

## ANTENNE YAGI

di Giovanni G. Turco, ik0ziz

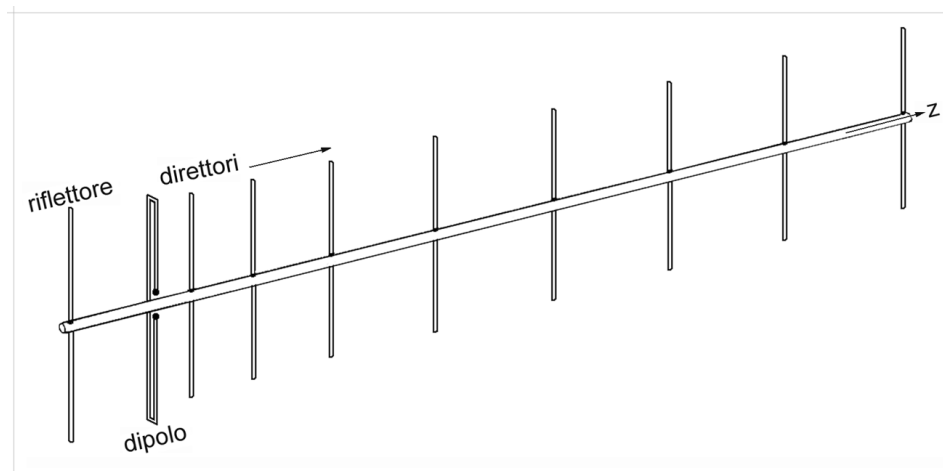
L'antenna di tipo Yagi è la più diffusa, in assoluto.

E' formata da due o più dipoli cilindrici accoppiati ed eccitati in fase.

La configurazione più popolare è formata da un solo elemento, con l'aggiunta di un numero di altri non direttamente eccitati (induttivi), detti anche **parassiti**.

L'elemento posto dietro il dipolo funziona da **riflettore** (il più lungo) mentre gli altri (più corti), i **direttori**, sono posti in avanti.

Questa conformazione predilige la concentrazione della quasi totalità d'energia RF irradiata in un fascio diretto verso un angolo del lobo isotropico (nella direzione ove è posto il direttore rispetto al dipolo, vedi figura).

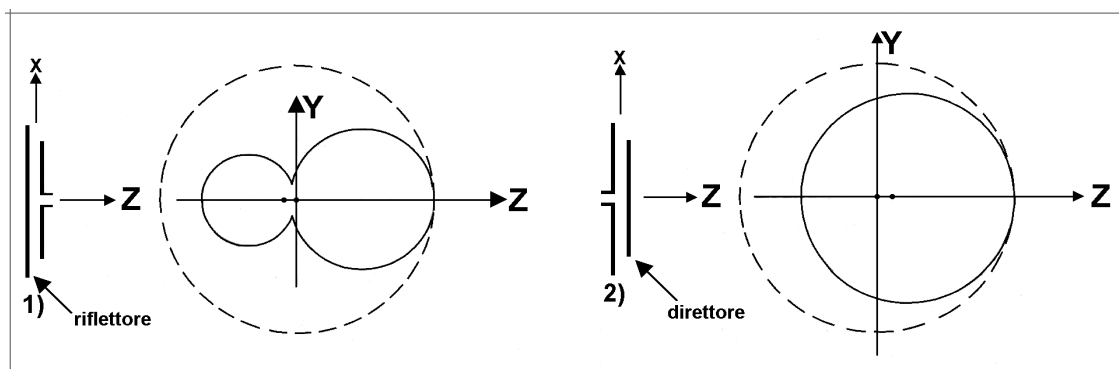


In figura un'antenna Yagi-Uda composta da 10 elementi, con radiatore a dipolo ripiegato.  
Il nome dell'antenna deriva da quello del suo inventore.

La versione più utilizzata del dipolo misura  $\lambda/2$ , ma può essere  $1\lambda$  ripiegato, come in figura sopra.

Nelle antenne Yagi, il campo prodotto dal dipolo alimentato induce, in ogni altro singolo elemento, una corrente la cui fase dipende dalla lunghezza e dalla distanza tra essi.

Da questi parametri dipende il diagramma d'irradiazione del sistema radiante.



Antenne a mezz'onda in presenza di un elemento parassita.

In 1) con riflettore (diagramma relativo al piano YZ).

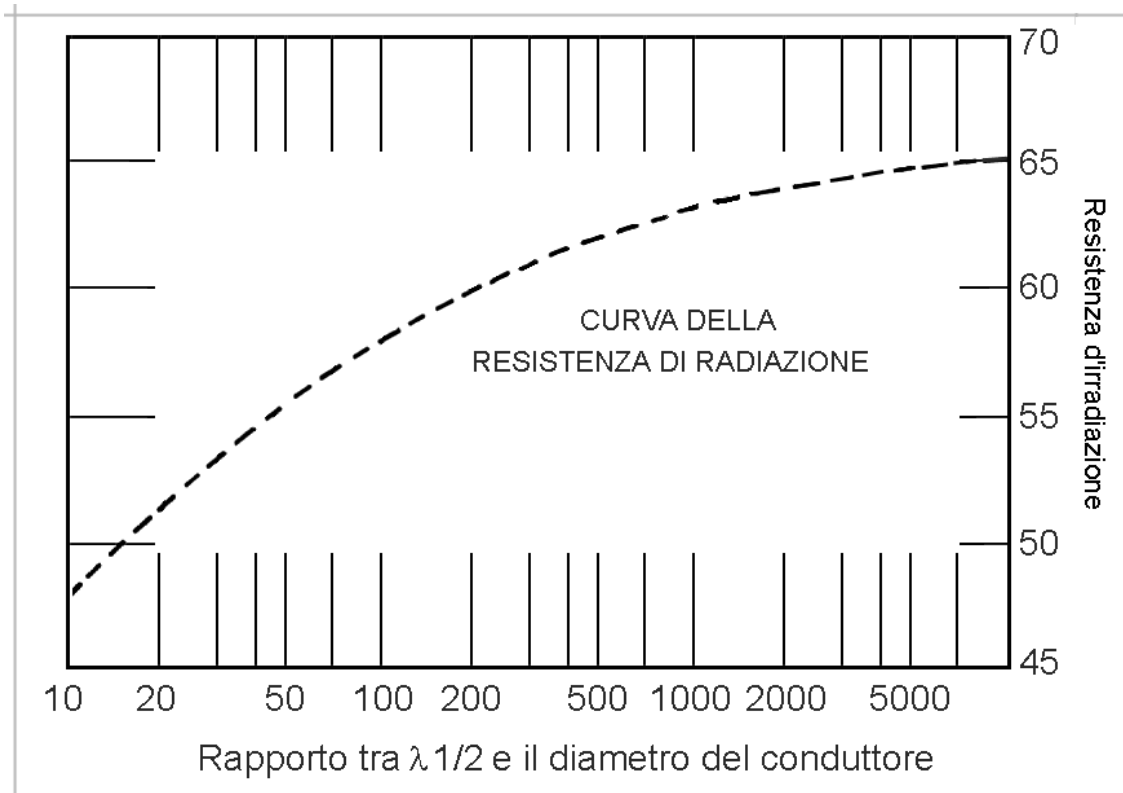
In 2) con direttore (diagramma relativo al piano YZ).

