

Introduzione alle

Antenne Direttive a Schiera

o Array

Ing. Francesco Zaccarini

Per poter funzionare adeguatamente, un sistema di telecomunicazioni deve utilizzare antenne con caratteristiche di radiazione ben definite: un guadagno elevato e/o diagrammi di radiazione che permettano di irradiare e captare la massima energia possibile nelle direzioni desiderate.

Molto spesso questo si ottiene con antenne in grado di sagomare opportunamente il diagramma di radiazione secondo le specifiche richieste, ovvero sviluppando sistemi radianti complessi costituiti da un certo numero di antenne più semplici, disposte secondo precise configurazioni geometriche ed elettriche. Stiamo parlando delle **antenne a schiera** o **array**.

Con l'intento di dare al lettore degli strumenti utili a poter valutare le antenne che si trova ad utilizzare per il proprio sistema, servizio od applicazione, nel presente approfondimento tecnico analizziamo due specifici aspetti: il **fattore di gruppo** (**array factor**) ed i **lobi di grigliatura** (**grating lobes**), definendo alcuni vincoli di progettazione da tenere assolutamente in considerazione.

Cos'è un array?

il fattore di gruppo ed i lobi di grigliatura



1. Introduzione.

Nella letteratura tecnica è possibile trovare numerose pubblicazioni che trattano delle antenne a schiera in modo più o meno rigoroso, ma in questa sede lo scopo è quello di sensibilizzare il lettore su come questo tipo di antenne opera e quali sono i parametri elettrici che ne caratterizzano il funzionamento.

Come è possibile vedere nella foto sullo sfondo, che raffigura un radar militare, un' **antenna a schiera** o **array** è costituito da un allineamento, mono o bi-dimensionale, di più antenne che possiamo definire elementari.

In questo caso le antenne elementari sono delle *Yagi* a due elementi con un riflettore reticolare e questa configurazione, molto più ampia nel piano orizzontale, permette di restringere notevolmente il fascio nel medesimo piano, consentendo al radar di acquisire una ottima precisione nel discriminare la direzione azimutale di provenienza del bersaglio.

Ma come è possibile ottenere guadagni elevati e diagrammi di radiazione particolari da un sistema radiante di questo tipo? Per comprendere come viene sintetizzato un array, partiamo da alcuni concetti di base.

I diagrammi di radiazione di un singolo elemento radiante sono generalmente piuttosto larghi, dal momento che con una sorgente di estensione limitata (inferiore a λ) non è possibile ottenere guadagni elevati, ovvero superiori a $8 \div 10$ dBi. Qualora sia necessario aumentare la direttività dell'antenna è possibile aumentarne le dimensioni (sempre in termini di λ) realizzando un sistema radiante composto da più antenne elementari, disposte in una opportuna configurazione geometrica ed elettrica: si ottiene così un'antenna a schiera.

In condizioni di campo lontano, a grande distanza dall'array, il campo totale irradiato è la somma vettoriale dei singoli campi prodotti dalle sorgenti che lo costituiscono. Quindi, per controllare i diagrammi di radiazione di un siffatto sistema radiante, è possibile agire sui seguenti gradi di libertà:

- La configurazione geometrica della schiera (lineare, planare, circolare, mono-bi-tridimensionale, ecc.);
- La posizione relativa degli elementi, in particolare la loro spaziatura s/λ nel caso di array uniformi;
- Il diagramma di radiazione dei singoli elementi radianti;
- La ripartizione della potenza ai singoli elementi radianti;
- Lo sfasamento esistente tra i singoli elementi radianti.

Se consideriamo gli array lineari e planari, ovvero rispettivamente costituiti da N elementi radianti posti su di un segmento di retta o da $N \times M$ elementi disposti in una regione rettangolare di piano, essi si distinguono in **broadside** od **endfire** a seconda che la direzione di massima radiazione sia perpendicolare o parallela all'allineamento delle sorgenti.

Un esempio di *array endfire* è sotto gli occhi di tutti, dal momento che è l'antenna Yagi o, più precisamente, l'*array Yagi-Uda*, è largamente diffusa nella ricezione della televisione domestica.



Di questa antenna ne faremo argomento di un prossimo approfondimento tecnico. In questa sede consideriamo perciò gli *array broadside*, con direzione di massima radiazione perpendicolare alla retta od al piano dove sono disposte le singole antenne.

