

# Progettazione di antenne e sistemi per il broadcasting radio-televisivo

Università degli Studi di Pavia  
Dipartimento di Ingegneria Elettronica



Ing. Arpaio Maximilian  
Technical Manager



Telecomunicazioni Aldena Srl

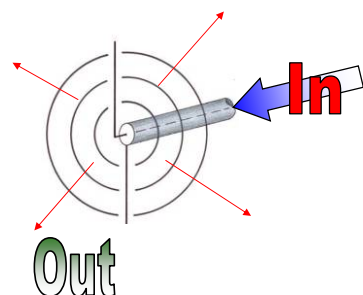
## Indice seminario

- Introduzione alle antenne
- Valutazione di prestazioni
- Progettazione e simulazione
- Misure, collaudi e prove sotto sforzo
- Sistemi di antenne e loro componenti
- Progettazione e simulazione
- Casi reali
- Conclusioni



## Cosa è un'antenna?

- Un'antenna è un **trasduttore**, cioè uno strumento in grado di convertire i segnali che si propagano in mezzi tra loro differenti.
- Un'antenna convenzionale è costituita da diversi elementi, principalmente conduttori o da un sistema di conduttori.

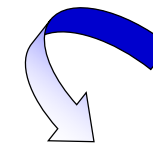
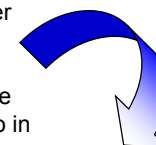


Relazione fondamentale:  $\lambda = \frac{c}{f}$

La frequenza di lavoro determina l'ordine di grandezza delle dimensioni finali di un'antenna.

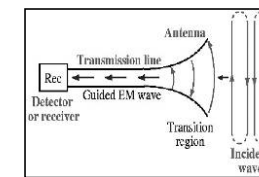
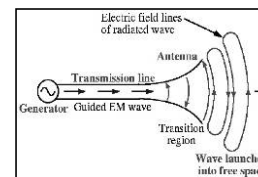
## Trasmissione e Ricezione

Le antenne per **trasmissione** convertono l'energia che le arriva dal cavo in energia che viene irradiata nello spazio libero



Le antenne per **ricezione** convertono l'energia che intercettano in energia che viene propagata lungo il cavo.

L'importante è che l'antenna ridistribuisca l'energia nella maniera più efficiente possibile



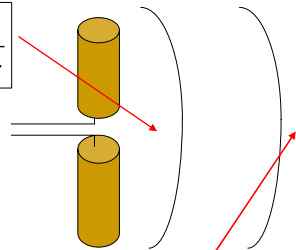
**Diverse caratteristiche o proprietà fisiche dell'antenna determinano la bontà di questo processo di conversione.**

# Il campo emesso da un'antenna

## A: zona reattiva

I campi sono descritti da equazioni simili al caso statico;

$$R \ll \frac{\lambda}{2\pi}$$



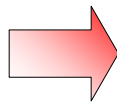
## B: campo vicino o zona di Fresnel

I campi E ed H sono disposti in modo tale da rendere non definito il vettore di Poynting; non e' possibile "estrarre potenza" dal campo EM. La forma del diagramma generato e' *dipendente* dalla distanza

## C: campo lontano o zona di Fraunhofer

Zona di onda TEM: e' la classica onda piana con i campi E ed H perpendicolari alla direzione di propagazione. La forma del diagramma generato e' *indipendente* dalla distanza.

$$R > \frac{2D^2}{\lambda}$$



	BI	FM	VHF	UHF	S-UHF
R [m] >	3.7	1.3	0.6	0.2	0.08

# Bontà dell'Antenna

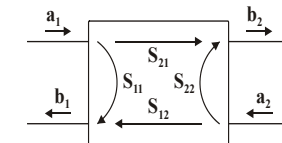


- Ma come si valuta ?

1 R.L (Return Loss) e SWR (Standing Wave Ratio) o ROS (Rapporto d'Onda Stazionaria)

$$\rho = \frac{V^+}{V^-} \quad ROS = \frac{Z_{carico}}{Z_{linea}} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

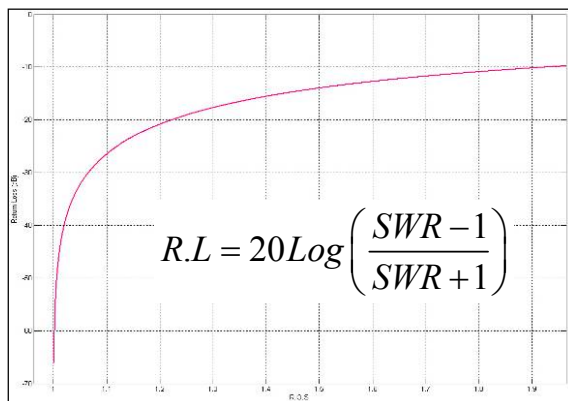
Se l'impedenza dell'antenna è differente da quella del cavo, l'antenna rifletterà verso il trasmettitore una parte dell'energia indotta attraverso il cavo di alimentazione ... **cosa ovviamente da evitare!**



Di conseguenza, è molto importante che il parametro SWR sia il più vicino possibile al valore 1.0 (analogamente R.L  $\rightarrow \infty$ ) al fine di ottenere la più alta percentuale di potenza trasferita dal generatore (il **trasmettitore**) - tramite il cavo - al carico (cioè l'**antenna**).

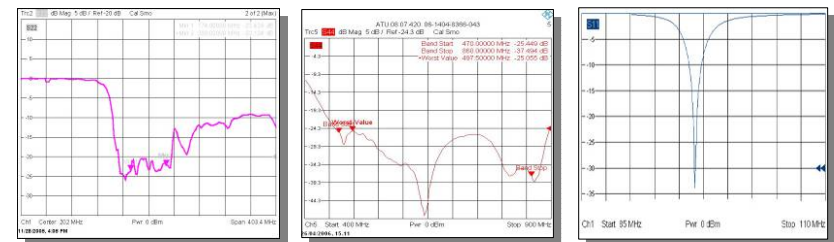
Normalmente, l'impedenza dei cavi commerciali per le trasmissioni in radiofrequenza è pari a **50 Ω**.

I trasmettitori commerciali per alte potenze smettono di funzionare ed entrano in "blocco" quando rilevano un **R.L  $\geq -15$  dB**



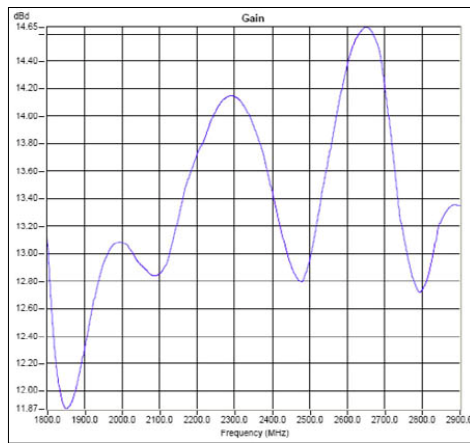
## 2 Larghezza di Banda

Per **larghezza di banda** si intende quel *range* di frequenze per le quali l'antenna funziona entro i limiti prestabiliti, siano essi di Return Loss o di Guadagno.