La circonferenza tratteggiata è il diagramma dell'antenna a mezz'onda isolata.

## GLI ELEMENTI della Yagi

**Il dipolo** (elemento attivo), viene dimensionato perché risoni su una certa frequenza.

La resistenza d'irradiazione dipende dalla distanza tra gli elementi associati ma pure dal rapporto tra lunghezza e diametro del materiale impiegato, che influenza non poco sulla larghezza di banda, legata alla relazione "Q" (qualità selettiva, guadagno) che determina l'intervallo di frequenza entro il quale il R.O.S. (Rapporto Onde Stazionarie) si mantiene entro valori bassi. A diametri più grandi corrisponde un Q più basso.



Il rapporto tra lunghezza e diametro del tubo impiegato contribuisce a determinare la risonanza e la resistenza del radiatore. Un elemento di piccolo diametro ha resistenza d'irradiazione di valore più alto rispetto ad un elemento di diametro più grande. La  $R_r$  in un dipolo semplice fatto con filo sottile è di circa 70 ohm. In un dipolo tubolare scende a circa 55  $\Omega$ .

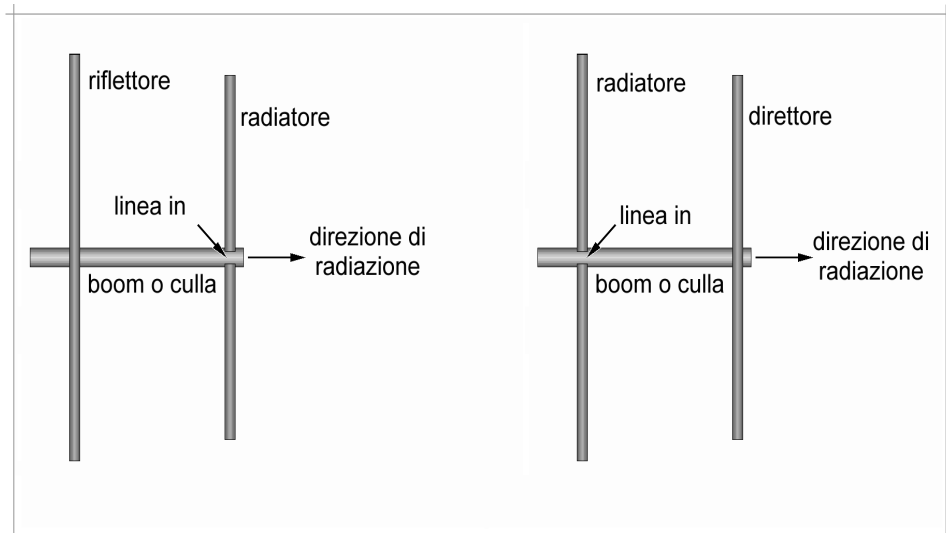
**Il riflettore** è l'elemento (parassita) più lungo. E' posto parallelo al radiatore, ad una distanza utile alla modificazione del lobo d'irradiazione, ovvero in modo che provochi una reazione atta a riflettere il segnale a radiofrequenza emesso dal dipolo nella direzione dello stesso, al fine di convogliare in avanti la massima intensità del segnale proveniente dal trasmettitore entro certi angoli che variano in ampiezza con la spaziatura e la distanza tra essi.

Posto a una distanza giusta per l'adattamento d'impedenza del sistema, è possibile ottenere una concentrazione in avanti con un angolo più stretto ed irradiazione più profonda rispetto all'elemento direttore.

La lunghezza del riflettore calcolata ad una certa frequenza, è sempre maggiore di quella del radiatore.

**Il direttore** è l'elemento (parassita) più corto. E' posizionato in parallelo al radiatore, ad una certa distanza conveniente per la modificazione del lobo d'irradiazione, ovvero che provochi una reazione atta a dirigere il segnale a radiofrequenza nella direzione del dipolo, al fine di rafforzare l'energia verso quella parte.

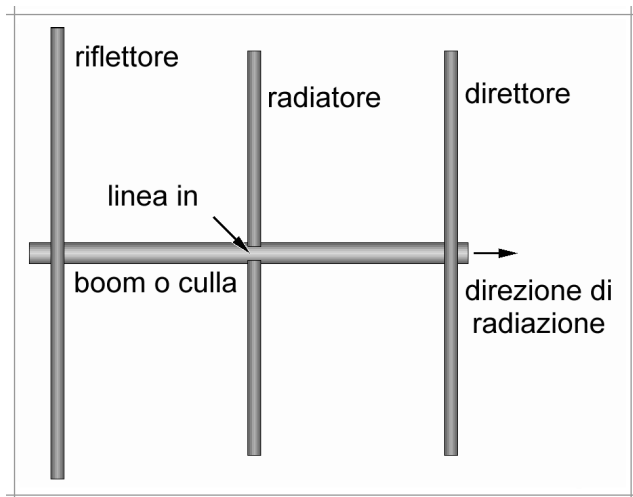
Il direttore, in pratica, sposta il lobo isotropico del dipolo in avanti, modificandolo in modo che l'angolo d'irradiazione sia di circa 180 gradi. La lunghezza del direttore, calcolata ad una certa frequenza, è sempre minore del radiatore.



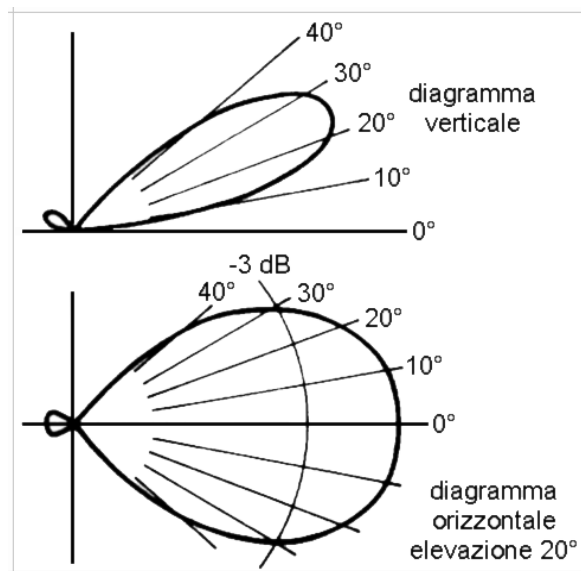
Nella figura a sinistra, un'antenna Yagi con riflettore.  
A destra l'elemento parassita è il direttore.