2. Antenne a schiera: funzione di direttività e fattore di gruppo.

Prima di esaminare la radiazione di un'antenna a schiera, partiamo dal considerare un'antenna isotropa, che irradia uniformemente in tutte le direzioni una potenza P_{irr} .

Ad una distanza r (in campo lontano), un radiatore isotropo produce una densità di potenza:

$$S_{iso} = \frac{P_{irr}}{4\pi r^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad [1]$$

Viceversa, un'antenna reale che irradia la stessa potenza globale P_{irr} si troverà a privilegiare determinate direzioni rispetto ad altre e l'equazione [1] deve allora venire intesa come la densità di potenza media su tutte le direzioni: il valore reale sarà dunque dato da:

$$S = \frac{P_{irr}}{4\pi r^2} D f(\theta, \phi) \quad [\text{W/m}^2] \quad [2]$$

ovvero dipendente da una funzione direzionale, scritta come prodotto tra una funzione f normalizzata al valore massimo unitario (detta **funzione di direttività**) ed un coefficiente D chiamato **direttività**. Quest'ultima viene quindi espressa dal rapporto:

$$D = \frac{S_{MAX}}{S_{iso}} \quad [3]$$

dove, nella direzione di massima radiazione, $f(\theta, \phi)=1$.

Se consideriamo un'**antenna a schiera** costituita da un dato numero di elementi radianti elementari, identici ed orientati nella medesima direzione, e $f_{el}(\theta, \phi)$ è la funzione di direttività di una di queste sorgenti, l'equazione [2] diventa:

$$S_{array} = \frac{P_{irr}}{4\pi r^2} D f_{el}(\theta, \phi) f_g(\theta, \phi) \quad [\text{W/m}^2] \quad [4]$$

dove la funzione direzionale $f_g(\theta, \phi)$, anch'essa di valore massimo unitario, è chiamata **fattore di gruppo** o, dall'inglese, **array factor** (**fattore di schiera**). Quindi la funzione di direttività della schiera è data da:

$$f_{array}(\theta, \phi) = f_{el}(\theta, \phi) f_g(\theta, \phi) \quad [5]$$

Ovvero la funzione di direttività della schiera è uguale al prodotto della funzione di direttività del singolo elemento per il fattore di gruppo: quest'ultima funzione non dipende dal tipo di antenne che formano la schiera, ma solamente dalla loro mutua posizione e dal modo con cui esse sono alimentate, in ampiezza e fase (ovvero dai coefficienti di eccitazione).

Ponendo $f_{el}(\theta, \phi)=1$ nella [5], il fattore di gruppo può essere definito come la funzione di direttività della schiera nel caso in cui le singole antenne che la costituiscono siano dei radiatori isotropi.

È quindi studiando le proprietà di tale funzione che è possibile capire molte cose, anche da un punto di vista intuitivo, sulle proprietà radiative di un'antenna a schiera.

2. Proprietà del fattore di gruppo: i lobi di grigliatura.

Con riferimento alla **Figura 2.1**, consideriamo una schiera di antenne monodimensionale, con spaziatura d ed alimentazione uniformi delle singole sorgenti (i dipoli in rosso nella figura).

Un'onda piana con un angolo α rispetto all'allineamento delle sorgenti (in azzurro le superfici equifase), inciderà sulle singole sorgenti con sfasamenti differenti e dipendenti dalle singole differenze di percorso rispetto al punto di riferimento O , centro dell'array.

Ad esempio, per la coppia di sorgenti 1 e 2, il termine di fase del campo elettrico dovuto alla differenza di percorso:

$$h = \frac{d}{2} \sin \alpha$$

è dato da:

$$\exp\left(j\frac{2\pi}{\lambda}h\right) + \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}h\right) = 2 \cos\left[\pi\frac{d}{\lambda}\sin\alpha\right] \quad [6]$$

Ripetendo il ragionamento per tutte le coppie di sorgenti simmetriche rispetto al centro O dell'array, si ottiene l'espressione del *fattore di gruppo nel piano* (x,z) della schiera di **Figura 2.1**, estendendo il ragionamento ad $N/2$ coppie di elementi radianti (array di grado N):

$$f_g(\alpha) = \left\{ \frac{2}{N} \sum_{n=1}^{N/2} \cos\left[\pi(2n-1)\frac{d}{\lambda}\sin\alpha\right] \right\}^2 \quad [7]$$

Evitiamo ora ulteriori approfondimenti matematici, andando semplicemente a vedere com'è l'andamento del fattore di gruppo [7] in funzione del numero N di elementi dell'array e della loro spaziatura d/λ e come di conseguenza diventa l'equazione [5].

