper) si riduce la direttività, ma si possono ridurre notevolmente i lobi laterali. Viceversa, incrementando A_T si riduce la larghezza del lobo centrale (a spese di un incremento di η_S).



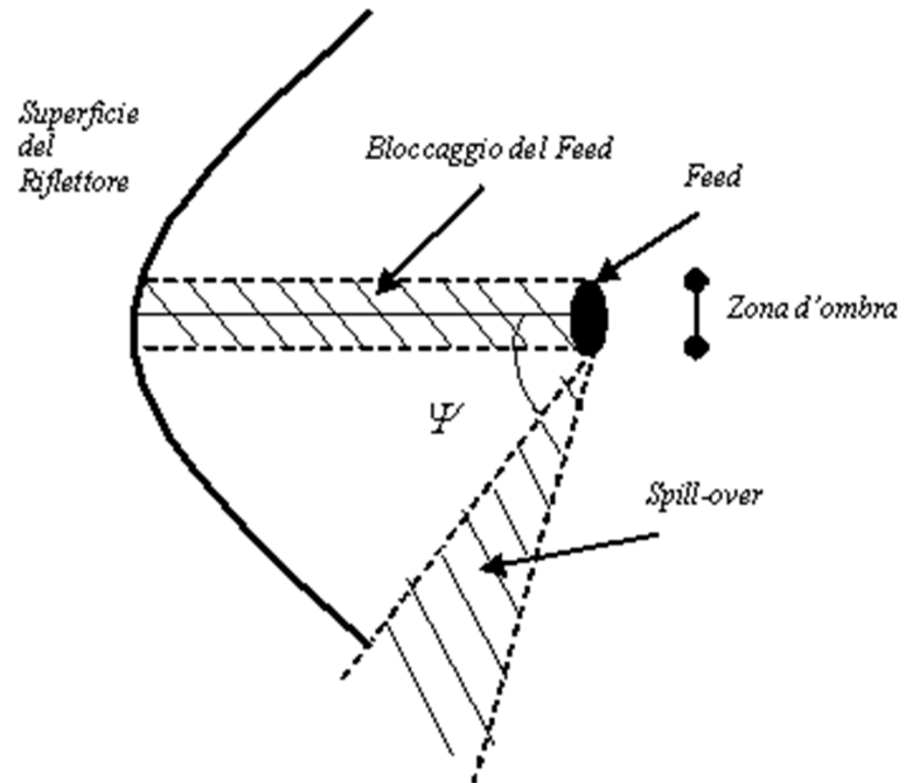
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Un ulteriore termine di perdita di guadagno è dovuto al cosiddetto bloccaggio del feed: il feed infatti manda campo verso il riflettore ed il campo riflesso che viaggia verso il feed viene bloccato dal feed stesso e dal suo supporto fisico.

Questo fatto è inevitabile in un riflettore centrato ed ovviamente abbassa l'efficienza.

Efficienze attorno al 70% sono efficienze molto buone per un riflettore.



RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Un riflettore parabolico a simmetria circolare illuminato da un feed posto nel fuoco non presenta un livello di cross-polare e di lobi laterali così basso come prevede infatti la teoria, poiché lo scattering dovuto al feed ed ai suoi supporti peggiora notevolmente le prestazioni, dando luogo anche a fenomeni di diffrazione che alterano il campo irradiato.

Tale peggioramento diviene critico in sistemi progettati per avere lobi laterali e livello della cross-polare sotto i 30 dB.

Una possibile soluzione per evitare questo bloccaggio e lo scattering risultante consiste nell'utilizzare una configurazione ad offset, come si vedrà nel seguito.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Dati tutti questi meccanismi che abbassano l'efficienza, il guadagno è alla fine espresso da (X: cross-polare, B: bloccaggio feed, S: spill-over):

$$G = \eta_S \eta_A \eta_x \eta_B D_M$$

La massima direttività che si può ottenere dal riflettore si ha quando l'area fisica del riflettore è pari alla sua area efficace:

$$D_M = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{fisica}} \rightarrow D = \eta_A D_M = \eta_A \frac{4\pi}{\lambda^2} (\pi R^2)$$

La direttività massima sarebbe ottenibile se si potesse fare in modo che le eccitazioni sul riflettore (o meglio sul suo piano di apertura) fossero costanti, ma si è già visto che questo non è possibile.

Inoltre, come si è detto, le efficienze η_S ed η_A sono legate, e se una aumenta l'altra diminuisce.

Il compromesso angolare fra le due si ha (qualunque forma abbia il riflettore e qualunque sia la distanza focale) quando l'eccitazione ai bordi è 10 dB sotto il valore che essa ha nel centro (ossia nel massimo), con una distribuzione di apertura che è in pratica un coseno su di un piedistallo.