Si è soliti ragionare anche qui in termini di Return Loss dove gli standard commerciali impongono oggi giorno valori di almeno -18 dB per le antenne e di -28 dB per i componenti (filtri, partitori, ecc..)

### 3 Direttività e Guadagno



La **direttività**  $D$  è un indice della capacità dell'antenna di irradiare in una certa direzione.

Il **guadagno**  $G$  di un'antenna è definito come  $G = \eta \cdot D$ , dove  $\eta$  indica l'efficienza dell'antenna stessa. Si deduce che il valore di guadagno può essere influenzato dalle possibili perdite nell'antenna ma per la maggior parte delle antenne queste perdite sono davvero trascurabili e si usa la più immediata relazione  $G = D$ .

$$dBi = dBd + 2.15$$

## Come nasce un progetto: La simulazione elettromagnetica

### ■ Perché?

Valutazione qualitativa della mutua interazione tra i vari elementi



*Carta di Smith*

### ■ Obiettivi?

- Ottimizzazione del progetto
- Riduzione del numero di prototipi

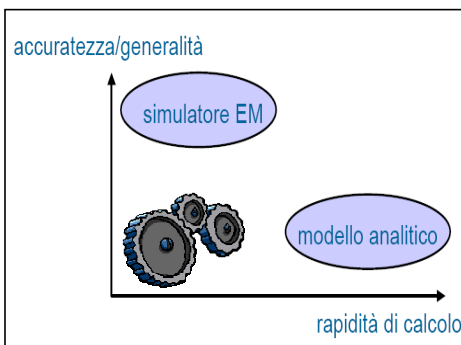


## Quando usarlo?

Soluzione Numerica delle Equazioni di Maxwell



Discretizzazione del dominio in celle elementari in cui i campi, le correnti e le cariche possono considerarsi uniformi

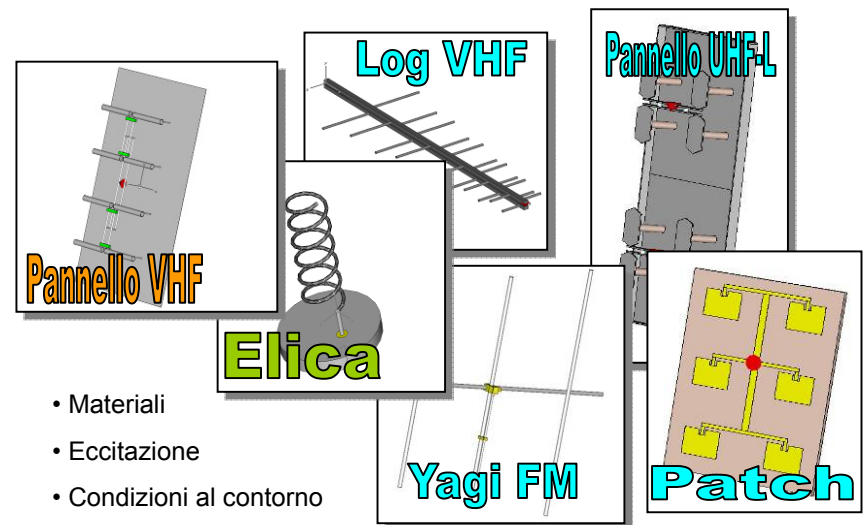


Conversione di un sistema di equazioni differenziali ad un sistema di equazioni algebriche