Per far questo immaginiamo di costruire un array con degli elementi radianti elementari con una larghezza di fascio di circa 85° nel piano (x,z), come mostrato in **Figura 2.2**.

Applichiamo quindi la [5] considerando i rispettivi diagrammi di radiazione nel piano (x,z) dell'array monodimensionale in luogo delle funzioni tridimensionali, ovvero:

$$f_{array}(\alpha) = f_{el}(\alpha) f_g(\alpha)$$

ripetendo questo calcolo per $N=2, 4, 8$ e per differenti spaziature d/λ tra gli elementi, si ottengono i fattori di gruppo ed i diagrammi di radiazione riportati nelle **Figure 2.3 ÷ 2.7**.

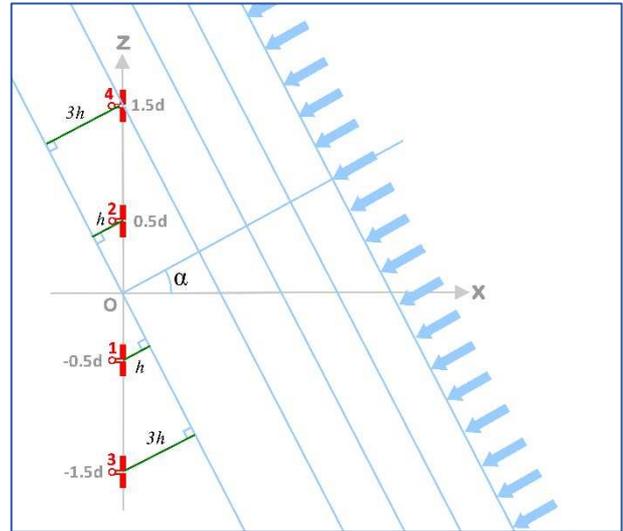


Figura 2.1

Array monodimensionale.

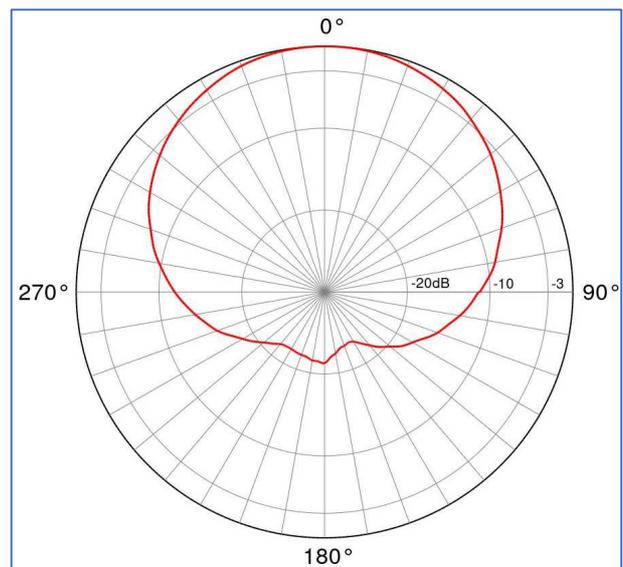


Figura 2.2

Diagramma di radiazione del singolo elemento radiante, ovvero l'intersezione della $f_{el}(\theta, \phi)$ con il piano (x,z) dell'array.

