



**A.R.I. - Sezione di Parma**  
Conversazioni del 1° venerdì del mese

# Guadagno d'antenna Come misurarlo?

Venerdì, 6 dicembre 2013, ore 21 - Carlo, I4VIL

## DIRETTIVITA' E GUADAGNO

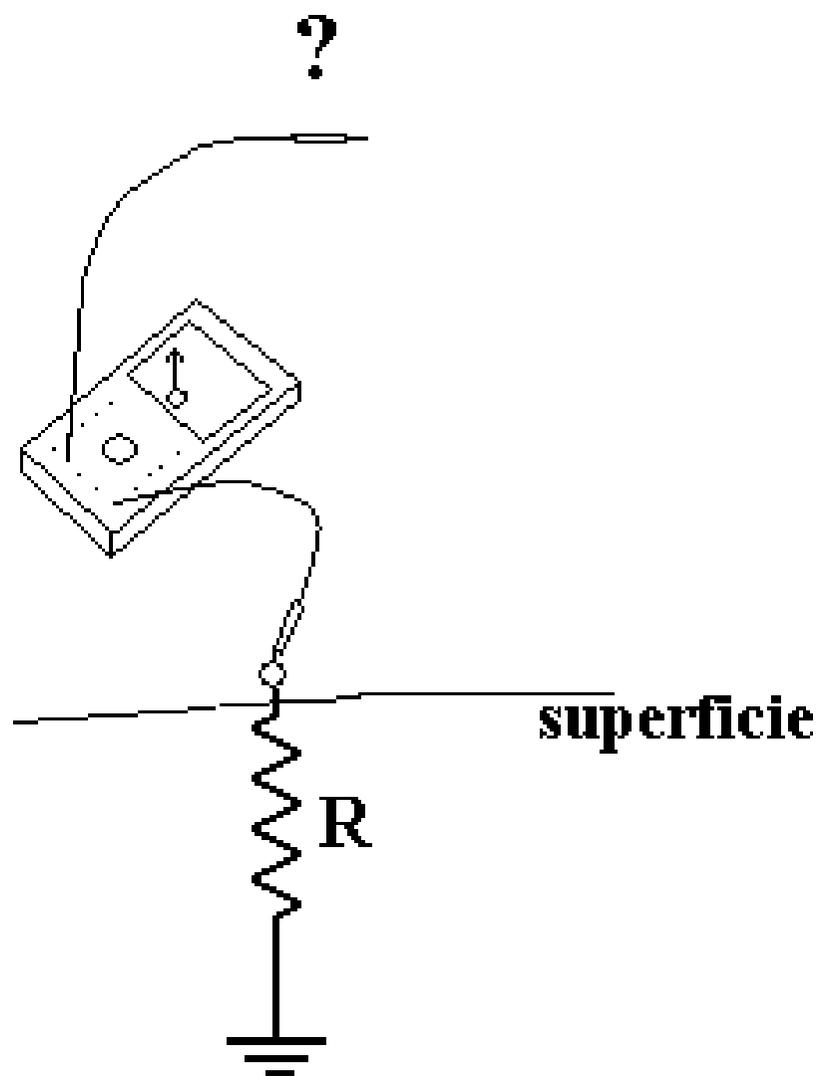
La direttività  $D$  è il rapporto tra il valore della massima densità di potenza [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] in una particolare direzione ed il valore mediato su tutta la superficie sferica che circonda l'antenna DUT, in campo lontano.

$$D = \frac{P_{\text{MAX}}}{P_{\text{media}}}$$

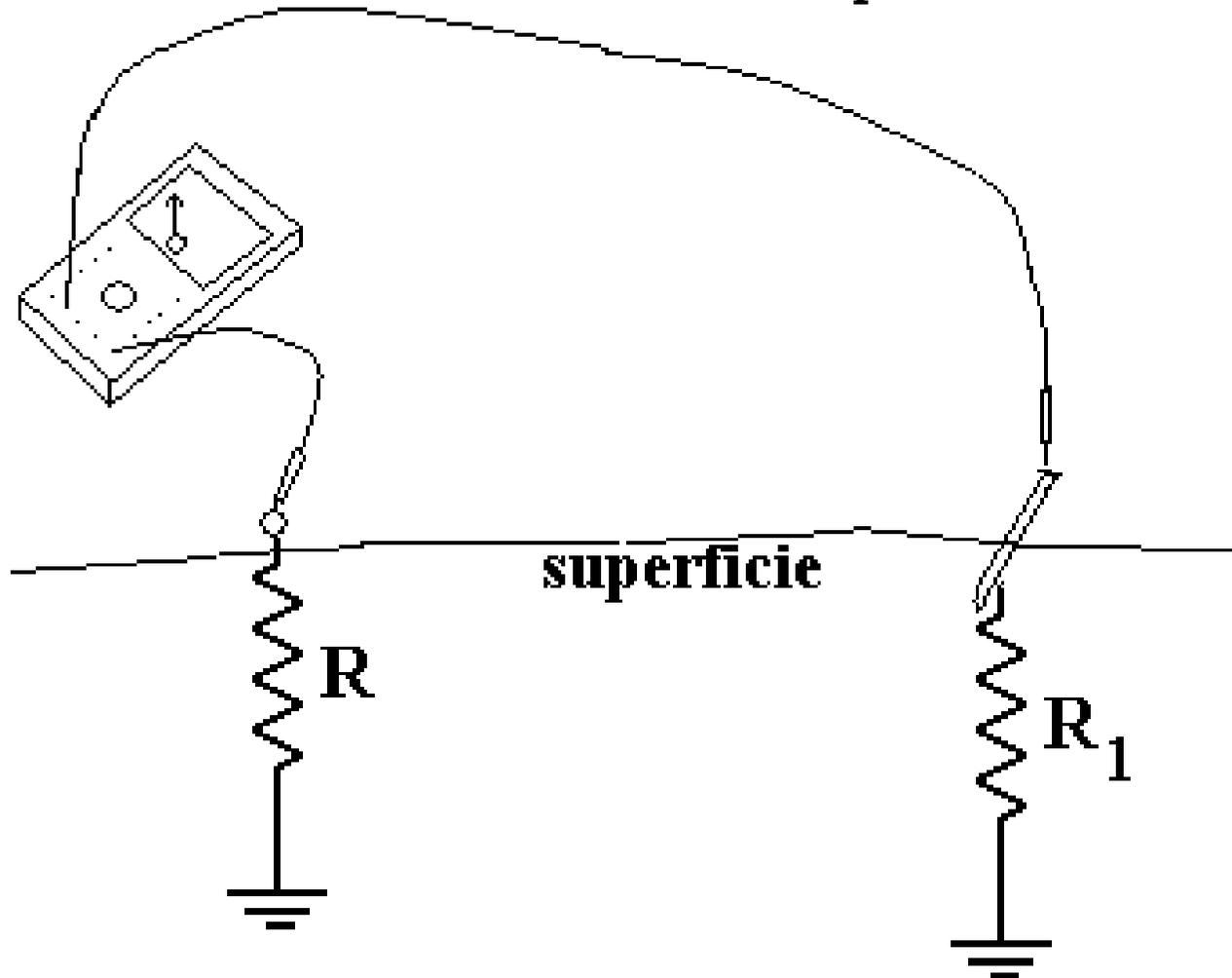
Il guadagno  $G$  può essere ottenuto comparando il valore della max. densità di potenza in una particolare direzione del DUT con l'analoga densità di potenza di una antenna di riferimento.