Soluzione del sistema di equazioni algebriche

## Creazione dei modelli

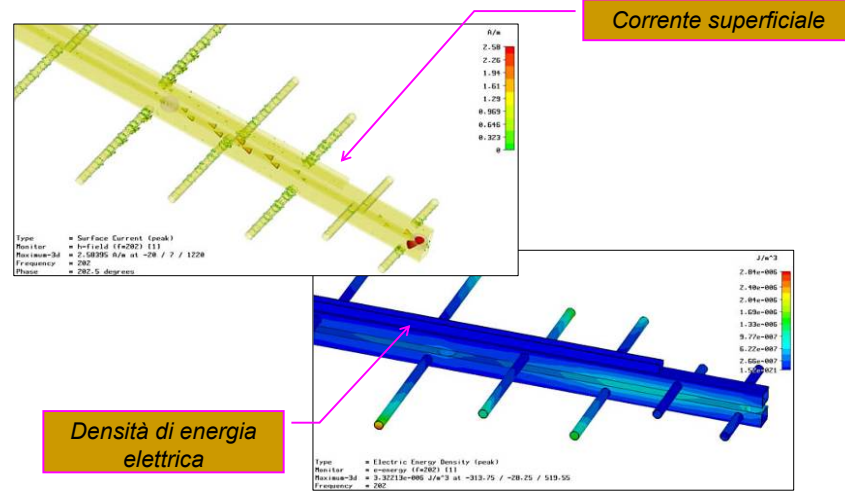


- Materiali
- Eccitazione
- Condizioni al contorno

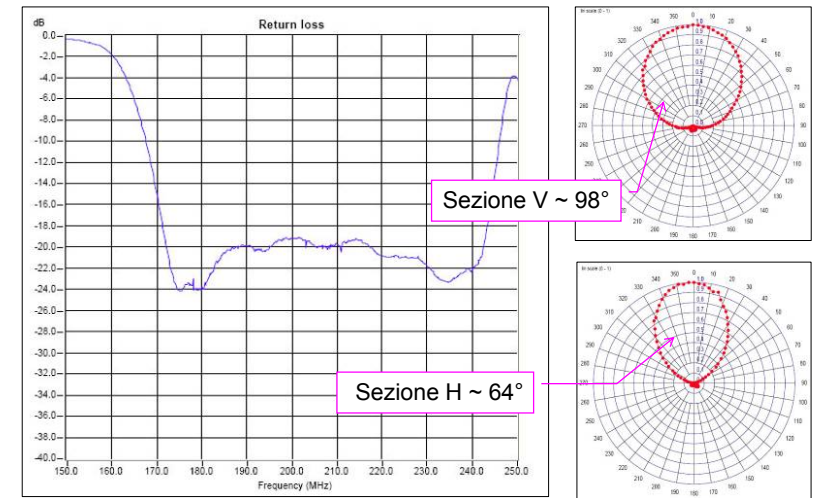


# Risultati delle simulazioni

Altri dati importanti

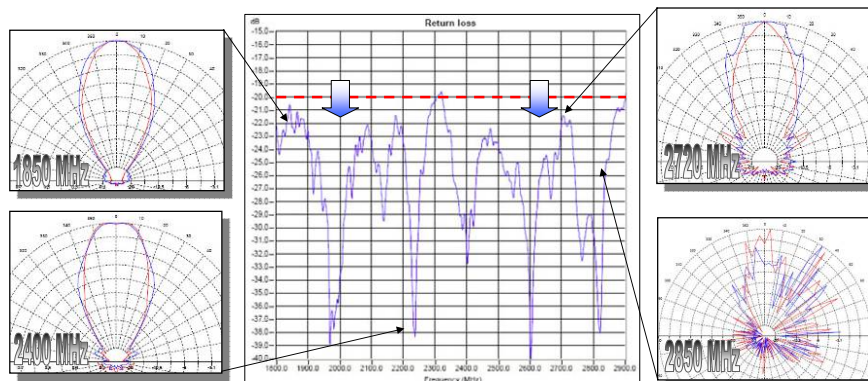


# Risultati del prototipo



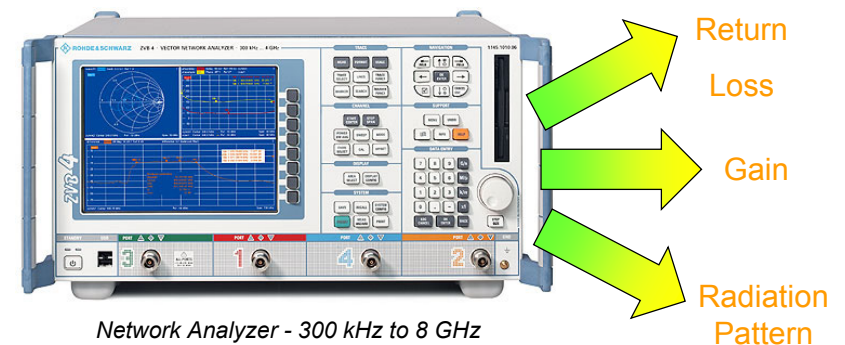
## ALP.20.09.710: un compromesso tra adattamento e diagramma

■ H-Plane  
■ E-Plane

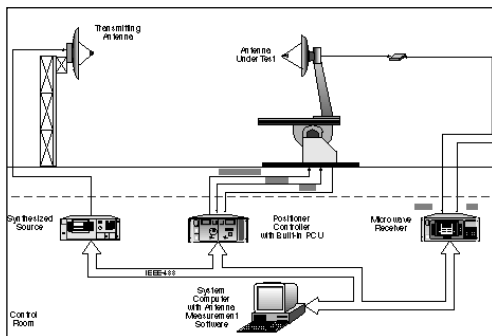


## Le Misure d'antenna

Vi è la necessità di valutare realmente i parametri precedentemente discussi:

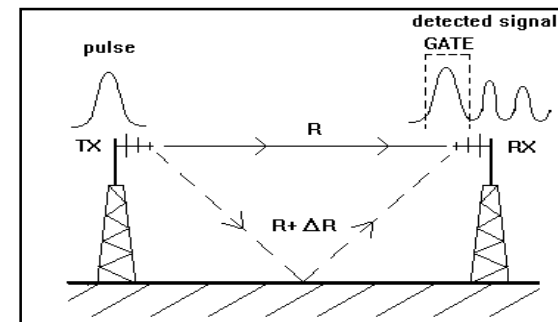


## Banco di misura



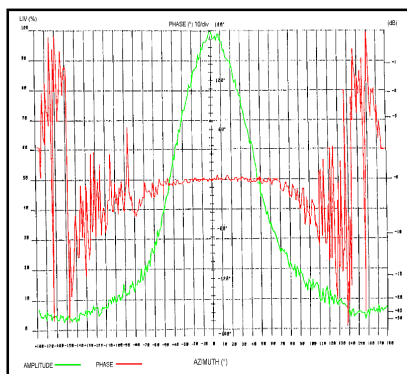
I diagrammi di radiazione sono ottenuti ruotando l'antenna attorno al suo centro di fase. Il **centro di fase** è quel punto che può essere considerato come sorgente del campo elettromagnetico e la sua posizione varia con la frequenza. Per ogni posizione angolare dell'antenna ricevente viene effettuata una scansione in frequenza: in questa maniera i dati di ampiezza e fase sono acquisiti.

## Le riflessioni in misura

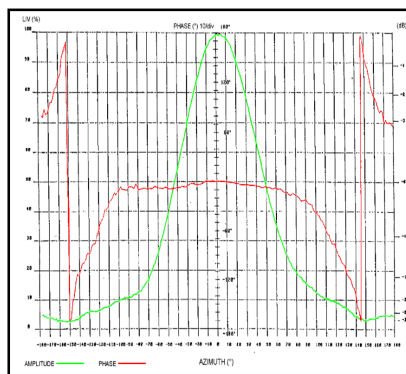


- I segnali riflessi raggiungono l'antenna in ricezione con un ritardo proporzionale al cammino maggiore.
- In base a queste informazioni è possibile analizzare i dati nel **dominio del tempo** e filtrare solo il segnale diretto

## Analisi nel dominio del tempo



Diagrammi di fase e ampiezza misurati **SENZA** l'analisi nel dominio del tempo



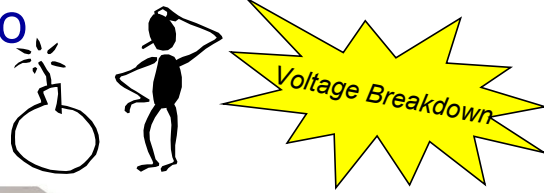
Diagrammi di fase e ampiezza misurati **CON** l'analisi nel dominio del tempo

## Vantaggi



- Ottimizzazione delle condizioni di misura
- Misurazione di diagrammi di radiazione con grande precisione poiché si rimuovono tutti i segnali spuri dai dati acquisiti.
- L'uso di questi valori misurati è di rilevante importanza nel calcolo del solido di radiazione per sistemi complessi.

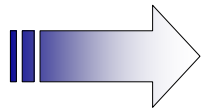
# Prove sotto stress...



...ma con altri strumenti si controlla anche Potenza e Pressione

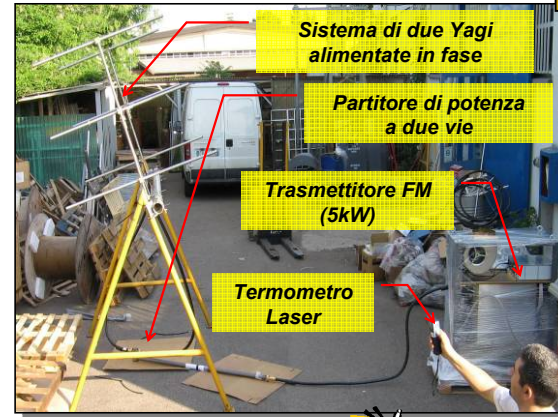


- 12 kV in continua
- 6 kV in alternata (50Hz)
- Corrente di soglia regolabile 1mA max



Trovare i punti deboli

# ...o distruttive...



Sistema di due Yagi alimentate in fase

Partitore di potenza a due vie

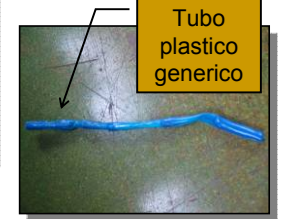
Trasmittitore FM (5kW)

Termometro Laser

RG393



RG213

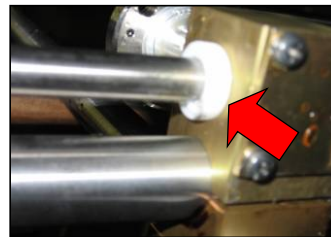
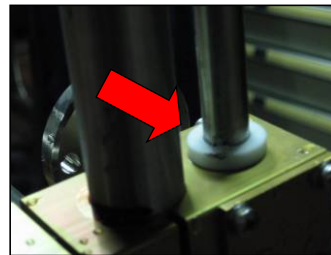


Tubo plastico generico

Raggiunti circa 160 °C



# ...forse troppo !



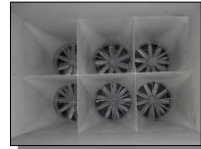
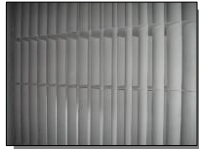
# A mali estremi...