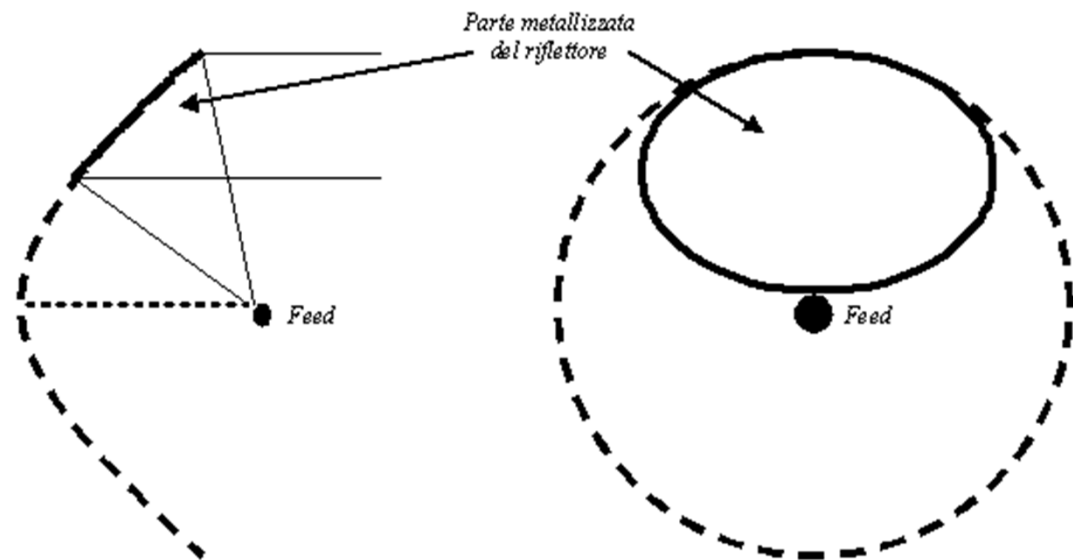
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Riguardo alle altre due efficienze, η_x dipende sia dalla lavorazione del riflettore, sia dal feed e dalla sua purezza di polarizzazione; η_B può essere ridotta utilizzando la cosiddetta configurazione di riflettore ad offset: si metallizza solo un pezzo di paraboloide, così da evitare il bloccaggio dovuto al feed.

In pratica una sezione circolare del paraboloide può essere eliminata dal paraboloide completo, in modo che il fuoco si trovi esternamente alla regione del lobo principale del riflettore.

Il funzionamento sarà uguale a quello di un riflettore standard appena visto, però questa volta i raggi riflessi dal riflettore non toccano il feed e quindi l'efficienza dovuta al bloccaggio è del 100%.

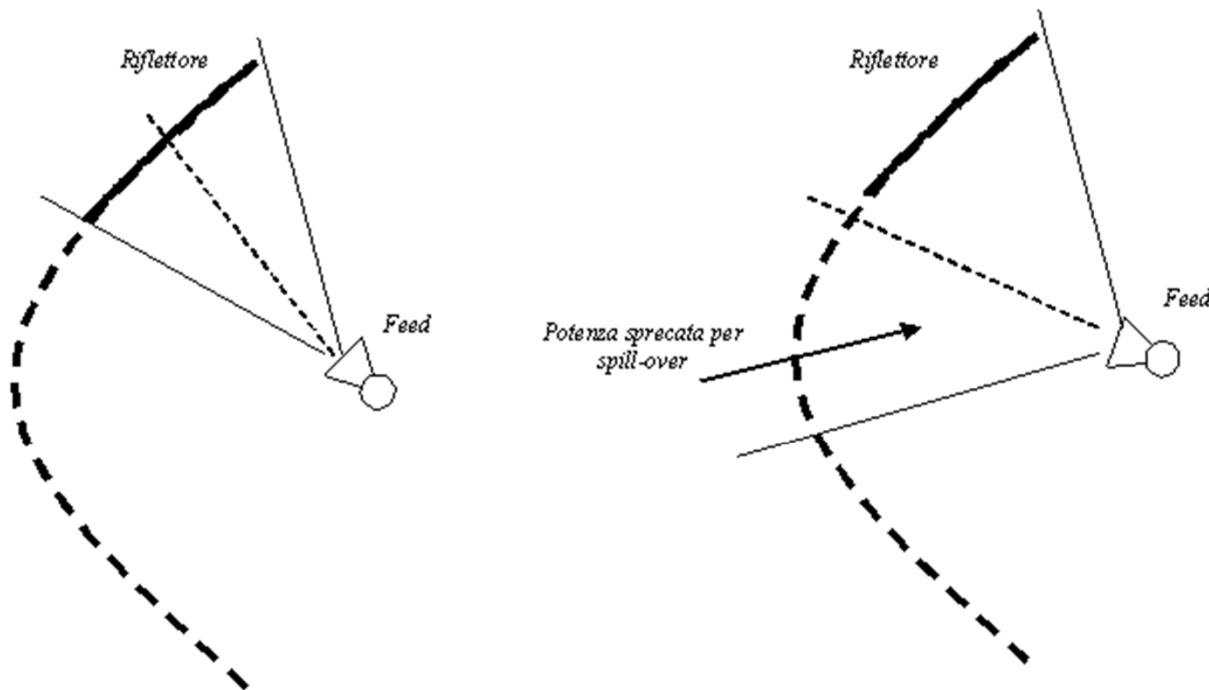


Riflettore ad offset

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Ovviamente il feed in tale configurazione deve puntare verso la zona metallizzata, altrimenti sprecherei troppa potenza per spill-over.



