

Antenne a schiera (array)

- L'efficienza di un sistema di telecomunicazione dipende anche dalle antenne utilizzate che devono avere caratteristiche diverse a seconda del tipo di servizio e di applicazione.
 - ponte radio: collegamento tra punti fissi, antenne fortemente direttive al fine di irradiare la maggior parte della potenza disponibile nella direzione del ricevitore che a sua volta deve essere in grado di raccogliere la maggior parte della potenza.
 - sistemi d'area: collegamento tra corrispondenti in posizioni diverse, antenne non eccessivamente direttive, il trasmettitore dovrà essere in grado di raggiungere il ricevitore ovunque si trovi, ed il ricevitore dovrà essere in grado di ricevere il segnale da qualsiasi direzione provenga.
- È importante disporre di antenne dalle caratteristiche radiative anche molto diverse  sagomare opportunamente il diagramma di radiazione  realizzare antenne complesse “assemblando” antenne più semplici secondo determinate configurazioni geometriche ed elettriche.



- Il campo irradiato dall'antenna complessiva (detta ARRAY o SCHIERA) è uguale alla sovrapposizione dei campi irradiati dai singoli elementi (solitamente uguali fra loro, pur non essendo necessario)  per ottenere antenne molto direttive occorre che i campi interferiscano costruttivamente nelle direzioni desiderate e distruttivamente in tutte le altre.
- I parametri di progetto sui quali operare per ottenere il diagramma di radiazione assegnato sono:
 - configurazione geometrica della schiera (lineare, circolare, ecc....)
 - numero di elementi e distanza tra gli elementi
 - ampiezza della corrente di eccitazione dei singoli elementi
 - sfasamenti delle correnti di eccitazione dei singoli elementi
 - diagramma di radiazione dei singoli elementi



Antenne a schiera

Definizione generale: Date n sorgenti (antenne) disposte nello spazio, esse costituiscono una *Schiera di Antenne* se:

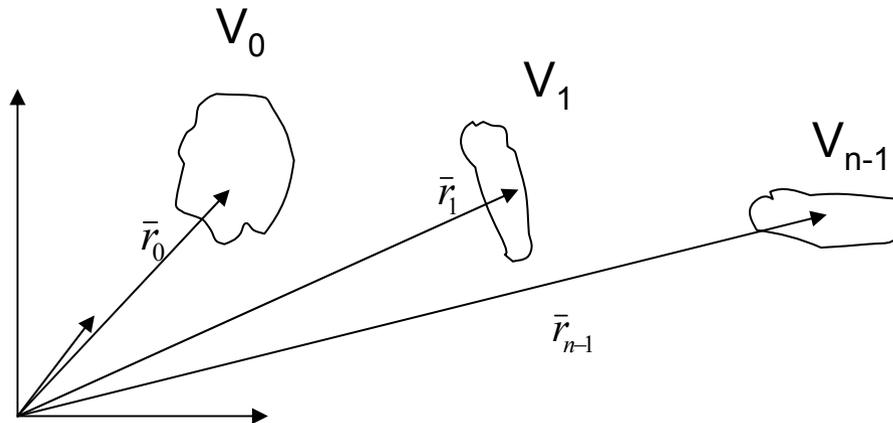
1. Le n antenne sono *uguali ed ugualmente orientate* (ad es. se sono dipoli, devono essere tutti uguali e paralleli);
2. Vale l'ipotesi di *disaccoppiamento delle sorgenti*:

$$I_k = \Lambda_k \cdot e^{-j\delta_k} I_0 \quad , \quad \Lambda_k, \delta_k \in \mathfrak{R} ; I_0 \in \mathbb{C}$$

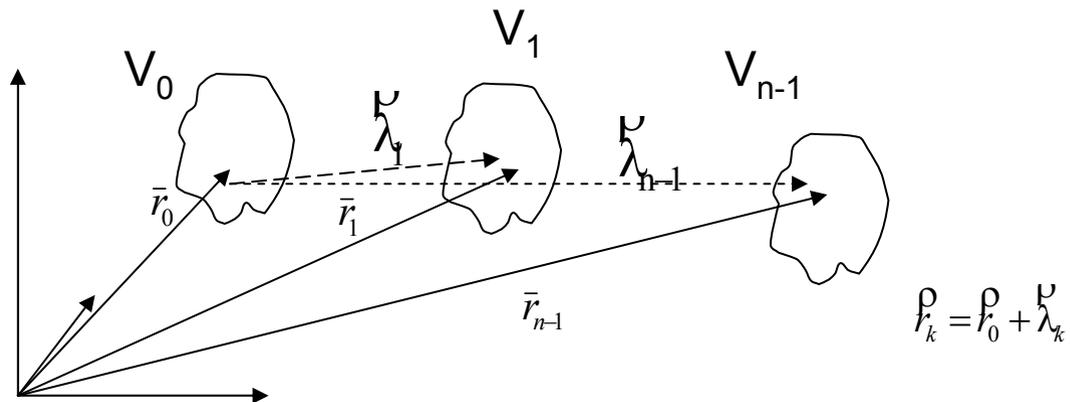


Antenne a schiera

- Si considerino n sorgenti (elettriche) racchiuse negli n volumi V_0, V_1, V_{n-1}



- La sorgente complessiva costituisce una cosiddetta Schiera di Antenne o Array se:
 1. La sorgente V_k si può ottenere per traslazione da V_0 (sorgenti V_i uguali ed ugualmente orientate), cioè:



2. Le densità di corrente impressa nelle sorgenti V_i sono uguali fra loro a meno di uno sfasamento e una costante moltiplicativa, cioè:

$$J_k(\bar{r}_k) = \Lambda_k e^{-j\delta_k} J_0(\bar{r}_0)$$

dove $\Lambda_0 = 1$ e $\delta_0 = 0$

Tale relazione esprime l'ipotesi che i singoli elementi dell'array irradiano come fossero isolati, senza nessun accoppiamento reciproco (si trascurano le correnti di mutua polarizzazione).

A seconda della posizione reciproca degli elementi della schiera si distinguono, ad esempio, **schiere lineari**, **schiere circolari** e **schiere planari**.

Fattore complesso di schiera

- Ricordando che per l'antenna complessiva vale il principio di sovrapposizione degli effetti, si avrà per il momento equivalente della schiera:

$$\vec{M}^{\rho} = \sum_0^{n-1} \vec{M}_k^{\rho} = \sum_0^{n-1} \left(\int_{V_k} J_k^{\rho}(\vec{r}_k) \cdot e^{j\beta \vec{r}_k \cdot \vec{i}_r} dV_k \right)$$

- e quindi sostituendo le proprietà della schiera:

$$\begin{aligned} \vec{M}^{\rho} &= \sum_{k=0}^{n-1} \left(\int_{V_0} \Lambda_k \cdot J_0^{\rho}(\vec{r}_0) \cdot e^{-j\delta_k} \cdot e^{j\beta(\vec{r}_0 + \lambda_k \vec{i}_r) \cdot \vec{i}_r} dV_0 \right) = \\ &= \underbrace{\left[\sum_{k=0}^{n-1} \Lambda_k \cdot e^{j(\beta \lambda_k \vec{i}_r \cdot \vec{i}_r - \delta_k)} \right]}_{F(\theta, \phi)} \cdot \underbrace{\int_{V_0} J_0^{\rho}(\vec{r}_0) \cdot e^{j\beta \vec{r}_0 \cdot \vec{i}_r} dV_0}_{\vec{M}_0^{\rho}(\theta, \phi)} \end{aligned}$$

$$F(\theta, \phi) = \sum_0^{n-1} \Lambda_k \cdot e^{j(\beta l_k^p \cdot \hat{i}_r - \delta_k)}$$

Fattore complesso di schiera

- $M_0^p(\theta, \phi)$ momento equivalente del singolo elemento radiante
- Il fattore complesso di schiera dipende dalla geometria, dal numero di elementi e dalle alimentazioni, ma non dal tipo di antenne utilizzate.
- $|F(\theta, \phi)|$ prende il nome di **fattore di schiera**
- Con queste definizioni il momento equivalente della schiera diventa:

$$M^p(\theta, \phi) = F(\theta, \phi) \cdot M_0^p(\theta, \phi)$$

- e ricordando l'espressione del campo elettrico e del potenziale vettore magnetico in zona di campo lontano:

$$\bar{E} = -j\omega \hat{i}_r \times \bar{A} \times \hat{i}_r \quad \text{e} \quad \bar{A} = \frac{\mu}{4\pi} \bar{M} \frac{e^{-j\beta r}}{r}$$



- si ottiene:

$$\begin{aligned} \bar{E}(\bar{r}, \theta, \phi) &= -j \left(\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \cdot \hat{i}_r \times F(\theta, \phi) \bar{M}_0(\theta, \phi) \times \hat{i}_r \right) \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{2\lambda r} = \\ &= F(\theta, \phi) \cdot \underbrace{\bar{E}_0(\bar{r}, \theta, \phi)}_{\text{campo generato dalla sola sorgente elementare}} \end{aligned}$$

- L'interferenza tra gli n elementi della schiera va a modificare il campo irradiato dal singolo elemento della schiera nella direzione (θ, ϕ) di un fattore pari a $F(\theta, \phi)$; il campo complessivamente irradiato dalla schiera potrà risultare completamente diverso dal campo della singola antenna elementare.
- $\bar{E}(\bar{r}, \theta, \phi) // \bar{E}_0(\bar{r}, \theta, \phi)$ (nel senso dei vettori complessi): **il campo irradiato dalla schiera ha la stessa polarizzazione del campo irradiato dal singolo elemento.**

Grandezze caratteristiche della radiazione per le schiere

$$I_R(\theta, \phi) = |F(\theta, \phi)|^2 \cdot I_{R0}(\theta, \phi)$$

$$f(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{I_R(\theta, \phi)}{I_R(\theta_M, \phi_M)}} = \left| \frac{F(\theta, \phi)}{F(\theta_M, \phi_M)} \right| \sqrt{\frac{I_{R0}(\theta, \phi)}{I_{R0}(\theta_M, \phi_M)}} = \left| \frac{F(\theta, \phi)}{F(\theta_M, \phi_M)} \right| f_0(\theta, \phi)$$

$$d(\theta, \phi) \propto |f(\theta, \phi)|^2 = \left| \frac{F(\theta, \phi)}{F(\theta_M, \phi_M)} \right|^2 |f_0(\theta, \phi)|^2$$

- Scegliendo opportunamente i valori di n , λ_k , δ_k (che compaiono nell'espressione di F) e' possibile allora sagomare opportunamente il diagramma di radiazione $f(\theta, \phi)$ della schiera.



Il rapporto: $\frac{|F(\theta, \phi)|}{|F(\theta_M, \phi_M)|}$

descrive la “*Superficie di Radiazione del Fattore di Schiera*” e rappresenta la superficie di radiazione che avrebbe la schiera **se** fosse costituita da elementi isotropi



Schiere lineari uniformi (1)

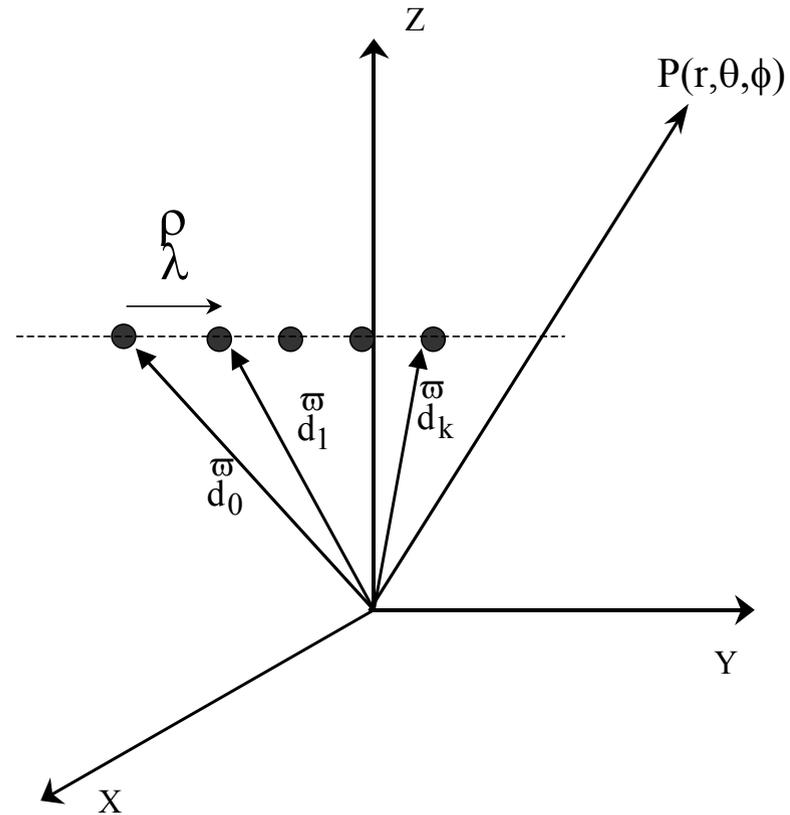
Una schiera si dice *lineare uniforme* se:

1. Le n antenne sono *allineate* lungo una assegnata direzione (detta di allineamento) ed equidistanti:

$$d_k = d_0 + k\lambda = d_0 + k\lambda$$

Il vettore è detto vettore di allineamento ed il suo modulo rappresenta la distanza fra gli elementi della schiera;

2. Le alimentazioni di elementi consecutivi risultano sfasate di una quantità δ costante, e cioè, $\Lambda_k=1$ e $\delta_k = k\cdot\delta$



Schiere lineari uniformi (2)

$$\vec{E}(r, \theta, \phi) = F(\theta, \phi) \cdot \vec{E}_0(r, \theta, \phi)$$

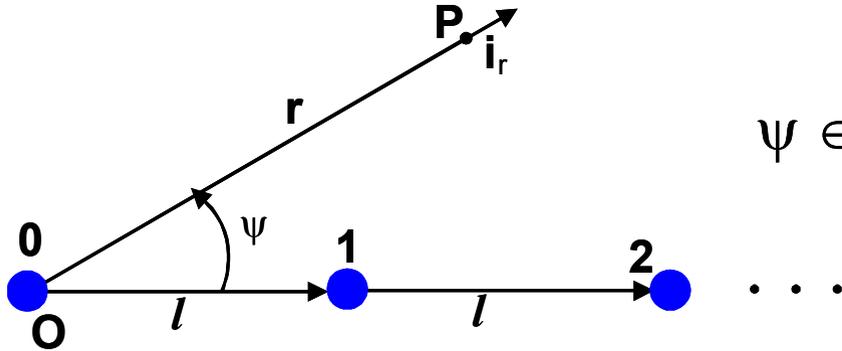
$F(\theta, \phi)$: fattore complesso di schiera:

$$F(\theta, \phi) = \sum_k e^{jk(\beta \rho \hat{i}_r - \delta)}$$

$$F(\theta, \phi) = e^{j(n-1)u} \cdot \frac{\sin(nu)}{\sin(u)} \quad \text{con} \quad u = \frac{\pi \lambda}{\lambda} \cos \Psi - \frac{\delta}{2}$$



Schiere lineari uniformi (3)



$$\psi \in [0; \pi]$$

$$u_1 = -\frac{\pi\lambda}{\lambda} - \frac{\delta}{2}$$

$$u_2 = \frac{\pi\lambda}{\lambda} - \frac{\delta}{2}$$

Dovendo essere $0 \leq \psi < \pi$ allora necessariamente $u_1 \leq u \leq u_2$, dove:

- Si può dimostrare che, scegliendo l'origine del sistema di riferimento nel punto medio della schiera, scompare l'esponenziale complesso ed il fattore complesso di schiera diviene una funzione reale:

$$F(u) = \frac{\sin(nu)}{\sin(u)}$$

- fattore di schiera *normalizzato*

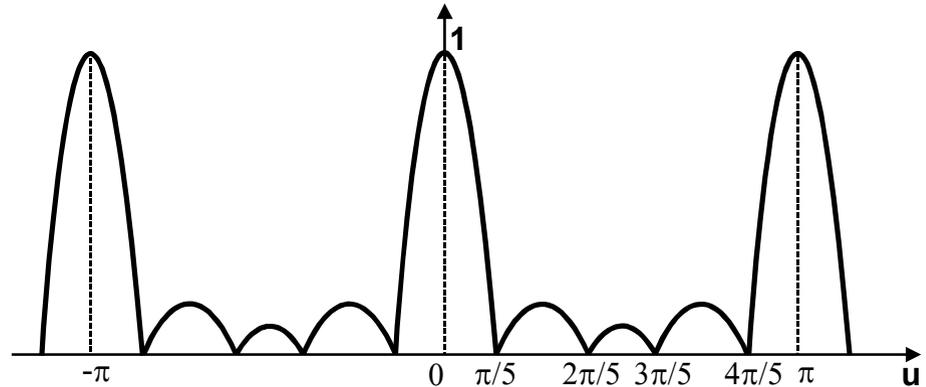
$$|F|_{norm} = \frac{|F|}{|F|_{MAX}} = \frac{1}{n} \left| \frac{\sin(nu)}{\sin(u)} \right|$$

- Per ottenere una schiera lineare uniforme con determinate caratteristiche, si possono scegliere i parametri di progetto (λ , n , d) in modo che il fattore di schiera normalizzato abbia l'andamento corrispondente alle proprietà radiative desiderate.



Fattore di schiera normalizzato

$|F(u)|_{\text{norm}}$ e' periodica di periodo π .



- **Massimi assoluti** : $|F(u)|_{\text{norm}}$ ha un *massimo assoluto* (di valore =1) per tutti gli $u = k\pi$, $k \in \mathbb{Z}$, appartenenti all'intervallo permesso $[u_1, u_2]$.
- **Massimi relativi**: $|F(u)|_{\text{norm}}$ presenta inoltre dei *massimi relativi*, approssimativamente in corrispondenza di quei valori di $u \in [u_1, u_2]$ che massimizzano $|\sin(nu)|$, cioè $u = \pm (2k+1) \pi/2n \Rightarrow \cos\psi = \delta\lambda / 2\pi l \pm (2k+1) \lambda / 2ln$ $k= 1,2,3,..$
- **Zeri**: gli zeri di $|F(u)|_{\text{norm}}$ si hanno ovviamente per quegli $u \in [u_1, u_2]$ che annullano $|\sin(nu)|$, e cioè $u = \pm k\pi/n$ $k= 1,2,3,....., n-1, n+1, ...$ $\cos\psi = \delta\lambda / 2\pi l \pm k\lambda / nl$ $k= 1,2,3,....., n-1, n+1,$
- Gli zeri del fattore di schiera normalizzato corrispondono sempre a direzioni di zero della schiera complessiva
- *la funzione di radiazione complessiva è data dal prodotto fra il fattore di schiera normalizzato e la funzione di radiazione del singolo elemento radiante. Pertanto, in virtù di tale prodotto, le direzioni di massima radiazione della schiera complessiva possono non corrispondere né alle direzioni di massimo del fattore di schiera normalizzato, né ai massimi di radiazione del singolo elemento.*

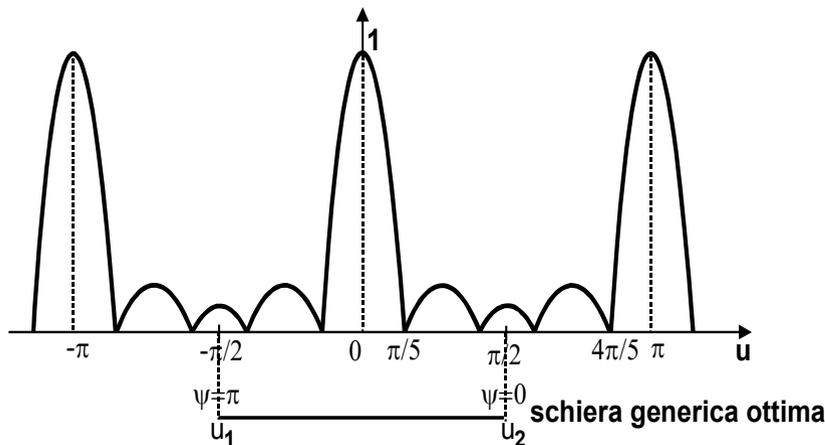
Progetto ottimo Schiere lineari uniformi

- Salvo rare eccezioni, una schiera lineare uniforme viene usualmente realizzata in modo che il fattore di schiera normalizzato abbia:
 1. Un solo massimo assoluto nell'intervallo $[u_1, u_2]$;
 2. Massimi relativi nell'intervallo $[u_1, u_2]$.decrescenti;
 3. Massima ampiezza dell'intervallo $[u_1, u_2]$ (nel rispetto delle condizioni 1 e 2)

Le condizioni 1) – 3) definiscono il cosiddetto *progetto ottimo* di una schiera, e si traducono quantitativamente nelle seguenti disuguaglianze

$$\frac{\pi\lambda}{\lambda} \geq \left| \frac{\delta}{2} \right|$$

$$[u_1, u_2] \subset \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right] \Rightarrow \frac{\pi\lambda}{\lambda} \pm \frac{\delta}{2} \leq \frac{\pi}{2}$$



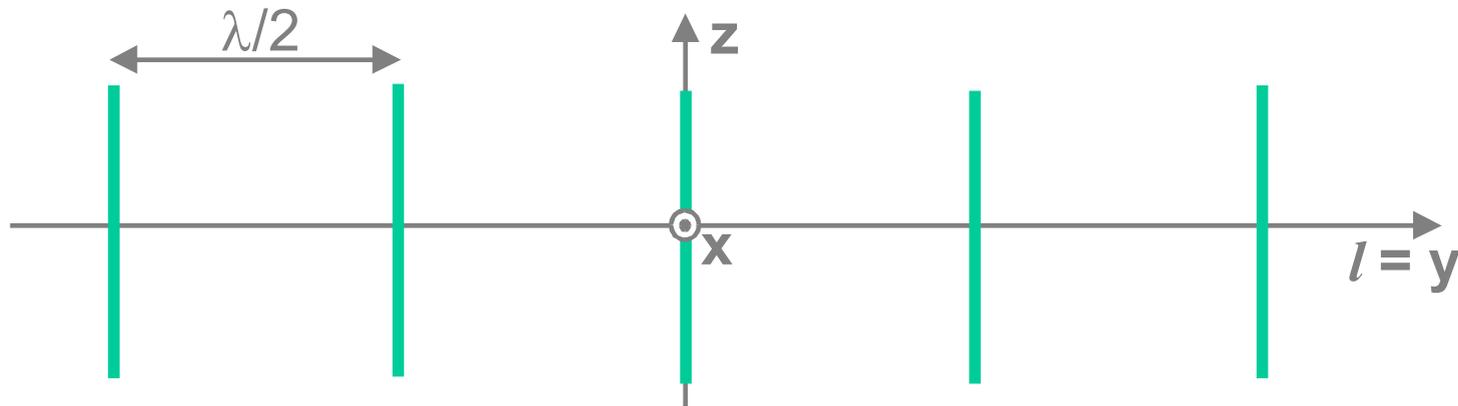
Esempio: $n=5$

Nel caso di progetto ottimo, il fattore di schiera normalizzato $|F(u)|_{\text{norm}}$ presenta un numero di massimi nell'intervallo $[-\pi/2, \pi/2]$ pari a $n-1$ (uno assoluto e $n-2$ relativi decrescenti).



Esempi di schiere: *broadside*

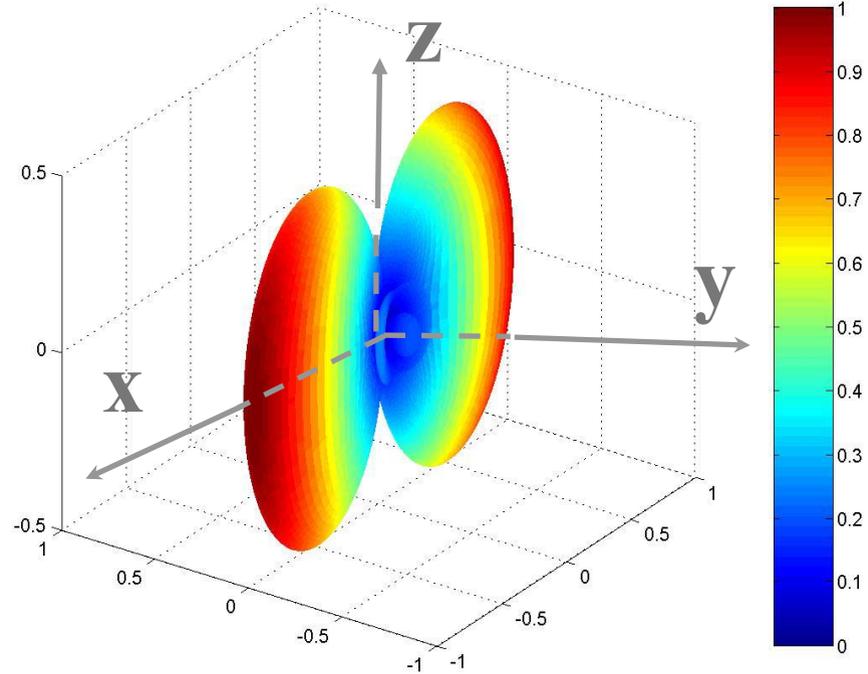
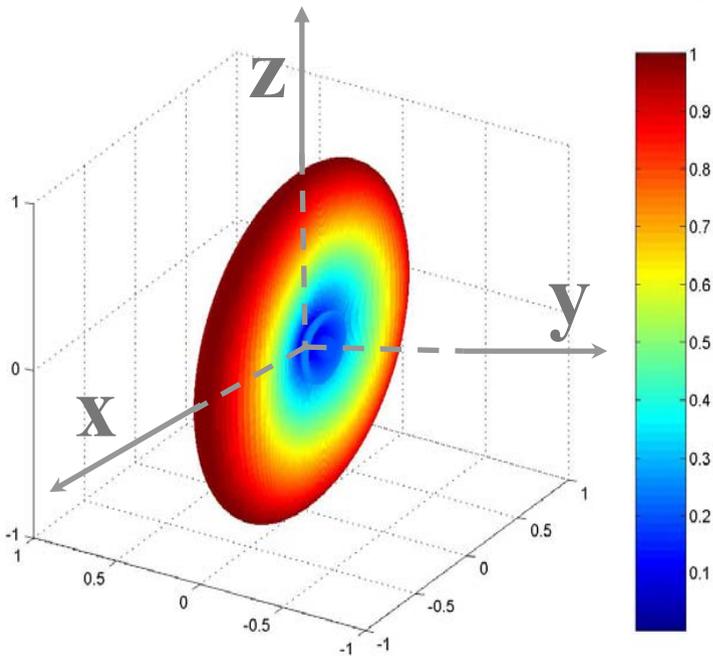
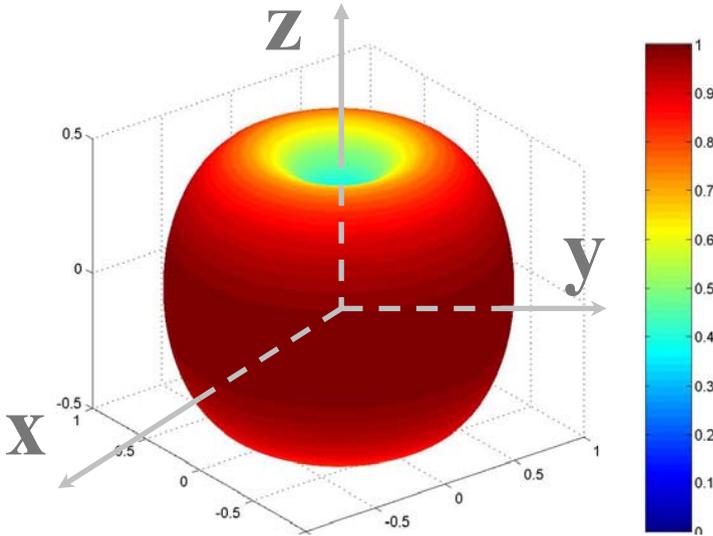
- Schiera uniforme *broadside* di 5 dipoli a mezz'onda, aventi y come direzione di allineamento