## ...estremi rimedi!



All pictures are courtesy of  
Politecnico di Milano  
and Telecomunicazioni  
Aldena Srl © 2007



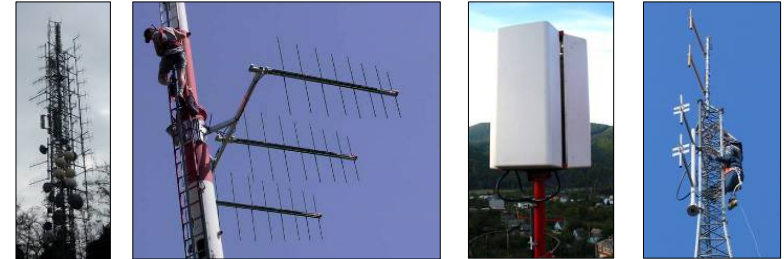
10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

29

## Sistemi d'antenna

➤ Un sistema broadcasting è un aggregato di antenne identiche, generalmente installate in una particolare configurazione elettrica e geometrica.



➤ Cambiando alcuni parametri, l'utilizzatore può modificare il diagramma di radiazione a suo piacere, progettando un sistema tale per cui la radiazione risultante - ad esempio - aumenta in una direzione e diminuisce in altre.

10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

30

➤ E' possibile dimostrare che il campo lontano di un sistema di antenne è uguale a quello generato dalla singola antenna, moltiplicato per il suo fattore d'array.

$$E_{array} = E_{elemento} \cdot E_{array\ isotropico} = E_{elemento} \cdot F_{array}$$

➤ Ogni sistema ha il suo fattore d'array che è in genere funzione del numero di antenne presenti, della loro disposizione geometrica, delle potenze e fasi relative e delle spaziature tra le antenne.

Il diagramma di radiazione può essere modificato per mezzo di quattro parametri principali:

- La configurazione geometrica generale del sistema
- La posizione relativa delle antenne
- Ampiezza e fase di ogni antenna
- Il diagramma dell'antenna che costituisce il sistema.

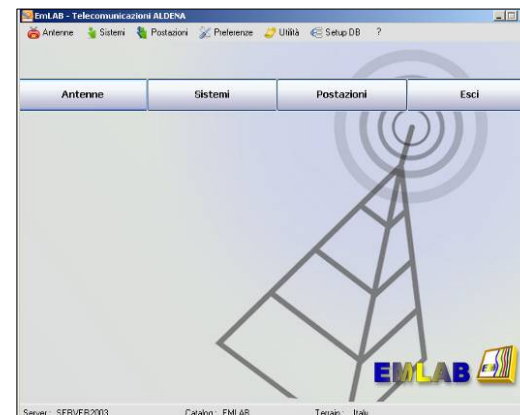


10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

31

## Progettazione dei sistemi broadcasting Simulazione vettoriale



**EMLAB**® è un software unico nel suo genere, sviluppato dal reparto informatico Aldena per la progettazione dei sistemi d'antenna.

Il programma permette il calcolo del solido di radiazione, le previsioni di campo nell'area di servizio, e le previsioni di campo vicino all'antenna.



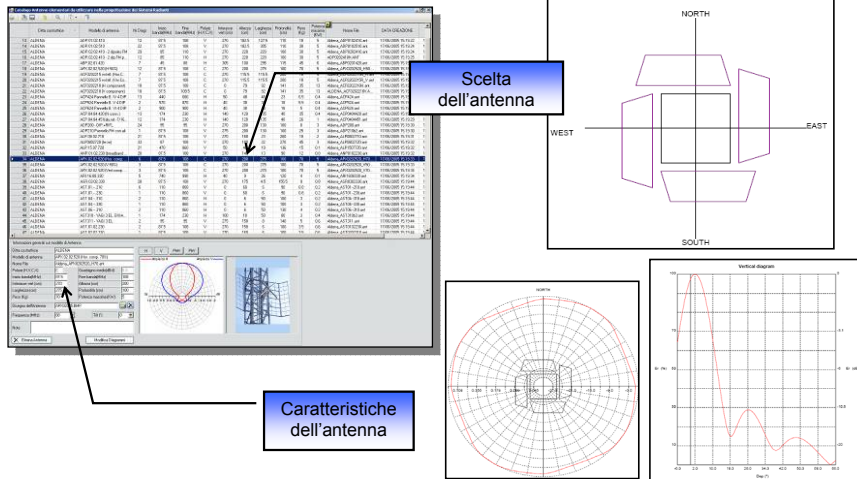
10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

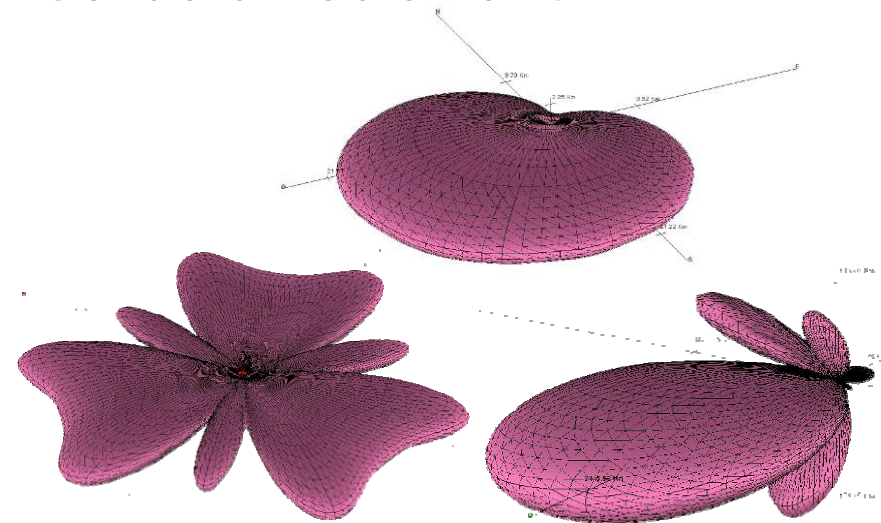
32



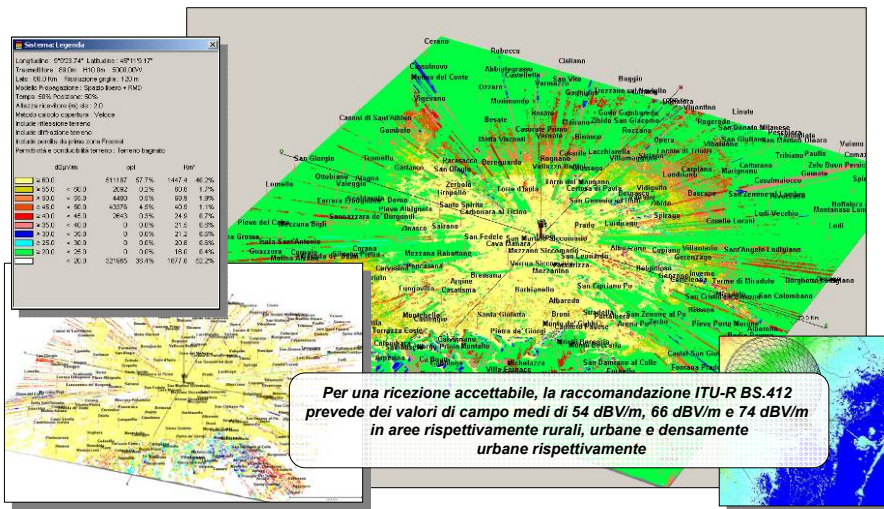
# Progettazione dei sistemi broadcasting