Riflettore ad offset con feed centrato e con feed decentrato. Nel secondo caso si noti come è molto più elevata la potenza persa per spill-over

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Questa configurazione permette quindi di eliminare, totalmente o in gran parte, il feed ed i suoi supporti dalla zona di massima irradiazione dell'antenna, ma ha lo svantaggio di provocare un incremento della componente cross-polare del campo irradiato, in quanto il sistema riflettore ad offset – feed non hanno più simmetria circolare.

Di conseguenza, anche nell'ipotesi che il feed irradi un campo con una componente cross-polare nulla, sarà il riflettore \hat{i} , data la sua asimmetria, a causare la presenza di una componente cross-polare diversa da zero.

Ad esempio, in sistemi di riflettori ad offset con offset relativamente piccoli la componente cross-polare del campo irradiato presenta tipicamente lobi compresi tra -25 e -20 dB (che possono essere troppo elevati ed inaccettabili per applicazioni radar).

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Anche in questo caso sul guadagno di antenna pesa il diametro complessivo della parabola, nel senso che va confrontata l'antenna ad offset con un'antenna centrata avente lo stesso diametro di apertura (e quindi lo stesso diametro del riflettore complessivo, che comprende sia la parte della porzione di riflettore metallizzata, che la parte non metallizzata nella configurazione ad offset), nonostante quella ad offset abbia solo una parte di parabola metallizzata.

E' chiaro che una simile struttura è difficile da realizzare (il posizionamento del feed è critico) e presenta una strana curvatura; inoltre essa è ingombrante in quanto la distanza focale dipende da tutta la parabola e non dal pezzo di parabola che si metallizza; infine, come già detto, non essendo una struttura simmetrica, con tale configurazione peggiora l'efficienza legata alla cross-polare η_x , dato che, proprio a causa della dissimmetria, la componente cross-polare del campo irradiato aumenta.

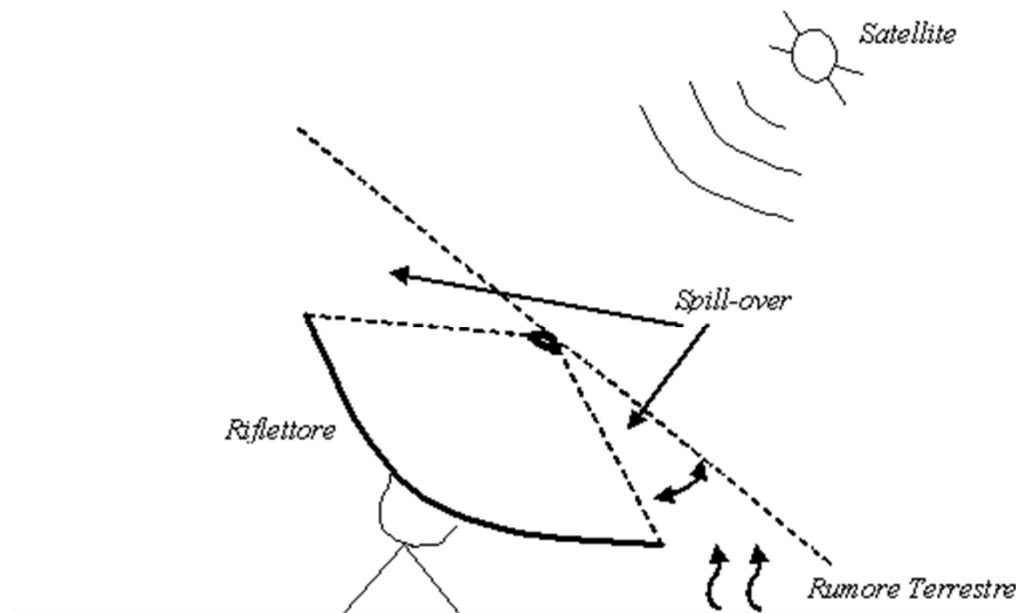
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Un altro problema legato alla configurazione delle antenne a riflettore è dovuto al rumore, legato in qualche modo allo spill-over.

Infatti, vi è un contributo di rumore non solo associato al segnale, ma anche dovuto al feed.

Supponiamo di avere un'antenna a riflettore in ricezione sulla superficie terrestre che punta un satellite.