- Applicazioni: radar di sorveglianza (*fan-beam*)

(lobo principale “a ventaglio”)

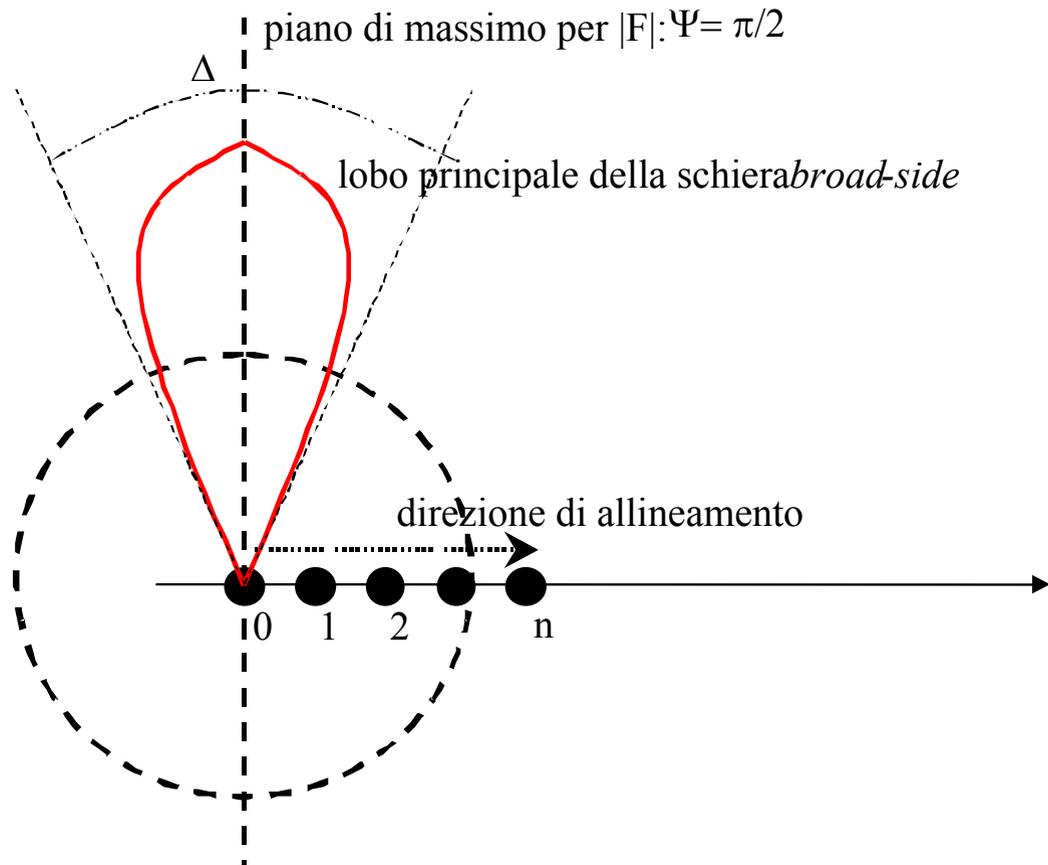
Esempi di schiere: *broadside*



$$f(\theta, \phi) = \frac{1}{5} \cdot \frac{\left| \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) \right|}{\text{sen} \theta} \cdot \frac{\left| \sin\left(\frac{5\pi}{2} \sin \theta \sin \phi\right) \right|}{\left| \sin\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta \sin \phi\right) \right|}$$

Schiera a radiazione trasversale: Broad-Side

Sono schiere lineari e uniformi aventi la direzione di massimo di $|F|_{\text{norm}}$ perpendicolare alla direzione di allineamento, cioè per $\Psi = \pi/2$



Schiere *Broadside* ($\Psi_{\max} = \pi/2$)

Progetto ottimo

- Lobo principale incluso:

$$u|_{\psi=\pi/2} = 0 \Rightarrow \left[\frac{\pi l}{\lambda} \cos \psi - \frac{\delta}{2} \right]_{\psi=\pi/2} = \frac{\delta}{2} = 0$$

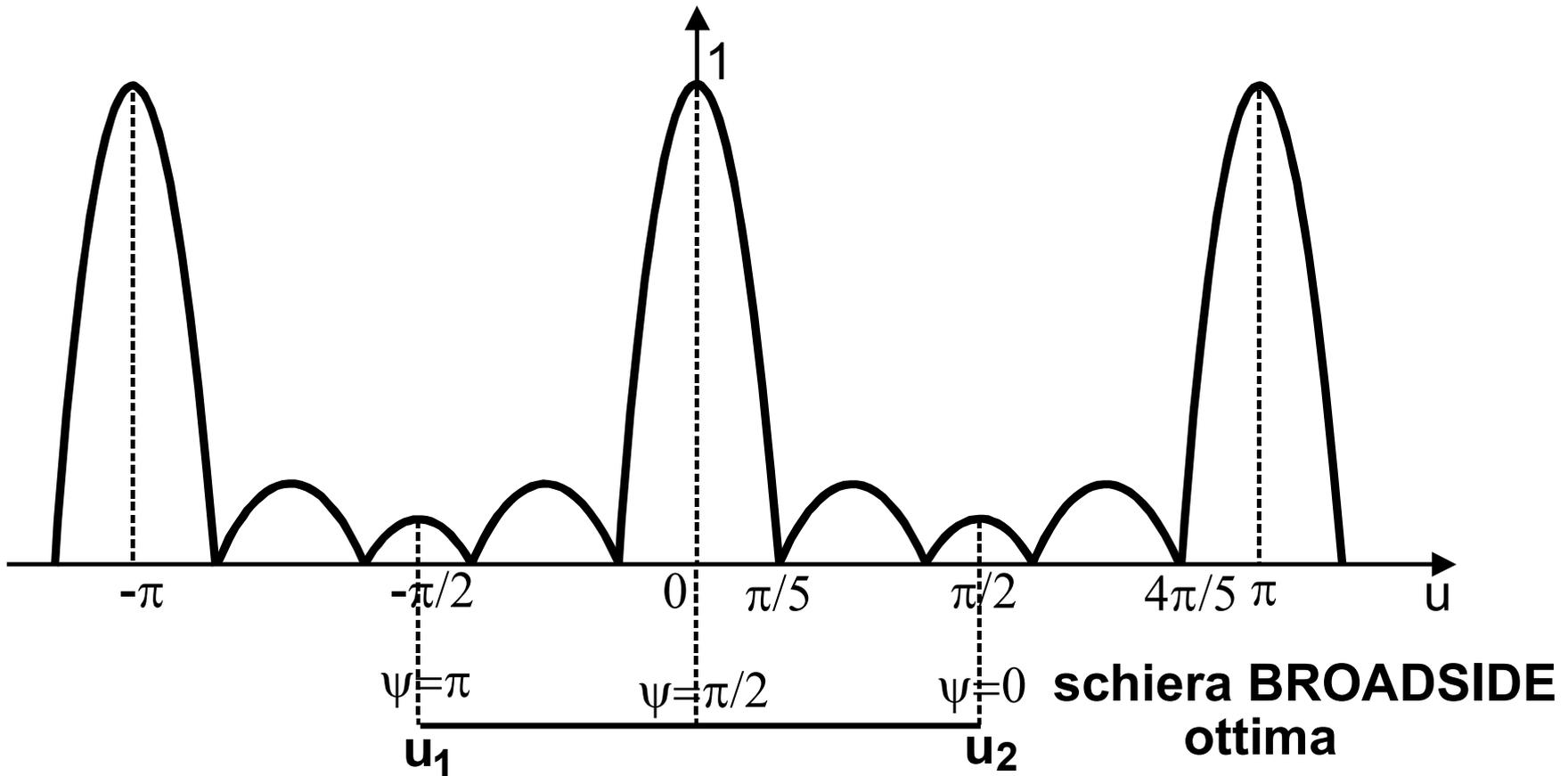
- Lobi secondari decrescenti:

$$\begin{cases} u_2 = u|_{\psi=0} = \frac{\pi}{2} \\ u_1 = u|_{\psi=\pi} = -\frac{\pi}{2} \end{cases} \Rightarrow \frac{\pi l}{\lambda} - \frac{\delta}{2} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow l = \frac{\lambda}{2}$$