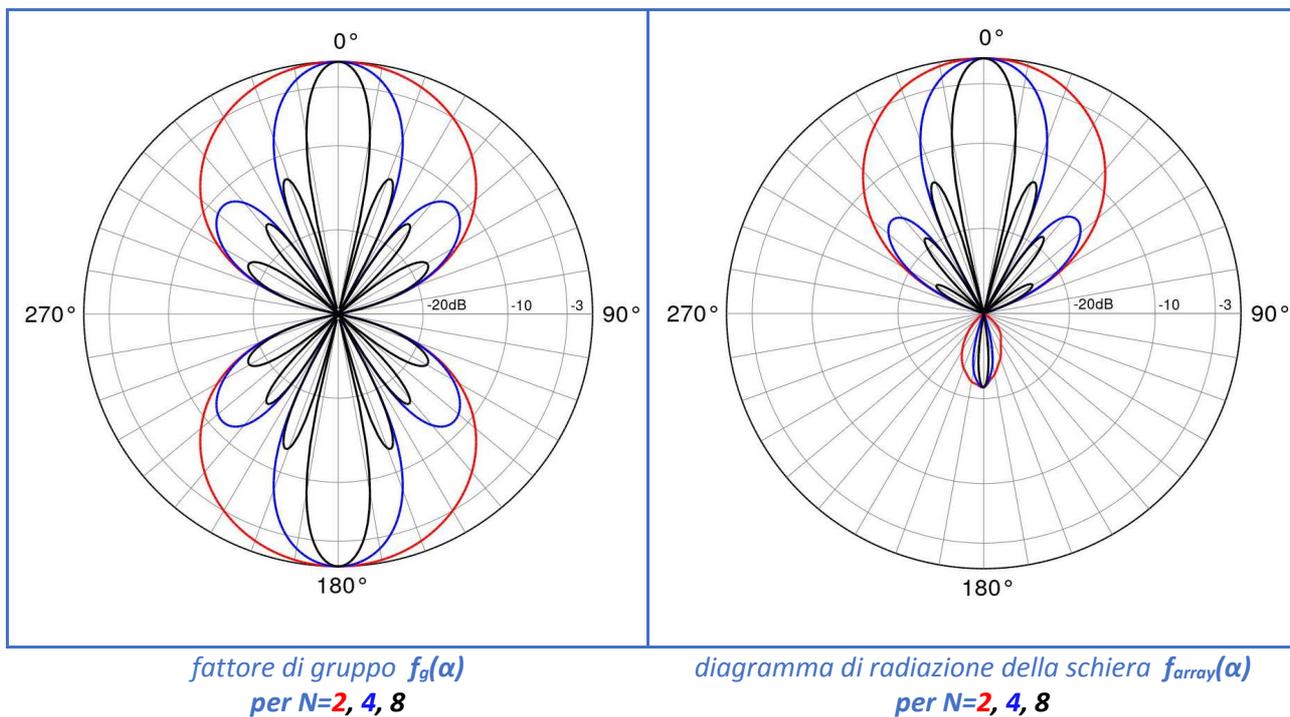


Figura 2.3

Fattore di gruppo e diagramma di radiazione per $d=0.5\lambda$.

