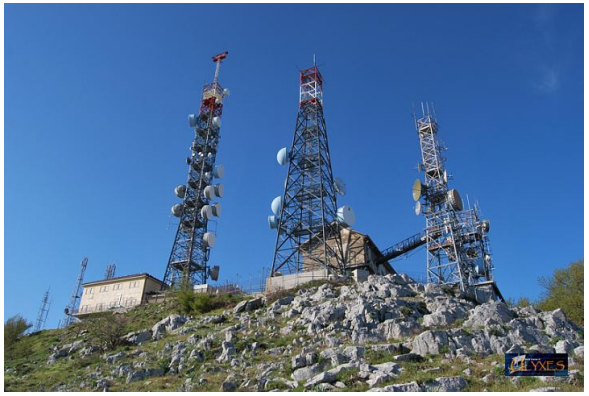


Seminario tecnico di aggiornamento
sulle procedure di valutazione dell'impatto elettromagnetico
degli impianti a radiofrequenza (telefonia mobile)

LE ANTENNE COME SORGENTI DI CAMPI ELETTROMAGNETICI AMBIENTALI

Renzo Azaro

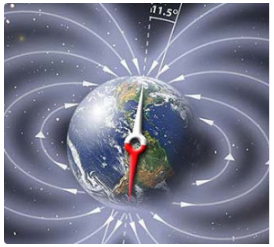
Genova, 21 Settembre 2016

ARGOMENTI

- ✓ Sorgenti di "energia elettromagnetica"
- ✓ Concetti base sui campi elettromagnetici e sul funzionamento e la struttura delle antenne
- ✓ Parametri che definiscono le prestazioni delle antenne
- ✓ Caratteristiche delle antenne utilizzate dalle Stazioni Radio Base per telefonia cellulare
- ✓ Caratteristiche dei campi elettromagnetici ambientali generati da antenne di stazioni radio base (esempi)

Sorgenti di Energia Elettromagnetica

L'ambiente è interessato da energia associata a campi elettromagnetici di differenti origini e caratteristiche:



- Sorgenti **naturali**: Campo elettrico e magnetico terrestri
  Fenomeni atmosferici, ….

- Sorgenti **artificiali**:

✓ Non intenzionali: durante il loro normale funzionamento sistemi e apparati che utilizzano "energia elettrica" per il loro funzionamento generano involontariamente campi elettromagnetici (radio interferenze)

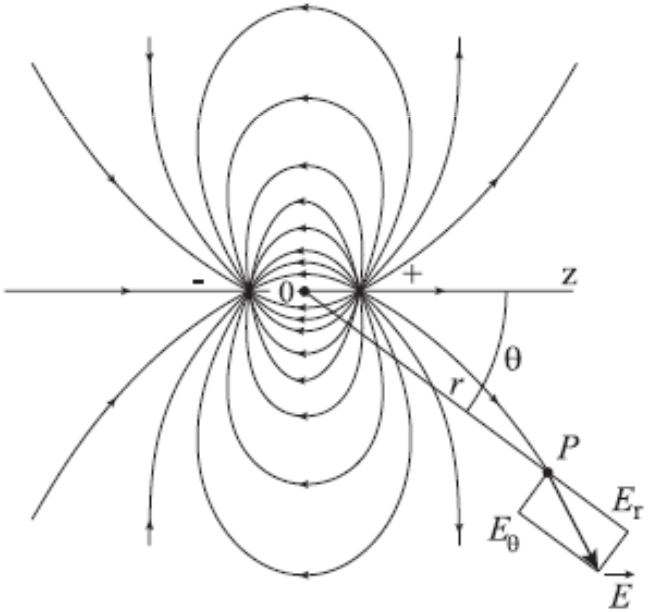
✓ Intenzionali: esistono sistemi e apparati che per l'assolvimento delle funzioni per le quali vengono sviluppati ed utilizzati **generano intenzionalmente campi elettromagnetici** (es. sistemi per radiocomunicazioni).

Caratteristiche base di un Campo Elettromagnetico

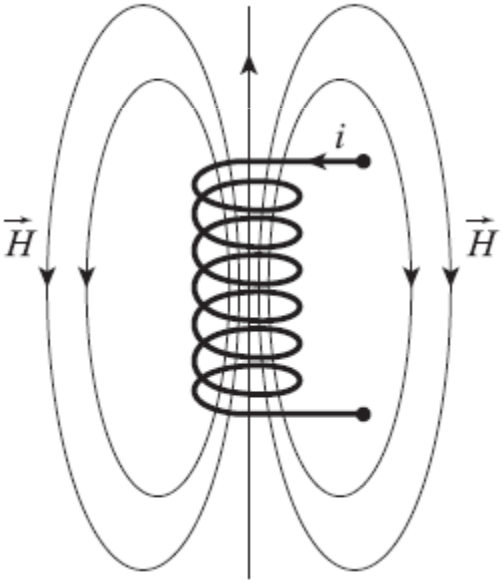
Cos'è un **Campo Elettromagnetico**:

- in pratica è una perturbazione dello spazio generata da **cariche elettriche**, composta da due entità fisiche dette **Campo Elettrico** e **Campo Magnetico** e che si manifesta come <u>forze applicate altre cariche</u> presenti nello spazio.

Esempi <u>di configurazioni di campo elementari</u>:

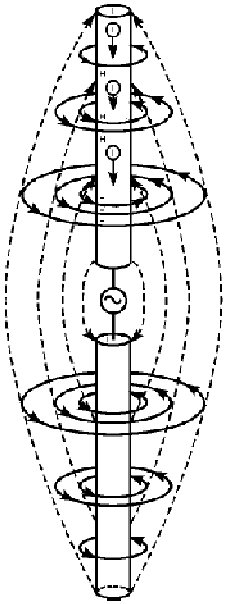


Coppia di cariche ferme



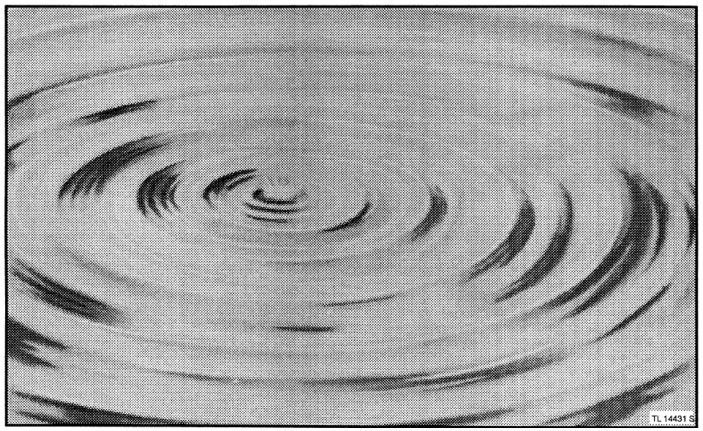
"Bobina"