$\delta = 0$ (elementi alimentati in fase) ; $l = \lambda/2$

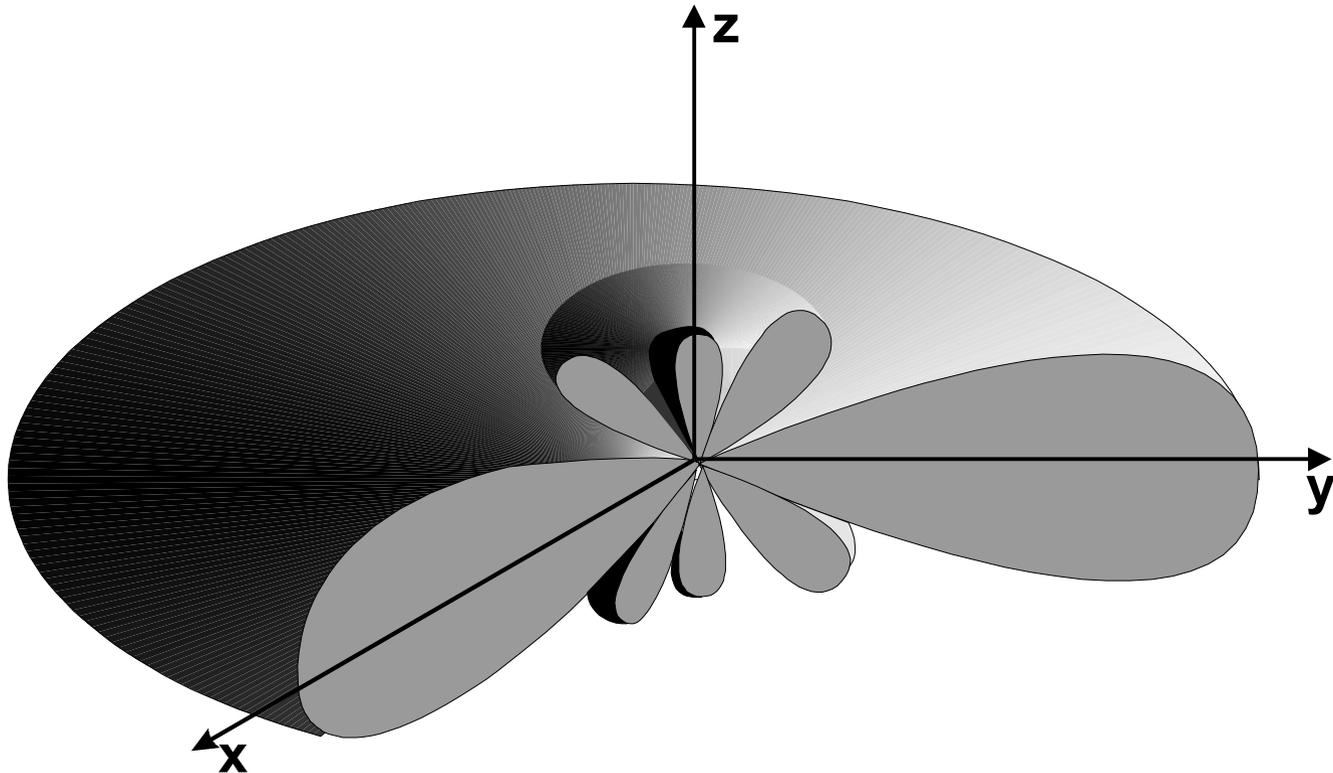
Schiere Broadside

- Direzione di massimo ($u = 0$): $\psi = \pi/2$



Schiere Broadside

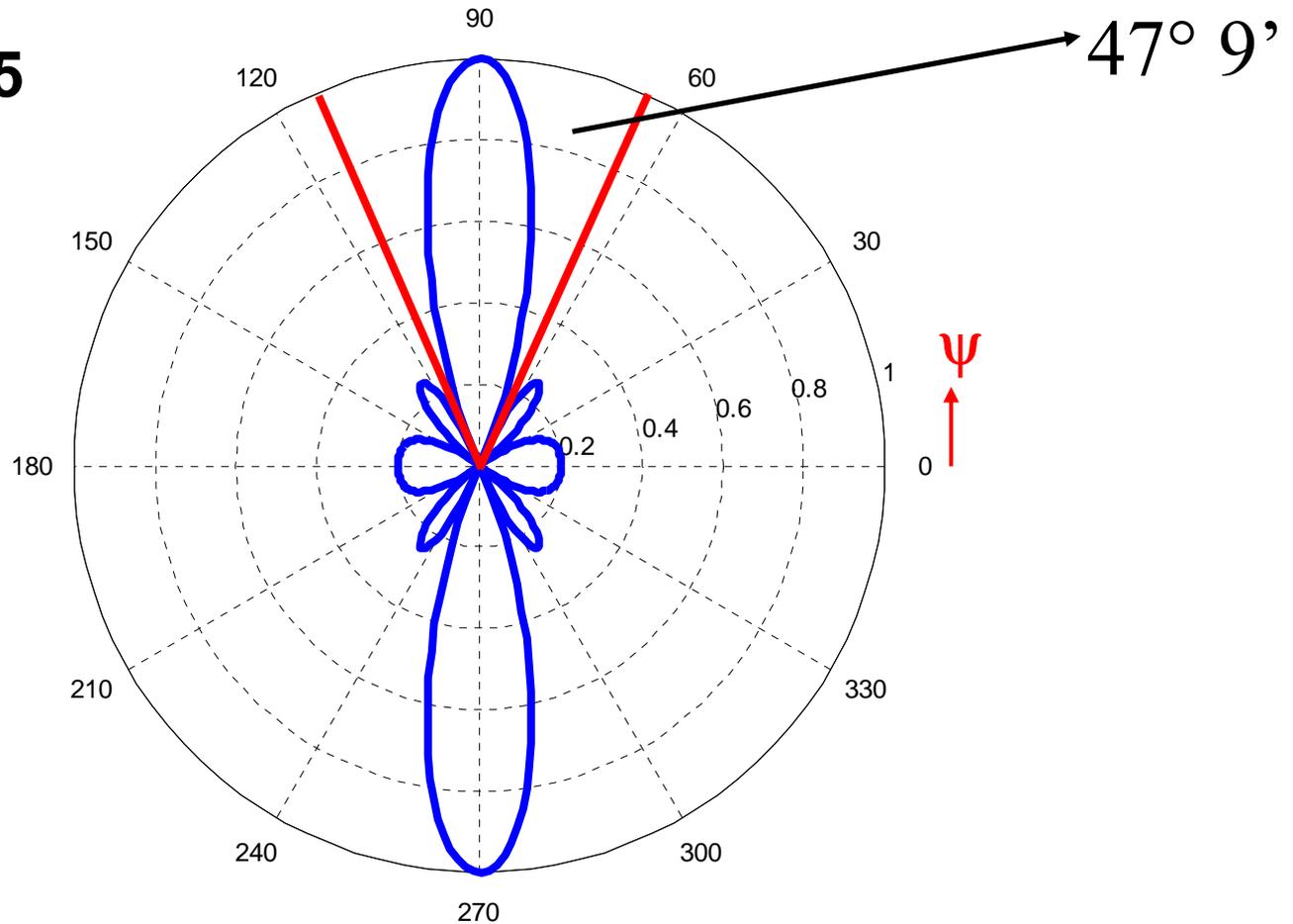
- Superficie di radiazione del fattore di schiera di antenna di una antenna broadside a 5 elementi allineati lungo l'asse z.



Schiere Broadside

- Diagramma (polare) di radiazione del fattore di schiera (normalizzato)

Caso n = 5



Schiere Broadside

- Apertura lobo principale nel caso di progetto ottimo:

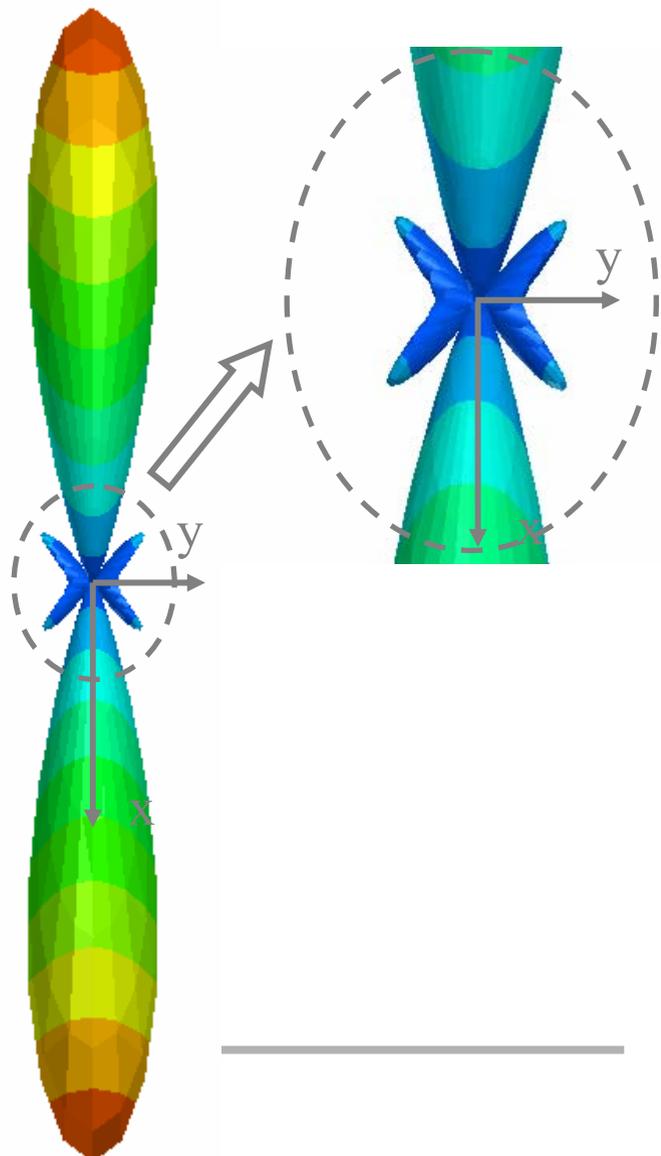
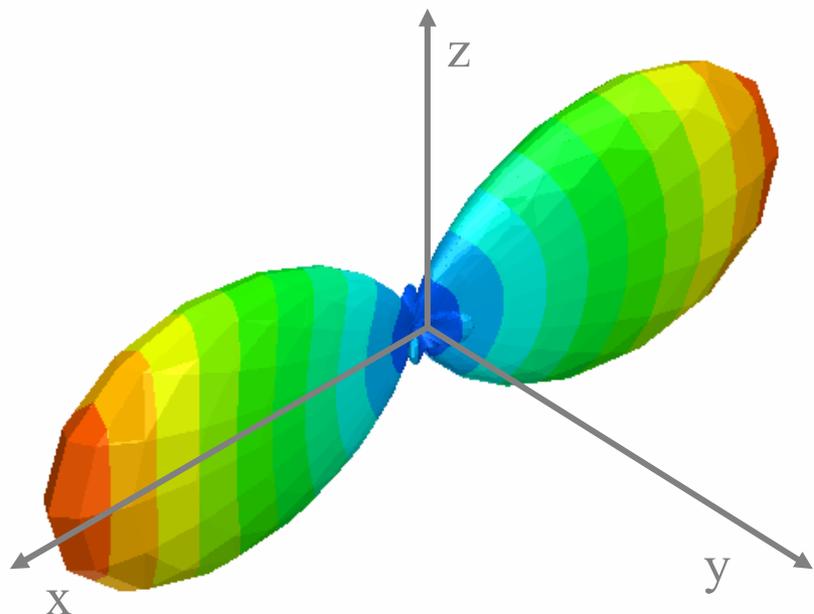
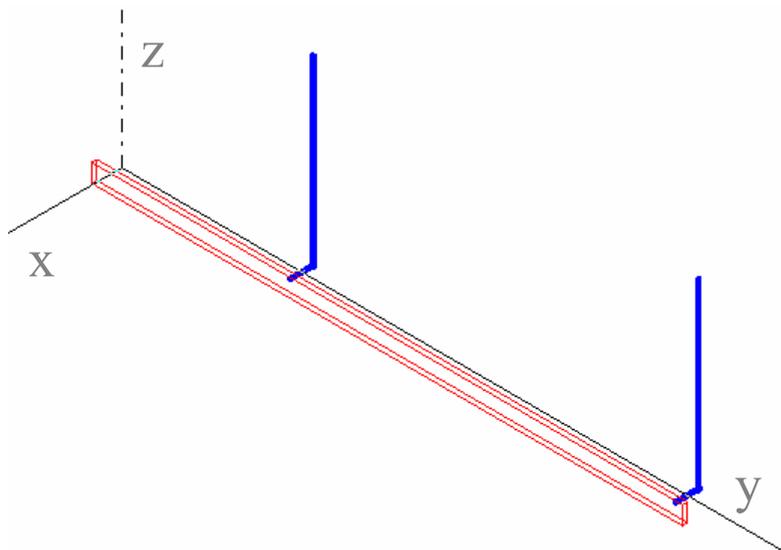
$$\Delta\psi_{\text{OTTIMO}} = 2 \operatorname{arcsen} \frac{2}{n}$$



- $n = 2$  $\Delta\psi_{\text{OTTIMO}} = 180^\circ$
- $n = 4$  $\Delta\psi_{\text{OTTIMO}} = 60^\circ$
- $n = 5$  $\Delta\psi_{\text{OTTIMO}} = 47^\circ 9'$
- $n = 20$  $\Delta\psi_{\text{OTTIMO}} = 11^\circ 30'$

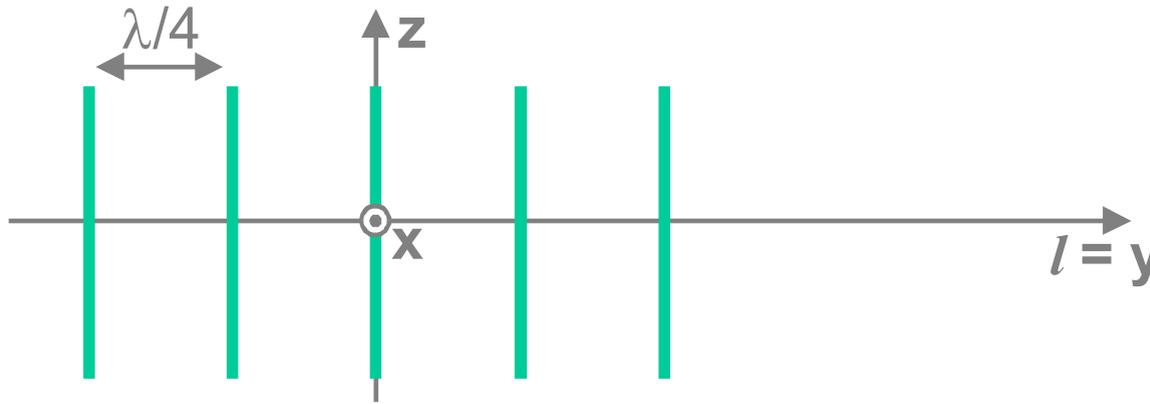
- All'aumentare del numero degli elementi cresce la direttività

Es. di schiere: broadside (n=5)