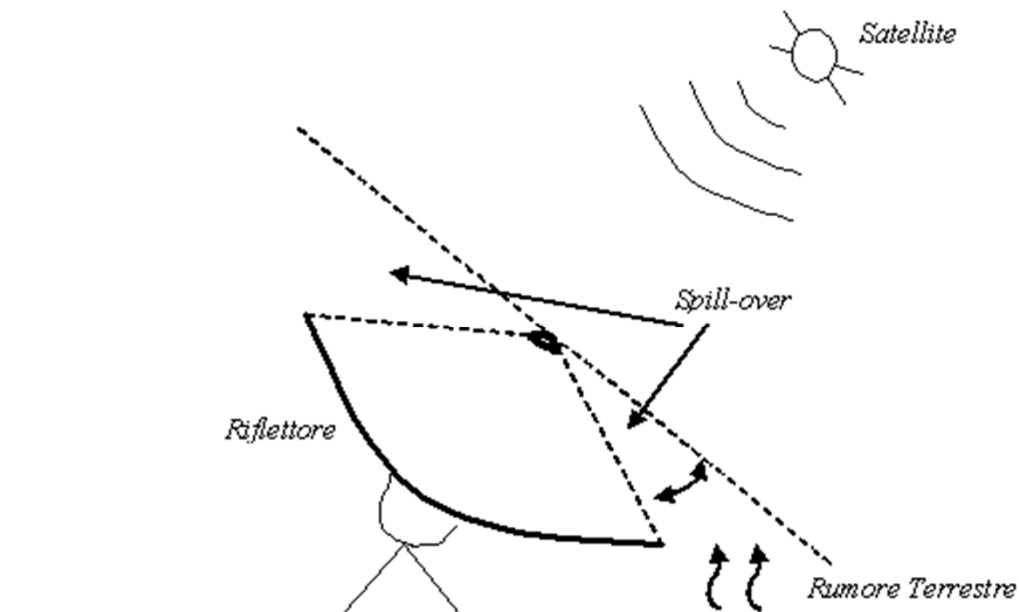


RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

L'antenna ricevente, oltre al segnale utile, riceverà il rumore proveniente dallo spazio; tale rumore, sostanzialmente di natura termica, sarà molto piccolo in quanto lo spazio ha temperatura molto bassa.

Tuttavia una parte della regione dell spill-over del feed punta verso il suolo e riceve il rumore termico terrestre, che invece, vista la maggiore temperatura, è molto più elevato.

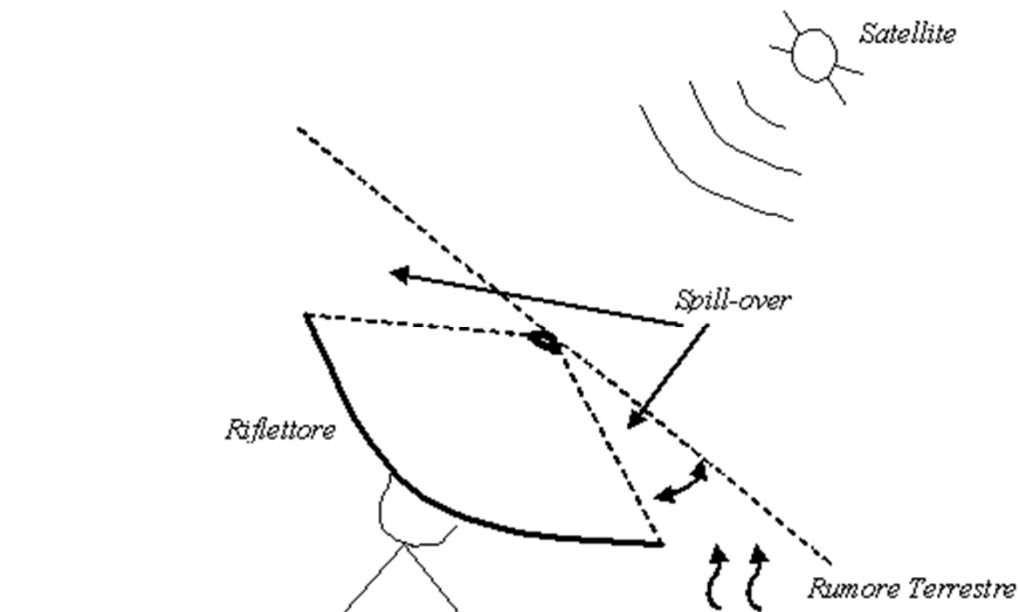


RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Poiché il segnale proveniente dal satellite è di norma piccolo, la parte di rumore terrestre pesa non poco e tale rumore terrestre, che giunge al feed, aumenta la temperatura di rumore del feed stesso; come risultato di ciò questa configurazione ha un SNR (rapporto segnale-rumore) scadente.

