

## **SISTEMI RADIANTI**

"L'investimento in un sistema radiante di qualità rappresenta una scelta strategica: a differenza dei trasmettitori, le antenne non comportano consumi energetici né costi di manutenzione, garantendo prestazioni elevate e durature nel tempo."

Nel cuore di ogni impianto radiofonico, il sistema radiante rappresenta la spina dorsale invisibile della trasmissione.

Spesso sottovalutato rispetto ai trasmettitori o ai processori audio, è in realtà il primo e ultimo anello della catena di emissione.

Antenne, cavi e connettori non solo determinano la qualità del segnale irradiato, ma influenzano direttamente l'efficienza energetica, la stabilità operativa e la longevità dell'intero impianto (chi più spende meno spende).

Investire in componenti di alta qualità non è una spesa, ma una scelta strategica: un buon sistema radiante lavora silenziosamente, senza consumare energia, senza richiedere manutenzione costante, e senza generare costi ricorrenti.

È un investimento che si ripaga da solo, giorno dopo giorno, trasmissione dopo trasmissione.

Nel valutare un sistema radiante, non basta affidarsi alla brochure o alla brillantezza delle finiture.

Occorre considerare la robustezza meccanica, la tenuta agli agenti atmosferici, la qualità dei materiali e - soprattutto - la coerenza tra quanto dichiarato e quanto realmente misurabile. Questa si chiama Reputazione.

Una buona antenna non si giudica dal numero di elementi o dalla forma esotica del riflettore, ma dalla sua efficienza, dalla stabilità nel tempo e dalla capacità di mantenere le prestazioni anche in condizioni critiche. Il resto è scenografia.

Chi lavora in radio lo sa: un sistema radiante affidabile è invisibile quando funziona, e diventa protagonista solo quando smette di farlo.

Ecco perché, al momento dell'acquisto, è bene farsi consigliare da chi ha esperienza sul campo, non solo da chi ha esperienza in catalogo.

Sappiamo tutti che il numero degli elementi, la combinazione tra questi o il tipo di antenna, determineranno l'angolo di irradiazione - orizzontale o verticale - e il conseguente guadagno in dbm.

- Radiante (o driver) → è l'elemento alimentato, cioè collegato al cavo coassiale.
- Riflettore → è l'elemento posto dietro al radiante, leggermente più lungo. Serve a riflettere l'onda e a concentrare la radiazione in avanti.
- Direttori → sono gli elementi davanti al radiante, leggermente più corti. Servono a "dirigere" il lobo di radiazione rendendolo più stretto e guadagnando direzionalità.

### **Cos'è l'angolo di irradiazione?**

L'angolo di irradiazione rappresenta la direzione e l'ampiezza con cui l'energia elettromagnetica viene irradiata. Un angolo più stretto significa maggiore direttività e guadagno (di cui vi parlerò a breve), ma minore copertura angolare.

- **Angolo di irradiazione verticale:** determina quanto il segnale si estende verso l'alto e il basso. Un angolo stretto concentra l'energia orizzontalmente, utile per coprire grandi distanze sul piano terrestre.
- **Angolo di irradiazione orizzontale:** determina quanto il segnale si estende lateralmente. Un angolo stretto concentra l'energia in una direzione precisa, utile per collegamenti direzionali.
- Cerchiamo di capire come si comportano le antenne in Fm prendendo in considerazione le tipologie più utilizzate in questo settore. Yagi e Harray

### **Antenne Collineari: Direttività sul piano verticale**

- Le **antenne collineari** sono costituite da dipoli disposti in verticale, uno sopra l'altro.
- Aumentando il numero di dipoli (es. 8 dipoli collineari), si stringe il lobo di irradiazione sul piano verticale.
- Questo significa che l'energia viene irradiata più orizzontalmente, riducendo la dispersione verso l'alto e il basso.
- Il risultato è una copertura più ampia sul piano orizzontale, ideale per trasmissioni broadcast su territori pianeggianti.