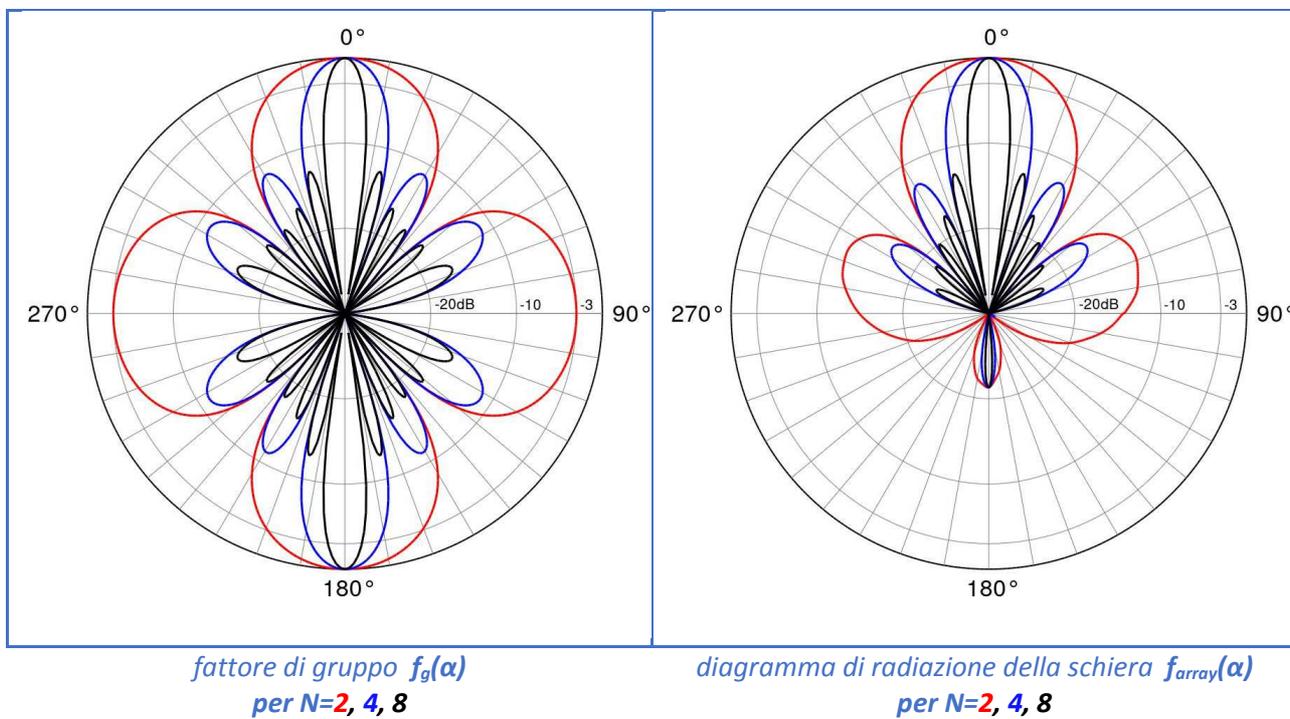


Figura 2.4

Fattore di gruppo e diagramma di radiazione per $d=0.75\lambda$.

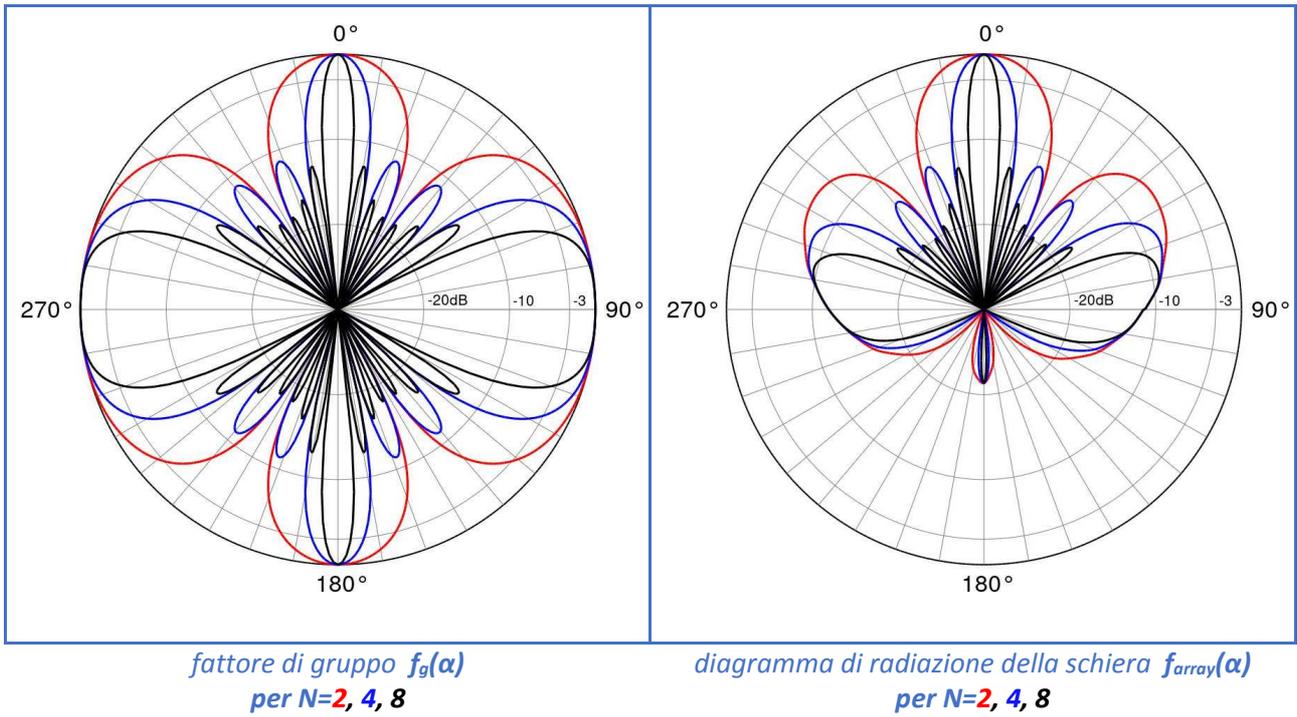


Figura 2.5

Fattore di gruppo e diagramma di radiazione per $d=\lambda$.