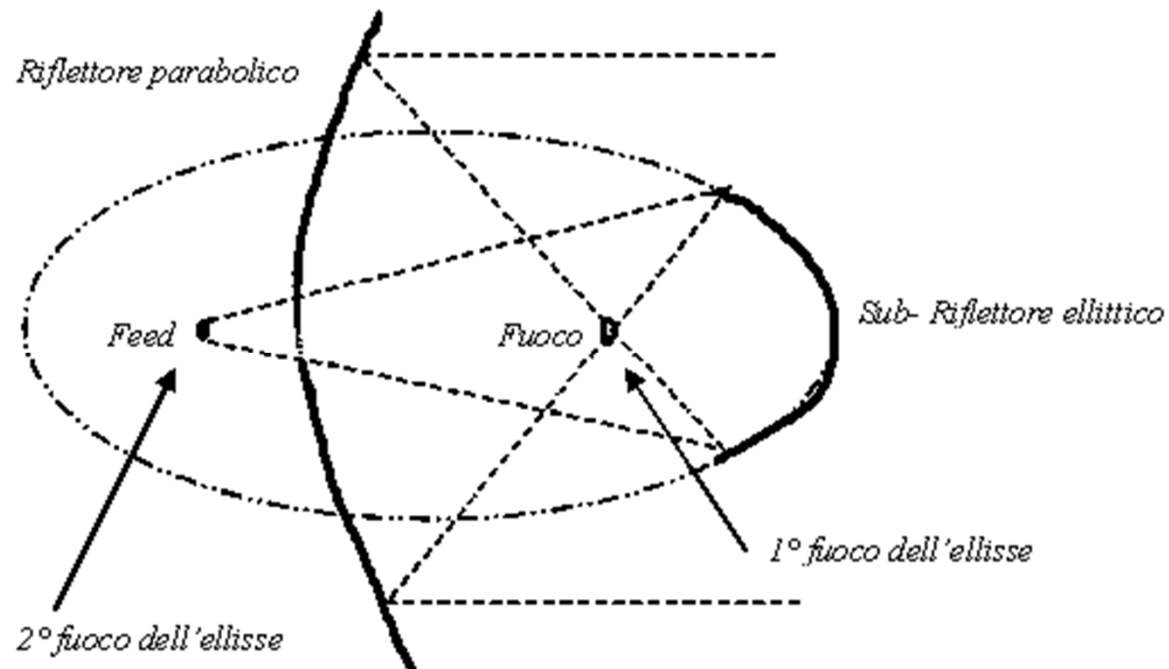
Si ricorre allora ad un'altra configurazione che è quella a doppio riflettore.



RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

In altri termini, si prende il riflettore principale, si inserisce un subriflettore (di forma parabolica o ellittica) e si posiziona il feed in maniera opportuna: più precisamente, supponendo di utilizzare un riflettore parabolico ed un subriflettore ellittico, si fa in modo che il primo fuoco dell'ellisse coincida col primo fuoco della parabola, mentre il feed viene posizionato nel secondo fuoco dell'ellisse.

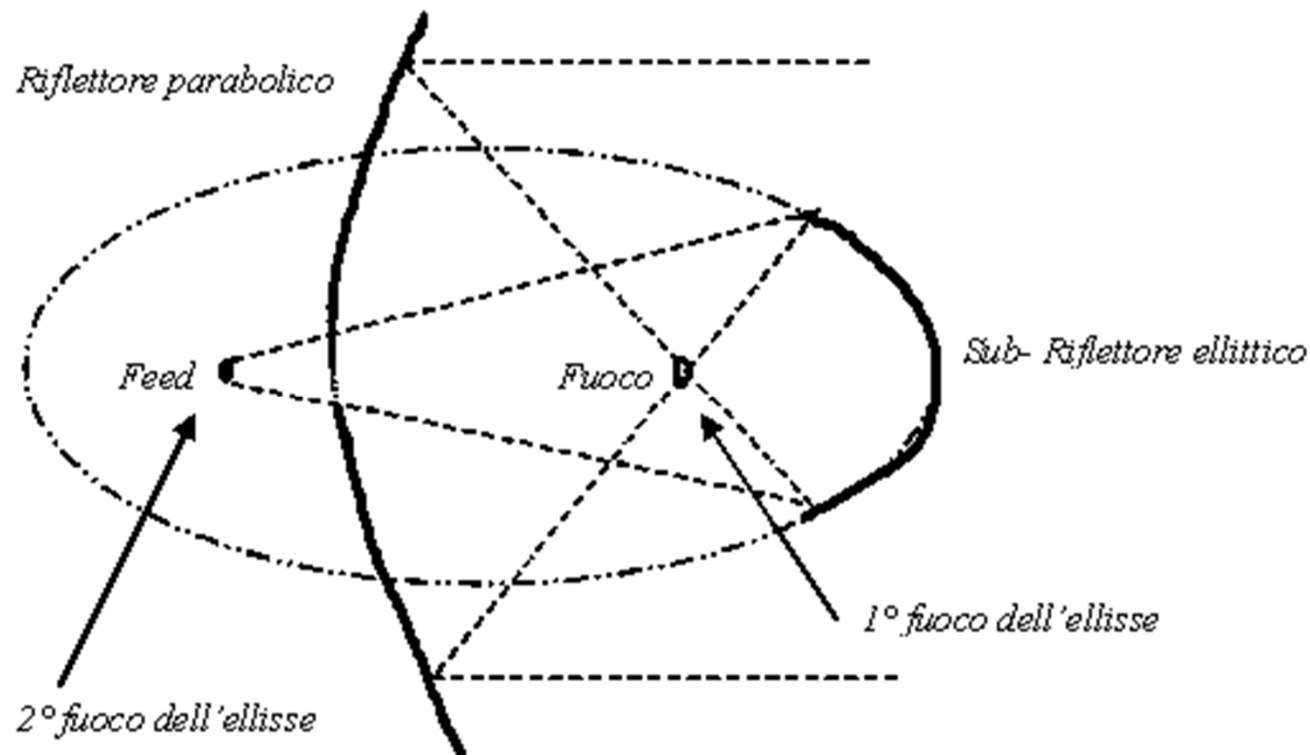


RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Con questa struttura si ottengono ancora raggi paralleli.