*Esempio:* Un array collineare da 8 dipoli ha un angolo di irradiazione verticale molto stretto, con un guadagno elevato e una copertura uniforme sul piano terrestre.

### **Antenne Yagi: Direttività sul piano orizzontale**

- Le antenne Yagi sono composte da un dipolo attivo, riflettori e direttori disposti orizzontalmente.
- Aumentando il numero di elementi (es. da 3 a 9), si stringe il lobo di irradiazione sul piano orizzontale.
- Questo permette di concentrare il segnale in una direzione precisa, utile per evitare interferenze laterali.
- Una Yagi a 9 elementi presenta un angolo di irradiazione orizzontale molto stretto, con un guadagno direzionale elevato e una copertura focalizzata. **In genere, non si utilizzano direttive con più di 4 elementi, poiché si rischierebbe di "stringere" eccessivamente il fascio.**
- Diversamente, la direttività sul piano verticale è determinata dal calcolo della lunghezza dei cavi tra l'accoppiatore e le antenne, dalla distanza tra le antenne oppure, più semplicemente, dalla perpendicolarità dell'antenna.

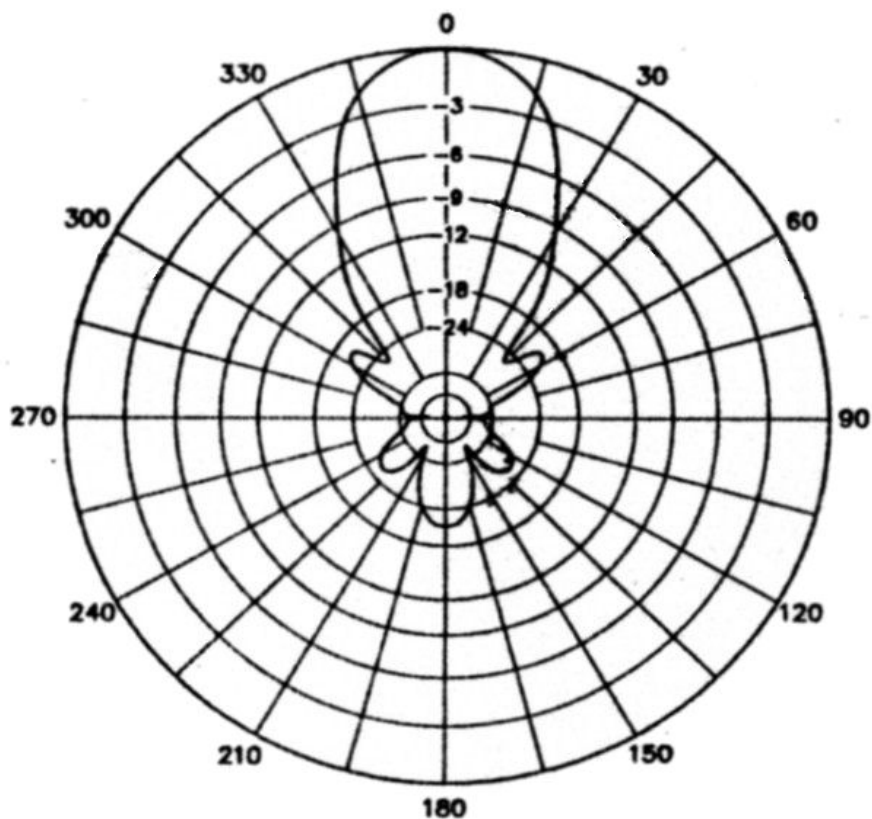
Partendo da questi presupposti, troveremo un'infinità di combinazioni: semi collineari, a polarizzazione circolare, a doppia polarizzazione, semidirettive, pannelli a polarizzazione incrociata, addirittura sistemi di Yagi con direttori differenziati (...).