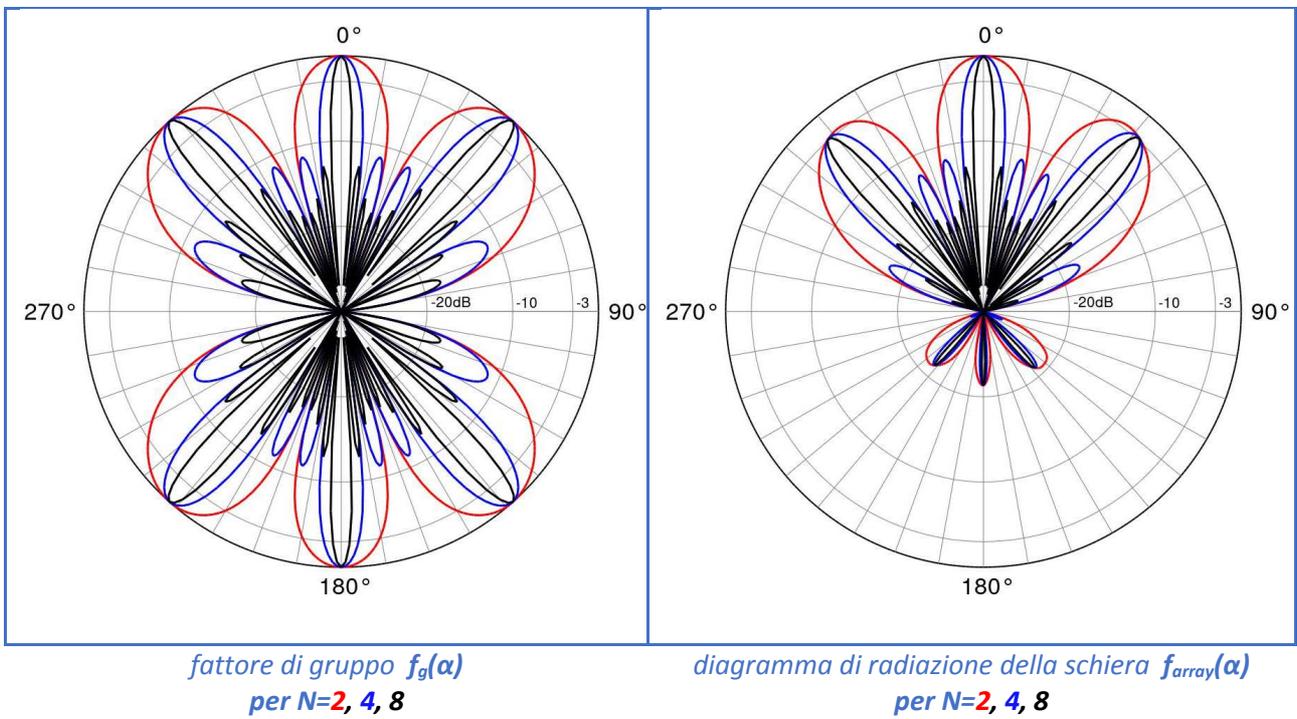


Figura 2.6

Fattore di gruppo e diagramma di radiazione per $d=1.5\lambda$.