Quando il dipolo viene arricchito da tutti e due gli elementi, la concentrazione del segnale nella direzione del direttore è notevole.

Tranne che in qualche caso particolare, lo spazio tra il dipolo e l'elemento parassita non deve superare un quarto della lunghezza d'onda.



Antenna direzionale yagi a tre elementi con direttore e riflettore.



Diagrammi d'irradiazione di una Yagi a tre elementi distante dal suolo  $L \frac{1}{2}$  (mezzi)

Gli elementi di un'antenna Yagi necessitano di un supporto rigido, che è detto "culla" o "boom".

Nel punto in cui gli elementi lo incrociano, la tensione è quasi nulla (nodo).

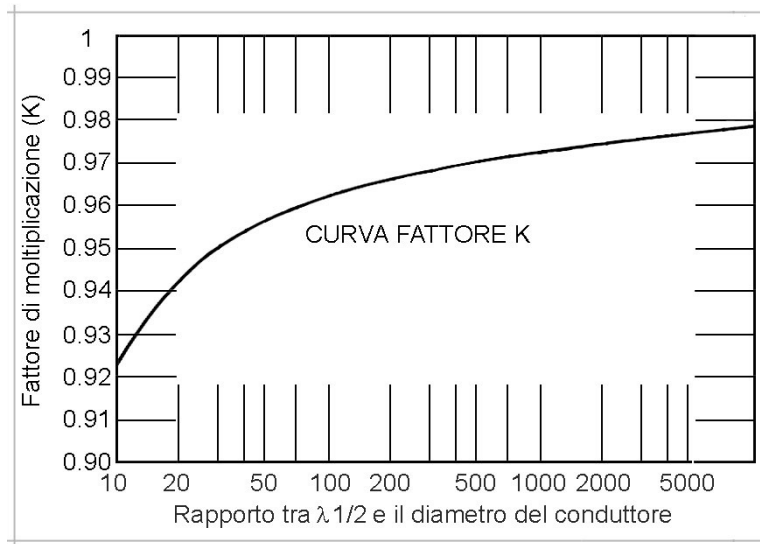
Questo significa che teoricamente il boom non dovrebbe modificare la risonanza del radiatore, Invece avviene che risona poco più in basso rispetto alla frequenza per la quale è stato dimensionato; avviene un allungamento e quin-di, anche se di poco, è necessario intervenire ad un ridimensionamento nella misura rilevabile dal grafico che segue, conoscendo però il valore del rapporto tra il diametro dell'elemento e lunghezza d'onda.

Il rapporto diametro/lunghezza del radiatore si calcola con  $\frac{D}{\lambda}$  dove:

**D** è il diametro del materiale impiegato

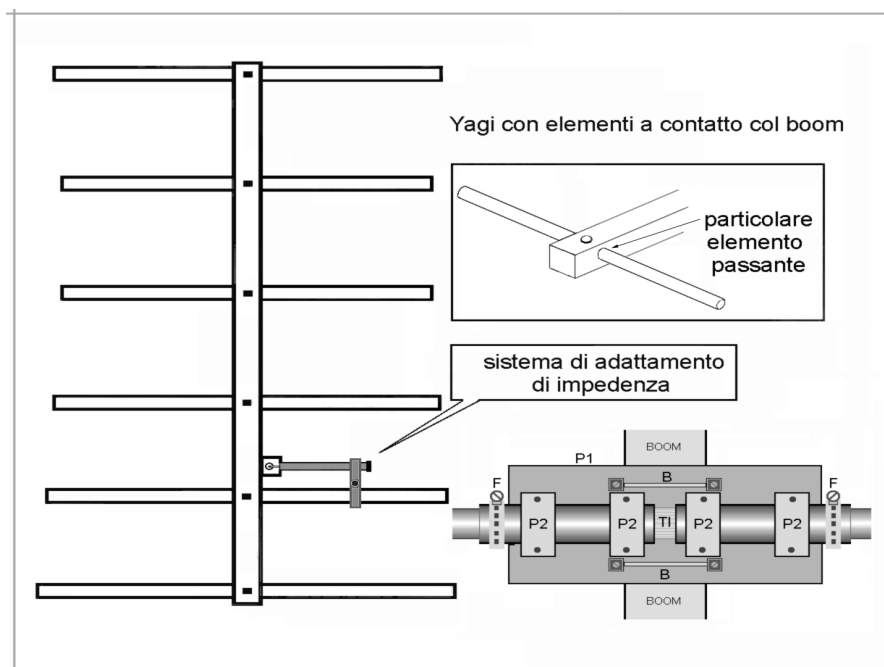
**$\lambda$**  è la lunghezza d'onda della frequenza

Nella scala in basso, partendo dal rapporto  $D/\lambda$  si traccia una linea verticale fino alla curva. In quel punto, a sinistra, nella colonna verticale, corrisponde il fattore di dimensionamento.



Per evitare l'aggiustamento, gli elementi si possono montare sul boom tramite degli isolatori ad alta impermeabilità ed adeguata robustezza.

La scelta degli elementi isolati dal boom è richiesta quando si vuole utilizzare un'alimentazione con cavo bilanciato che prevede quasi sempre un dispositivo che adatti l'impedenza d'ingresso.