$$G_{\text{RIF.}} = \frac{P_{\text{MAX DUT}}}{P_{\text{MAX RIF.}}}$$

## Come si misura la resistenza di terra ?

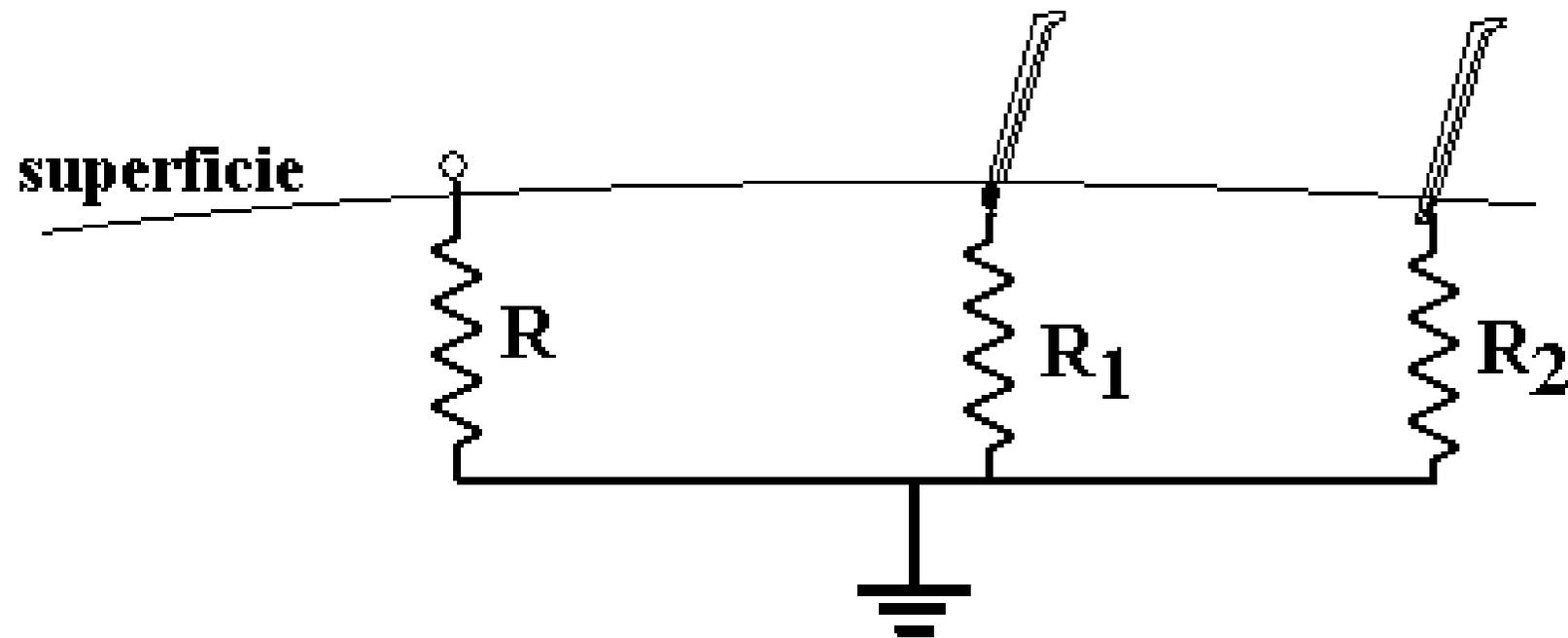


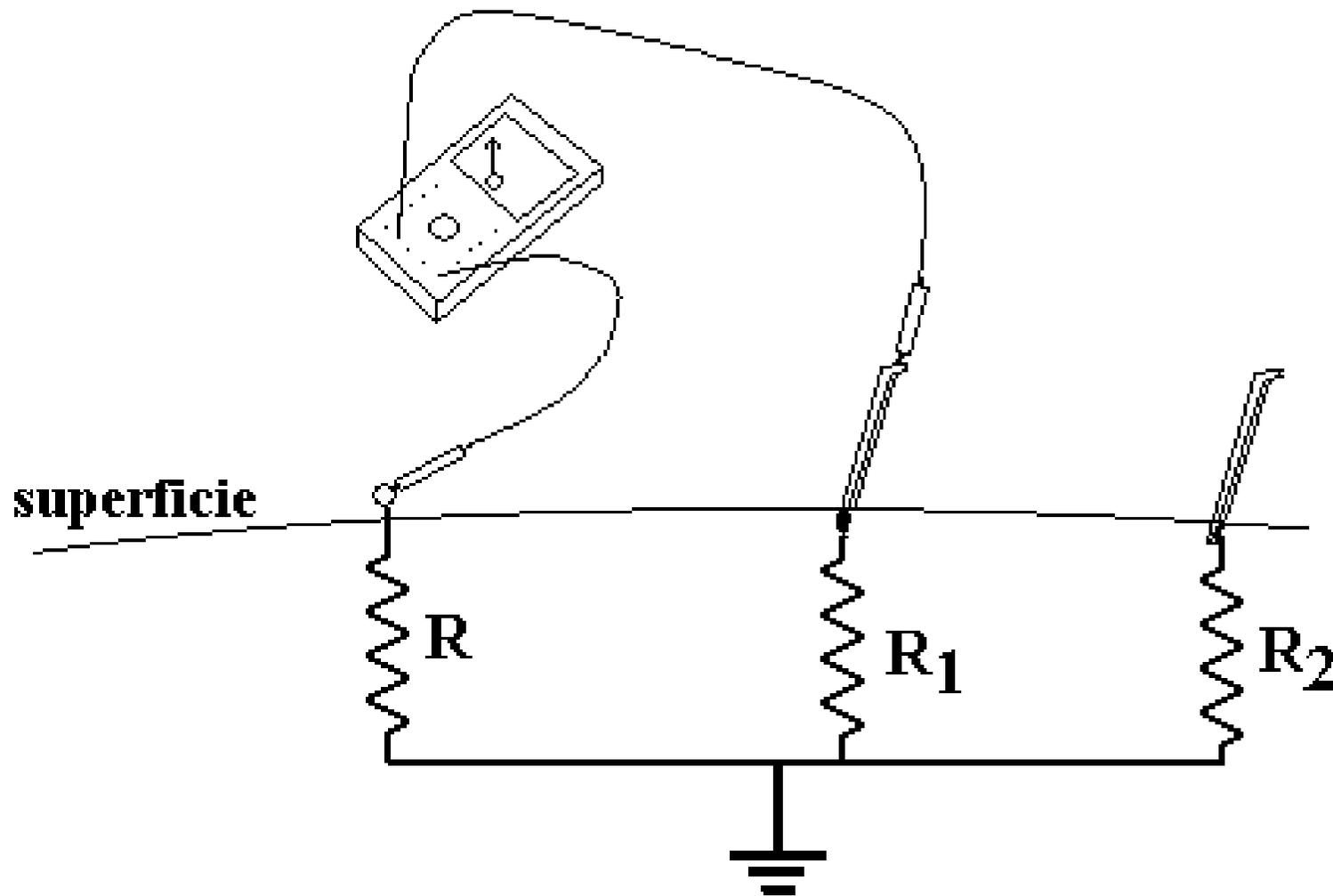
con un altro picchetto.....



..... si misura  $R+R_1$   
(2 incognite - 1 sola misurazione)

**aggiungendo due picchetti ulteriori .....**





**si possono misurare:  $R+R_1$ ,  $R+R_2$  ed  $R_1+R_2$**   
**( 3 incognite con 3 misure . Risolvibile! )**

Possiamo avere, quindi, un sistema di 3 equazioni in 3 incognite,  $R$ ,  $R1$  ed  $R2$  che ammette soluzione .

$$\begin{array}{l} \text{Esempio:} \\ \mathbf{R} + \mathbf{R1} = \mathbf{30} \\ \mathbf{R} + \mathbf{R2} = \mathbf{25} \\ \mathbf{R1} + \mathbf{R2} = \mathbf{35} \end{array}$$

Metodo di Cramer

$$\mathbf{R} = \frac{\begin{vmatrix} 30 & 1 & 0 \\ 25 & 0 & 1 \\ 35 & 1 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}} = \mathbf{10}$$

dove:

$$A := \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\det A \neq 0 \blacksquare$$

$$\mathbf{R}_1 = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 30 & 0 \\ 1 & 25 & 1 \\ 0 & 35 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}} = \mathbf{20}$$

$$\mathbf{R}_2 = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 30 \\ 1 & 0 & 25 \\ 0 & 1 & 35 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}} = \mathbf{15}$$

Metodo di sostituzione:

$$R + R1 = 30$$

$$R + R2 = 25$$

$$R1 + R2 = 35$$

$$R = 30 - R1 \longrightarrow \begin{array}{l} (30-R1)+R2 = 25 \\ R1 + R2 = 35 \end{array} \longrightarrow R2 = 25-30+R1 \longrightarrow R1+(25-30+R1) = 35$$

da cui:

$$2 R1 = 40$$

$$\boxed{R1 = 20}$$

e, sostituendo:

$$R + R1 = 30$$

$$R+20 = 30$$

$$\boxed{R = 10}$$

sostituendo, ancora:

$$R1 + R2 = 35$$

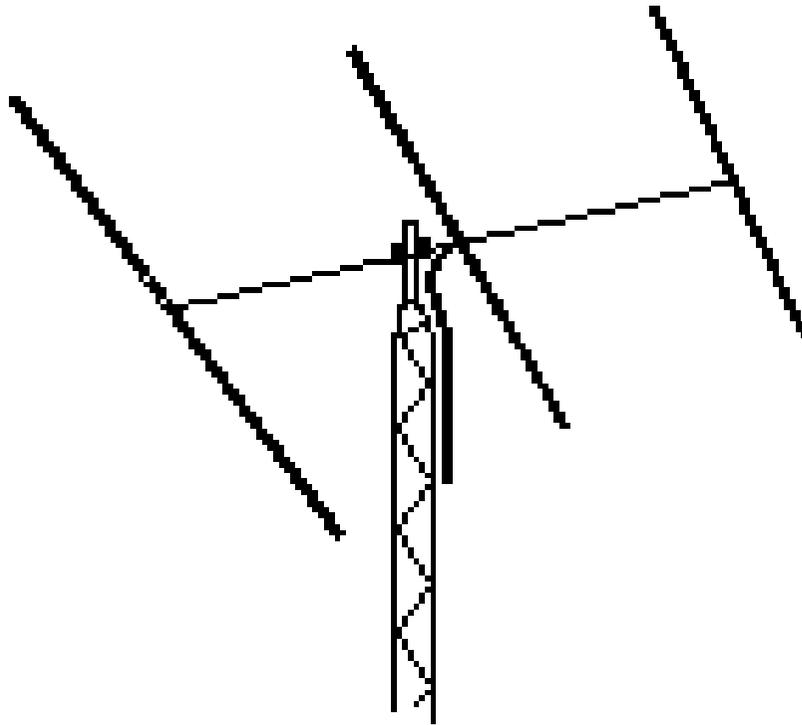
$$R2 = 35 - R1$$

$$\boxed{R2 = 15}$$

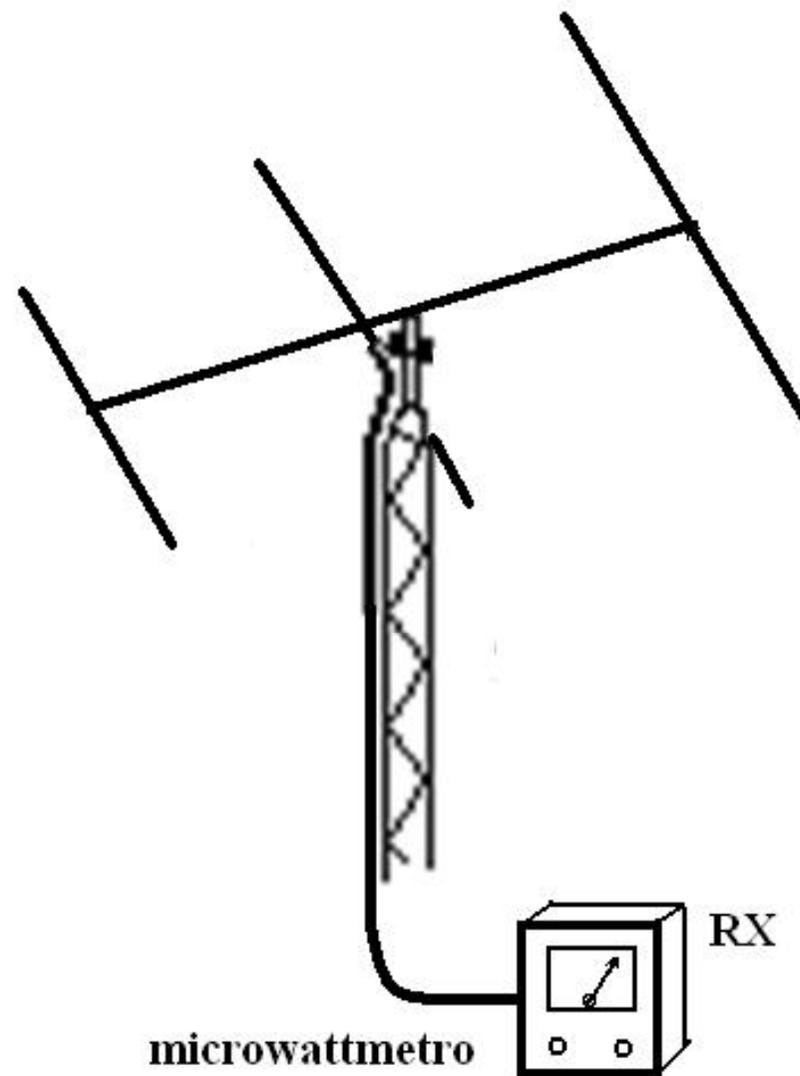
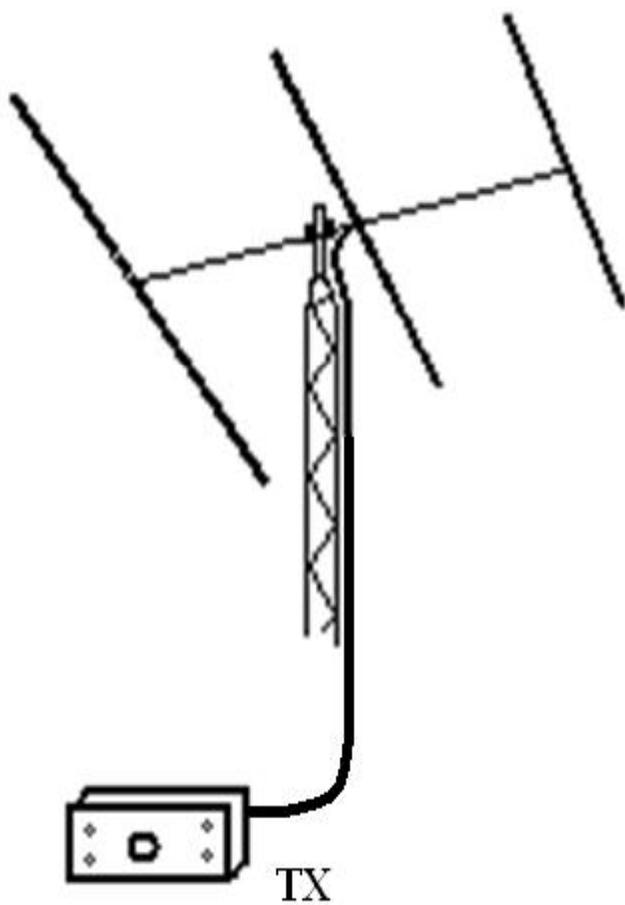
Metodo simile per calcolare il guadagno di un' antenna.  
Simile, ma non uguale.

Perché, mentre esistono strumenti che misurano le tensioni, correnti o valori di resistenza .... (voltmetri, amperometri, ohmetri,...) - non esistono strumenti che misurano il guadagno (guadagnometri ?).

Il guadagno bisogna calcolarlo – non è una grandezza fisica!

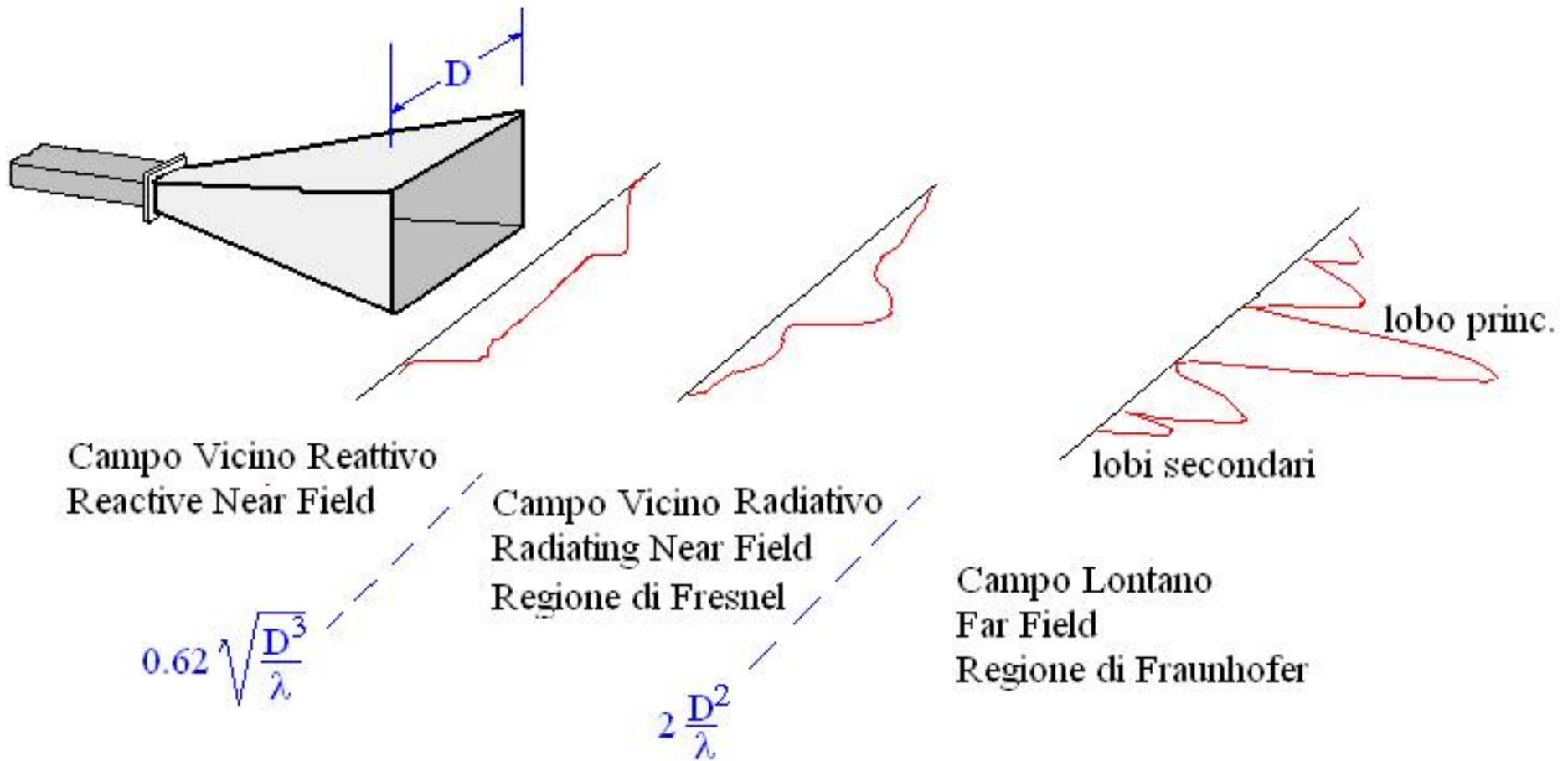


Quanto è il suo  
guadagno?