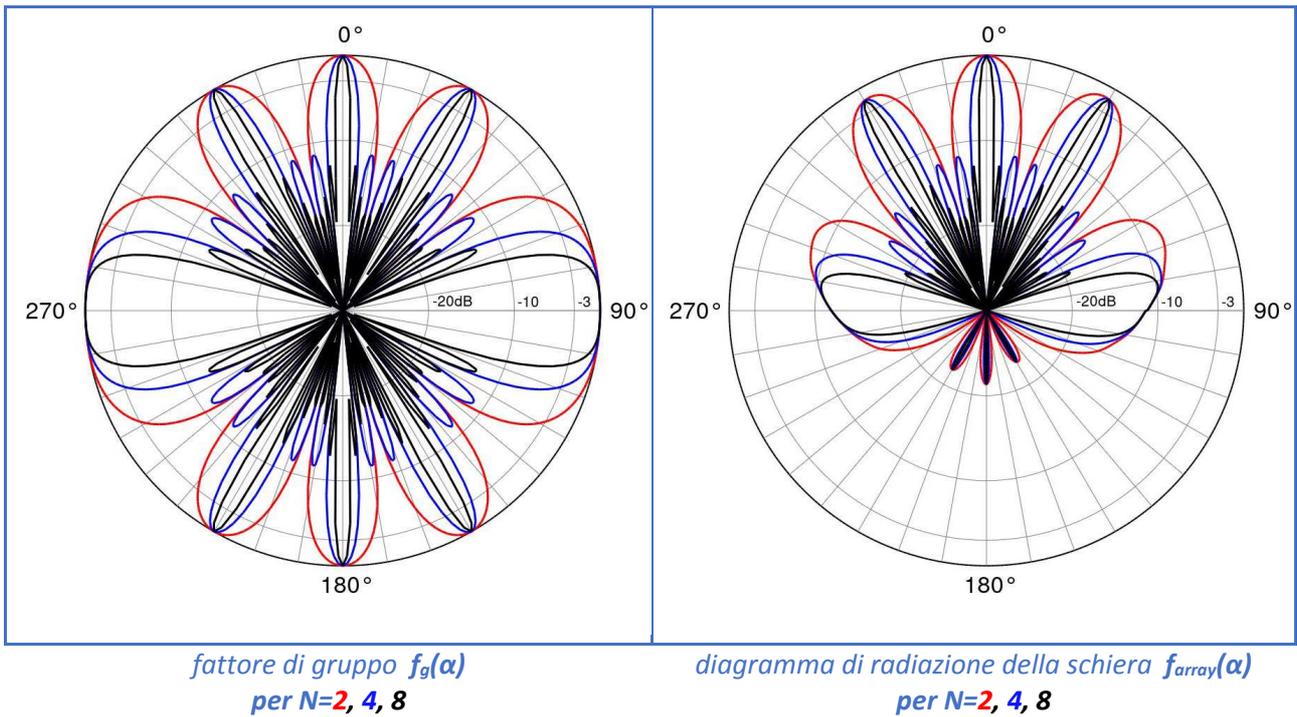


Figura 2.7

Fattore di gruppo e diagramma di radiazione per $d=2\lambda$.

Quando la spaziatura d viene aumentata da 0.5λ a λ , nel fattore di gruppo si verifica la comparsa di una coppia di lobi secondari di livello pari a quello del lobo principale, orientato a 0° , detti **lobi di grigliatura** o **grating lobes** (Figura 2.5). Con l'ulteriore aumento della spaziatura, i grating lobes, simmetrici rispetto al lobo principale, si avvicinano sempre di più a quest'ultimo. Per $d=2\lambda$ compare una seconda coppia di lobi di grigliatura che, con l'ulteriore aumento della distanza tra i singoli elementi radianti, invade sempre di più la regione frontale dell'array. È altresì interessante notare come l'orientamento dei grating lobes dipende da d/λ e non da N .

In generale, per valori di spaziatura compresi tra $m\lambda$ ed $(m+1)\lambda$ con m intero, si hanno $2m$ lobi di grigliatura nell'intervallo $-90^\circ \geq \alpha \geq 90^\circ$, in posizione simmetrica rispetto al lobo principale.

La **Figura 2.8** mostra le posizioni angolari dei *grating lobes* in funzione della spaziatura delle antenne che compongono la schiera.

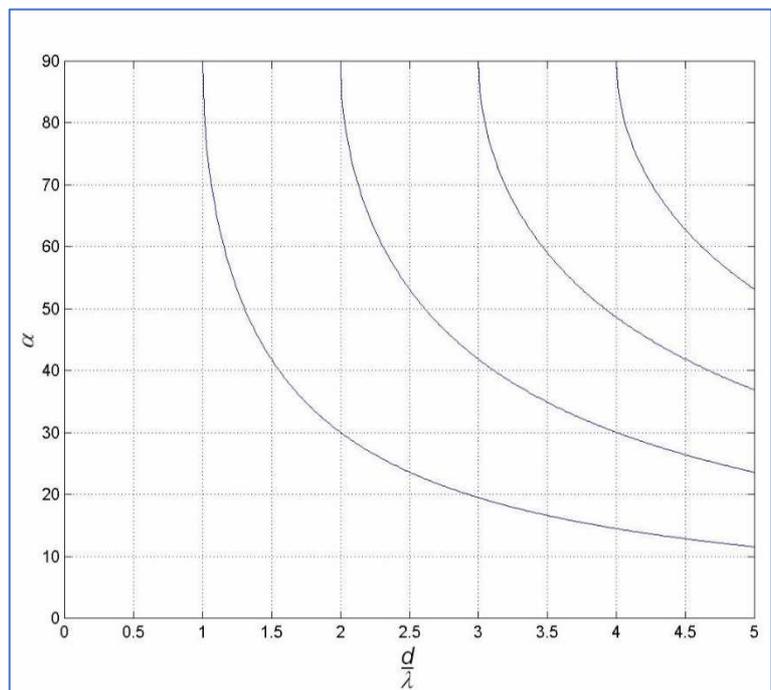


Figura 2.8

Posizione angolare α dei lobi di grigliatura (*grating lobes*) in funzione della spaziatura della schiera d/λ .