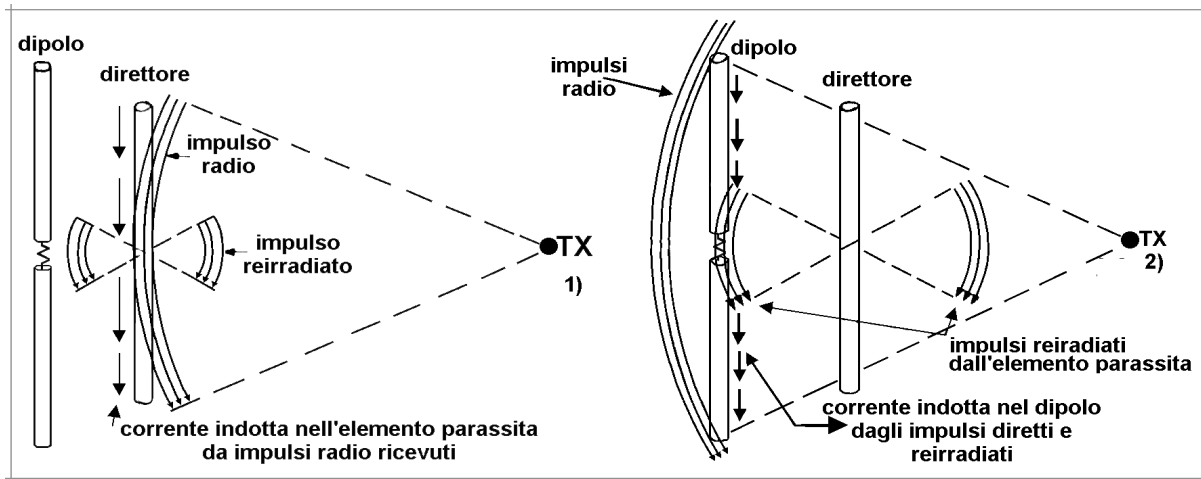
Un'antenna Yagi con elementi passanti per il boom. A destra in basso, particolare di elemento isolato dal boom, dove:  
 P1 è la piastra isolante; T1 è un sostegno isolante tra due semidipoli; P2 sono i blocchi degli elementi;  
 B sono gli agganci ad U per fissare la piastra isolante al boom; F sono stringitubo per bloccare l'innesto tra gli elementi.

## Yagi con radiatore e direttore

Il dipolo, elemento alimentato, irradia le onde nell'atmosfera.

Durante il tragitto, se ad una distanza minore o pari ad un quarto d'onda della frequenza di risonanza (fatta eccezione in alcuni casi), l'onda generata incontra un altro elemento che non sia eccitato direttamente, quest'ultimo viene ad esserlo per induzione.

Si ottiene che, essendo presenti due elementi eccitati in fase per somma, l'onda che è alla medesima frequenza, si somma costruttivamente, ovvero, si rafforza..



Nella figura a sinistra, l'elemento parassita direttore reirradia gli impulsi ricevuti verso il fronte del dipolo che, già esposto al tx, raccoglie pure quella energia. Insieme risultano fuori fase, poiché la seconda è provocata dalla corrente indotta circolante nell'elemento parassita. Una distanza opportuna tra i due elementi provocherà un ritardo tale da mettere in fase le due energie, col risultato di un rafforzamento del segnale.

Il radiatore, per effetto reattivo col direttore, si disintonizza, per cui va calcolato un po' più lungo (circa 1 per cento). L'intervallo di spazio dal radiatore, utile per ottenere un buon guadagno in avanti (circa 4 dBd) mantenendo la mutua impedenza entro valori non critici tra 20 e 25 ohm, è compreso tra 0.12 e 0.15 di lunghezza d'onda.

A distanze minori di 0.12 lambda e fino a 0.7 lambda, il guadagno aumenta fino a circa 5 dBd, per poi diminuire rapidamente con l'impedenza.

A distanze superiori di 0.15 lambda dal dipolo, il guadagno diminuisce meno repentinamente e la resistenza d'irradiazione aumenta rapidamente.

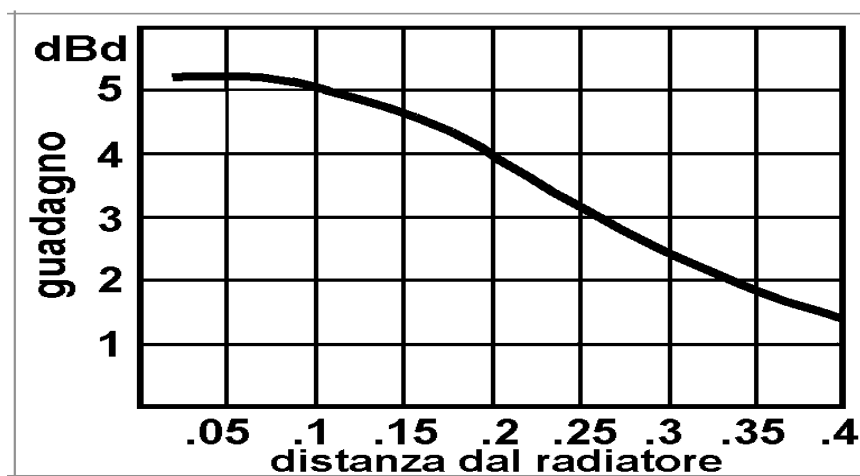


Grafico del guadagno in avanti di un sistema radiante con elemento parassita come direttore.

Quando l'elemento in più è il direttore, il rapporto A/R è notevole, fino a raggiungere i 25 dB con una spaziatura di 0.06 lambda. Certamente un valore eccezionale per un'antenna di solo due elementi, se non fosse che l'impedenza scende sotto i 12 ohm.

Un opportuno sistema di adattamento, quando non è richiesta un'ampia larghezza di banda passante, può rendere questa configurazione molto utile.

Il rapporto A/R varia anche agendo sulla lunghezza del direttore.