# Solido di radiazione



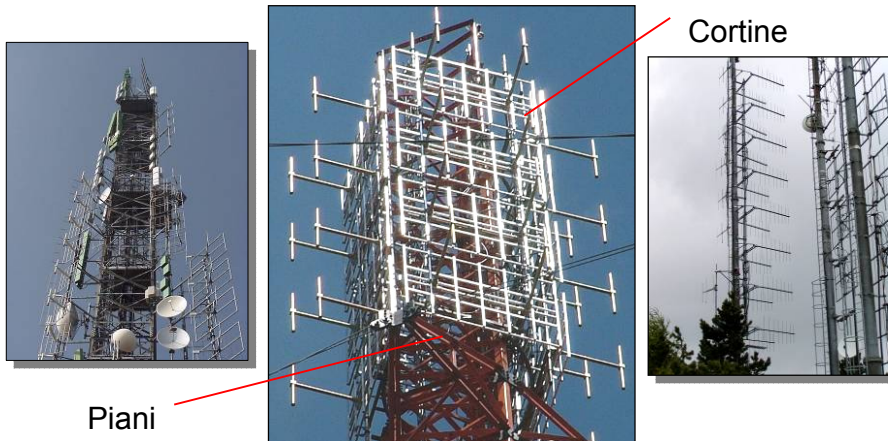
# Copertura del territorio



# Schema di massima della composizione di un sistema radiante:

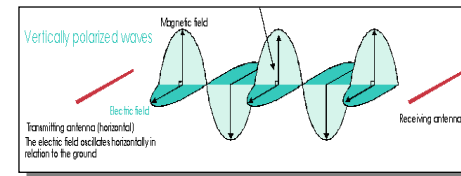


Quindi i *sistemi radianti* utilizzati per il broadcasting radiotelevisivo sono generalmente composti da una serie di antenne, opportunamente accoppiate tra loro



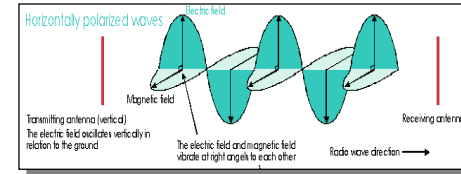
## I tipi di polarizzazione utilizzati nel broadcasting radiotelevisivo

### Orizzontale



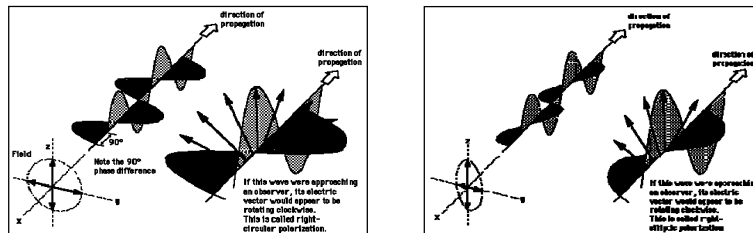
La polarizzazione orizzontale è adatta per essere ricevuta da antenne installate in luoghi fissi. Normalmente il segnale polarizzato orizzontalmente risente meno anche delle riflessioni su edifici e montagne.

### Verticale



Per la trasmissione di segnali radiofonici in banda FM, la polarizzazione più usata è la verticale, questo poiché è preferibile irradiare (o ricevere) il segnale in tutte le direzioni.

## I tipi di polarizzazione utilizzati nel broadcasting radiotelevisivo



Viene usata per trasmissioni in zone difficili e per compensare riflessioni multiple. La polarizzazione circolare è spesso usata in comunicazioni satellitari e questo perché l'onda elettromagnetica trasmessa potrebbe ruotare mentre il segnale attraversa i diversi strati dell'atmosfera. La polarizzazione circolare garantisce un segnale pressoché costante nonostante queste anomalie.

Circolare o  
Ellittica



## Il Trasmettitore

Il trasmettitore è il cuore del sistema di trasmissione. Da esso dovrà essere generato il segnale a radiofrequenza da convogliare sul sistema radiante per la copertura dell'area di servizio.



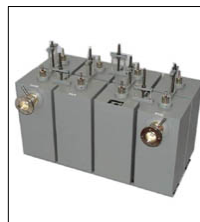
## I Filtri

I filtri vengono utilizzati per evitare di irradiare segnali indesiderati oppure per combinare più frequenze sullo stesso sistema.



**Filtri passa-banda, Filtri passa-basso, Filtri notch**

**Filtri combinatori**



## Esempi in postazioni

Trasmettitori & Filtri



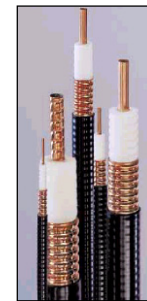
## Il sistema di distribuzione

Il sistema di distribuzione ha lo scopo di distribuire la potenza dal trasmettitore alle antenne che compongono il sistema radiante. E' composto da **ripartitori di potenza** e dai **cavi di collegamento** alle antenne.



## Il cavo di alimentazione

Il cavo di alimentazione (o cavo di salita) deve trasferire, col massimo rendimento, il segnale del trasmettitore al sistema di antenne attraverso il sistema di distribuzione.



**Cavi semi-rigidi "foam"**



**Cavi semi-rigidi "air"**

**Frequenza di cut-off**

$$f_c (GHz) = \frac{190.85}{(D+d)\sqrt{\epsilon_r}}$$

**Attenuazione**

$$A (dB/m) = (3.2 \times 10^{-2}) \cdot \left(\frac{f \mu_r \rho_r}{\pi}\right)^{0.5} \cdot \left[\frac{(\mu_{r1} \rho_1)^{0.5}}{D} + \frac{(\mu_{r2} \rho_2)^{0.5}}{d}\right] \cdot \frac{1}{\log\left(\frac{D}{d}\right)}$$

Essa è direttamente proporzionale alla sua lunghezza ed alla frequenza di lavoro, mentre è inversamente proporzionale al suo diametro.