Esempi di schiere: end-fire

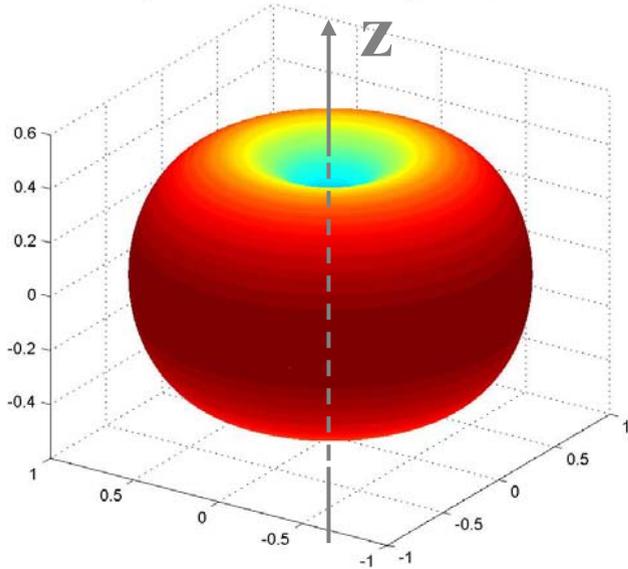
- Schiera uniforme *end-fire* di 5 dipoli a mezz'onda, aventi y come direzione di allineamento



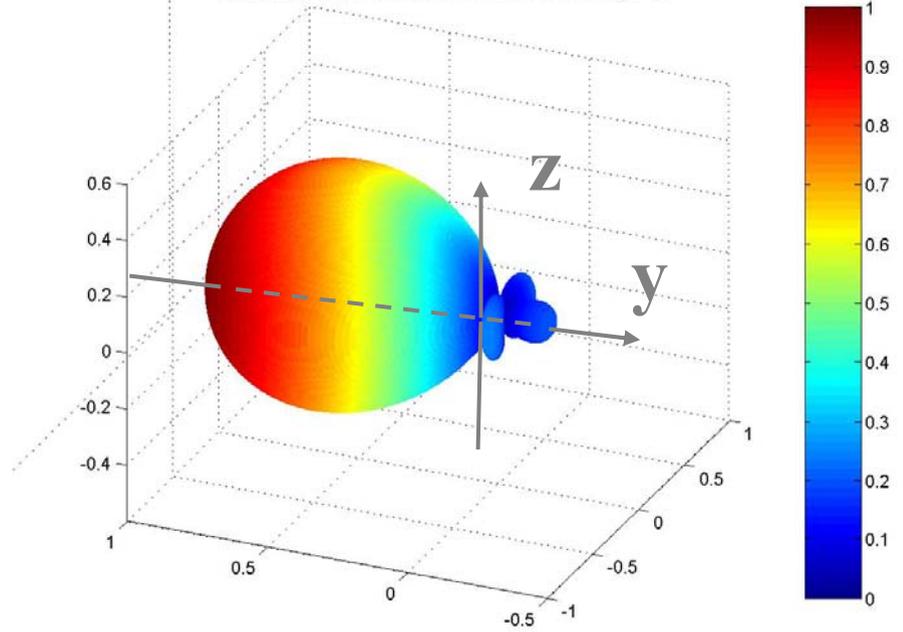
- Applicazioni: ricezione televisiva (media direttività e basso costo)

Esempi di schiere: end-fire

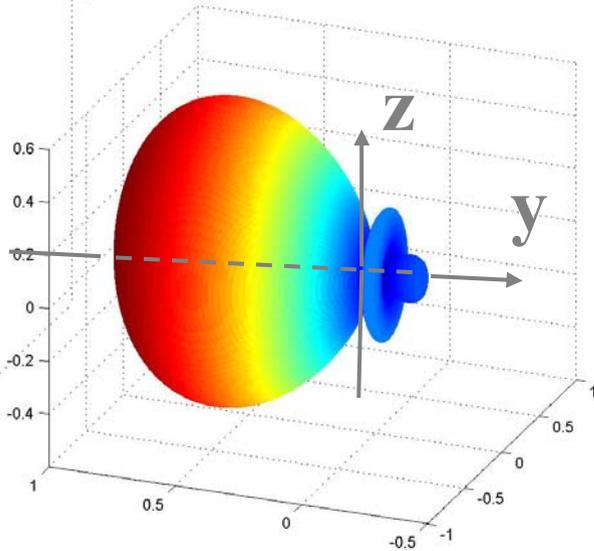
superficie di radiazione del dipolo a mezzonda



superficie di radiazione della schiera (n=5)



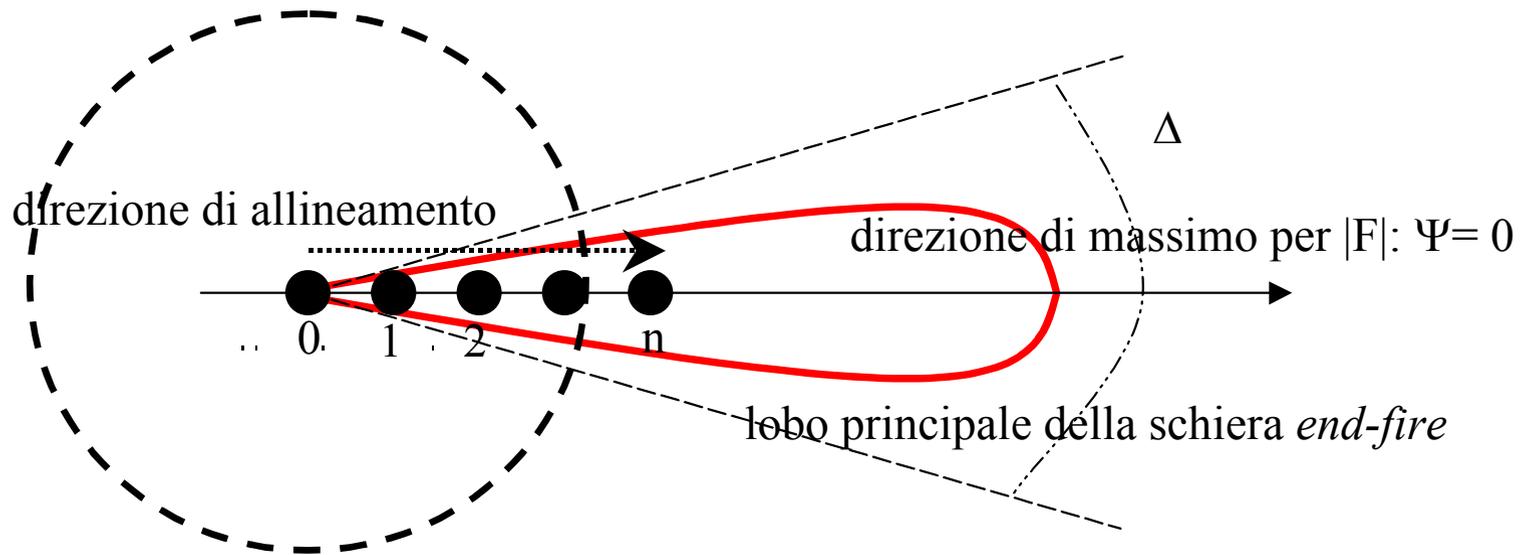
superficie di radiazione del fattore di schiera normalizzato



$$f(\theta, \phi) = \frac{1}{5} \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \right| \left| \frac{\sin\left(\frac{5\pi}{4} \cdot (1 - \sin \theta \sin \phi)\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{4} \cdot (1 - \sin \theta \sin \phi)\right)} \right|$$

Schiera End-Fire

Sono schiere lineari e uniformi aventi la direzione di massimo di $|F|_{\text{norm}}$ coincidenti con la direzione di allineamento, cioè per $\Psi=0$



Schiere End-fire ($\Psi_{\max} = 0$)

Progetto ottimo

- Lobo principale incluso:

$$u|_{\psi=0} = \left[\frac{\pi l}{\lambda} \cos \psi - \frac{\delta}{2} \right]_{\psi=0} = 0 \Rightarrow \delta = \frac{2\pi l}{\lambda} = \beta l$$

Lo sfasamento introdotto sulle alimentazioni deve essere uguale in modulo a quello introdotto dalla propagazione sulla distanza tra le antenne

- Lobi secondari decrescenti:

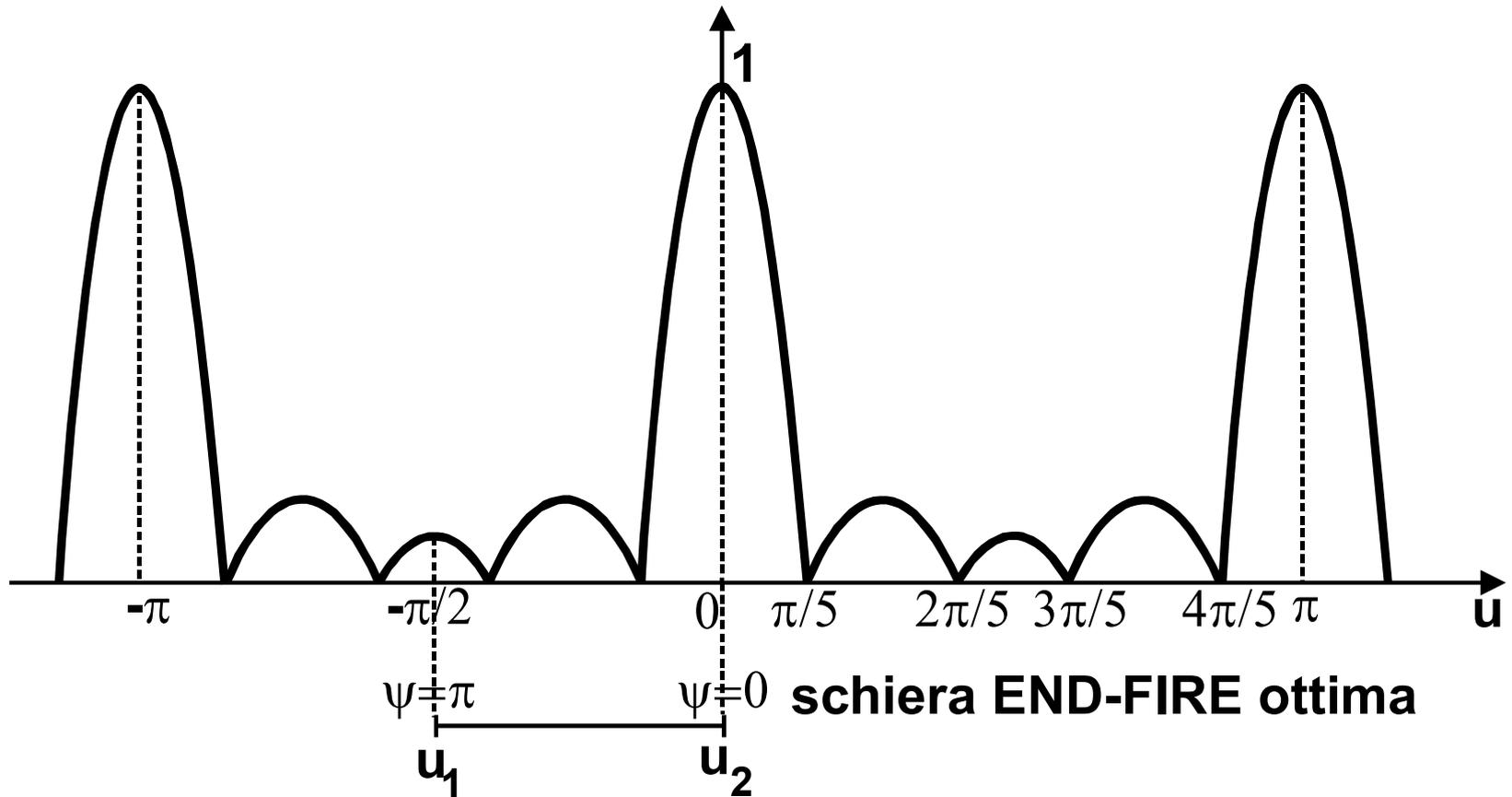
$$\begin{cases} u_2 = u|_{\psi=0} = 0 \\ u_1 = u|_{\psi=\pi} = -\frac{\pi}{2} \end{cases} \Rightarrow -\frac{2\pi l}{\lambda} = -\frac{\pi}{2} \Rightarrow l = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \delta = \frac{\pi}{2}$$