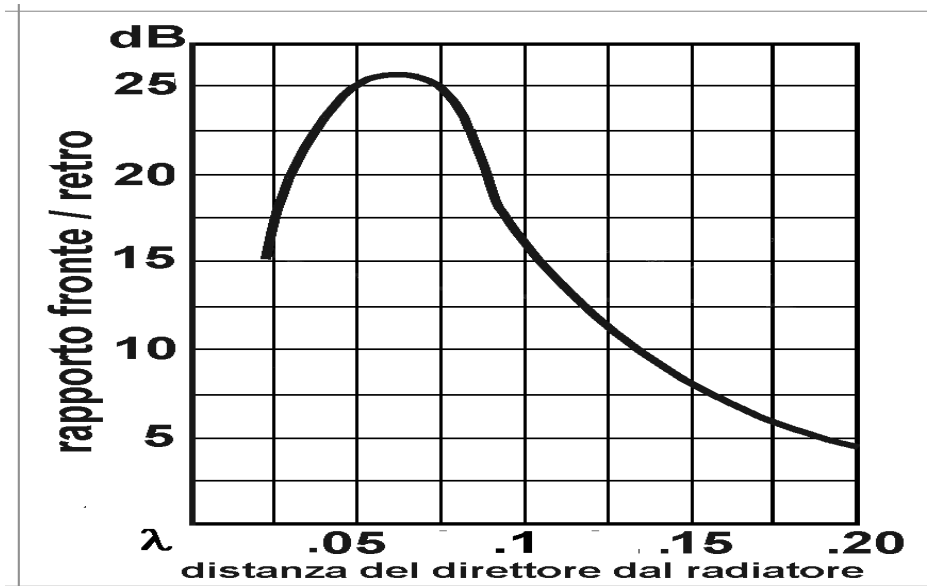
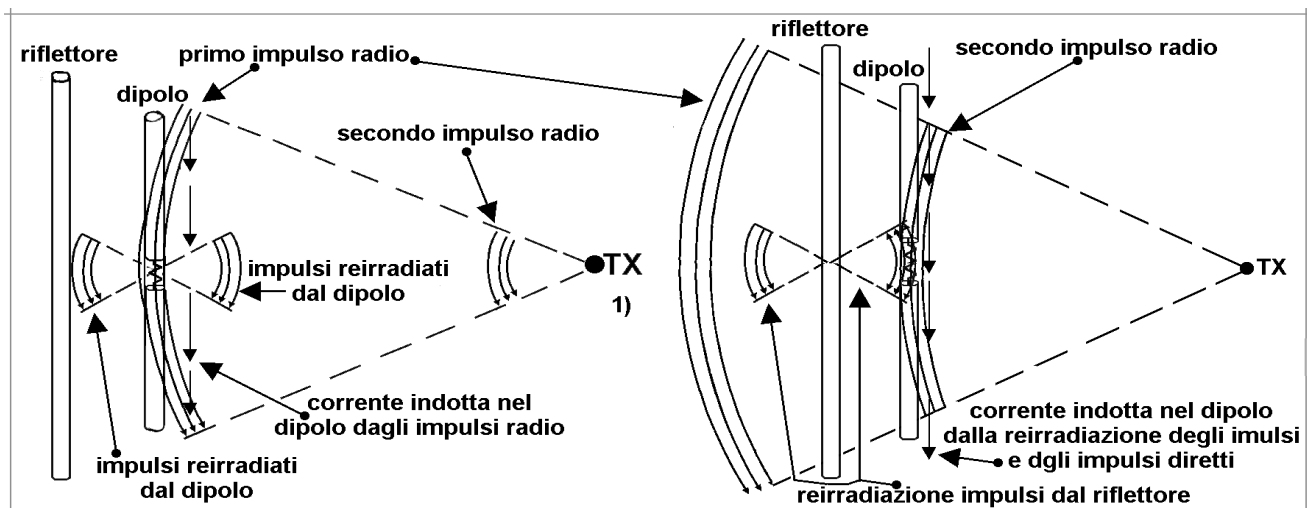


Grafico per la determinazione del rapporto A/R quando l'elemento parassita è un direttore.

### Radiatore e riflettore

Compito del riflettore è di evitare che la radiofrequenza si propaghi nella direzione opposta al radiatore, o almeno che in quella direzione ne venga irradiata il meno possibile.

Per questo fine, esso viene dimensionato leggermente più lungo rispetto al dipolo e posto a distanza tale da esso che risulti non in fase, anzi, addirittura in opposizione di fase completa.



Comportamento del dipolo con elemento parassita quale riflettore.

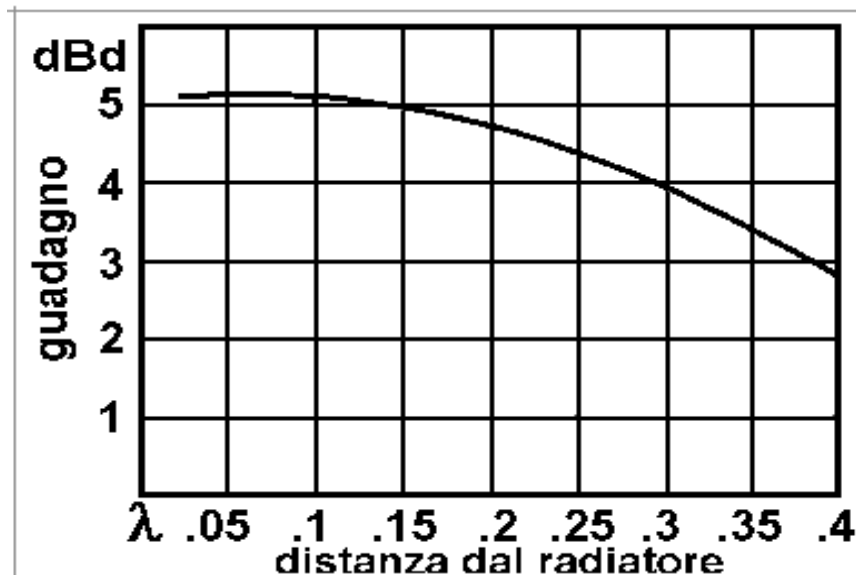


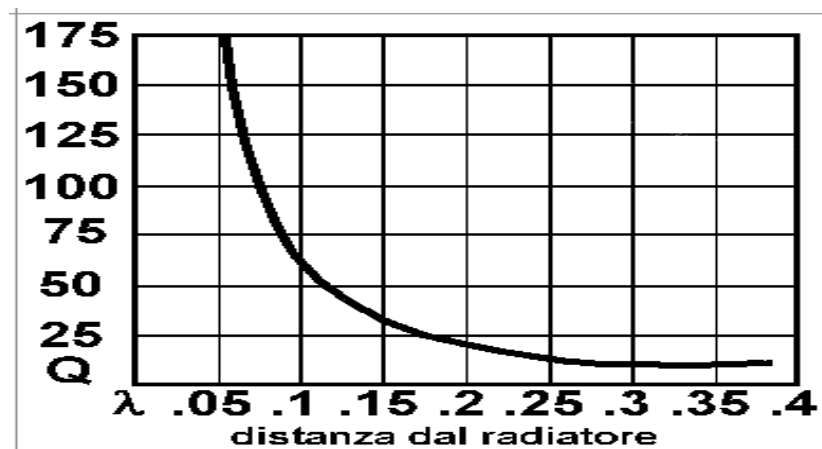
Grafico della spaziatura per un guadagno in avanti quando l'elemento parassita è un riflettore.

Con il riflettore il rapporto A/R del dipolo varia da 8 dB per spaziatura di  $0.15 \lambda$  fino a 16 dB per spaziatura di  $0.22\lambda$

Rispetto al direttore, col riflettore si ottiene un minor rapporto A/R, ma senz'altro preferibile, se consideriamo la resistenza d'irradiazione. Infatti, col direttore e un rapporto A/R di 15 dB l'impedenza è di  $14 \Omega$  mentre con il riflettore è prossima a  $45 \Omega$  ed il guadagno di circa 4 dB, con una banda passante sufficientemente larga da permettere di lavorare con un R.O.S. più basso.