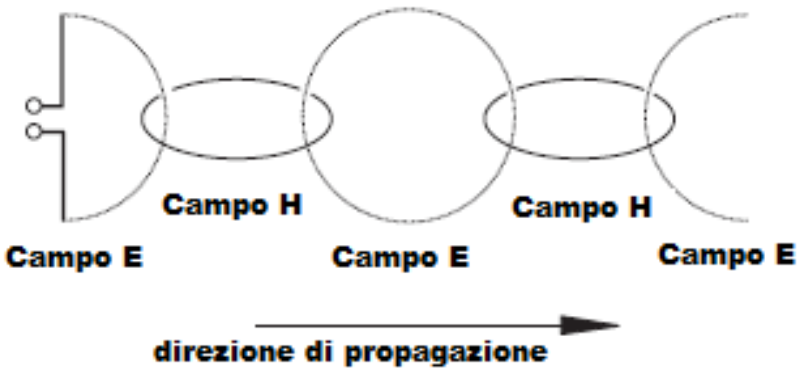
Caratteristiche base di un Campo Elettromagnetico



- Se si mettono <u>in movimento</u> delle cariche (ad esempio su un tratto lineare di conduttore metallico, si ottiene una configurazione di campo dove sono contemporaneamente presenti **Campo Elettrico** e **Campo Magnetico** <u>variabili nel tempo</u> (**Campo Elettromagnetico**):

- Di fatto si introduce una **perturbazione nello spazio** (campo elettrico e magnetico) che in determinate condizioni ha la proprietà di **propagarsi nello spazio circostante**.

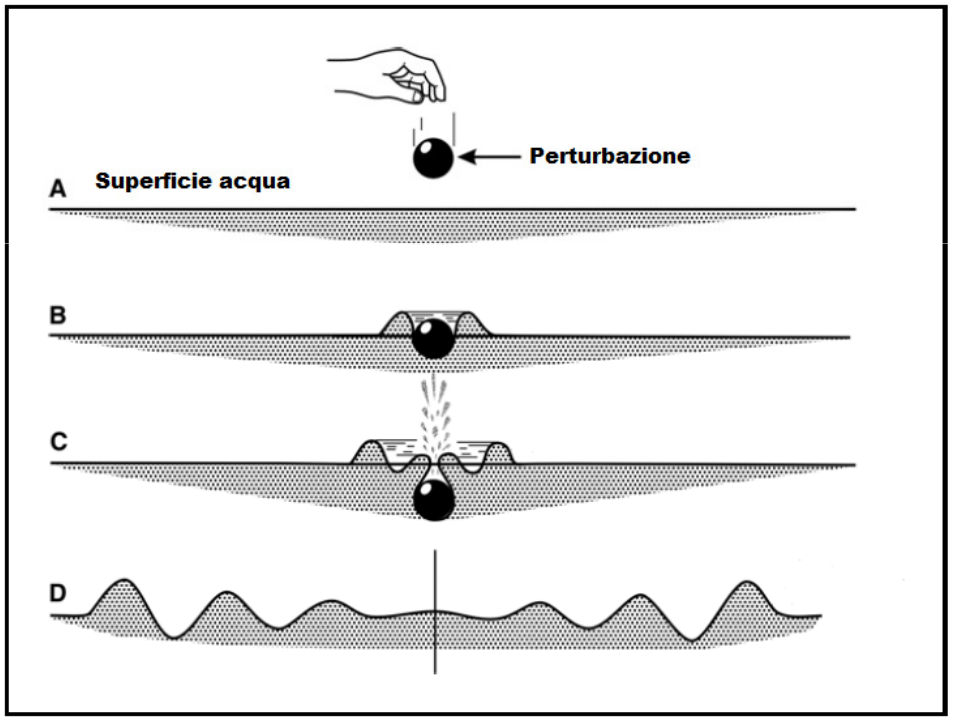




Caratteristiche base di un Campo Elettromagnetico

- Per illustrare cosa accade se **cariche e correnti** seguono un **andamento temporale armonico (periodo T, frequenza f=1/T)** usiamo un fenomeno analogo più intuitivo, per il quale valgono alcuni dei concetti base:

Fenomeno ondoso

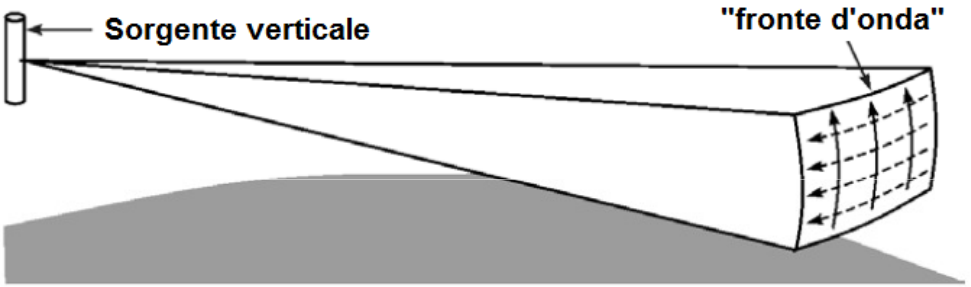


*Lo spostamento nel tempo pari al periodo (**T**) è pari alla lunghezza d'onda (**λ**), quindi la velocità di propagazione è:*

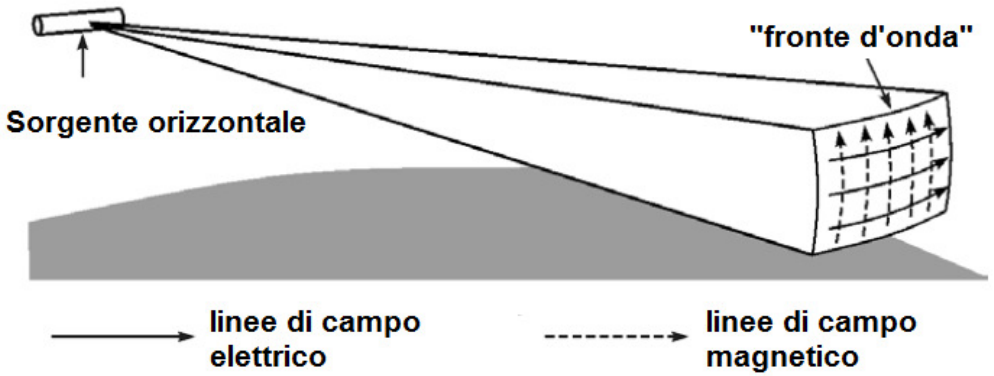
$$v = \frac{\textbf{spazio percorso } (\lambda)}{\textbf{intervallo di tempo } (T)} \; [m/sec]$$