Infatti, per le proprietà delle coniche, ogni raggio che parte da un fuoco e viene riflesso dalla conica, passa per l'altro fuoco.

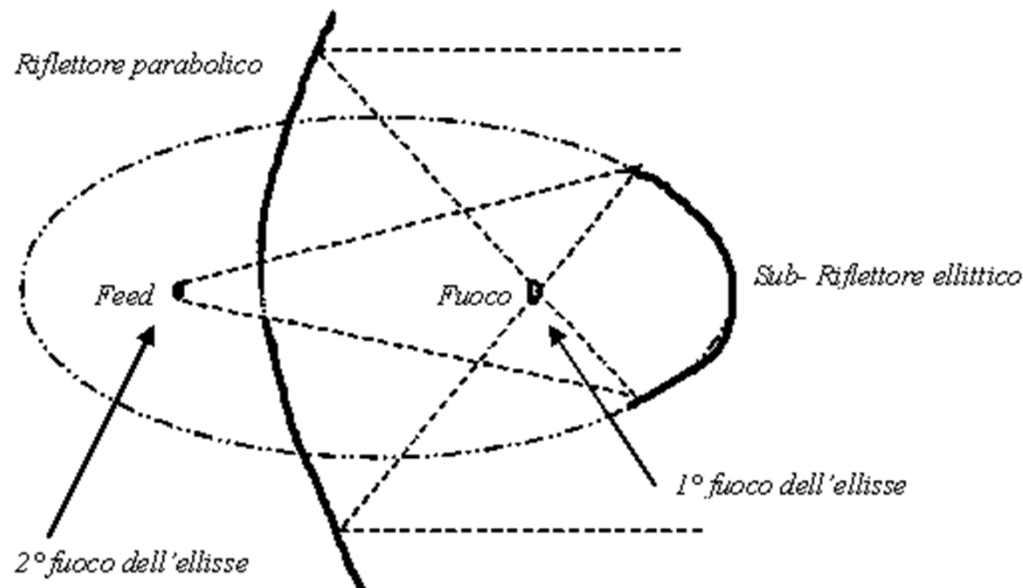


RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Tale proprietà vale anche per la parabola, solo che essa ha uno dei due fuochi all'infinito (e infatti un raggio che arriva dall'infinito ed incide sulla parabola, viene riflesso e passa per il fuoco).

Il vantaggio è che lo spill-over del feed non riceve potenza dalla terra, in quanto punta verso il cielo (in tal caso quindi lo spill-over arriva dallo spazio, ma il rumore spaziale è molto più basso di quello terrestre), e il sub-riflettore è di norma abbastanza grande da non avere problemi di spill-over.

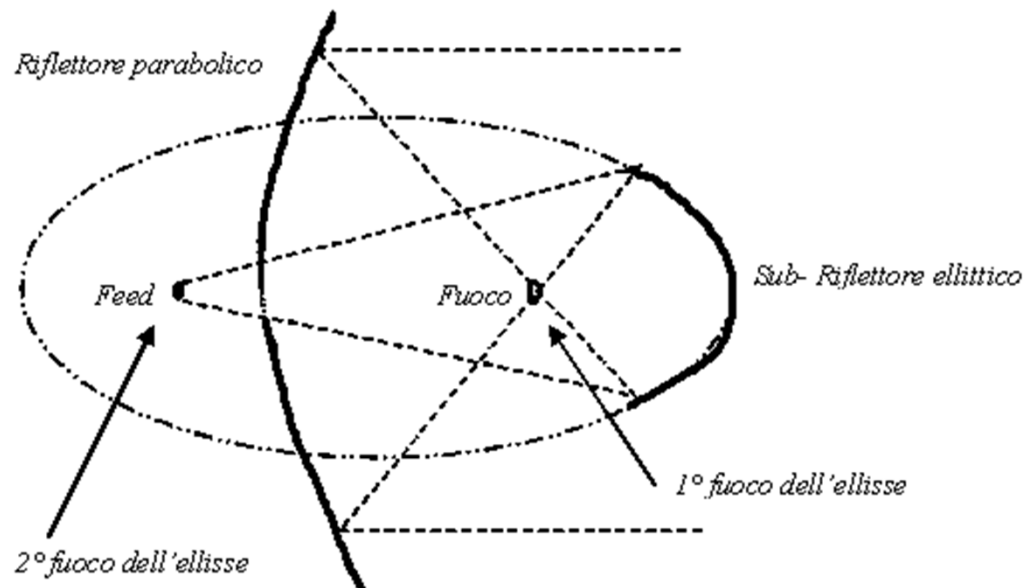


RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Lo svantaggio, oltre ad un problema costruttivo (che non è banale), è un elevato bloccaggio ed una discreta componente cross-polare (dovuta ad effetti di diffrazione che alterano la polarizzazione del campo).