# Esempi in postazione

Partitori & Cavi



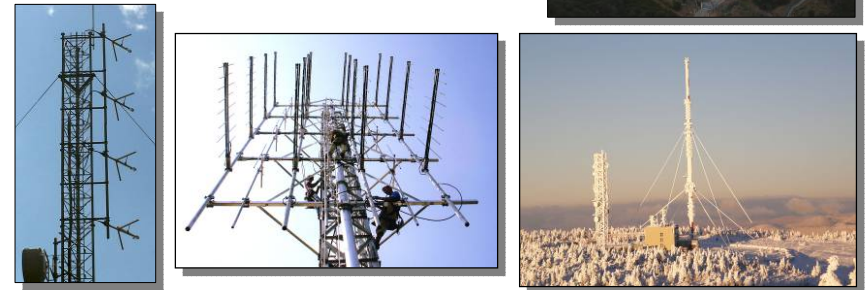
10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

45

# Il sistema radiante

Il sistema radiante, composto da una o più antenne opportunamente accoppiate tra loro, è l'estremo ultimo del sistema ed ha il compito di irradiare il segnale nello spazio libero.

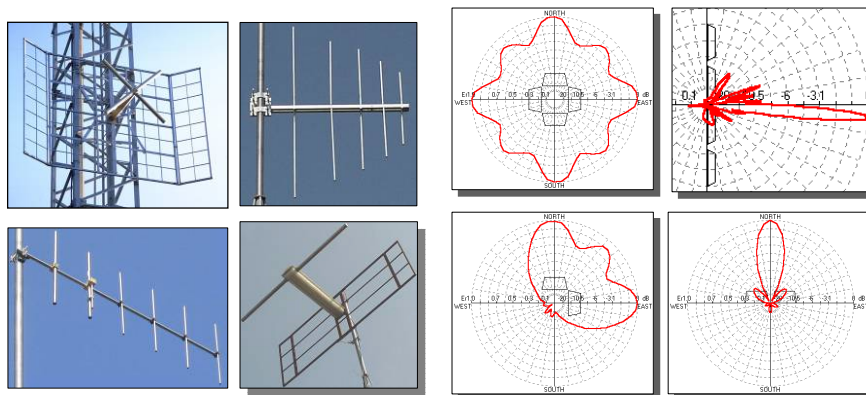


10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

46

Con antenne direzionali disposte su più **cortine** e più **piani**, accoppiate tra loro, è possibile creare sistemi con diverse caratteristiche di radiazione ...



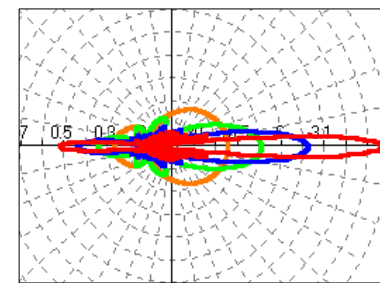
Alcuni modelli di antenne direzionali adatte ad essere accoppiate tra loro.

Diagrammi risultanti dall'accoppiamento tra più cortine di antenne direzionali.

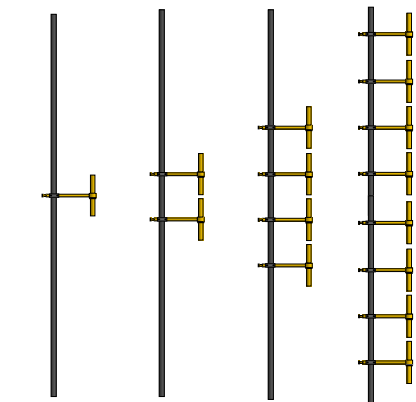
10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

47



Si considera sempre un interasse tra le antenne di circa  $0.8-0.9 \lambda$



1 dipolo  
+1.7 dB

2 dipoli  
+4.7 dB

4 dipoli  
+7.7 dB

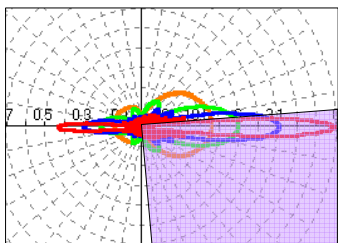
8 dipoli  
+10.7 dB

10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

48

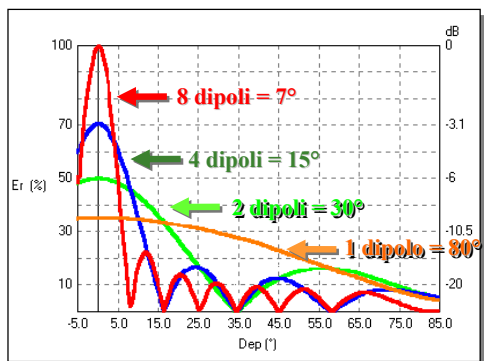
Per un maggiore dettaglio, le sezioni verticali vengono generalmente rappresentate su grafico cartesiano, anziché polare



Sezioni verticali su grafico polare

Generalmente le aree da servire si trovano a 15° - 20° sotto l'orizzonte

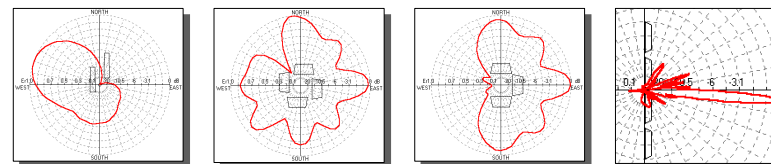
Sezioni verticali su grafico cartesiano da -5° a +85°



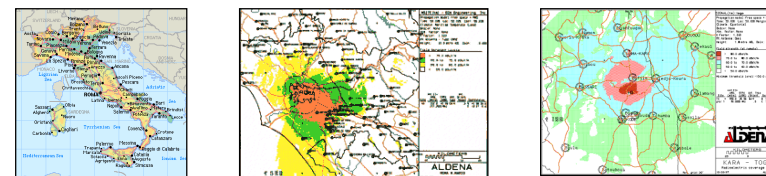
L'accoppiamento di più sorgenti viene realizzato con lo scopo di:



Ottenere l'angolo d'irradiazione più adeguato all'area da coprire.



Ottenere un incremento della potenza erogata dal trasmettitore (guadagno) proporzionato con la distanza massima da coprire.



## Ottimizzazione del sistema

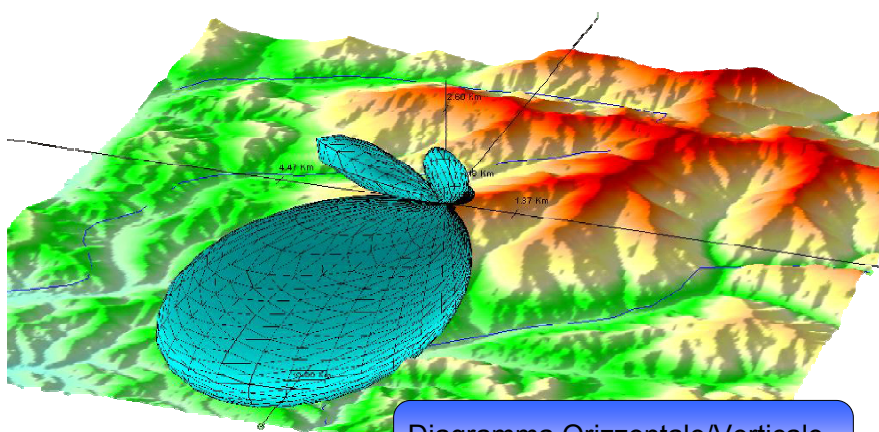
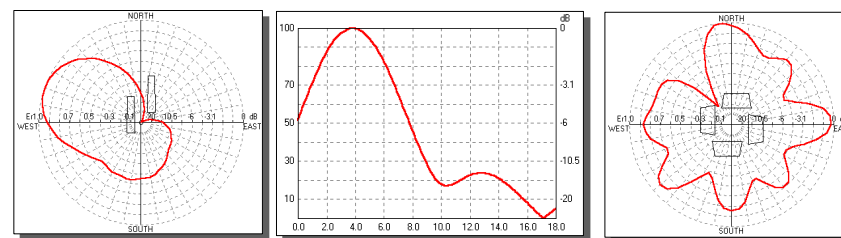
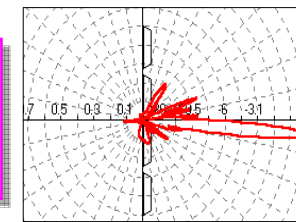