Caratteristiche base di un Campo Elettromagnetico

- In funzione dell'**orientamento della sorgente** rispetto al suolo, si ottengono (ovviamente) differenti orientamenti del campo elettrico e magnetico. Per convenzione si fa riferimento al campo elettrico, per cui i casi notevoli sono:



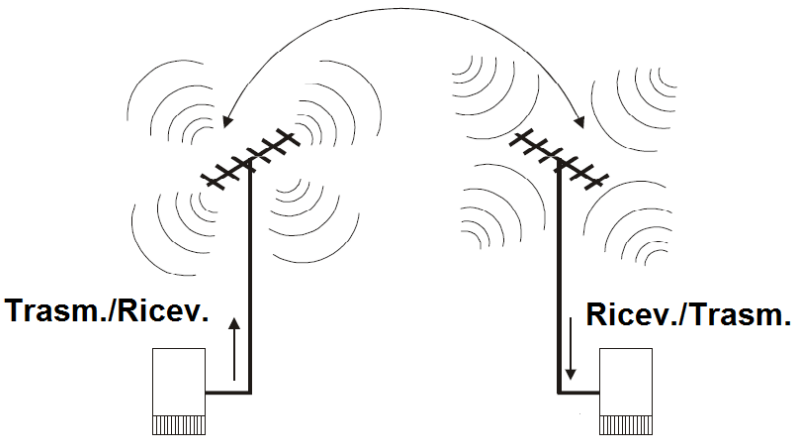
Polarizzazione verticale



Polarizzazione orizzontale

Le ANTENNE: sorgenti di campo elettromagnetico

IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas (1993)
2.12 antenna. *That part of a transmitting or receiving system that is designed to radiate or to receive electromagnetic waves.*



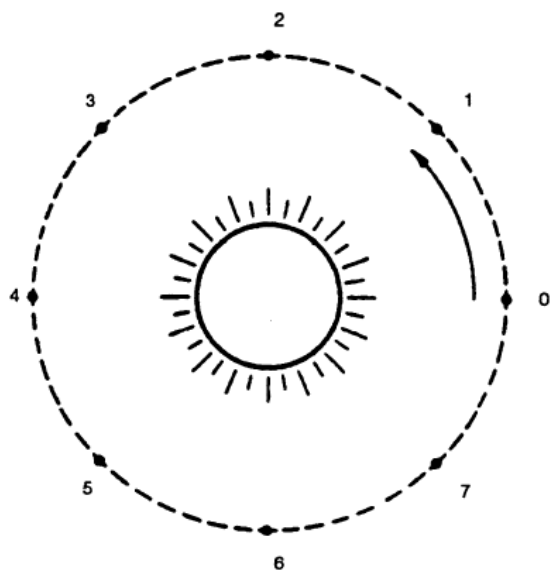
Si definisce quindi **ANTENNA** un dispositivo in grado di:

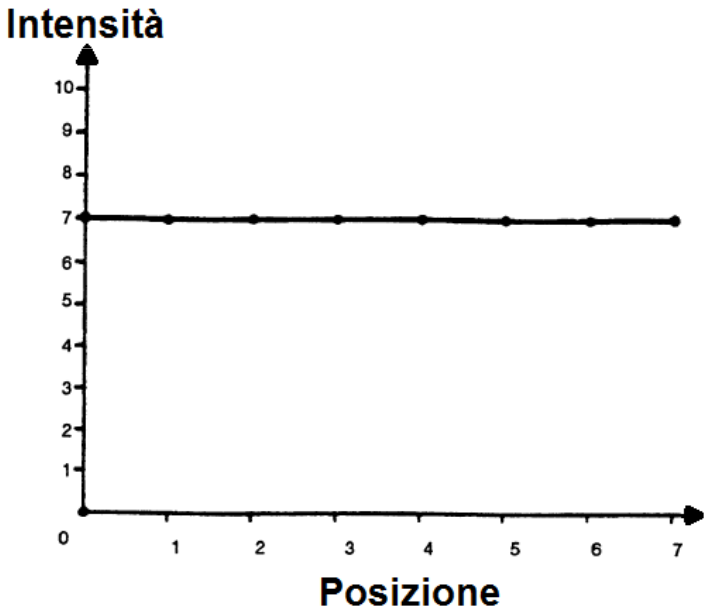
- operare come sorgente di campo elettromagnetico (**trasmettitore**),
- operare come "collettore" di campi elettromagnetici esterni (**ricevitore**).

Quindi sono **sorgenti di campi ambientali le sole antenne trasmittenti** (molte antenne vengono utilizzate solo come riceventi, per cui non generano campi elettromagnetici ambientali).

Le ANTENNE: descrizione delle caratteristiche

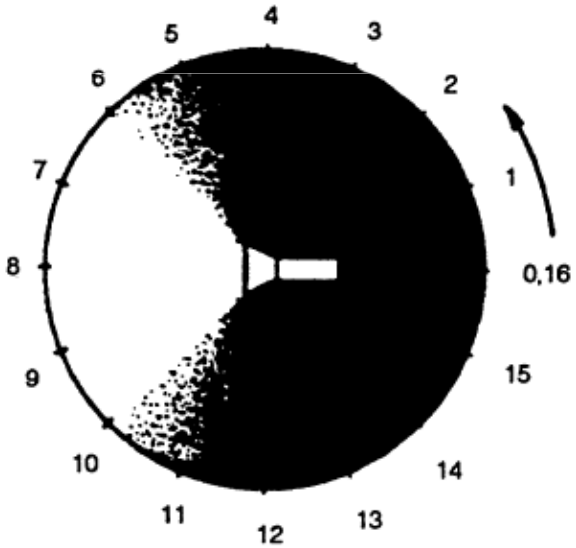
- La principale funzione di un'antenna nel ruolo di <u>sorgente</u> è quindi quella di instaurare nello spazio circostante un campo elettromagnetico.
- La <u>configurazione ideale</u> di riferimento è quella di una sorgente (l'antenna) in grado di distribuire <u>uniformemente</u> il campo su tutte le possibili direzioni nello spazio (**elemento isotropo**):