Un settore che si basa indubitabilmente sulla fisica e sul calcolo ma anche, purtroppo, sulla bizzarra o quanto meno originale interpretazione di molti antenisti.

Ricordiamo che il sistema d'antenna è uno degli elementi in cui non si deve risparmiare. **Va fatto quello che si deve fare.** Ci sono dei costi importanti naturalmente e che non tutti possono sostenere.

Varrà certamente la pena prendere in affitto un impianto radiante da un ripetitorista di zona e non improvvisarsi in strane avventure.

Parliamo adesso, velocemente del guadagno in dbm. **Come accennavo prima, il numero degli elementi o la combinazione tra antenne determina il guadagno delle stesse.**



In ambito broadcast FM, il guadagno di un'antenna è una misura di quanto efficacemente l'antenna concentri l'energia irradiata in una direzione preferenziale, rispetto a un'antenna di riferimento (di solito isotropica o dipolo).

## Definizione tecnica del guadagno

Il guadagno non amplifica la potenza trasmessa (come di diffuso pensiero): l'antenna è un elemento passivo.

- Esso redistribuisce l'energia irradiata, concentrandola in una direzione specifica.
- Si esprime in dBi (decibel rispetto all'antenna isotropica) o dBd (decibel rispetto al dipolo). Pertanto, il calcolo delle potenze irradiate deve necessariamente tenerne conto
- L'antenna non amplifica la potenza come farebbe un amplificatore attivo. Il guadagno indica come l'antenna concentra l'energia irradiata in una o più direzioni, rispetto a un radiatore di riferimento (dipolo o isotropico). È una misura geometrica e funzionale, non elettrica.

Immaginate un faro che emette luce in tutte le direzioni (isotropico). Se metti un riflettore dietro, la luce non aumenta, ma viene concentrata in una direzione. Il guadagno dell'antenna funziona allo stesso modo. In terza media lo spiegava il professore...

Per semplificare diremo che:

**Guadagno = densità di potenza irradiata dall'antenna reale / densità di potenza irradiata da un radiatore isotropico**

- Un'antenna con alto guadagno ha un lobo di irradiazione più stretto, quindi:
  - Irradia più lontano nella direzione del lobo principale.
  - Ha minore dispersione in altre direzioni.
- Questo è utile per:
  - Ottimizzare la copertura in zone pianeggianti.
  - Ridurre interferenze.
  - Massimizzare l'efficienza del sistema trasmittente.

Non bisogna mai dimenticare le esigenze olografiche.

- Un territorio montuoso
- Una posizione del ripetitore infelice
- La costa frastagliata
- Le colline a cazzo di cane

## Formula del guadagno in antenna : ERP

Il guadagno si calcola come:

$$G = 10 \times \log_{10} (S / S_i)$$

dove:

- **S** = densità di potenza irradiata dall'antenna reale
- **Si** = densità di potenza irradiata da un'antenna isotropica
- Hai un trasmettitore da 1000 W e un'antenna con guadagno di 6 dBd ( $\approx 4$  volte la potenza lineare):
- text
- $ERP = 1000\text{ W} \times 4 = 4000\text{ W}$
- L'antenna irradia come se avesse 4000 W nella direzione utile, pur ricevendo solo 1000 W.

### Il guadagno delle antenne si calcola su scala logaritmica

Perché ogni 3 dB  $\approx$  raddoppio la potenza? Quante volte avete sentito il tecnico antennista insistere per aumentare il numero delle antenna?

Vediamo il calcolo:

$$3\text{ dB} = 10 \times \log_{10}(P_2 / P_1)$$

$$\rightarrow \log_{10}(P_2 / P_1) = 0.3$$

$$\rightarrow P_2 / P_1 = 10^{0.3} \approx 2$$

Quindi: Un incremento di 3 dB significa che la potenza è raddoppiata. Analogamente, una riduzione di 3 dB dimezza la potenza.