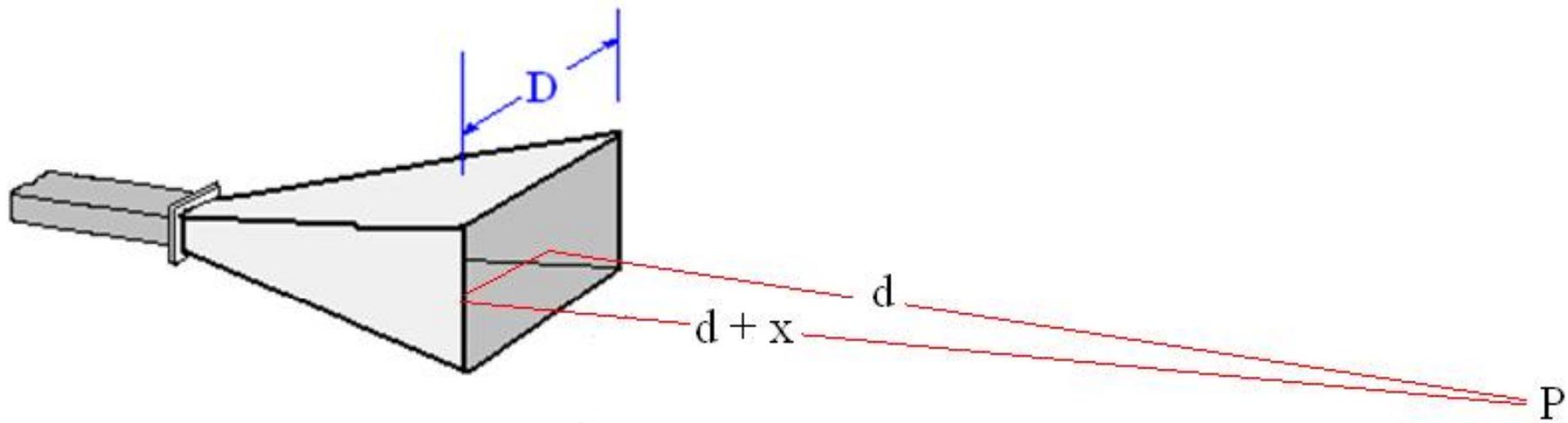


Occorre almeno un'altra antenna .  
Ma non solo.....