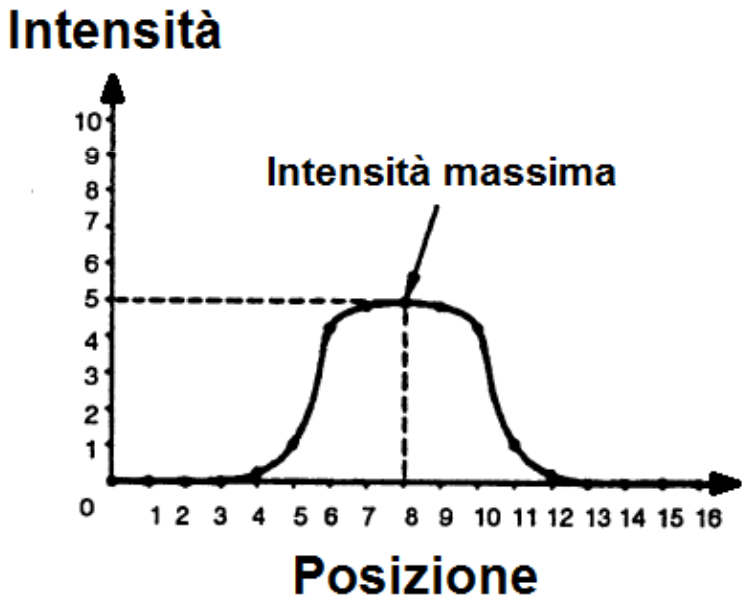




Le ANTENNE: descrizione delle caratteristiche

- La <u>configurazione reale</u> di impiego di una sorgente (l'antenna) richiede invece di poter distribuire il campo elettromagnetico nello spazio circostante in base al particolare utilizzo:

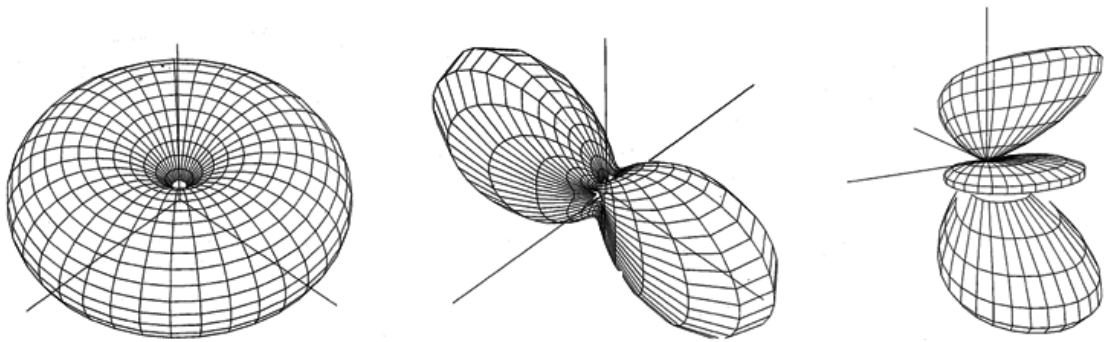




Le ANTENNE: descrizione delle caratteristiche

- Lo strumento principale con cui descrivere come un'antenna distribuisce il campo elettromagnetico nello spazio circostante è il cosiddetto **DIAGRAMMA DI IRRADIAZIONE**

- Si tratta di uno strumento grafico consistente in una superficie tridimensionale che associa alle singole direzioni nello spazio un valore numerico (**guadagno g,** rappresentato dalla distanza tra i punti della superficie e l'ipotetica posizione dell'antenna) che indica, a pari potenza in ingresso, quanto è più (o meno) intenso il campo generato dall'antenna rispetto a quello generato dall'elemento isotropo.

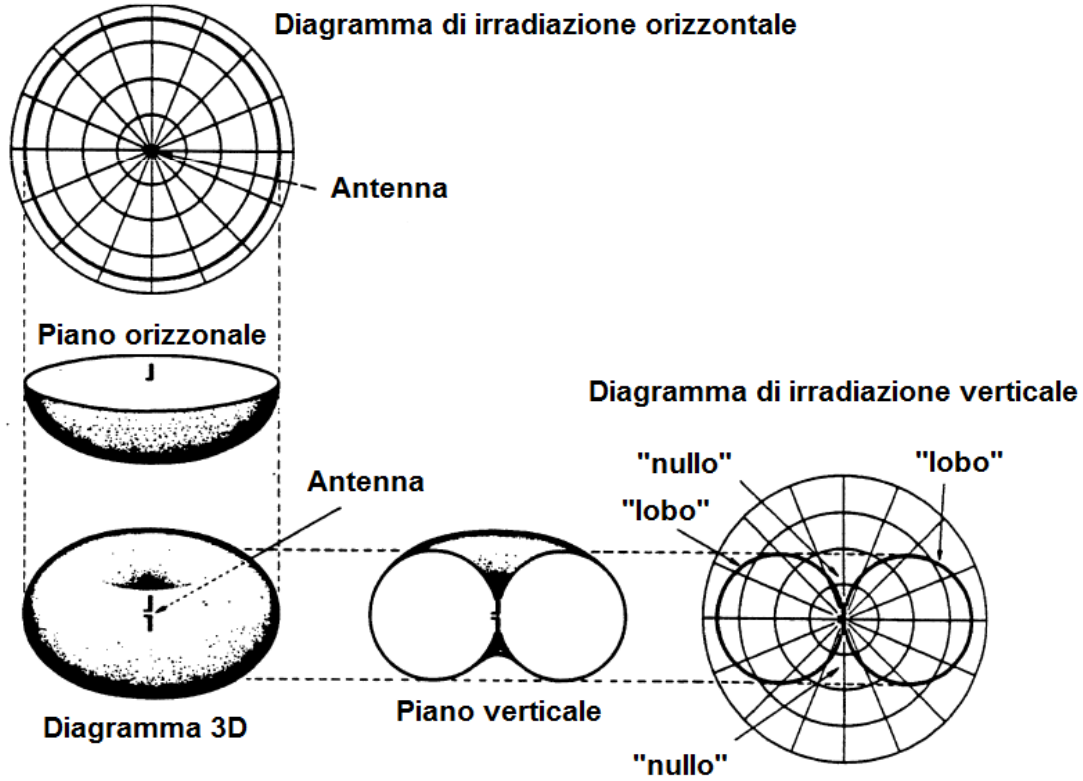


IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas (1993)

2.165 gain (in a given direction). *The ratio of the radiation intensity, in a given direction, to the radiation intensity that would be obtained if the power accepted by the antenna were radiated isotropically*