$$\delta = \pi/2 ; l = \lambda/4$$



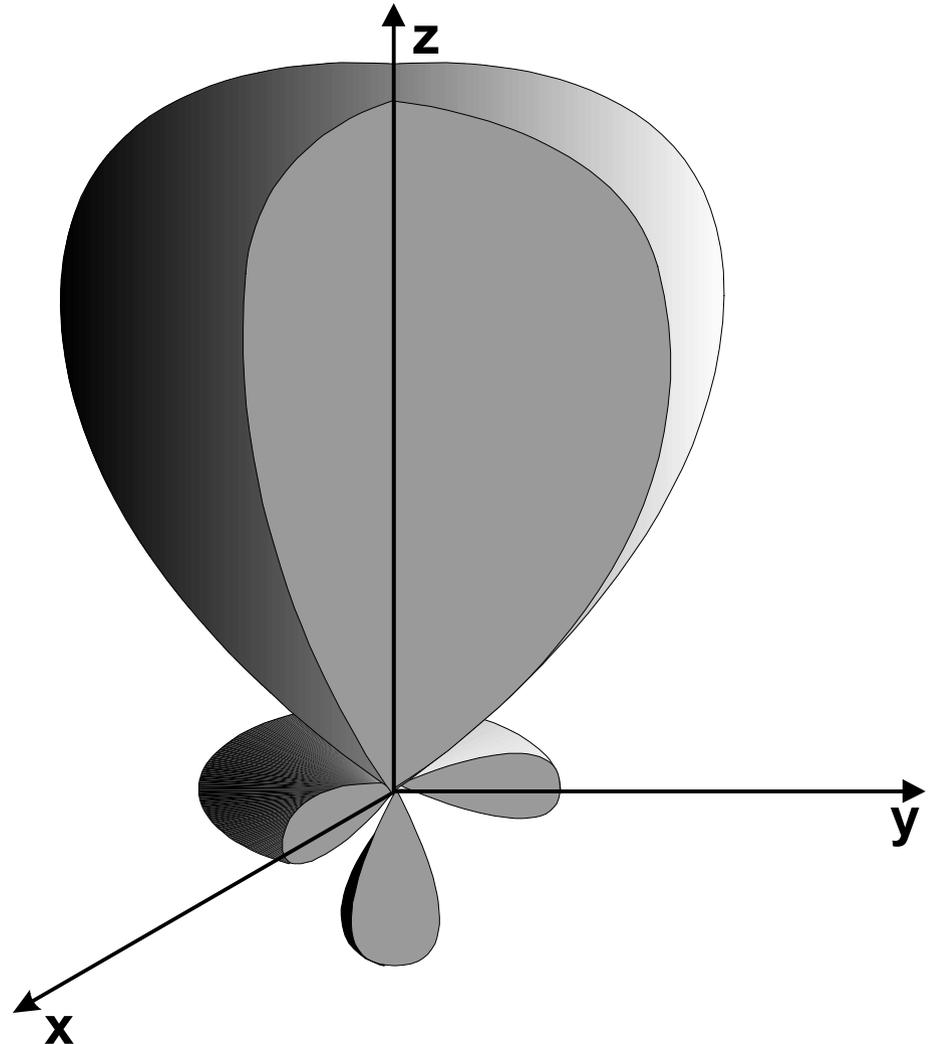
Schiere End-fire

- Direzione di massimo ($u = 0$): $\psi = 0$



Schiere End-fire

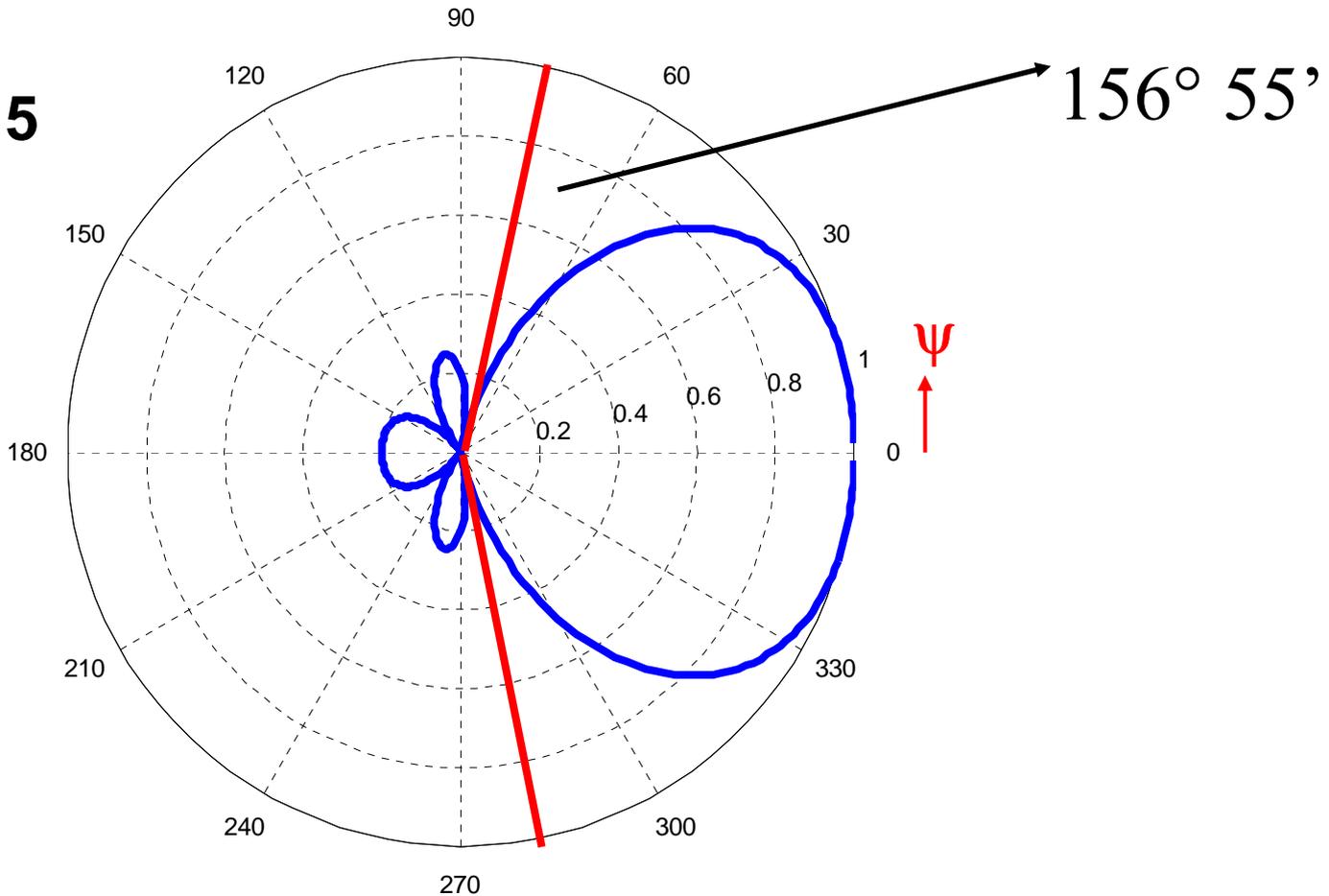
- Superficie di radiazione del fattore di schiera di antenna end-fire a 5 elementi allineati lungo l'asse z .



Schiere End-fire

- Diagramma (polare) di radiazione del fattore di schiera (normalizzato)

Caso $n = 5$



Schiere End-fire

- Apertura lobo principale nel caso di progetto ottimo:

$$\Delta\Psi_{\text{OTTIMO}} = 4 \operatorname{arcsen} \sqrt{\frac{2}{n}}$$

- $n = 2$  $\Delta\Psi_{\text{OTTIMO}} = 360^\circ$
- $n = 4$  $\Delta\Psi_{\text{OTTIMO}} = 180^\circ$
- $n = 5$  $\Delta\Psi_{\text{OTTIMO}} = 156^\circ 55'$
- $n = 8$  $\Delta\Psi_{\text{OTTIMO}} = 120^\circ$
- $n = 20$  $\Delta\Psi_{\text{OTTIMO}} = 72^\circ 30'$
- $n = 40$  $\Delta\Psi_{\text{OTTIMO}} = 51^\circ 15'$

- All'aumentare del numero degli elementi cresce la direttività.



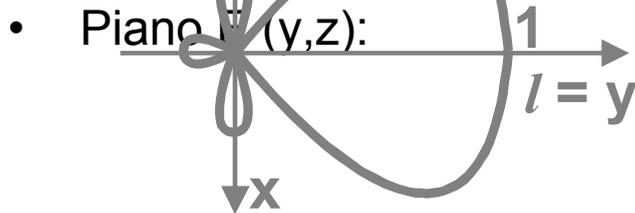
Esempi di schiere: end-fire

- Piano H (x,y):

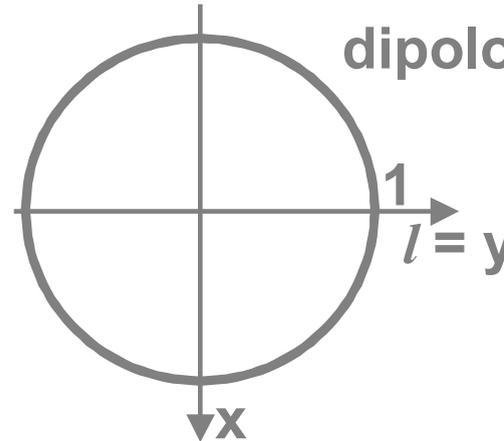
fattore di schiera

e

SCHIERA

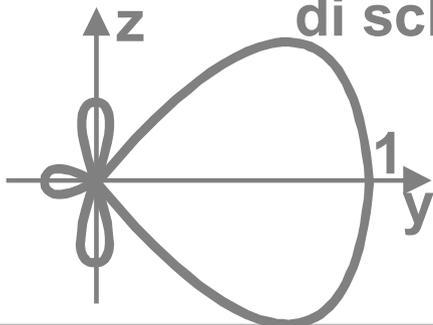


dipolo

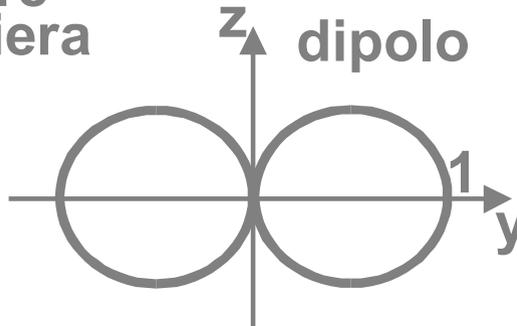


- Piano verticale (x,z): solo lobi secondari

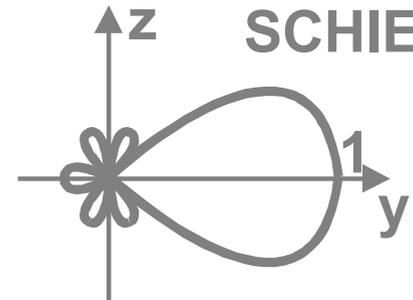
fattore di schiera



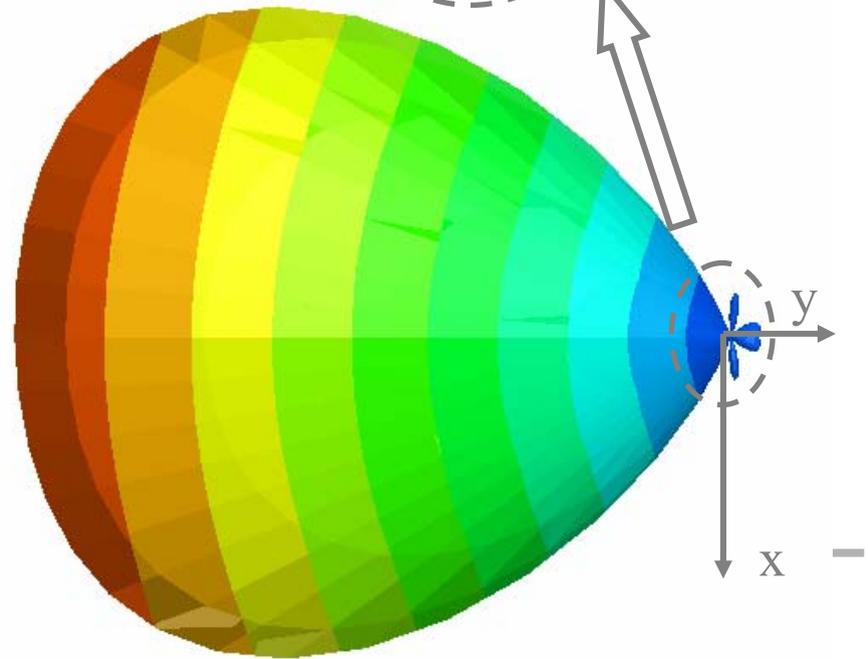
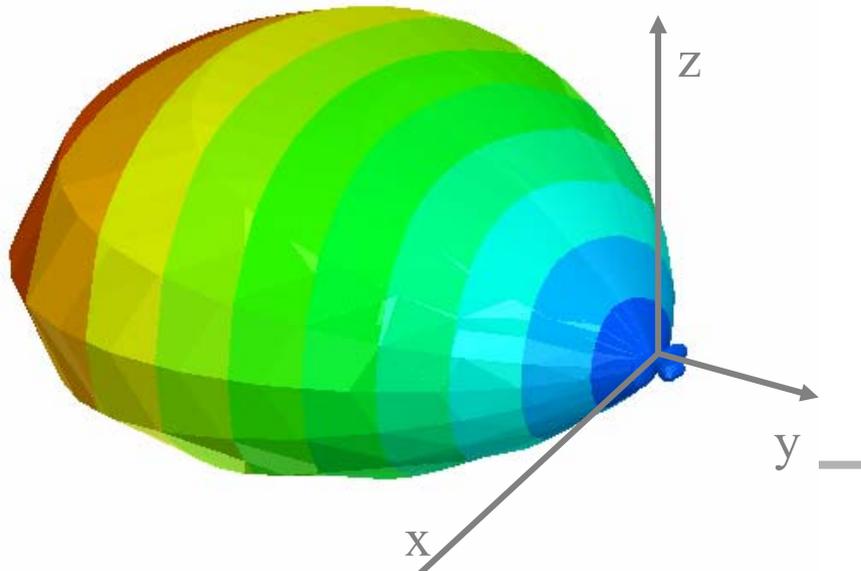
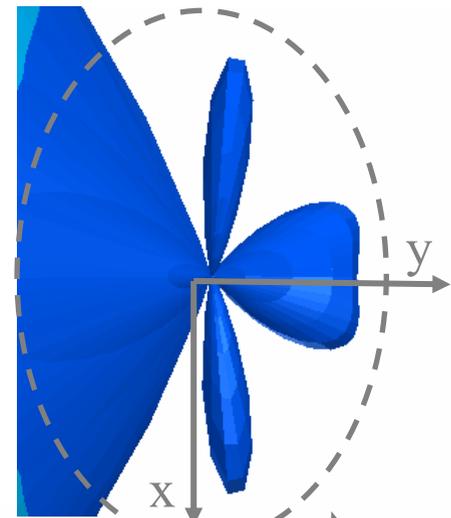
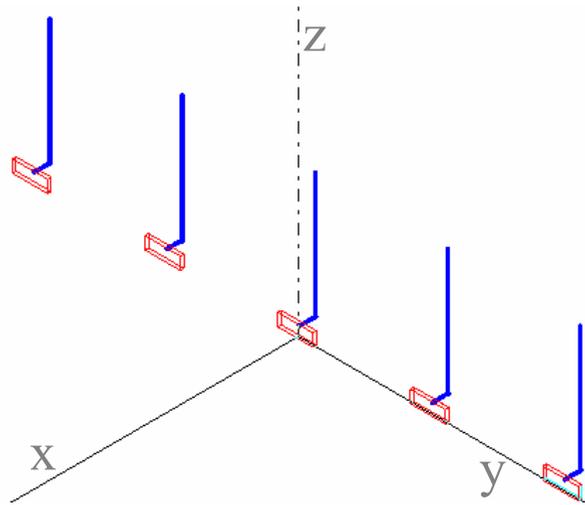
dipolo