# DISTRIBUZIONE DEL CAMPO NELLE TRE REGIONI

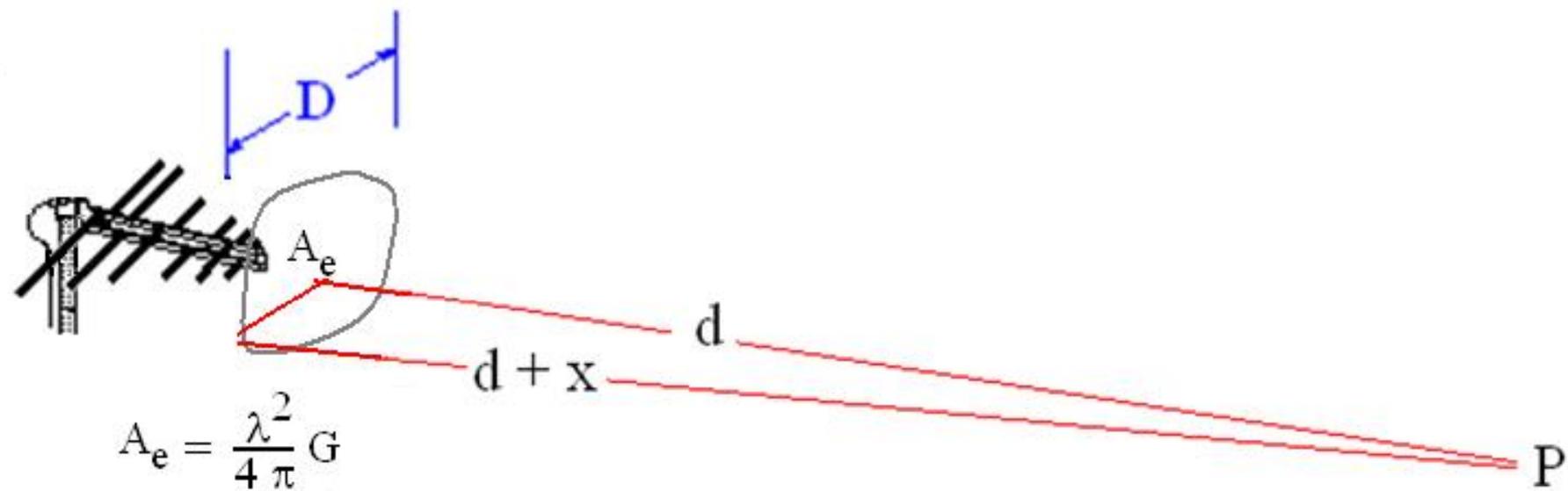


## ERRORE DI FASE



$x$  deve essere minore di  $\frac{1}{8}\lambda$

## ERRORE DI FASE

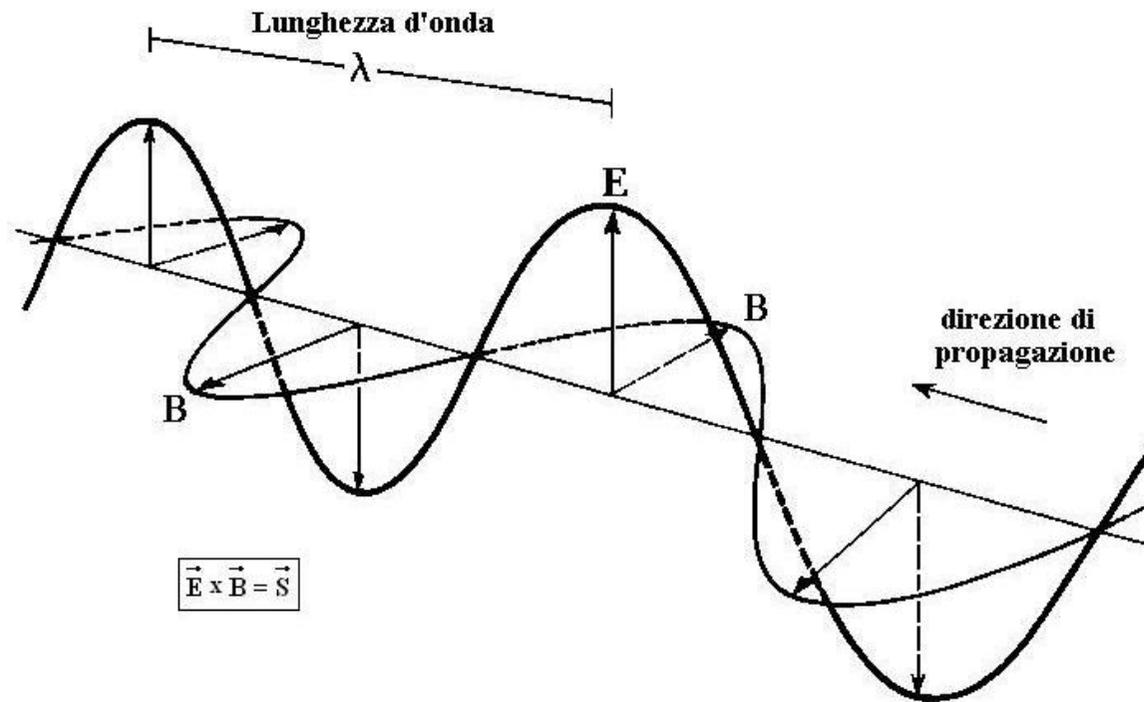


$x$  deve essere minore di  $\frac{1}{8}\lambda$

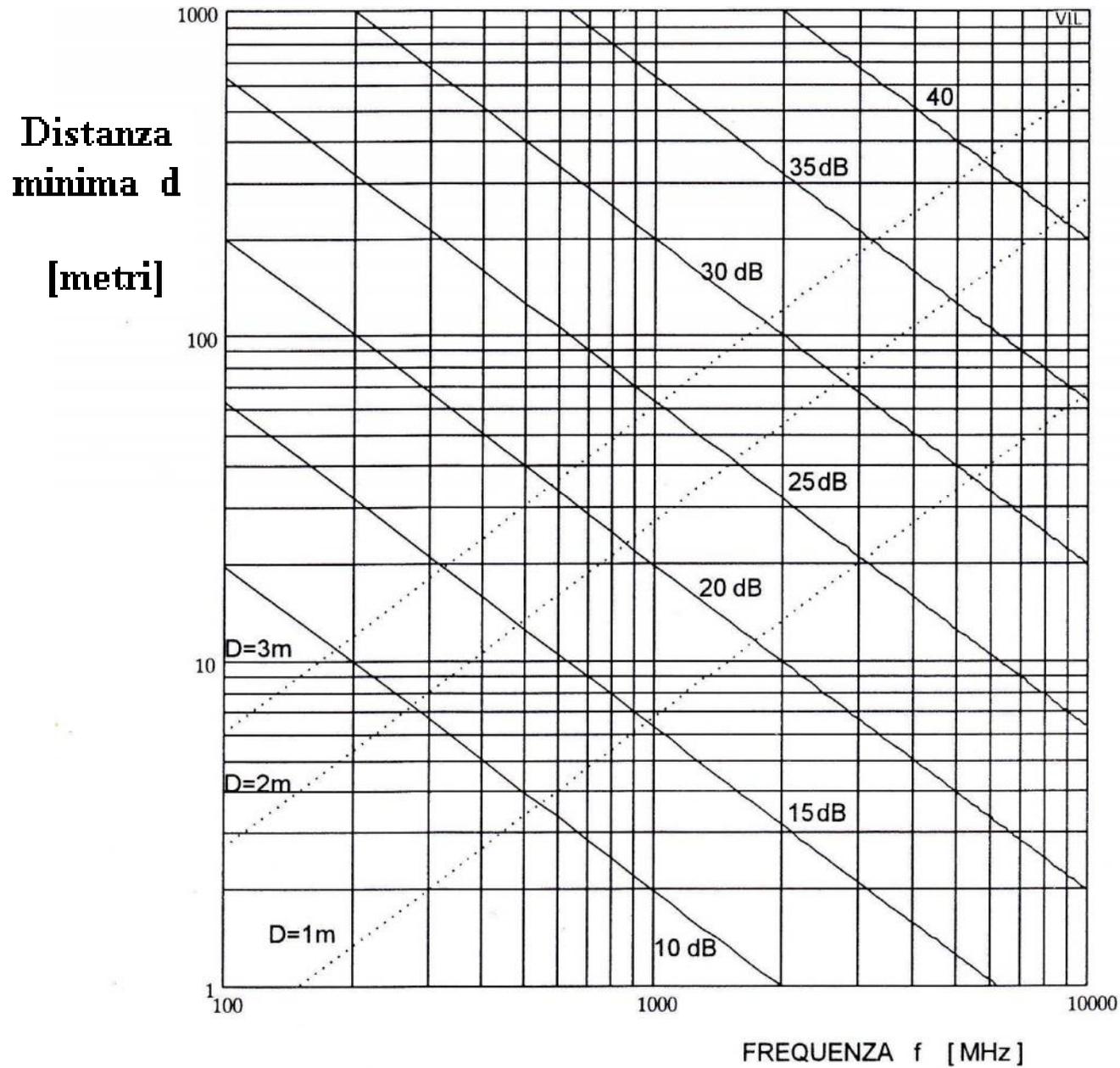
Nella “regione lontana” o “di Fraunhofer” il fronte d’onda può considerarsi piano su dimensioni dell’ordine di quelle dell’antenna. Solo in questa regione i campi **E** ed **H** sono ortogonali tra loro e perpendicolari normali alla direzione di propagazione.

Vale:  $E/H = 377$

La distribuzione del campo è essenzialmente indipendente dalla distanza dall’antenna.



# Distanza minima d per condizioni di “Campo Lontano”



$$d = 2 \frac{D^2}{\lambda}$$

# Regione di Fresnel

Nella regione di Fresnel si ha parziale radiazione, ma la distribuzione del campo dipende dalla distanza dall'antenna.

Esiste una componente del campo longitudinale

La zona si estende sino a distanza dall'antenna di  $2 D^2/\lambda$  ,  
assumendo il criterio di massimo errore di fase uguale a  $\pi/8$

Nelle immediate vicinanze dell'antenna (reactive near-field region) il campo reattivo predomina e non vi è radiazione .

Esempio:

trombino di dimensione  $D = 30$  cm per i 10 GHz ( $\lambda = 3$  cm).  
Per trovarsi in “campo lontano” occorre portarsi a distanza di 6 metri dalla bocca dell’antenna.

Esempio:

parabola di diametro  $D = 2$  m per i 1296 MHz ( $\lambda = 24$  cm).  
Per trovarsi in “campo lontano” occorre portarsi a distanza di 35 metri dall’antenna.

Le misure vanno effettuate in campo aperto; la camera anecoica non è sufficientemente grande.

# FRIIS TRANSMISSION FORMULA

La potenza ricevuta , assumendo che le antenne TX e RX siano perfettamente *matched* alle rispettive linee di alimentazione, siano allineate per polarizzazione e direzione, con guadagno delle antenne  $G_{ATX}$  e  $G_{ARX}$ , tralasciando l'attenuazione dei cavi, è:

$$P_{ric} = P_t \cdot \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot G_{ATX} \cdot G_{ARX}$$

dove:  $P_{ric}$  potenza ricevuta [W]  
 $P_t$  potenza trasmessa [W]  
 $\lambda$  lunghezza d'onda [m]  
 $d$  distanza [m]

In unità logaritmiche [dB] :

$$G_{ATX} + G_{ARX} = 10 \log \frac{P_{ric}}{P_t} + 20 \log d + 20 \log f - 32.46$$

con:  $f$  frequenza [MHz]  
 $d$  distanza [km]

Esplicitando le attenuazioni dei cavi:

$$P_{RX} = P_{TX} - A_{\text{cavoTX}} - A_{\text{free space}} - A_{\text{cavoRX}} + G_{A_{TX}} + G_{A_{RX}}$$

con:

$$P_{RX} = P_{\text{ric}} - A_{\text{cavoRX}}$$

$$P_t = P_{TX} - A_{\text{cavoTX}}$$

tutto in dB

## Calcolo Guadagno antenna

$$P_{RX} = P_{TX} - A_{cavoTX} - A_{free\ space} - A_{cavoRX} + G_{A_{TX}} + G_{A_{RX}}$$

con:

$$A_{free\ space} = 32.46 + 20 \log d + 20 \log f$$

[ antenne guadagno unitario (0 dB)]

Per calcolare il guadagno di un'antenna (per esempio  $G_{A_{RX}}$ ) occorre conoscere i valori di tutti i parametri dell'uguaglianza precedente.

Questi possono essere calcolati o misurati, ma con evidente presenza di errori di misura anche importanti.....

Esempi:

errore nella misura della potenza di trasmissione:

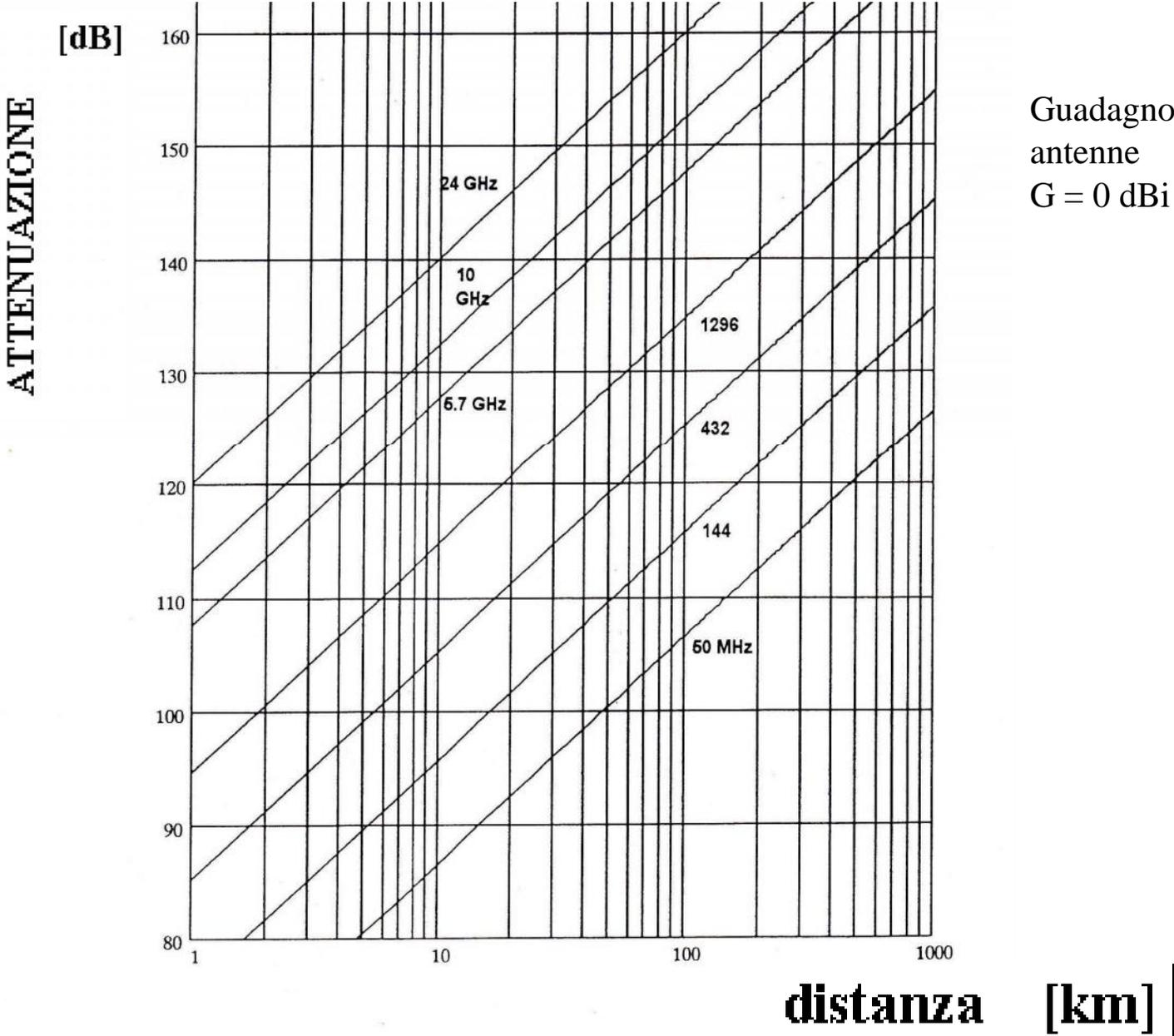
$$\begin{array}{l} P_{\text{TX}} = 100 \text{ W} \\ P_{\text{TX}} = 90 \text{ W} \end{array} \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} 10 \log(100) = 20 \\ 10 \log(90) = 19.5 \end{array} \quad \boxed{0.5 \text{ dB di errore}}$$