Diagramma Orizzontale/Verticale  
Riempimento o creazione nulli ...

Variando i **parametri** del sistema, è possibile modificare i diagrammi in funzione delle esigenze di copertura.

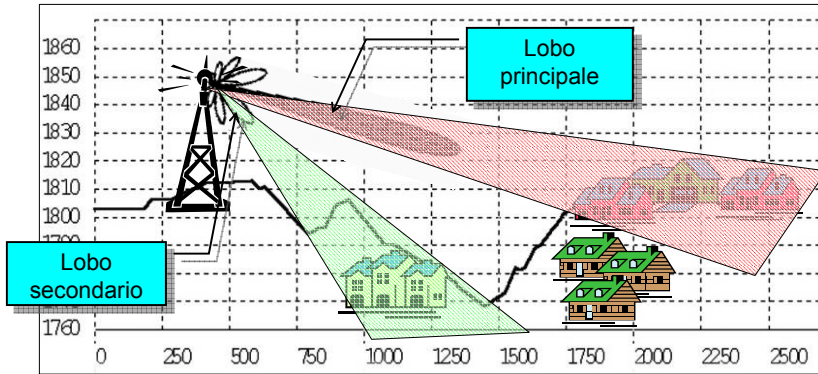


- Fase dei cavi
- Disallineamento delle antenne
- Inclinazione meccanica

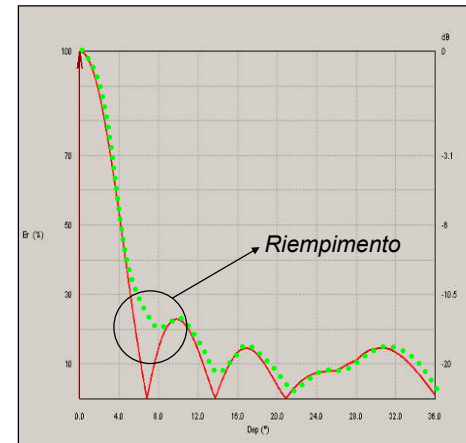


# Riempimento del primo nullo e Tilt

Nei sistemi broadcasting è importante saper gestire il livello dei lobi secondari presenti nel piano verticale, evitando nulli, che possono essere i maggiori responsabili di una assenza di segnale vicino al sito trasmissivo.



I lobi secondari possono essere modellati in base ai polinomi di *Tchebyscheff* e cambiando la potenza in ingresso alle antenne del sistema: la massima potenza alle antenne centrali e via via decrescente verso quelli esterni.



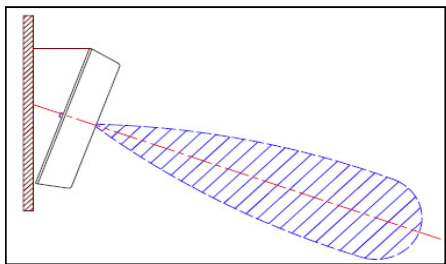
Il riempimento dei nulli è solitamente fatto con appropriate variazioni della fase relativa di ogni antenna. La combinazione delle fasi deve essere calcolata in modo da evitare, sotto determinati angoli, la generazione di un vettore nullo nella somma vettoriale dei contributi.

Si tenga presente che il riempimento dei nulli viene fatto a discapito del guadagno totale del sistema.

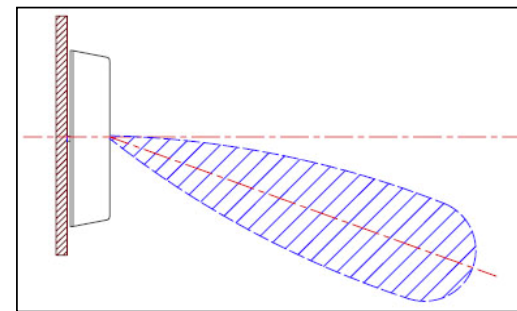
# Tilt elettrico e meccanico

E' l'inclinazione (espressa in gradi) della direzione di massimo guadagno dell'antenna rispetto all'orizzontale.

Esso può essere **meccanico**, se ottenuto inclinando fisicamente l'antenna sul proprio sostegno...



... o **elettrico**, se ottenuto modificando elettricamente le caratteristiche proprie dell'antenna, che rimane però "meccanicamente" nella stessa posizione.



$$\Delta L = v \cdot d \cdot \text{sen} \alpha$$

L'abbassamento elettrico genera un abbassamento "ad ombrello"; quindi anche il retro del diagramma verrà abbassato di un angolo pari all'abbassamento del fronte.



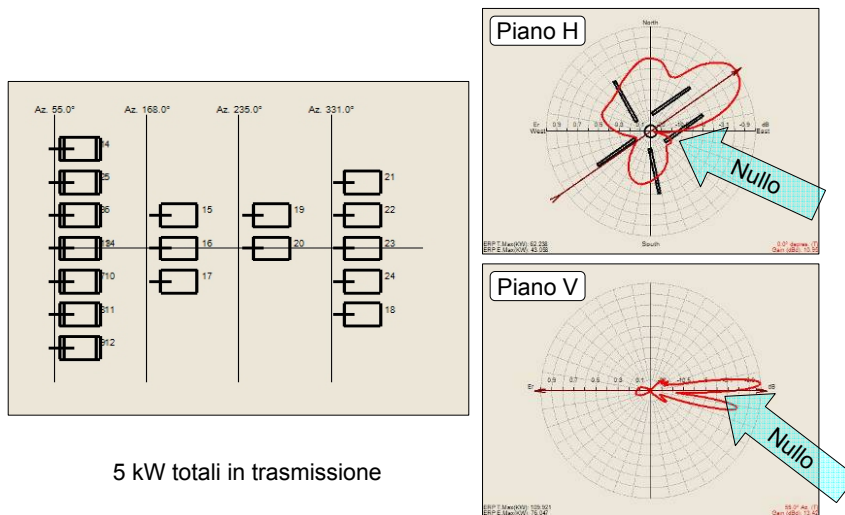
# Alcuni impianti Aldena...