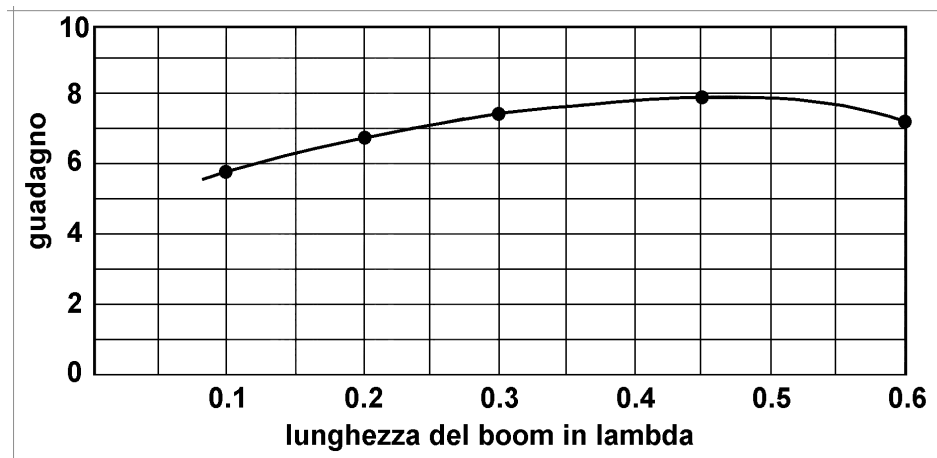
Grafico per conoscere il rapporto A/R quando l'elemento parassita è un riflettore.



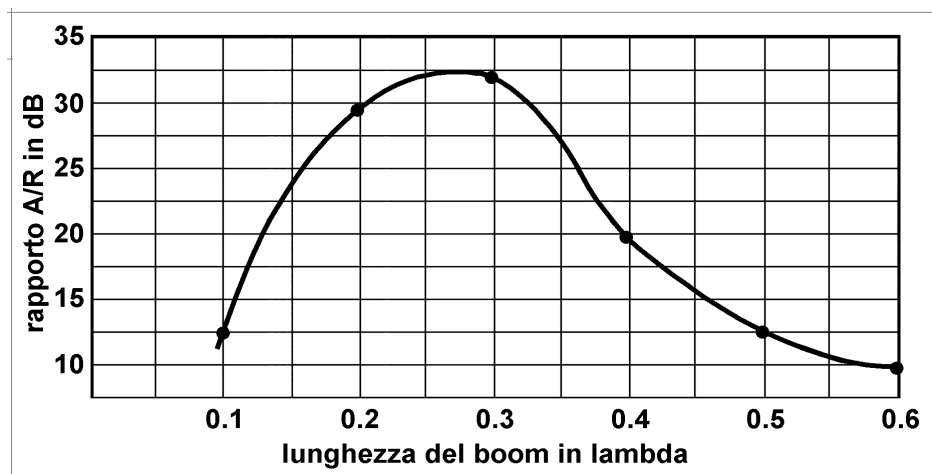
Regola della variazione del Q relativa alle spaziatore.

### Radiatore, riflettore, e direttore

L'utilizzo di entrambe i due componenti parassiti aumenta l'intensità del segnale nella direzione voluta (angolo di apertura), che si misura in gradi. Gli angoli di apertura sono due, orizzontale e verticale.



Il guadagno di una yagi rispetto alla lunghezza del boom



Il rapporto A/R in una antenna direttiva composta da tre elementi è massimo quando il boom è lungo tra 0.2 e 0.3 lambda. Non è conveniente un G molto alto, poiché altri parametri diverrebbero critici, come ad esempio la resistenza di irradiazione.

### Guadagno

Il dipolo semplice, rispetto al dipolo elementare detto isotropico, ha un guadagno di 2,16 dB, poiché il suo lobo risulta leggermente schiacciato ai lati.

Il dipolo ripiegato, rispetto al dipolo elementare, guadagna circa 2,38 dB, e se riferito al dipolo semplice il G è di 0,21 dB.

Diremo che il guadagno riferito al dipolo isotropico sarà definito **dB<sub>i</sub>** (deciBel sull'isotropico) e quello riferito al dipolo semplice lo definiremo **dB<sub>d</sub>** (deciBel sul dipolo).

La massima direttività per un sistema configurato con riflettore-radiatore-direttore è pari a circa di 9 dB di guadagno rispetto al dipolo isotropico, il cui guadagno è assunto a valore zero.

Con un numero maggiore di elementi direttori, aumenta anche la direttività (guadagno in avanti).

Oltre che per il numero degli elementi, il guadagno varia anche in funzione della distanza e dimensione degli stessi lungo il boom. Le spaziatore consigliate tra gli elementi sono entro 0.15 e 0.24  $\lambda$ .



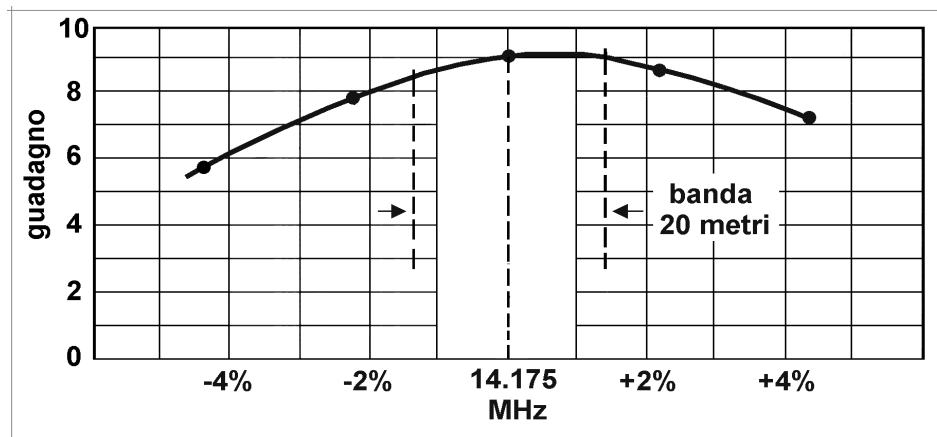


Grafico del guadagno di una yagi tre elementi.