errore nella misura della distanza:

$$\begin{array}{l} d = 50 \text{ m} \\ d = 49 \text{ m} \end{array} \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} 20 \log(50) = 34.0 \\ 20 \log(49) = 33.8 \end{array} \quad \boxed{0.2 \text{ dB di errore}}$$

$$\begin{array}{l} d = 25 \text{ m} \\ d = 24 \text{ m} \end{array} \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} 20 \log(25) = 28.0 \\ 20 \log(24) = 27.6 \end{array} \quad \boxed{0.4 \text{ dB di errore}}$$

# “ATTENUAZIONE” NELLO SPAZIO LIBERO



*L'attenuazione* dello spazio libero è proporzionale al quadrato della distanza ed è dovuta al fatto che l'energia elettromagnetica si distribuisce su una superficie sferica che aumenta proprio col quadrato della distanza.

*L'attenuazione* aumenta anche con la frequenza perché le antenne di guadagno unitario (grafico) sono più piccole a frequenze maggiori e l'area di cattura diminuisce in proporzione.

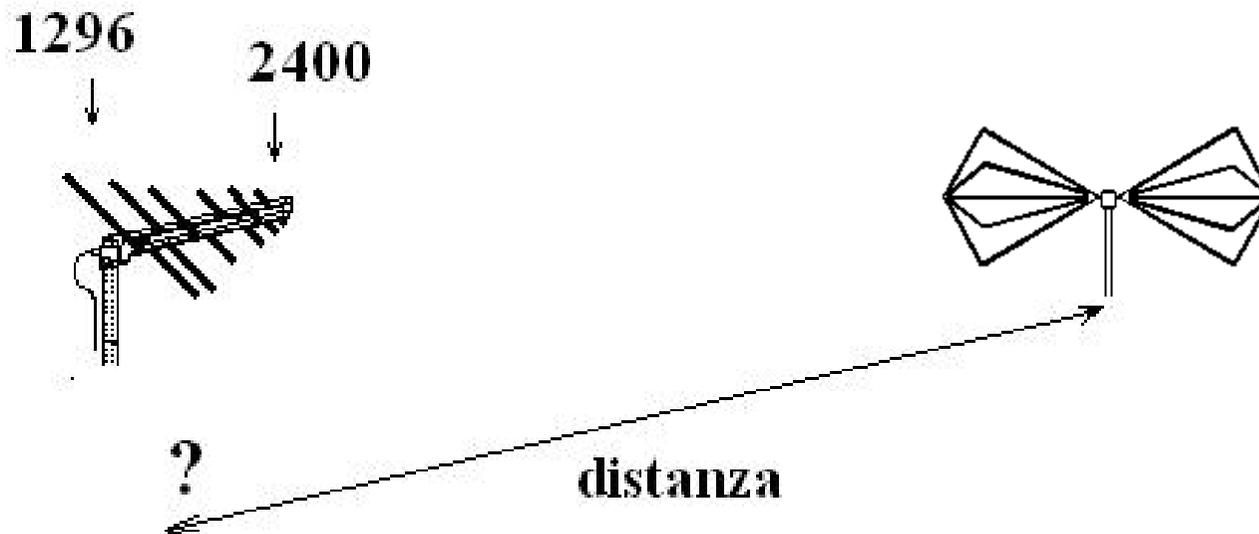
## FONTI DI ERRORE

Errore sulla misura della distanza:

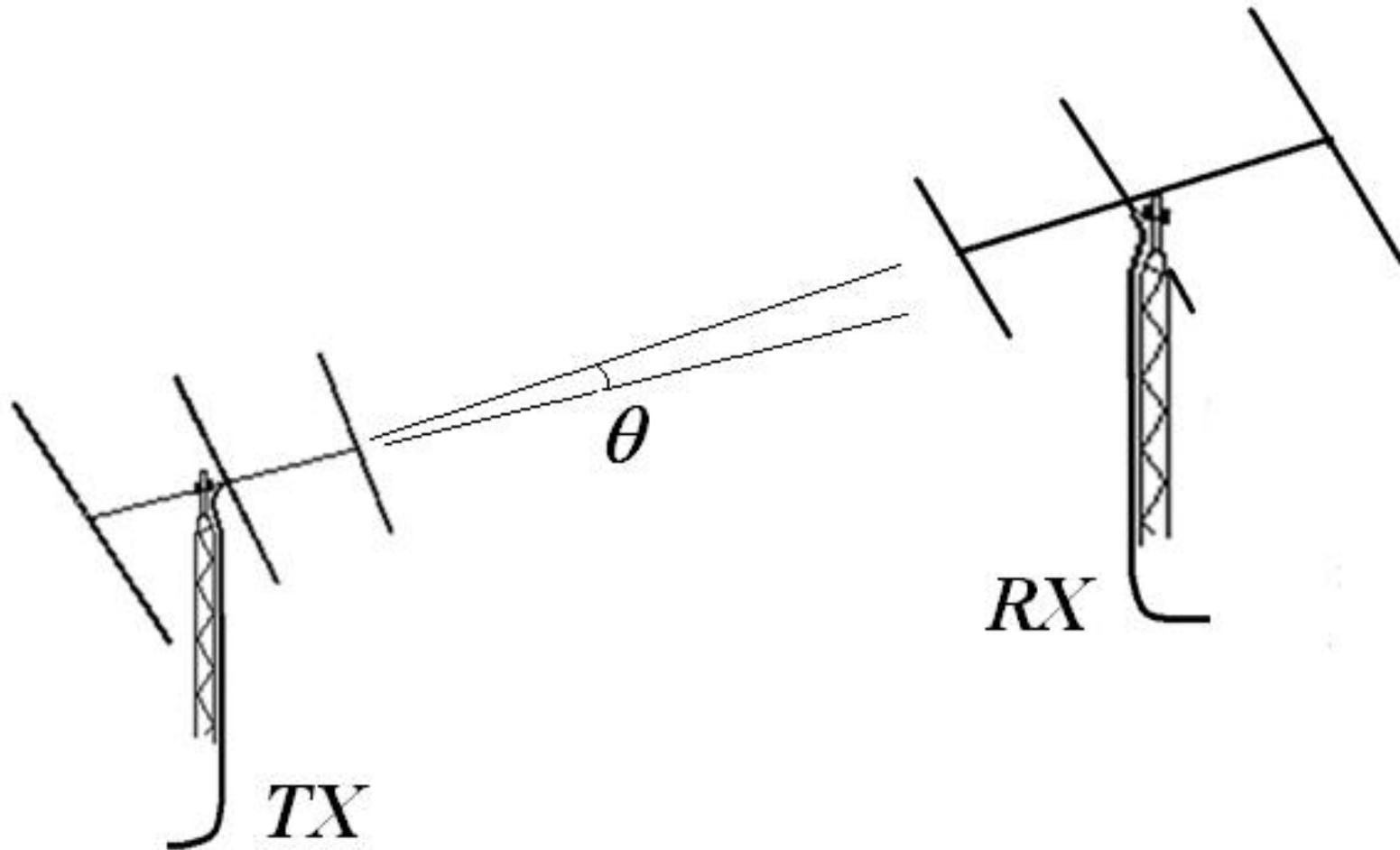
**se le antenne TX e RX sono vicine**, le loro dimensioni diventano importanti rispetto alla distanza  $d$ .