### Valori tipici e corrispondenze

$\Delta$ dB	Fattore di potenza	Effetto
+3 dB	$\times 2$	Raddoppio della potenza
+6 dB	$\times 4$	Quadruplicazione
+10 dB	$\times 10$	Decuplicazione
-3 dB	$\div 2$	Dimezzamento
-10 dB	$\div 10$	Un decimo della potenza

### Esempio pratico in FM

Abbiamo un trasmettitore da 100 W. **Se aggiungiamo 3 dB di guadagno:**

$$ERP = 100 \times 2 = 200\text{ W}$$

**Se aggiungiamo 6 dB:**

text

$$ERP = 100 \times 4 = 400\text{ W}$$

Facciamo qualche esempio per capire meglio.

### Esempio 1

1 antenna yagi a 3 elementi vs 4 antenne yagi 3 elementi.

#### Caso 1: 1 antenna Yagi a 3 elementi

- **Guadagno tipico:** circa **8 dBd** ( $\approx 10.1$  dBi)
- **Angolo di irradiazione orizzontale:** ampio, circa **60–70°**
- **ERP approssimativo 6300 w circa**

#### Caso 2: 4 antenne Yagi a 3 elementi impilate verticalmente

- **Guadagno combinato:** si somma in modo logaritmico. Ogni raddoppio del numero di antenne aggiunge circa **3 dB**.
  - Guadagno totale  $\approx 8 \text{ dBd} + 6 \text{ dB} = 14 \text{ dBd}$  ( $\approx 16.15$  dBi)
- **Angolo di irradiazione verticale:** molto stretto, circa **10–15°**, ideale per copertura orizzontale su terreno pianeggiante.
- **ERP:** approssimativo 25000 w circa

Vediamo adesso una comparazione tra dipoli harray

#### Calcolo del guadagno e ERP per dipoli

- Il **guadagno** di un dipolo singolo è circa **2.15 dBi** (0 dBd).
- Ogni **raddoppio del numero di dipoli** in un array verticale aggiunge circa **+3 dB** di guadagno.
- La **ERP (Effective Radiated Power)** si calcola come:

text

$$\text{ERP} = P_{tx} \times 10^{(G_{\text{dBd}} / 10)}$$

#### Caso 1: 1 dipolo

- **Guadagno:** 0 dBd
- **ERP:** 1000 w approssimativi
- **Angolo verticale:** ampio ( $\sim 60\text{--}70^\circ$ ), copertura meno focalizzata

#### Caso 2: 4 dipoli in Array verticale

- **Guadagno:** circa **6 dBd**
- **ERP:** 3981 w approssimativi
- **Angolo verticale:** più stretto ( $\sim 25\text{--}30^\circ$ ), copertura più orizzontale

#### Caso 3: 8 dipoli in Array verticale

- **Guadagno:** circa **9 dBd**
- **ERP:** 7943 Watt approssimativi
- **Angolo verticale:** molto stretto ( $\sim 10\text{--}15^\circ$ ), copertura orizzontale massima

## Conoscere e gestire il guadagno in Antenna

**Un guadagno elevato non è sempre vantaggioso:** se il lobo è troppo stretto, si rischia di escludere aree vicine o non coprire dislivelli. La scelta del guadagno va calibrata in base al territorio, alla potenza disponibile e agli obiettivi di copertura.

Pur essendo certamente consigliabile posizionare il trasmettitore più in alto possibile (a patto che ci sia la visuale giusta) bisogna considerare che gestire l'angolo di irradiazione verticale, specie in montagna, necessita di abbassamenti elettrici o meccanici particolarmente complessi, specialmente se l'obiettivo ha numerosi gradi di dislivello. Installazioni superiori agli otto dipoli richiedono tralicci (e torrini) di notevoli dimensioni. Per esempio, qui in Calabria, solo poche posizioni permettono 8 dipoli.