# S. Luca, Bologna - Impianto



# S. Luca, Bologna - Configurazione



# S. Luca, Bologna - Misure di campo



# Palazzo Turati – Milano (MM Repubblica)



10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

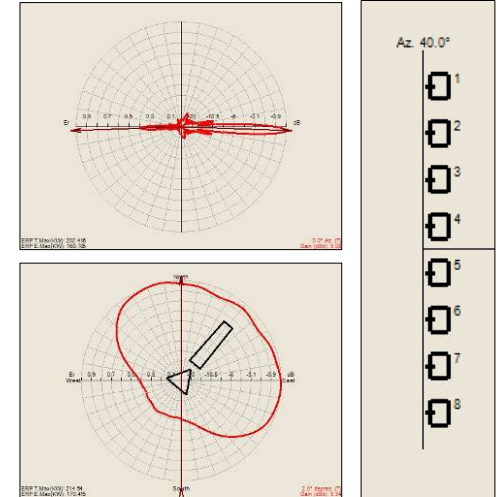
61

# Palazzo Turati – Milano (MM Repubblica)

Necessità di 2° gradi di tilt per ottimizzare il diagramma verticale e migliorare la copertura della zona di Milano



Attualmente vengono emessi circa 12.5 kW ma il sistema può supportare fino a 30kW

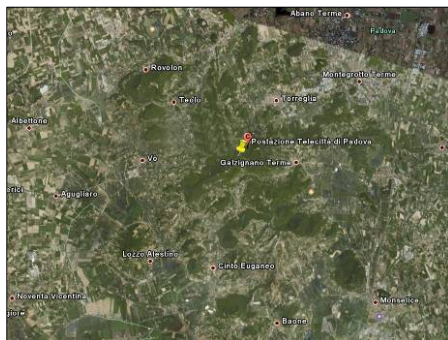


10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

62

# M.te Rocolo, Padova - Impianto



Courtesy of  
Mr. Davide Pase, chairman of  
Telecittà di Padova © 2007

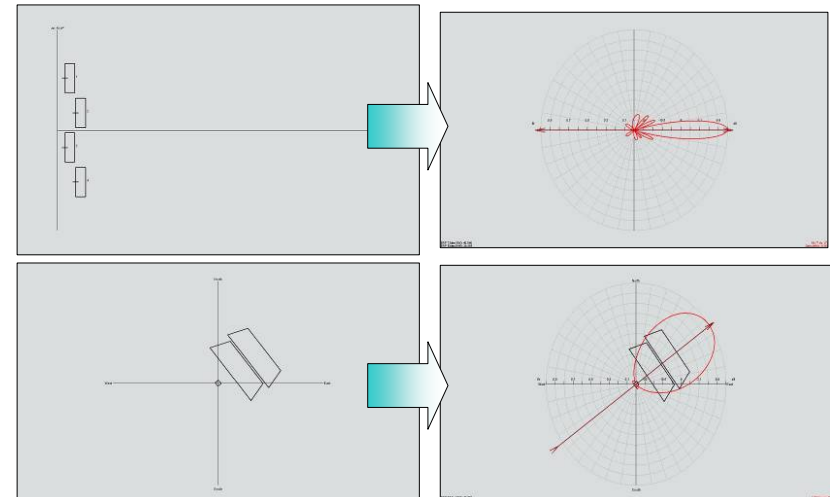
Emittente Televisiva Regionale  
**TELECITTÀ**

10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

63

# M.te Rocolo, Padova – Configurazione



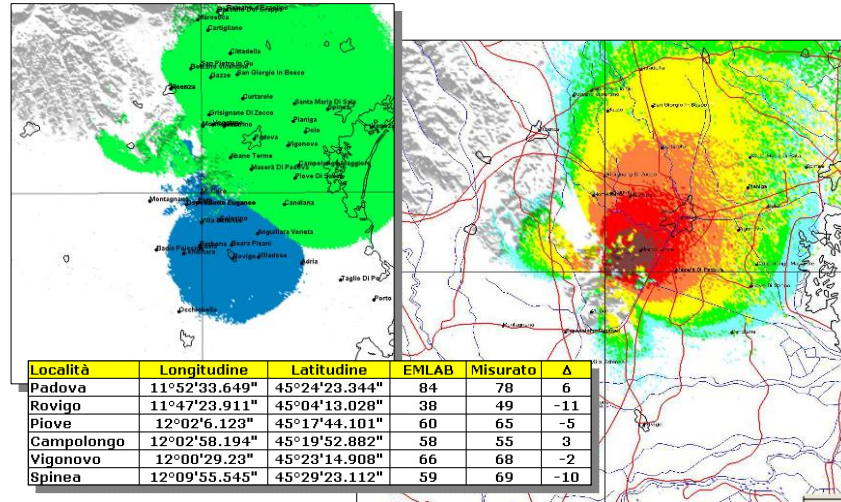
10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

64



## M.te Roccolo, Padova – Risultati



10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

65

## Collegamento S.Nicolao - M.te Serra

Sito di trasmissione:

- altezza s.l.m: 842.8 m
- potenza: 1.5 W
- frequenza: 2.4726 GHz
- guadagno: 29 dBd
- perdite: 8.5 dB

Sito di ricezione:

- altezza s.l.m : 858.7 m
- frequenza: 2.4726 GHz
- guadagno: 29 dBd



10 Dicembre 2007

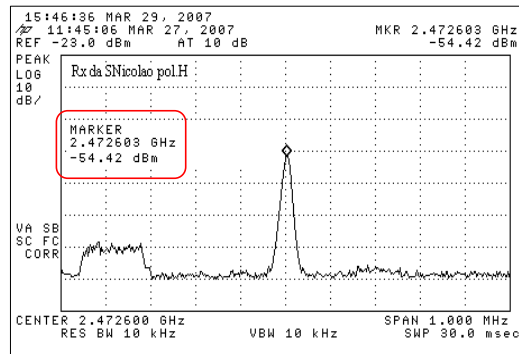
Ing. Arpaio Maximilian

66

## Collegamento S.Nicolao - M.te Serra



Courtesy of Mr. Nicola Caforio,  
chairman of Toscana Radio Comunicazioni.  
for RTL 102.5 hit radio © 2007



Emlab  
Received Power: -54.5 dBmW

10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

67

## Come fare per scegliere i componenti del sistema radiante?

1. Definire la **POLARIZZAZIONE** da impiegare in base alle antenne di ricezione e allo standard di trasmissione.
2. Definire l'**ANGOLO DI APERTURA** dell'area geografica da servire, da cui deriva il **tipo di antenne** da impiegare.
  - ↳ Definire lo spazio disponibile sul traliccio e la robustezza della struttura, per poter stabilire il **numero di piani** ed il **peso** del sistema.
3. Definire l'**ESTENSIONE** dell'area geografica da servire, per poter stabilire il **guadagno** del sistema radiante e la **potenza** del trasmettitore.
  - ↳ Stabilire il budget di spesa, per poter definire la **complessità** (e quindi il **costo**) del sistema di antenne.
  - ↳ valutare gli eventuali limiti nel progetto.

10 Dicembre 2007

Ing. Arpaio Maximilian

68

In conclusione ...