### Rapporto avanti/retro

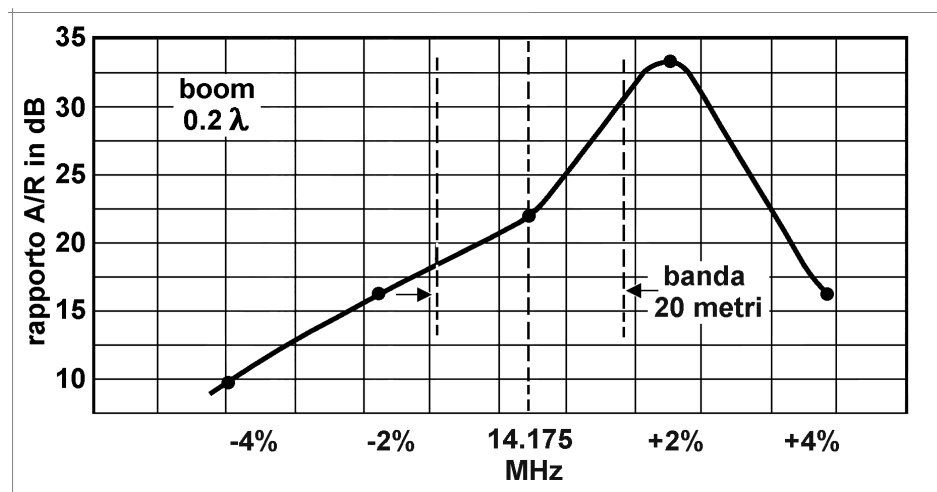
Il rapporto Avanti/Retro (**A/R**) è direttamente legato al guadagno del sistema radiante.

A spiccata direttività corrisponde la massima attenuazione verso la parte opposta.

Nella configurazione di una Yagi a due elementi, il rapporto A/R è dipende anche dal riflettore, che deve essere leggermente più lungo. Se invece il secondo elemento è il direttore, esso dovrà essere leggermente più corto.

Il rapporto limite A/R in un'antenna Yagi è di circa di 25B Iso, il ché significa che nella direzione d'irradiazione, su 100 Watt irradiati è presente un campo pari a 99,6 watt di cui solo 400 mW sono distribuiti verso il retro.

Per la legge della reciprocità, questo vale naturalmente anche in ricezione: un segnale proveniente dal fronte dell'antenna di intensità di campo pari a S9+10 db, si riduce, con la stessa antenna letta sul retro, ad una intensità pari a S6,5 (ogni punto "S" è uguale a 6 dB, valido fino a S9).



Risposta del rapporto A/R di una yagi 3 elementi con picco sulla parte alta della banda.

### Larghezza di banda e "Q"

Per larghezza di banda (o banda passante) s'intende l'intervallo di frequenza entro il quale l'antenna non diventa reattiva ed il R.O.S. rimane ad un livello basso, ovvero è l'intervallo di frequenza entro il quale l'impedenza rimane resistiva e oltre il quale, sotto o sopra, comincia ad essere capacitiva o induttiva, cioè che l'antenna è corta o lunga rispetto alla risonanza.

E', insomma, la porzione di frequenze entro la quale l'efficienza di trasmissione rimane massima.

Quando la distanza tra gli elementi sono brevi il Q è alto, la larghezza di banda è stretta ed il R.O.S. è basso solo su quel piccolo intervallo di frequenza.

Per ottenere larghezza di banda ampia occorrono spaziatore larghe. Queste caratteristiche sono legate all'intero sistema.

### Mutua impedenza

Per "mutua impedenza" s'intende la resistenza d'irradiazione ottenuta tra il dipolo e uno o più elementi parassiti, e dipende dalla spaziatura adottata tra il radiatore e gli elementi parassiti.

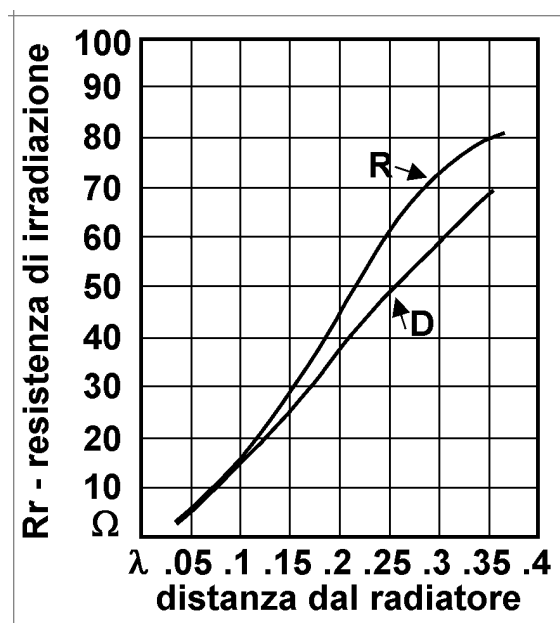
A spaziatore tra gli elementi più brevi di un quarto d'onda il guadagno aumenta e la resistenza d'irradiazione diminuisce, quindi un compromesso deve equilibrare i due valori in modo da ottenere un risultato soddisfacente ma non critico.

Nel sistema di direttiva a tre elementi, l'impedenza d'ingresso rimane sostanzialmente quella del dipolo quando esso è l'unico elemento impiegato, in quanto la reattanza induttiva introdotta dal riflettore, per la sua maggiore lunghezza, e la reattanza capacitiva introdotta dal direttore, per la sua minore lunghezza, si eludono a vicenda per compensazione.

Naturalmente non è così invece quando l'elemento parassita è uno solo.

Se è un direttore, esso introduce nel sistema una parte reattiva, disintonizzando il dipolo, che va di poco allungato per cancellarne la capacità introdotta.

Se invece unico elemento parassita è un riflettore, il dipolo va leggermente accorciato.



Variatione della resistenza d'irradiazione in funzione della spaziatura tra radiatore e riflettore (R) e tra il radiatore e direttore (D).

### Direttività

La direttività segue l'andamento del guadagno.

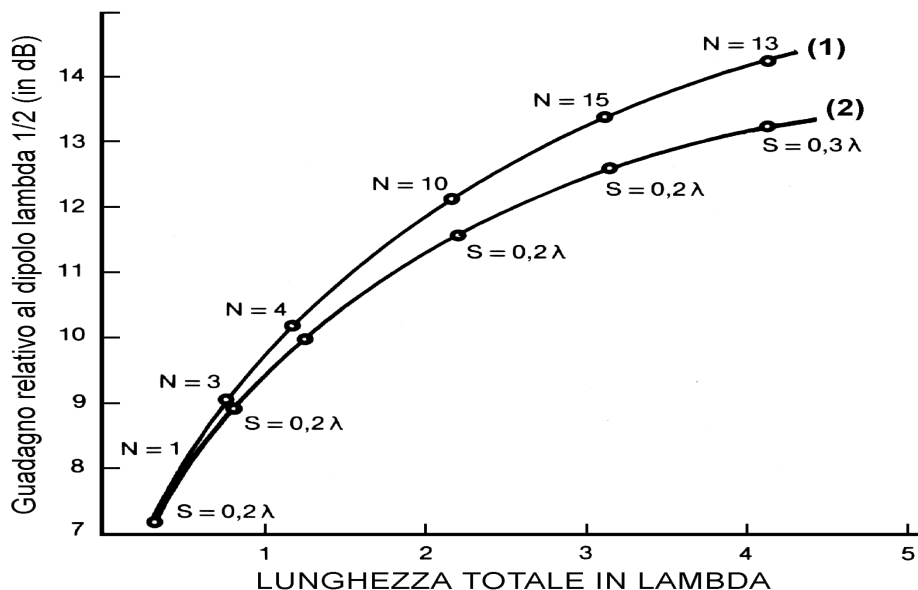
La larghezza del lobo di radiazione dipende dal guadagno che dipende dal "Q" che a sua volta dipende dal diametro degli elementi, dalle spaziatore, dal rapporto A/R e da un eventuale ridimensionamento del riflettore e/o del direttore.