Facciamo qualche esempio:

Per un sistema FM con antenne direttive Yagi montate in array verticale, l'altezza del traliccio dipende da:

- **Numero di antenne**
- **Spaziatura verticale tra gli elementi**
- **Altezza minima da terra per evitare ostacoli e riflessioni**
- **Margine superiore per sicurezza e installazione**

### Spaziatura verticale consigliata

- Tra antenne Yagi FM: **2,5–3 metri** (una forma d'onda a 100 Mhz è di circa 3 metri)
  - Altezza minima da terra della prima antenna: **10–12 metri**
  - Margine superiore sopra l'ultima antenna: **1,5–2 metri** (per sicurezza, manutenzione, e rispetto delle normative)

### Calcolo dell'altezza del traliccio

N° antenne	Spaziatura (m)	Altezza prima antenna (m)	Altezza array (m)	Margine superiore (m)	Altezza totale traliccio (m)
4	3	12	9	2	23
8	3	12	21	2	35
12	3	12	33	2	47

L'altezza dell'array si calcola come:  $(\text{numero antenne} - 1) \times \text{spaziatura}$

### Considerazioni pratiche

- **Installazione urbana o condominiale:** potrebbe richiedere permessi e limitazioni (max 6 m senza autorizzazione).
- **Zone rurali o broadcast professionale:** tralicci da **30–50 m** sono comuni.
- **Controventature:** necessarie oltre i **10–12 m**, con tiranti a più livelli.

*"Potete immaginare quanto possa costare un traliccio da 50 metri per posizionare 12 antenne. Ecco uno dei motivi del perché ne vediamo pochi."*

### Altezza del ponte radio

#### Premessa tecnica: campo elettrico e copertura

- **54 dB $\mu$ V** corrisponde a un livello di tensione ricevuta di circa **500  $\mu$ V** su carico di 75 ohm, tipico per segnali TV/FM.
- Questo valore è **sufficiente per una ricezione stabile** in condizioni normali, ma la **copertura effettiva** dipende da:
  - Altezza dell'antenna trasmittente
  - Potenza irradiata (ERP)
  - Frequenza di trasmissione
  - Tipo di terreno e ostacoli
  - Curvatura terrestre e riflessioni

**Direi che ci siamo fissati con i 54 dB $\mu$ V...** I produttori di TX e Antenne fanno misure in campo libero. Sappiamo bene tutti però, che **se non sfondi a 60 dB $\mu$ V, il segnale zoppica.**

A differenza dei trasmettitori, che consumano energia e richiedono interventi periodici, le antenne e i cavi ben progettati operano in modo passivo, affidabile e duraturo. Ogni euro speso in un sistema radiante di qualità è un euro investito in efficienza, stabilità e tranquillità operativa.

Non si tratta solo di migliorare la copertura o ridurre il ROS: si tratta di costruire una trasmissione solida, capace di resistere al tempo, alle intemperie e alle sfide tecniche.

In radiofonia, come in ogni arte tecnica, la differenza tra un impianto buono e uno eccellente si misura nei dettagli. E il sistema radiante è il dettaglio che fa la differenza.

### Multipath: il demone invisibile della radiofonia

La prima volta che mi scontrai con il multipath non sapevo nemmeno cosa fosse. Era l'inizio degli anni '80, e in un impeto di rivalità radiofonica decisi di installare un ripetitore su una collinetta adiacente alla città, con una potenza a dir poco iperbolica. L'obiettivo? Offuscare completamente la radio di uno stronzco che trasmetteva su una frequenza adiacente a quella

della stazione per cui lavoravo blaterando in continuazione (negli anni '80 si faceva così). Missione compiuta ... o quasi.