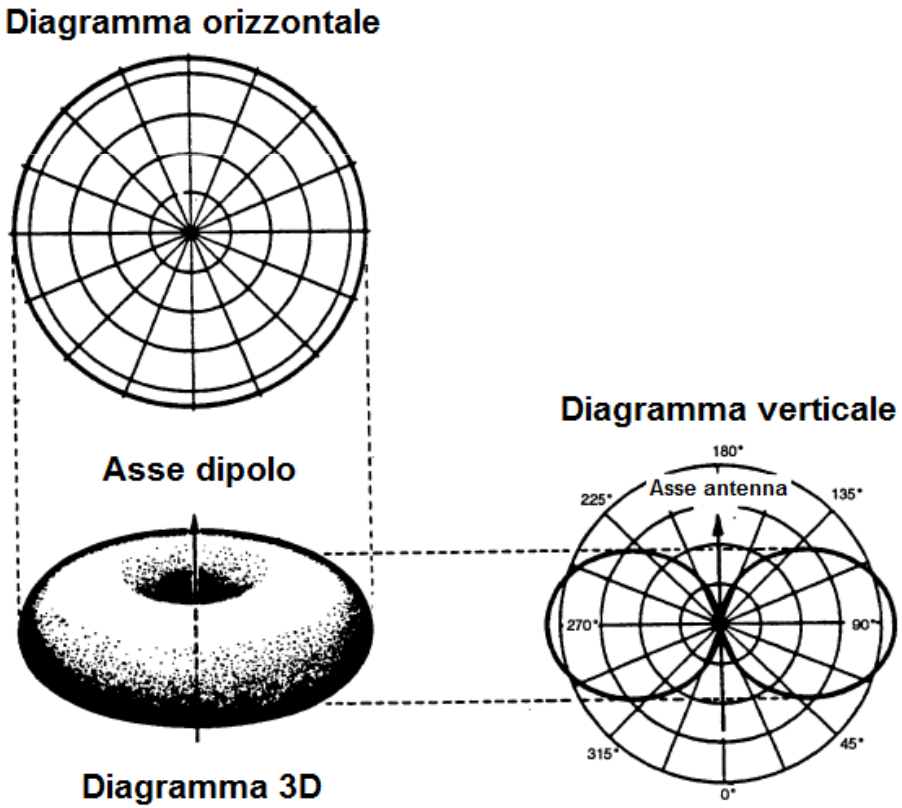
Le ANTENNE: descrizione delle caratteristiche

- Solitamente per semplicità si rappresentano graficamente le caratteristiche di un'antenna solo su <u>due sezioni ortogonali del Diagramma di Irradiazione tridimensionale</u>, ottenendo così il **Diagramma di Irradiazione Orizzontale** ed il **Diagramma di Irradiazione Verticale**:



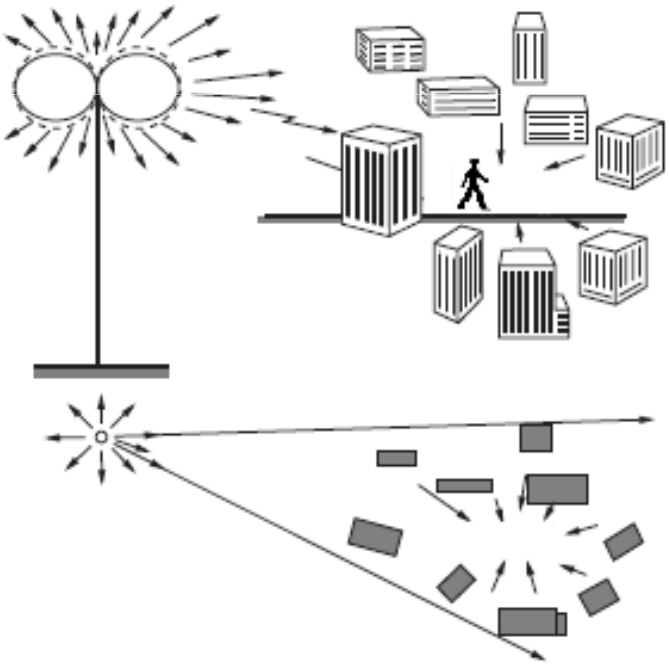
Esempio di antenna reale: il DIPOLO MEZZ'ONDA

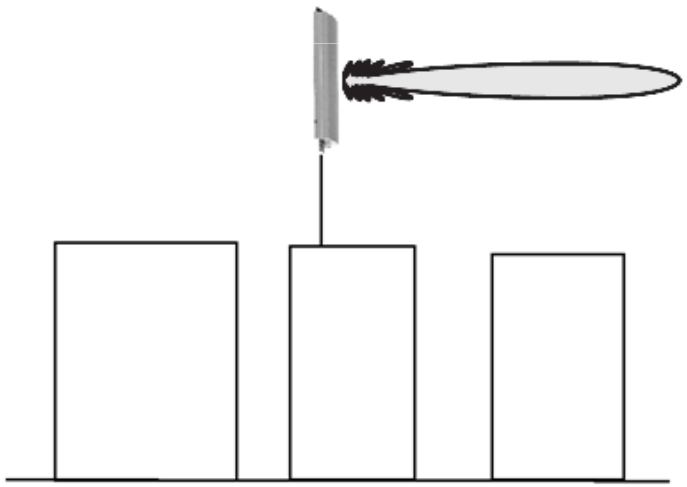
- Una delle tipologie più semplici di antenna è il cosiddetto **"dipolo mezz'onda"** (un conduttore lineare lungo mezza lunghezza d'onda), il quale, se ad es. è orientato lungo un asse verticale, distribuisce il campo elettromagnetico in maniera uniforme se osservato su un piano orizzontale, mentre tende a concentrarlo verso l'orizzonte se osservato su un piano verticale.



Le Antenne reali: come ottenere diagrammi "a piacere"

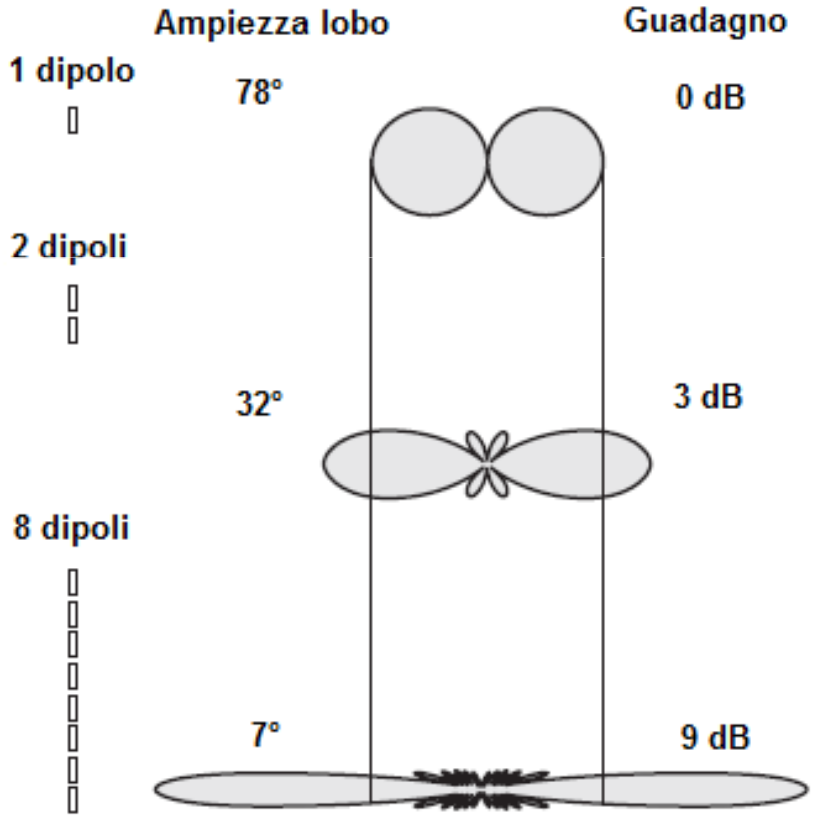
- Nelle applicazioni reali (es. impianti per la telefonia mobile), è necessario convogliare il campo in maniera uniforme all'orizzonte per coprire una data area geografica con un livello di segnale sufficiente per il servizio di telefonia mobile ed allo stesso tempo evitare l'invio di potenza verso il basso (potenzialmente dannoso) e verso l'alto (spreco di potenza).