SCHIERA



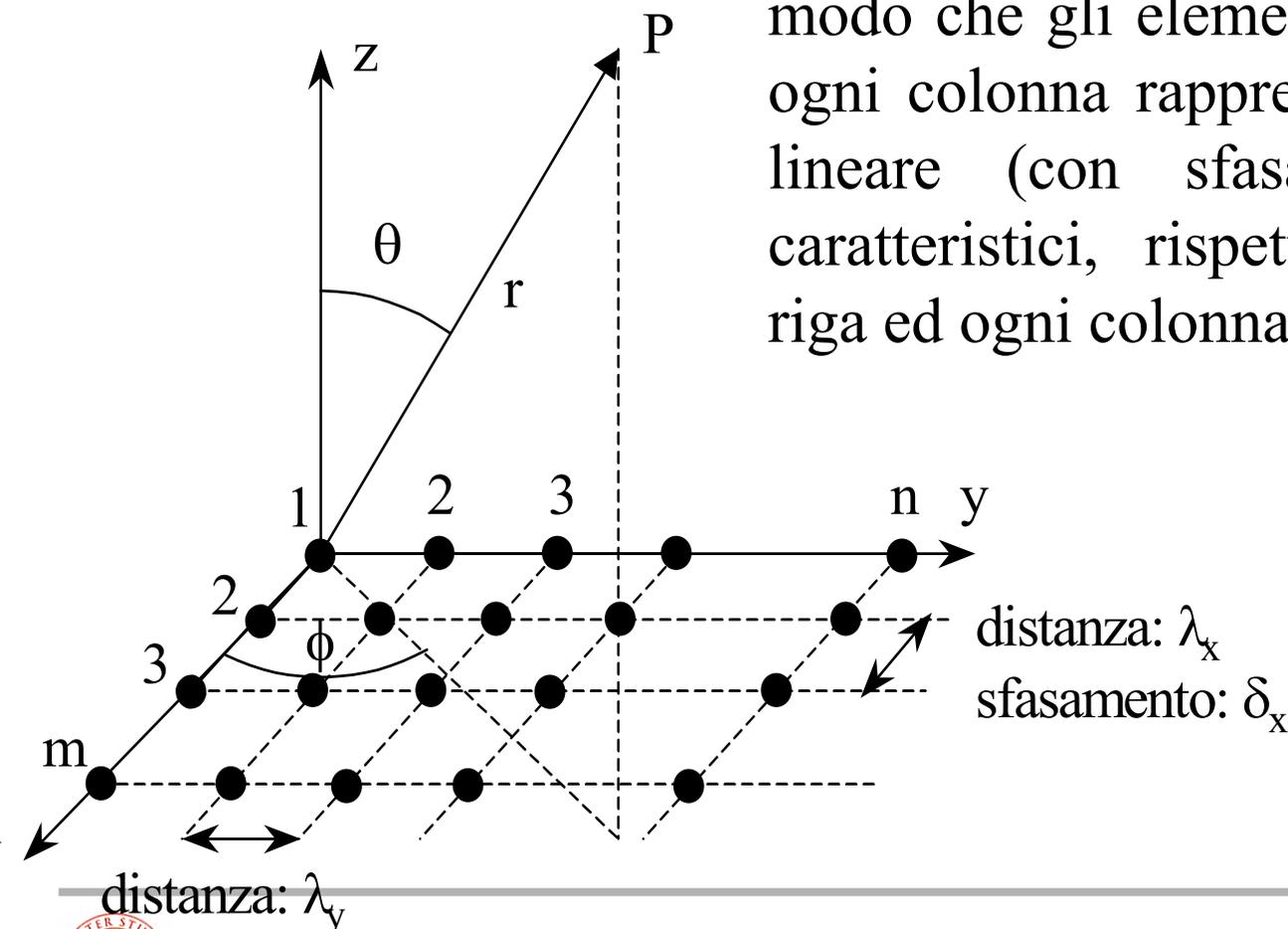
Es. di schiere: end-fire ottima (n=5)



Schiere planari

Definizione: un *array* planare è costituito da $(m \cdot n)$ antenne elementari disposte in un piano a formare una “matrice di m righe e n colonne”, in

modo che gli elementi di ogni riga e di ogni colonna rappresentino una schiera lineare (con sfasamenti δ_x e δ_y caratteristici, rispettivamente, di ogni riga ed ogni colonna)



distanza: λ_y

sfasamento: δ_y

distanza: λ_x

sfasamento: δ_x



Schiere planari

- Offrono ulteriori gradi di libertà: premettono un maggior controllo sulla forma del diagramma di radiazione.
- Diagrammi di radiazione ad elevata simmetria e piccoli lobi secondari.
- Adatte per la scansione elettronica (antenne adattative).
- Applicazioni: radar e comunicazioni.



Schiere planari

- Rispetto alla schiera monodimensionale le cose si complicano solo formalmente.
- Due direzioni di allineamento: x e y (ad esempio):

- Fattore complesso di schiera lungo x:

$$F_x = \sum_{m=0}^{M-1} \Lambda_m \exp [jm (\beta l_x^{\rho} \cdot \hat{i}_r - \delta_x)] = \sum_{m=0}^{M-1} \Lambda_m \exp [jm (\beta l_x \sin \theta \cos \phi - \delta_x)]$$

- Fattore complesso di schiera lungo y:

$$F_y = \sum_{n=0}^{N-1} \Lambda_n \exp [jn (\beta l_y^{\rho} \cdot \hat{i}_r - \delta_y)] = \sum_{n=0}^{N-1} \Lambda_n \exp [jn (\beta l_y \sin \theta \sin \phi - \delta_y)]$$

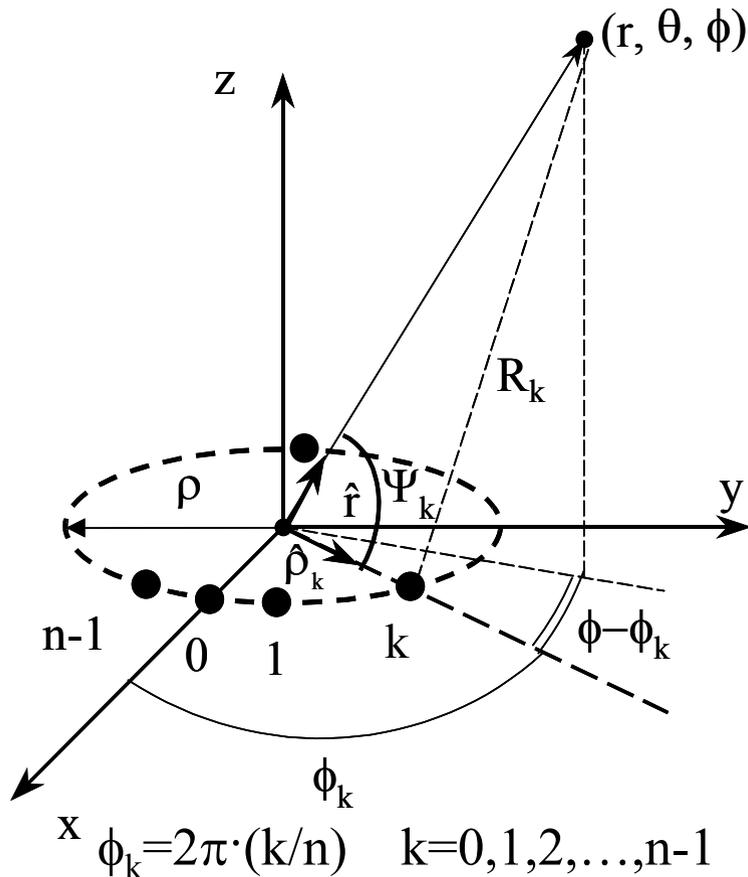
- Fattore complesso di schiera planare:

$$F = F_x F_y$$



Schiere circolari

Una schiera si dice circolare se gli elementi radianti sono disposti nello spazio in modo che ciascun elemento possa essere sovrapposto al successivo per mezzo di una rotazione (di ampiezza costante) attorno ad un asse detto asse della schiera. In tal modo i centri di fase delle antenne che formano la schiera appartengono ad una circonferenza di raggio ρ .



- Offrono ulteriori gradi di libertà
- Diagrammi di radiazione ad elevata simmetria e piccoli lobi secondari
- Applicazioni: radar e *direction-finding*

Riepilogo Antenne a Schiera

Relazione generale che descrive il comportamento di una schiera di antenne

$$\underline{E}(\bar{r}, \theta, \phi) = F(\theta, \phi) \cdot \underline{E}_0(\bar{r}, \theta, \phi)$$

Essendo:

$\underline{E}(\bar{r}, \theta, \phi)$: campo complessivo irradiato nel punto $(\mathbf{r}, \theta, \phi)$

$\underline{E}_0(\bar{r}, \theta, \phi)$: campo irradiato nel punto $(\mathbf{r}, \theta, \phi)$ dal singolo elemento

$F(\theta, \phi)$: fattore complesso di schiera

dipende dal numero degli elementi, dalla loro disposizione geometrica e dalle costanti (complesse) di proporzionalità fra le densità di corrente impressa (cioè dai valori di Λ_k e δ_k).



Riepilogo Antenne a Schiera

Valgono inoltre i seguenti risultati:

$$\star I_R(\theta, \phi) = |F(\theta, \phi)|^2 \cdot I_{R0}(\theta, \phi)$$

Funzione di radiazione del
Fattore di schiera normalizzato
= della schiera di elementi
isotropi

$$\star f(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{I_R(\theta, \phi)}{I_R(\theta_M, \phi_M)}} = \left| \frac{F(\theta, \phi)}{F(\theta_M, \phi_M)} \right| \cdot f_0(\theta, \phi)$$

$$\star d(\theta, \phi) \propto f(\theta, \phi)^2 = \left| \frac{F(\theta, \phi)}{F(\theta_M, \phi_M)} \right|^2 \cdot f_0(\theta, \phi)^2$$

- ★ Il campo irradiato complessivo ha la stessa polarizzazione del campo irradiato dal singolo elemento che compone la schiera



Riepilogo Antenne a Schiera

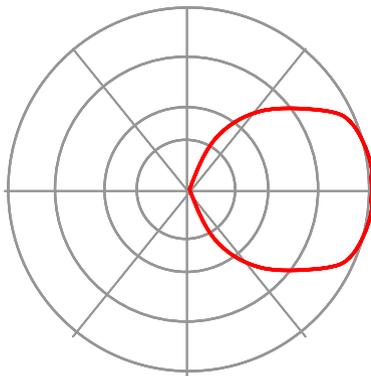
- ★ La direttività d della schiera aumenta al crescere del numero n di elementi.
- ★ La disposizione geometrica degli elementi determina le (eventuali) proprietà di simmetria e di invarianza del fattore di schiera $|F(\theta, \phi)|$:
 - se gli elementi radianti appartengono ad un piano, $|F(\theta, \phi)|$ è simmetrica rispetto al piano;
 - se gli elementi radianti sono allineati, $|F(\theta, \phi)|$ è invariante per rotazioni attorno alla direzione di allineamento.