Anche in questo caso si può ricorrere ad una configurazione offset, migliorando vari aspetti e, nonostante la dissimmetria, ottenendo una componente cross-polare molto bassa (teoricamente anche nulla).



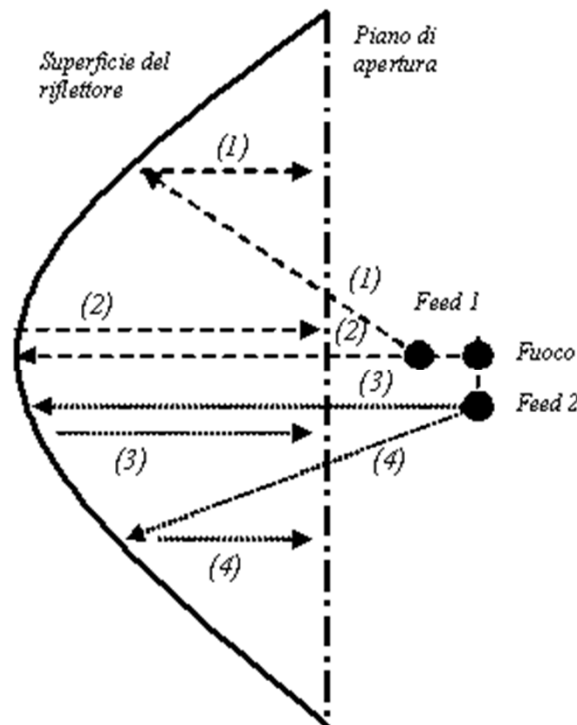
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Come ultima cosa consideriamo i riflettori a fascio sagomato.

Per ottenere un tale tipo di fascio dovrei usare feed larghi.

Infatti spostando il feed sul piano focale, si sposta il puntamento del fascio.



*Se il feed non è posto nel fuoco, sul piano di apertura i raggi non arrivano più con la stessa fase.
Ad esempio, se il feed è posto più a sinistra del fuoco, i percorsi $(1)+(1)$ e $(2)+(2)$ sono diversi.
Se il feed è posto più in basso del fuoco, i percorsi $(3)+(3)$ e $(4)+(4)$ sono diversi.
Quindi posizionando opportunamente il feed riesco a sfasare i raggi sul piano di apertura a piacimento.*

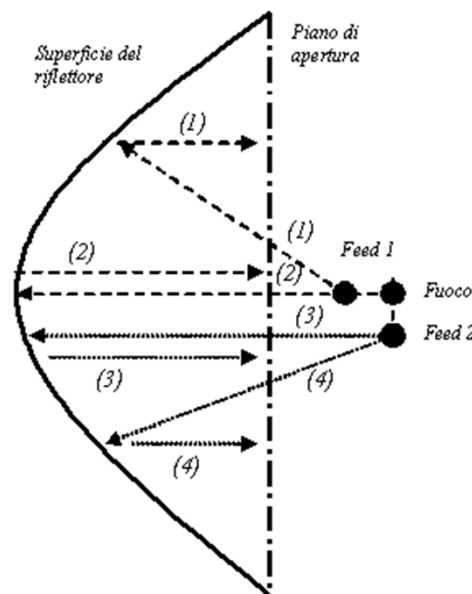
RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Ciò è dovuto al fatto che se il feed si sposta dal fuoco, i raggi che da esso partono dopo la riflessione non percorrono più lo stesso cammino, ma (se lo spostamento è piccolo) due cammini leggermente diversi.

Quindi le fasi di due punti diversi sul piano di apertura non sono più uguali, ma diverse.

Cioè se il feed non è posto nel fuoco, il piano di apertura non è più un piano equifase.



Se il feed non è posto nel fuoco, sul piano di apertura i raggi non arrivano più con la stessa fase.

Ad esempio, se il feed è posto più a sinistra del fuoco, i percorsi (1)+(1) e (2)+(2) sono diversi.

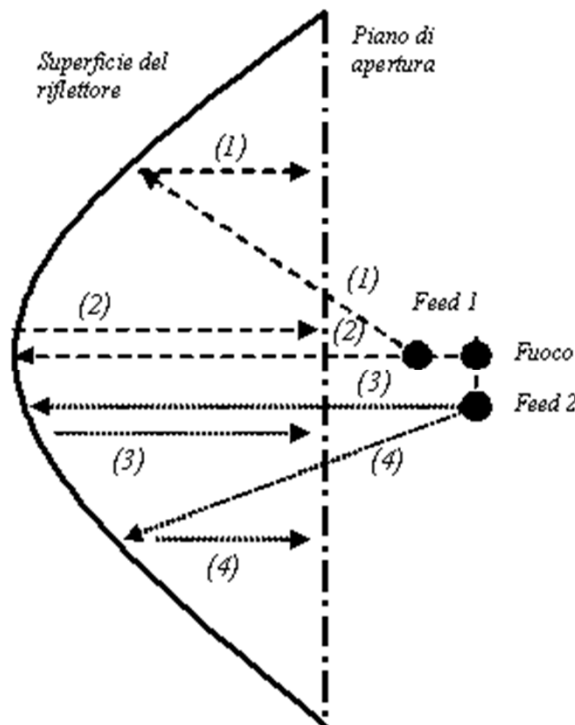
Se il feed è posto più in basso del fuoco, i percorsi (3)+(3) e (4)+(4) sono diversi.