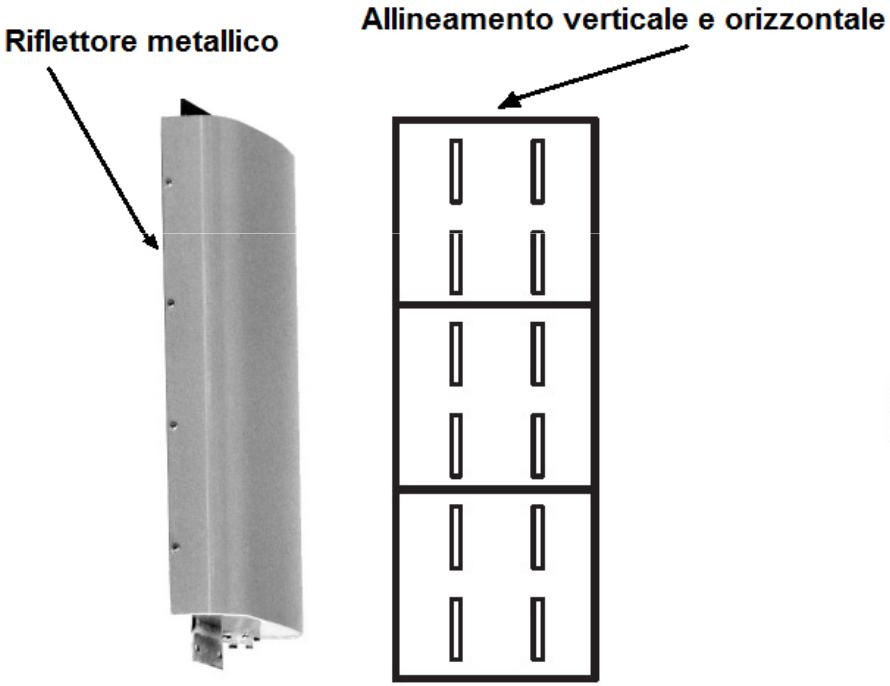
Le Antenne reali: come ottenere diagrammi "a piacere"

- Un modo abbastanza semplice per sagomare diagrammi in base alle esigenze applicative consiste nell'<u>allineare più dipoli</u>.



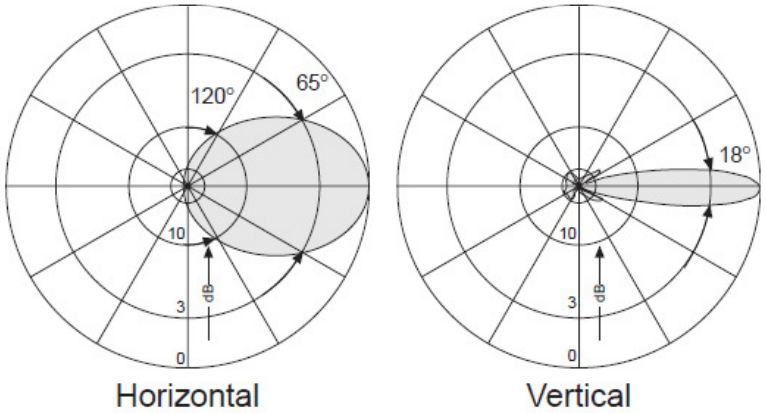
Le Antenne utilizzate nelle Stazioni Radio Base

- Una struttura tipica di antenna per stazione radio base è composta da <u>più allineamenti</u> (in funzione delle bande di frequenza e degli orientamenti del campo desiderati).



Panel 730 684
890 – 960 MHz

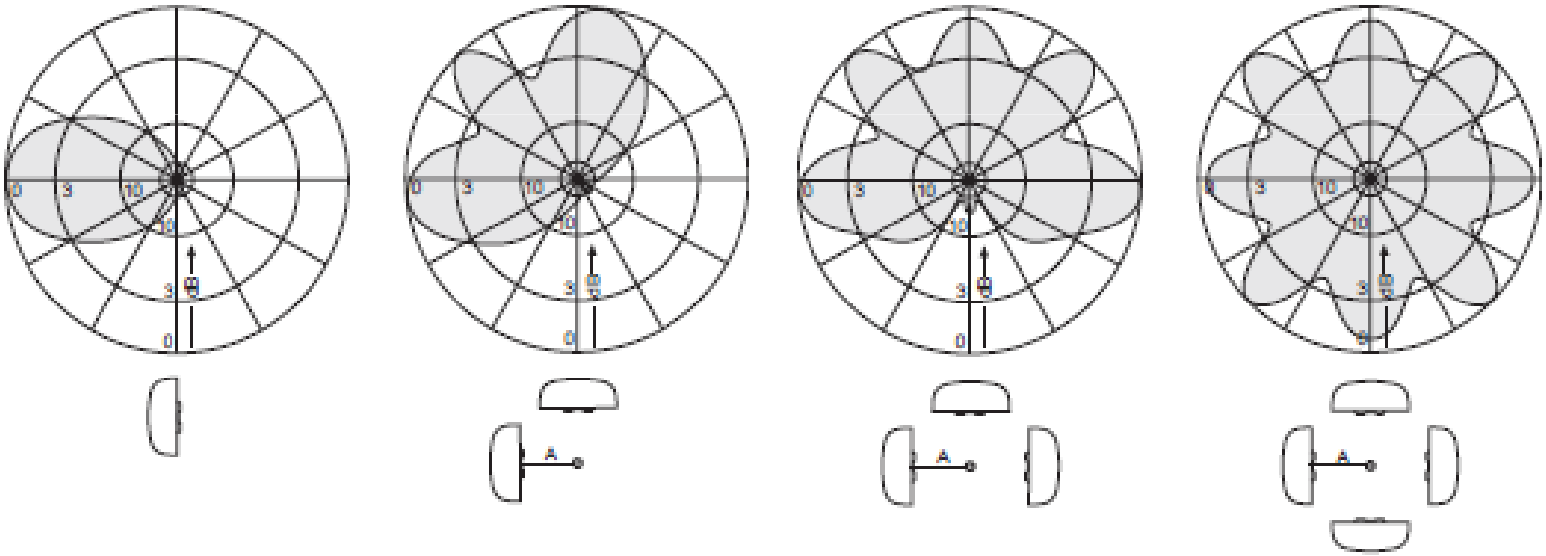
Radiation diagrams with relative field strength