Il lobo di una antenna direttiva di tre elementi ha una larghezza media di circa  $45^\circ$  nel punto a -3 dB (angolo di apertura).

Per ogni elemento direttore oltre il primo, si ottiene una direttività maggiore di circa 0,8 dB (se ben collocato).

Nelle bande HF, oltre a cinque direttori non vale la pena aggiungerne altri poiché l'ulteriore guadagno decresce rapidamente fino a che l'aggiunta di altri è praticamente inutile.

Riepilogando, le antenne Yagi che possono essere considerate del tipo "end fire" in cui un solo elemento è eccitato e gli altri sono alimentati in fase per induzione, presentano caratteristiche di elevata direttività, e sono impiegate nei casi in cui sia necessario trasmettere o ricevere maggiore energia da una certa direzione.



Guadagno ottenibile in funzione della lunghezza del boom. Le curve si riferiscono al caso di lunghezza uniforme (1) oppure ottimizzata (2) dei direttori impiegati. N è il numero dei direttori, S è la spaziatura fra di loro.

### Efficacia

Si dice che l'antenna è reciproca, ovvero che ha la stessa potenzialità sia in ricezione che in trasmissione.

Il radioamatore infatti, normalmente utilizza una sola antenna, sia per trasmettere che per ricevere.

Se le antenne sono di dimensioni diverse rispetto alla lunghezza d'onda ricevente, le cose cambiano.

In presenza di un segnale a 144 MHz, un'antenna ricevente risonante su 432 MHz non riuscirà mai a captare tutta l'energia di quel segnale in quanto la sua dimensione è un terzo rispetto alle dimensioni dell'onda in arrivo e quindi giungerà al ricevitore solamente una parte di essa.

Per catturare tutto il segnale in arrivo, l'antenna dovrebbe essere grande almeno quanto quella che l'ha trasmessa.

Le antenne, per avere uguale guadagno, ognuno relativo alla propria frequenza operativa, dovranno essere di dimensioni diverse: quella risonante a 432 MHz, dovrà essere di tre volte in più il numero degli elementi rispetto all'antenna a 144 MHz.

Si deduce che, su frequenze alte, per ottenere prestazioni uguali alle antenne operanti su frequenza più basse, il numero degli elementi deve essere maggiore.

Date le dimensioni lunghissime si preferisce, in genere, accoppiare più antenne di dimensioni ridotte.

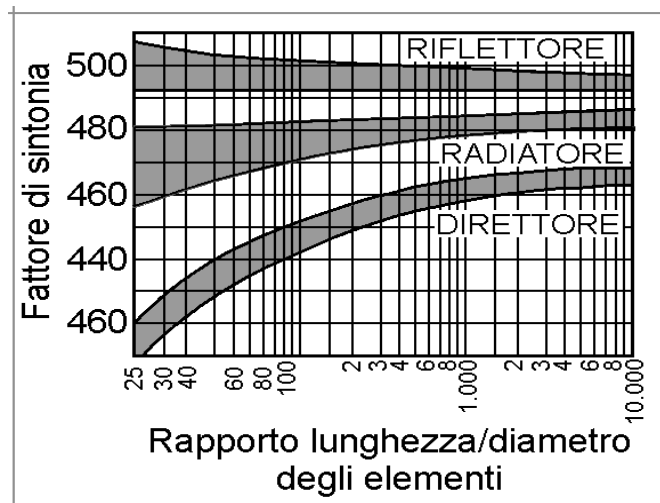


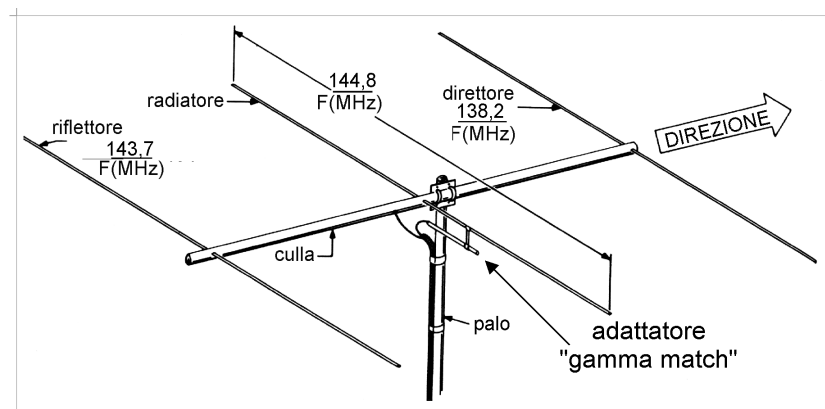
Grafico per la progettazione di antenne Yagi composte da tre elementi.

Il grafico va interpretato in unione del rapporto lunghezza/diametro del conduttore.

Il fattore L si divide per la frequenza in MHz, e si ottiene la lunghezza in metri.

I valori corrispondenti alle curve in figura, sono valide per un boom pari a 0.3 lambda e per valore d'impedenza d'ingresso compreso tra 1 e 20 ohm.

Le lunghezze comprese nelle aree grigie forniscono medie efficienze, quindi possono essere scelte senza alcun ritocco, anche se il rapporto A/R può essere migliorato variando la dimensione del riflettore.



Antenna Yagi 3 elementi per 28.600 MHz.

Nella Yagi a tre elementi in figura, con impiego di direttore e riflettore, il guadagno è in funzione all'accordo tra gli elementi e alla lunghezza del boom. In questa con figurazione la spaziatura tra radiatore e direttore è 157 cm. mentre quella tra radiatore e riflettore è 144 cm.

Per le dimensioni accennate e quelle degli elementi riscontrabili in figura, le caratteristiche generali saranno:

Guadagno 7,5 dB

Rapporto avanti/retro 18 dB

Impedenza d'ingresso intorno ai 22 ohm

Il boom (culla) può essere compreso tra 0.2 e 0.5 lambda.