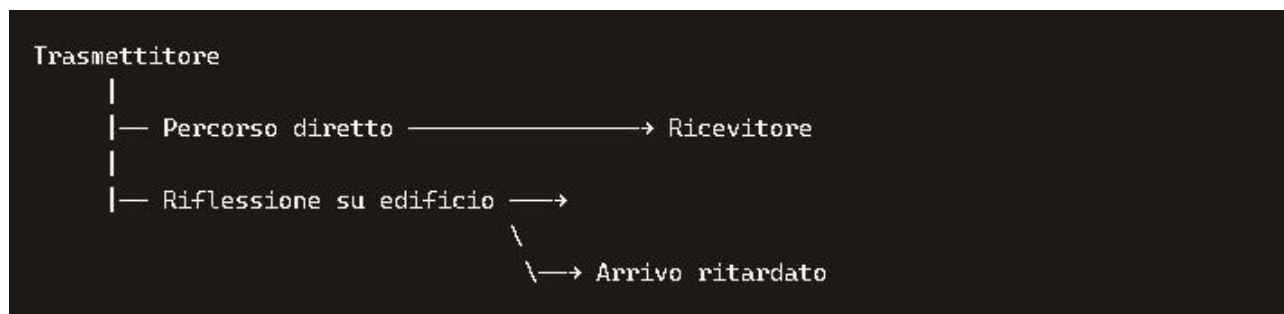
In alcuni quartieri della città, quelli più esposti al nuovo segnale, iniziarono a manifestarsi strani fenomeni: l'audio presentava un leggero riverbero, e l'intensità della modulazione si abbassava inspiegabilmente.

Mi arrovellai per giorni cercando una spiegazione, finché un amico tecnico dell'alta frequenza, da Milano, mi suggerì una soluzione tanto semplice quanto illuminante: **abbassa la potenza RF**.

Fu così che scoprii il multipath, un fenomeno subdolo e inevitabile, soprattutto in ambienti urbani o montani. In FM analogica, il multipath è un nemico silenzioso: il segnale trasmesso raggiunge il ricevitore non solo per via diretta, ma anche attraverso riflessioni su edifici, alberi, colline, tetti e superfici metalliche. Questi percorsi multipli arrivano sfasati nel tempo, sovrapponendosi e generando interferenze distruttive, fading, e distorsioni audio.

### Da leggenda a scienza

Per anni il multipath è stato considerato una leggenda urbana, una supposizione tecnica difficile da dimostrare. Oggi, grazie alla simulazione digitale e alla **ricostruzione olografica dei lobi di irradiazione**, è possibile "vedere" con precisione la resa effettiva di un impianto di trasmissione e calcolare l'impatto del multipath in ogni direzione.



### Errori da evitare

Il multipath è ancora sottovalutato. Bastano pochi errori per comprometterne l'effetto:

- Un crinale di alberi troppo vicino ai dipoli
- Radianti installati a ridosso dei tetti delle abitazioni
- Sistemi d'antenna troppo ravvicinati tra loro

Questi fattori possono disturbare i lobi di irradiazione, generare riflessioni indesiderate e alterare la propagazione del segnale, rendendo instabile anche la trasmissione più potente e alterando il progetto del pattern di copertura,

## Cosa succede al segnale FM

Effetto	Perché accade	Risultato percepito
<b>Sfasamento</b>	I percorsi hanno lunghezze diverse	Modulazione "che respira", variazioni di livello
<b>Interferenza costruttiva/distruttiva</b>	Le onde si sommano o si cancellano	"Fruscio intermittente", fading
<b>Distorsione del segnale stereo</b>	Il canale L-R è più sensibile	Immagine stereo instabile, "ondeggianti"
<b>Variazione del rapporto S/N</b>	Il segnale utile si indebolisce	Rumore, perdita di qualità

### Multipath oggi: problema o risorsa?

Nei sistemi digitali come DAB o DVB, il multipath può diventare un alleato, grazie a tecniche come la modulazione COFDM e l'uso di equalizzatori adattivi. Ma in FM analogica, resta un demone invisibile da tenere sotto controllo con una progettazione attenta, una scelta oculata delle antenne e una distribuzione intelligente della potenza.