Riepilogo Antenne a Schiera

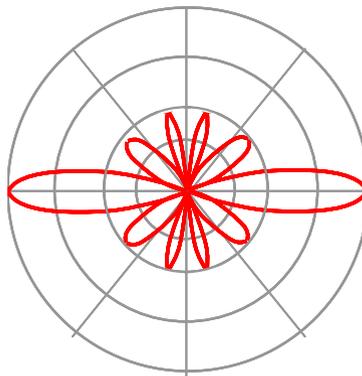
REGOLA di KRAUSS: il valore della funzione di radiazione di una schiera di antenne può essere determinato, per ogni direzione, moltiplicando il valore della funzione di radiazione del singolo elemento radiante per il valore della funzione di radiazione di una schiera di elementi isotropici, posizionati ed eccitati come gli elementi della schiera reale.

diagramma di radiazione
del singolo elemento



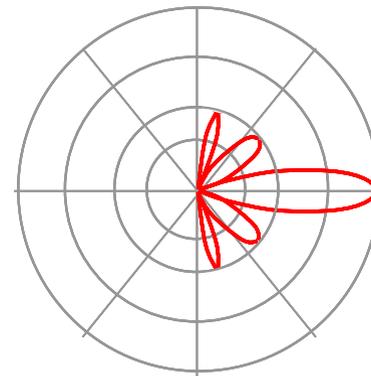
X

diagramma di radiazione della
schiera di elementi isotropici



=

diagramma di radiazione
complessivo



Antenne adattative (“smart”)

Fasi delle sorgenti

Controllo *fase* dell'alimentazione degli elementi radianti di una schiera



Controllo *direzione* della maggior parte del campo irradiato dalla schiera



Antenne adattative

- Condizione di sfasamento affinché $\psi_0 \in [0, \pi]$ sia la direzione di massimo della schiera

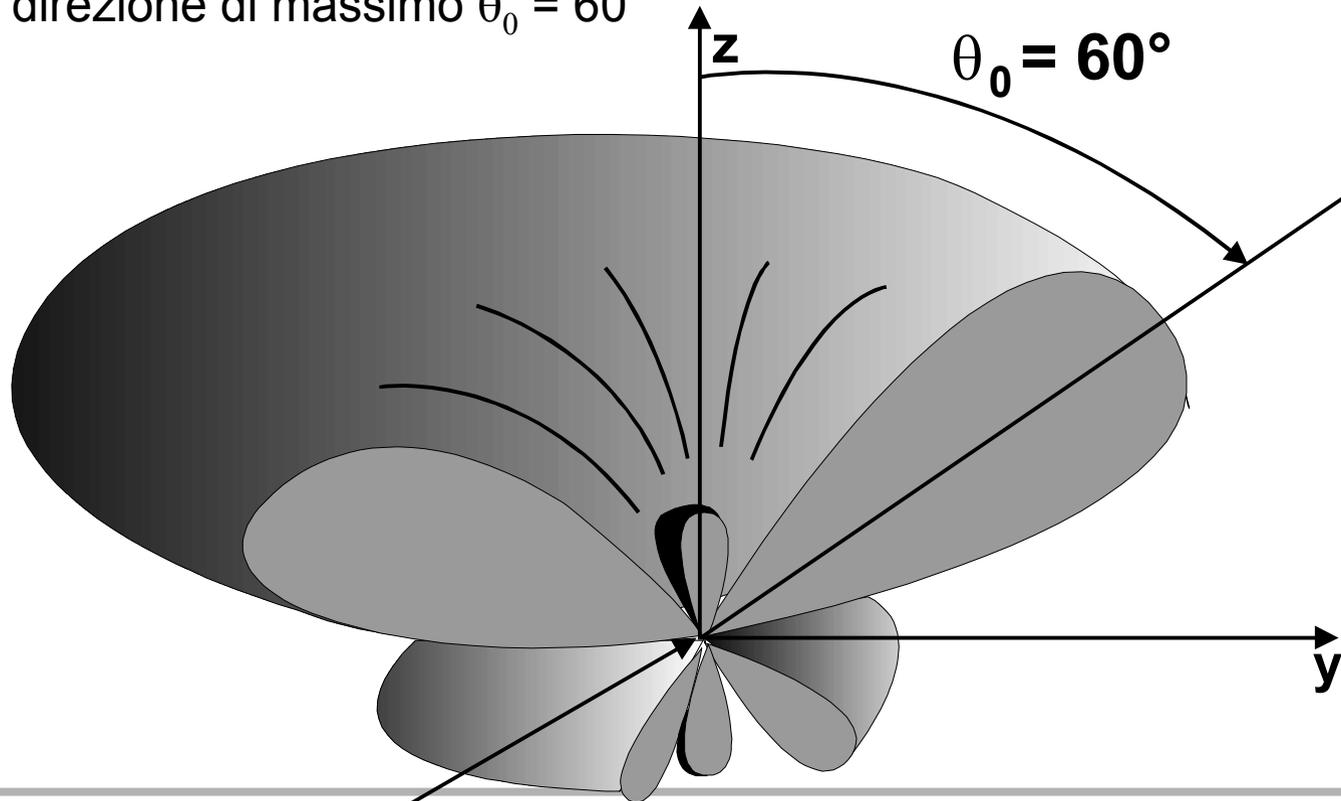
$$u = \frac{\pi l}{\lambda} \cos \psi - \frac{\delta}{2} \Big|_{\psi=\psi_0} = 0 \quad \Rightarrow \quad \delta = \frac{2\pi l}{\lambda} \cos \psi_0$$

- Variando con continuità lo sfasamento tra gli elementi, si ottiene un'**antenna a scansione continua**
- Questa operazione è realizzata elettronicamente mediante l'uso di sfasatori a ferrite o a diodi

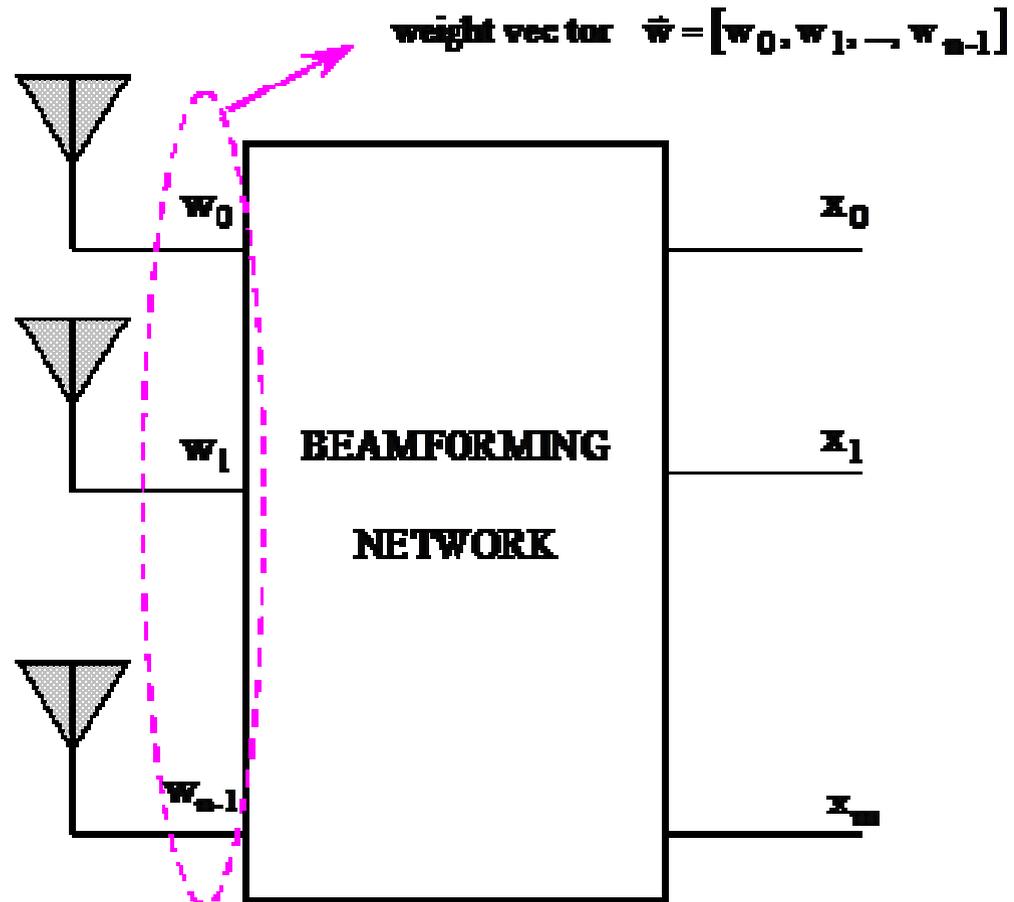


Schiere lineari a scansione elettronica

- Superficie di radiazione di schiera con elementi allineati lungo l'asse z e direzione di massimo $\theta_0 = 60^\circ$



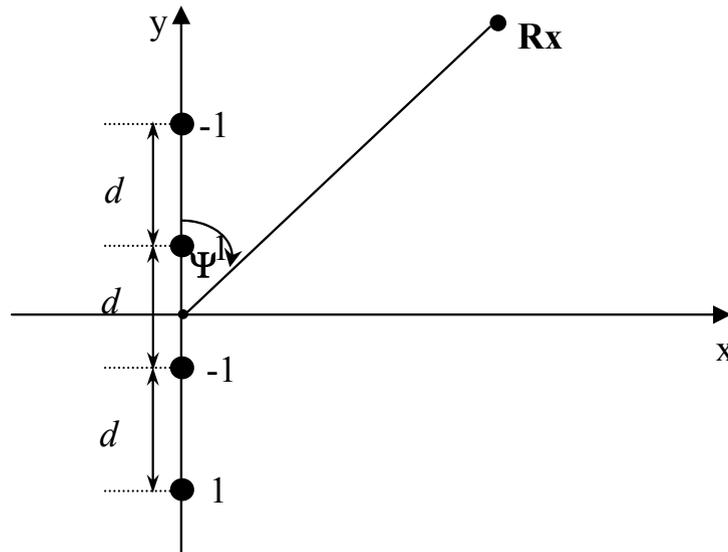
Antenne adattative: beamforming network



Applicazioni: *direction finding*

Esercizio

- Si consideri un'antenna trasmittente, costituita da una schiera uniforme formata da sorgenti isotrope allineate lungo l'asse y , distanti una distanza d tra loro e con ampiezze complesse alternativamente pari a 1 e -1 ,
- Si calcoli:
 - Il fattore di schiera di questa schiera di antenne
 - Le direzioni di zero di radiazione della schiera nel caso sia $d=\lambda/4$



Soluzione

- Nel caso in esame la schiera è lineare e uniforme, costituita da 4 sorgenti, alimentate con ampiezza unitaria e sfasamento relativo pari a $\delta=\pi$. Il fattore di schiera è quindi dato dalla:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{\sin(nu)}{\sin u} \quad u = \frac{\pi d}{\lambda} \cos \psi - \frac{\delta}{2}$$

- dove Ψ è l'angolo tra l'asse della schiera e la generica direzione di osservazione.

$$F(\theta, \varphi) = \frac{\sin(nu)}{\sin u} = \frac{\sin\left(4\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \psi - \frac{\pi}{2}\right)\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \psi - \frac{\pi}{2}\right)}$$

- Nel caso in cui sia $d=l/4$ il fattore di schiera diventa:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{\sin(nu)}{\sin u} = \frac{\sin\left(4\left(\frac{\pi \lambda}{\lambda 4} \cos \psi - \frac{\pi}{2}\right)\right)}{\sin\left(\frac{\pi \lambda}{\lambda 4} \cos \psi - \frac{\pi}{2}\right)} = \frac{\sin\left(4\frac{\pi}{2}\left(\frac{\cos \psi}{2} - 1\right)\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2}\left(\frac{\cos \psi}{2} - 1\right)\right)} = \frac{\sin\left(2\pi\left(\frac{\cos \psi}{2} - 1\right)\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2}\left(\frac{\cos \psi}{2} - 1\right)\right)}$$

- poiché le sorgenti elementari sono sorgenti isotrope, le direzioni di zero della radiazione si hanno per quelle direzioni per cui l'argomento del numeratore del fattore di schiera si annulla

$$\sin\left(2\pi\left(\frac{\cos \psi}{2} - 1\right)\right) = 0 \quad \Rightarrow \quad 2\pi\left(\frac{\cos \psi}{2} - 1\right) = \pm k\pi \quad \Rightarrow \quad \cos \psi - 2 = \pm k \quad \Rightarrow \quad \cos \psi = 2 \pm k$$

ma il $\cos \psi$ è compreso tra -1 e 1 quindi si può scrivere:

$$-1 \leq \cos \psi \leq 1 \quad \Rightarrow \quad -1 \leq 2 \pm k \leq 1$$

$$\begin{cases} 2 \pm k \geq -1 \\ 2 \pm k \leq 1 \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \pm k \geq -3 \\ \pm k \leq -1 \end{cases} \quad \Rightarrow \quad -3 \leq \pm k \leq -1$$