L'effetto dell'andamento del fattore di gruppo sul diagramma di radiazione dell'array è ben evidente nei grafici polari a destra nelle figure.

Dalla **Figura 2.8** è quindi facile vedere che, ad esempio, per $d=3\lambda$ si hanno tre coppie di lobi di grigliatura, orientati rispettivamente a circa $\pm 20^\circ$, $\pm 42^\circ$ e $\pm 90^\circ$ rispetto alla direzione *broadside* della schiera.

Ne segue che, per non avere dei forti lobi laterali con conseguente decadimento della direttività, è necessario che il lobo dell'antenna elementare che compone l'array sia molto più stretto di 40° , nonché i suoi eventuali lobi secondari poco attenuati non cadano in corrispondenza dei grating lobes a $\pm 42^\circ$ e $\pm 90^\circ$.

3. Conclusioni.

Quanto sin qui esposto pone dei precisi vincoli sulla progettazione di un'antenna a schiera, riguardanti le massime prestazioni ottenibili (guadagno e lobi secondari) rispetto al livello di complessità (numero di elementi N) necessario ad ottenerle.

Vediamo di riassumerle in alcuni punti.

- La spaziatura d , utilizzata nella stragrande maggioranza degli array, è compresa tra 0.5λ e λ . Valori inferiori a 0.5λ sono impraticabili sia per quanto riguarda l'ingombro fisico del singolo elemento radiante, sia per problemi di interazione tra le singole sorgenti della schiera, che devono mantenere un certo grado di disaccoppiamento. Valori maggiori di λ sono impraticabili se gli elementi dell'array hanno un fascio piuttosto largo, e vengono di solito utilizzati nel caso in cui si vogliono accoppiare delle antenne singole già con lobi piuttosto stretti, come ad esempio delle *Yagi*, anche se in questo caso è necessario prestare la massima attenzione che la posizione angolare dei lobi secondari delle singole antenne non coincida con l'orientamento dei *grating lobes* dovuti fattore di gruppo.
- Fissato un dato numero N di elementi della schiera, l'aumento della spaziatura d permette di aumentare la dimensione totale dell'array e di conseguenza la sua direttività, restringendo il lobo principale. Si arriva così ad un valore limite di spaziatura, dipendente da $f_{el}(\theta, \phi)$, per il quale si ottiene la massima direttività della schiera: oltre questo valore si ha la comparsa di lobi laterali, dovuti ai *grating lobes*, che tolgono energia al fascio principale.
- Con l'aumentare di N , il fattore di schiera diventa una funzione sempre più "appuntita", e l'ampiezza del fascio della singola sorgente non è rilevante nel determinare la larghezza del lobo principale dell'array.
- Fissata una certa dimensione totale $L_\lambda=(N-1)d/\lambda$ della schiera, il valore di N definisce la quantità e l'andamento dei lobi secondari.

In questa sede sono stati presi in considerazione solo array illuminati uniformemente, ovvero con ciascun elemento radiante alimentato con uguale potenza e fase.

In un prossimo approfondimento tecnico vedremo qual è l'effetto di uno sfasamento relativo tra le singole antenne elementari della schiera nonché quello di una illuminazione non uniforme, andando così a vedere come sia possibile sviluppare un'antenna a schiera su misura per una particolare applicazione.

Si parlerà quindi della sintesi del fascio di un array.

*Tutte le informazioni e le esperienze riportate in questo articolo sono frutto dell'attività di progettazione, sviluppo e realizzazione di antenne custom professionali svolta da **ElettroMagnetic Services Srl** con il metodo **AntennaSuMisura**.*

Per domande, chiarimenti o approfondimenti in merito a questo o ad altri argomenti riguardanti le antenne professionali scrivi a bollini@elettromagneticervices.com

Grazie per il tempo che hai dedicato alla lettura di questo articolo.

Trovi l'elenco completo delle nostre pubblicazioni tecniche cliccando qui:

<https://www.elettromagneticervices.com/news>

AntennaSuMisura

by

ElettroMagnetic Services
SRL

Trasmetti la tua eccellenza!