Quindi posizionando opportunamente il feed riesco a sfasare i raggi sul piano di apertura a piacimento.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Analogamente, se il feed è esteso, allora esso non potrà più considerarsi puntiforme, ed ogni punto del feed produrrà dei raggi che sul piano di apertura non avranno più la stessa fase, ma la fase di tali raggi dipenderà dalla posizione del punto del feed sul piano focale.



Se il feed non è posto nel fuoco, sul piano di apertura i raggi non arrivano più con la stessa fase.

Ad esempio, se il feed è posto più a sinistra del fuoco, i percorsi $(1)+(1)$ e $(2)+(2)$ sono diversi.

Se il feed è posto più in basso del fuoco, i percorsi $(3)+(3)$ e $(4)+(4)$ sono diversi.

Quindi posizionando opportunamente il feed riesco a sfasare i raggi sul piano di apertura a piacimento.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Di conseguenza è possibile sagomare opportunamente il feed in modo da avere sul piano di apertura un fascio sagomato a piacere, con le relazioni di fase desiderate fra i punti del piano.

Se uso due feed posso quindi illuminare due zone diverse in quanto alimentare l'uno o l'altro equivale a spostare il feed verso destra o sinistra e quindi a spostare il fascio (spostare il feed sul piano focale \leftrightarrow spostare il fascio); per cui coi riflettori si possono avere più servizi a frequenze diverse.

Se voglio che il fascio punti in due direzioni diverse, dovrei usare due feed.

Quindi, se voglio ottenere un fascio sagomato, ossia se voglio che il puntamento vari in un certo range di direzioni, devo usare più feed, o, in alternativa, un feed largo.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Tipicamente si utilizza un allineamento di feed elementari per alimentare il riflettore, e le proprietà di irradiazione del feed complessivo saranno date dalle proprietà di irradiazione dell'allineamento.

Si può ad esempio realizzare un riflettore con una certa progressione di fase semplicemente realizzando il feed mediante un array con la stessa progressione di fase desiderata.

Gli stessi risultati ottenibili utilizzando feed estesi o allineamenti di feed elementari, si possono ottenere con un feed piccolo a patto di deformare la superficie del riflettore; così facendo si riesce ad ottenere una deformazione di fase capace di garantire il fascio desiderato.

Si ottengono buoni risultati con spostamenti di qualche lunghezza d'onda dall'andamento parabolico.

RIFLETTORI

Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Si noti che, se si dà una progressione di fase ad un allineamento di antenne, si ottiene uno spostamento del fascio nel dominio della variabile u , senza però deformare il fascio stesso.

Invece nel caso di antenne a riflettore, introducendo una progressione di fase e facendo una scansione laterale, provoco una traslazione ma anche una deformazione del fascio.

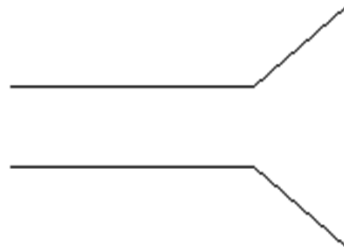
Per questo motivo la scansione sarà limitata a meno di non modificare, in maniera opportuna, la forma del riflettore.

RIFLETTORI

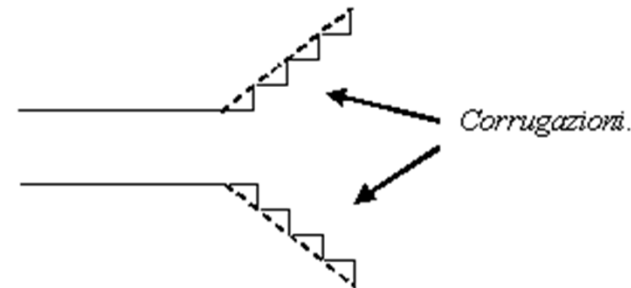
Analisi di Riflettori: Campo di Apertura

Di solito i feed sono costituiti da trombini elettromagnetici, ossia da un tratto di guida d'onda (rettangolare o circolare) che termina allargata.

All'interno di tale guida è possibile avere delle corrugazioni, le quali mi danno un campo con buona simmetria di rotazione sia riguardo all'ampiezza che riguardo alla polarizzazione (e quindi l'efficienza η_x è molto elevata).



Trombino elettromagnetico costituito da una guida d'onda troncata ed allargata.



Trombino elettromagnetico costituito da una guida d'onda troncata ed allargata con corrugazioni sulle pareti.

Spesso si usano più trombini per il feed (allineamenti di trombini), in modo da realizzare un fascio sagomato. Cioè coi feed si sagoma la distribuzione di apertura perché essa mi darà la stessa distribuzione di campo all'infinito. La stessa cosa si può ottenere deformando il riflettore: lo scopo è infatti che il campo all'infinito non sia equifase, ma sia sagomato.