Occorre conoscere il centro di fase.

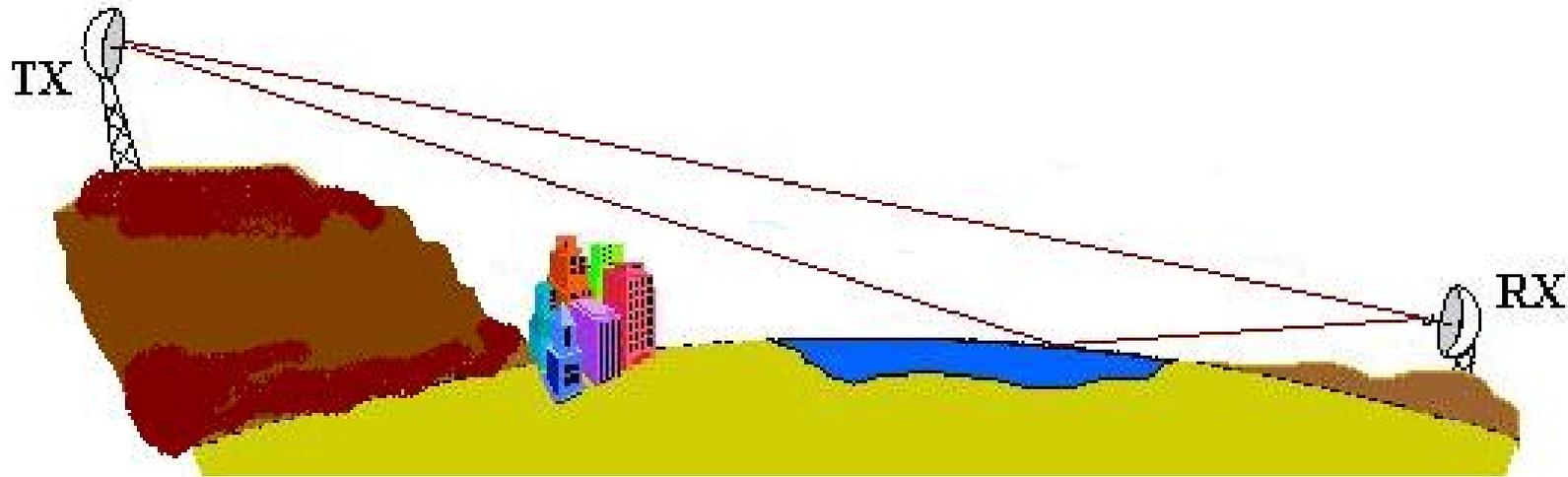
Per una logperiodica, per esempio, il centro di fase si sposta sull'asse dell'antenna in funzione della frequenza



**se le antenne sono molto distanti,** si può fare ulteriore errore sull'orientamento o sull'allineamento della polarizzazione



## Errore per presenza di segnali riflessi



Possono esserci più onde riflesse che sommandosi all'onda diretta possono manifestare interferenza costruttiva o distruttiva alterando la potenza ricevuta da quanto calcolabile.

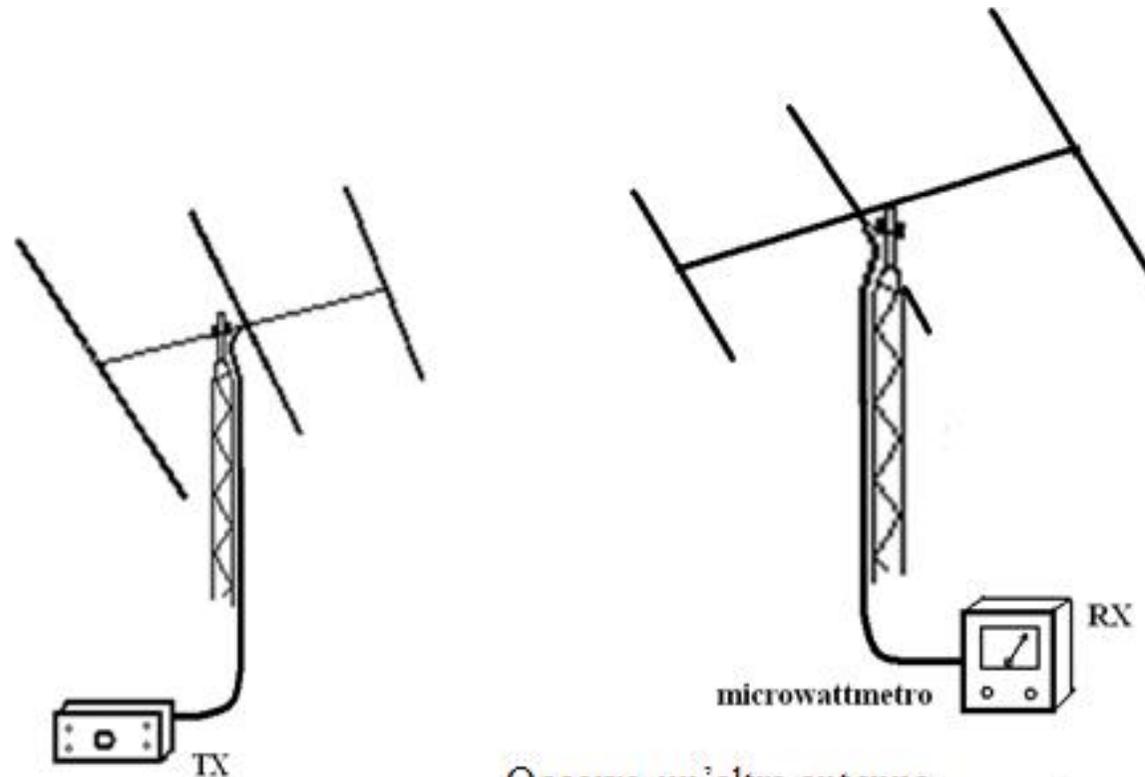
Le antenne, inoltre, devono essere matched.

Altrimenti la potenza trasmessa e la potenza ricevuta è ridotta di un fattore  $1-|\Gamma|^2$  sia in trasmissione sia in ricezione.

Misura con due antenne.

$$P_{RX} = P_{TX} - A_{cavoTX} - A_{free\ space} - A_{cavoRX} + G_{A_{TX}} + G_{A_{RX}}$$

$$G_{A_{RX}} = P_{RX} - P_{TX} + A_{cavoTX} + A_{free\ space} + A_{cavoRX} - G_{A_{TX}}$$



Occorre un'altra antenna  
con guadagno noto

## Metodo delle 3 antenne

Occorrono 3 antenne ed è necessario eseguire misurazioni con tutte le possibili combinazioni delle antenne prese a due a due.

E' indifferente usarle come antenne TX o RX.

Possiamo indicarle con antenna 1, 2, 3 ed i loro guadagni  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ , sempre in dB.

$$G_1 + G_2 = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 + 10 \log \left( \frac{P_{ric2}}{P_{t1}} \right)$$

$$G_1 + G_3 = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 + 10 \log \left( \frac{P_{ric3}}{P_{t1}} \right)$$

$$G_2 + G_3 = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 + 10 \log \left( \frac{P_{ric3}}{P_{t2}} \right)$$

Essendo un sistema di 3 equazioni in 3 incognite, i valori  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$  possono essere determinati conoscendo la distanza  $d$  (mantenuta inalterata) e la frequenza di lavoro e misurando i 3 rapporti  $P_{ricevuta}/P_{trasmessa}$  con le 3 combinazioni di antenne.

Ovviamente si incorre in errori ..... E molta cura va riservata nella eliminazione degli effetti di prossimità e di interferenza dovuti al multipath.

Più semplice e più preciso diviene il calcolo se è noto il guadagno di una antenna che viene usata, quindi, come riferimento.....

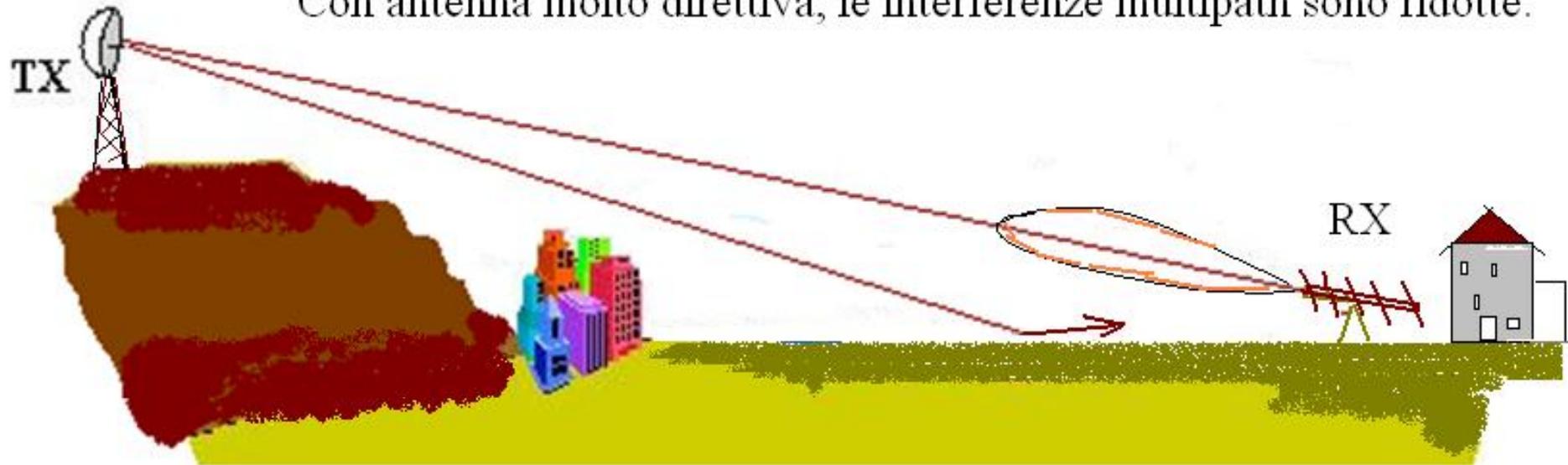
## **Misura con 3 antenne – una ha guadagno noto ed usata come riferimento.**

Sostituendo l'antenna con guadagno incognito con una con guadagno noto si può misurare la differenza [in dB] del guadagno tra le due e calcolare, così, il guadagno incognito.

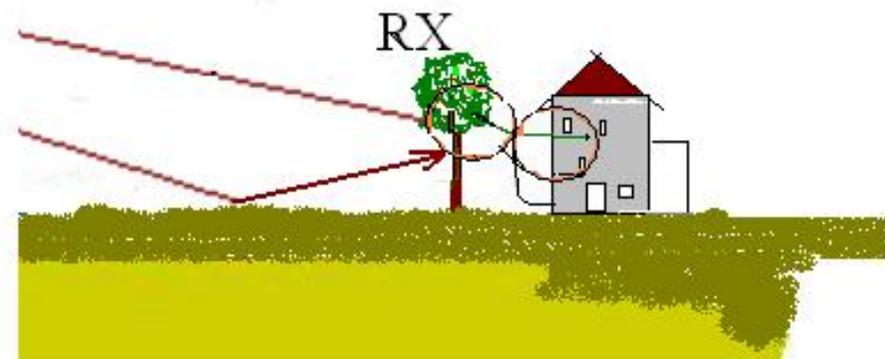
Occorre che i guadagni delle due antenne non siano molto diversi, altrimenti si possono commettere errori eccessivi.

Esempio: non si può calcolare il guadagno di un'antenna direttiva di  $n$  elementi utilizzando un dipolo come antenna di riferimento.

Con antenna molto direttiva, le interferenze multipath sono ridotte.



Un dipolo, invece, è molto più "sensibile" ai segnali riflessi che possono provenire anche dal retro, visto il suo lobo ad "otto".



## Antenne di guadagno noto, per riferimento

Isotropo	$G = 0$	$G = 0 \text{ dB}_i$	$A_{\text{eff}} = 0.0796 \lambda^2$
Dipolo $\lambda/2$	$G = 1.643$	$G = 2.158 \text{ dB}_i$	$A_{\text{eff}} = 2.156 \lambda^2$

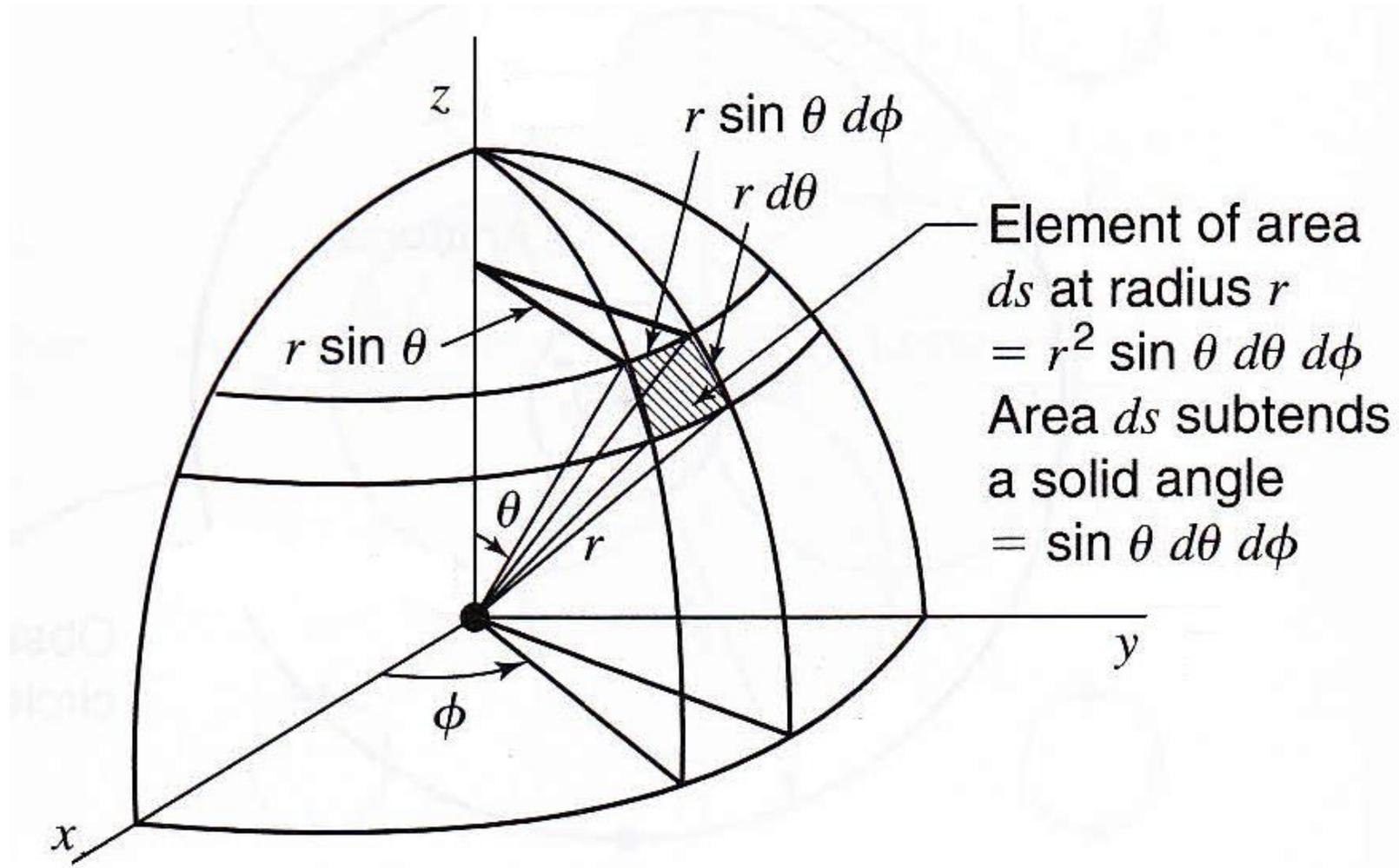
## METODO DELLA DIRETTIVITA'

Il guadagno di un'antenna (o, meglio, la sua direttività) è calcolabile con grande precisione dopo aver osservato sperimentalmente il lobo di radiazione. Con i moderni sistemi automatizzati è possibile misurare l'intensità di radiazione in NxM direzioni al centro di altrettante suddivisioni in piccole aree in cui si può pensare suddivisa la superficie sferica che circonda (a distanza) l'antenna.

Il computer può facilmente raccogliere i dati, plottarli e calcolare la direttività.

La superficie sferica è vista dal centro della palla da un angolo solido di  $4\pi$  steradiani, pari a 41253 gradi<sup>2</sup>.

## Elementi di area $ds$



Dividendo l'angolo piano  $\phi$  di  $2\pi$  radianti in  $M$  segmenti e l'angolo  $\theta$  di  $\pi$  radianti in  $N$  segmenti otterremo un numero  $N \times M$  di areole. Occorre misurare l'intensità in ciascuna di queste areole (normalizzate attraverso  $\sin \theta$ ) e sommare tutti i valori (si avrà la potenza totale normalizzata).

$$P_{\text{tot}} = \frac{\pi}{N} \frac{2\pi}{M} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M I(\theta_i, \phi_j) \sin \theta_i$$

La direttività  $D$  è data dal rapporto:

$$D = \frac{4\pi I_{\text{MAX}}}{P_{\text{tot}}} \quad \text{dove } I_{\text{MAX}} \text{ è la massima intensità osservata}$$

## FORMULE APPROSSIMATE

Metodi approssimati sono stati proposti da Kraus ed altri.....

$$G = \frac{41253}{\theta_{-3dB} \phi_{-3dB}}$$

$$G = \frac{30000}{\theta_{-3dB} \phi_{-3dB}}$$