[estratto da catalogo Kathrein]

Le Antenne utilizzate nelle Stazioni Radio Base

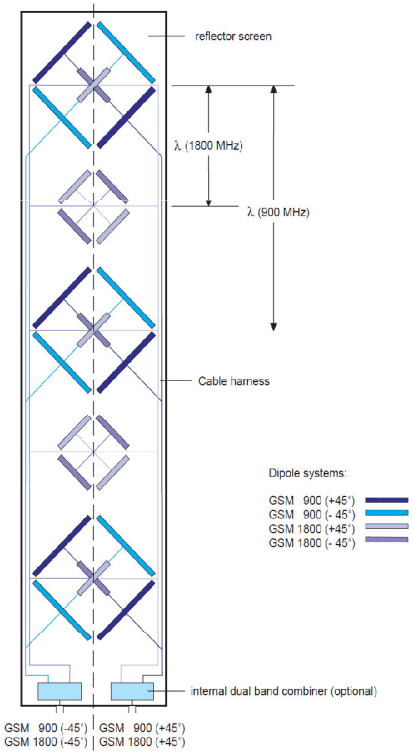
- Utilizzando più antenne opportunamente direzionate si ottiene la <u>copertura in orizzonte</u> delle aree di interesse (mantenendo minimo l'invio di potenza verso il basso e verso l'alto)



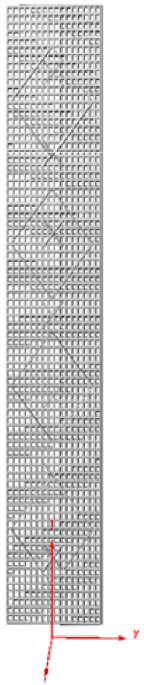
Caratteristiche antenne per Stazioni Radio Base

- A partire dalla struttura di un'antenna è possibile calcolarne i diagrammi di irradiazione alle varie frequenza di funzionamento mediante opportuni software di simulazione (i produttori di antenne in genere fornisco solo le misure delle sezioni orizzontali e verticali).

Antenna reale



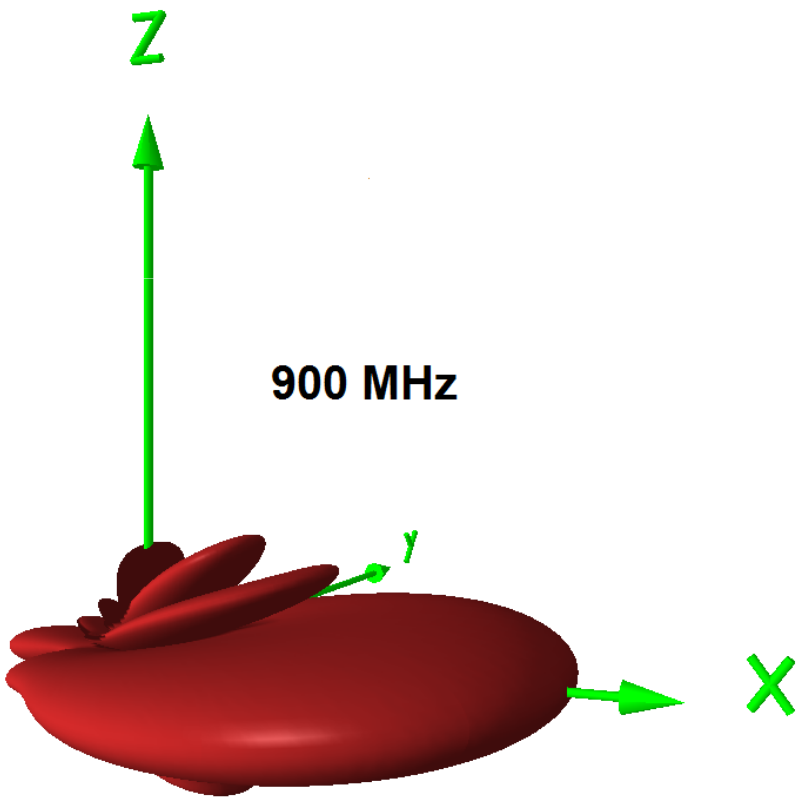
Struttura antenna

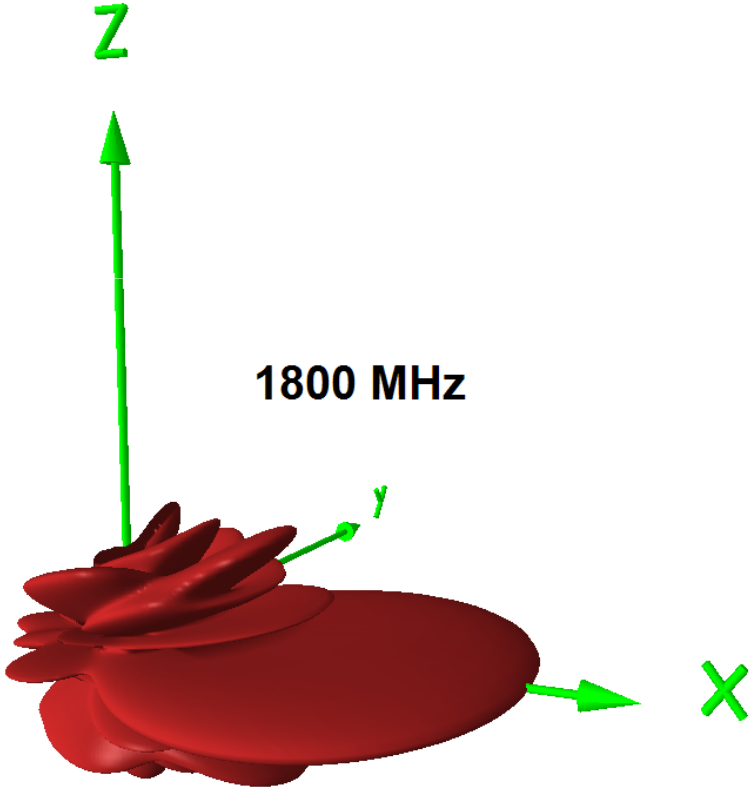


Modello per simulazione

Diagrammi di irradiazione simulati

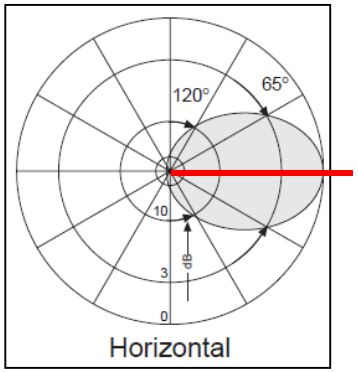
- Rappresentazione tridimensionale dei diagrammi di irradiazione simulati di un esempio di antenna per stazione radio base:





Calcolo campo elettromagnetico generato

- Consideriamo il caso peggiore: punti nella <u>direzione di puntamento dell'antenna</u>



g
(guadagno antenna)

A
(attenuazione cavo)

Po
(<u>massima</u> potenza trasmettitore)

Cavo coassiale

Trasmettitore

(do, gmax)

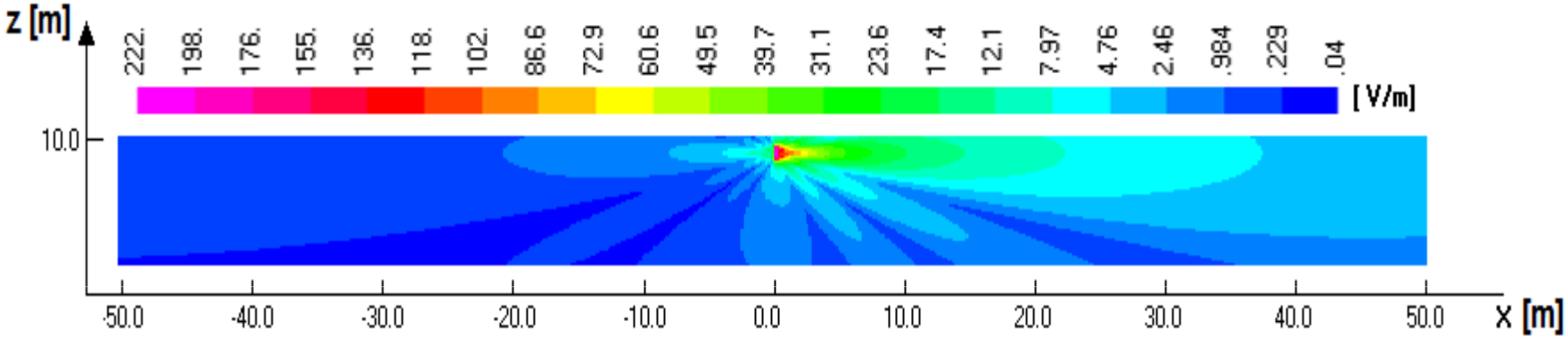
(d1, g1)

$$P = A \cdot P_0 \text{ [W]}, A < 1$$

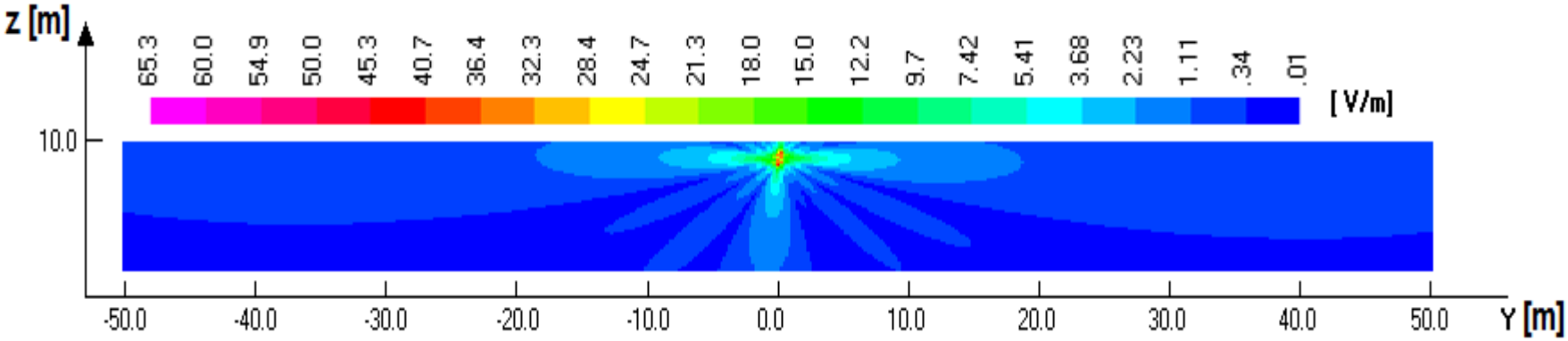
$$E = \frac{1}{d}\sqrt{30 \cdot P \cdot g} \text{ [V/m]}$$

Calcolo campo elettromagnetico generato

- **Intensità del campo elettrico** alla frequenza di lavoro di 900 MHz con potenza di ingresso 30 W su una sezione verticale lunga 100 metri e alta 10 metri generato dall'**antenna in spazio libero** (terreno non ha effetti)



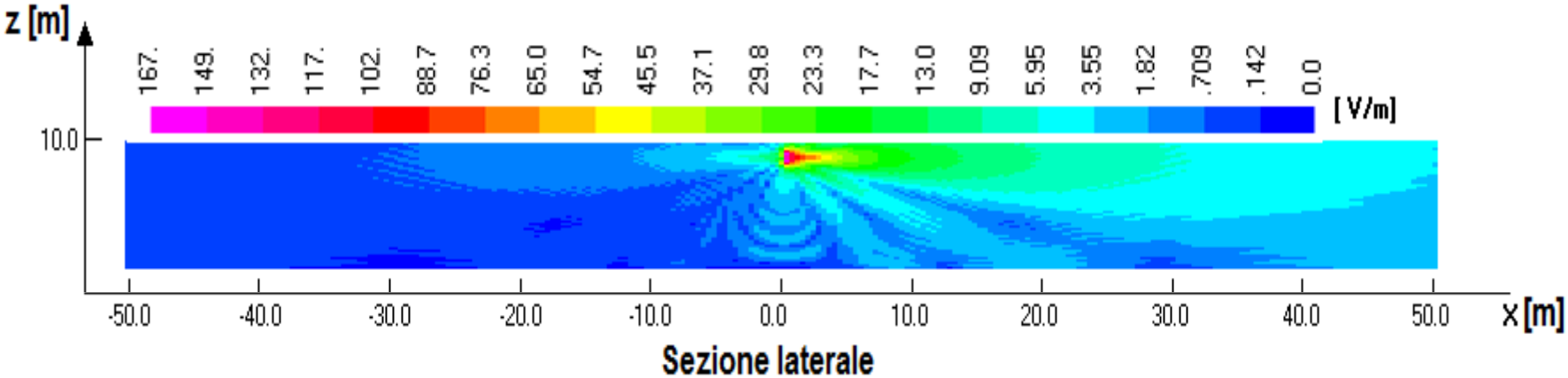
Sezione laterale



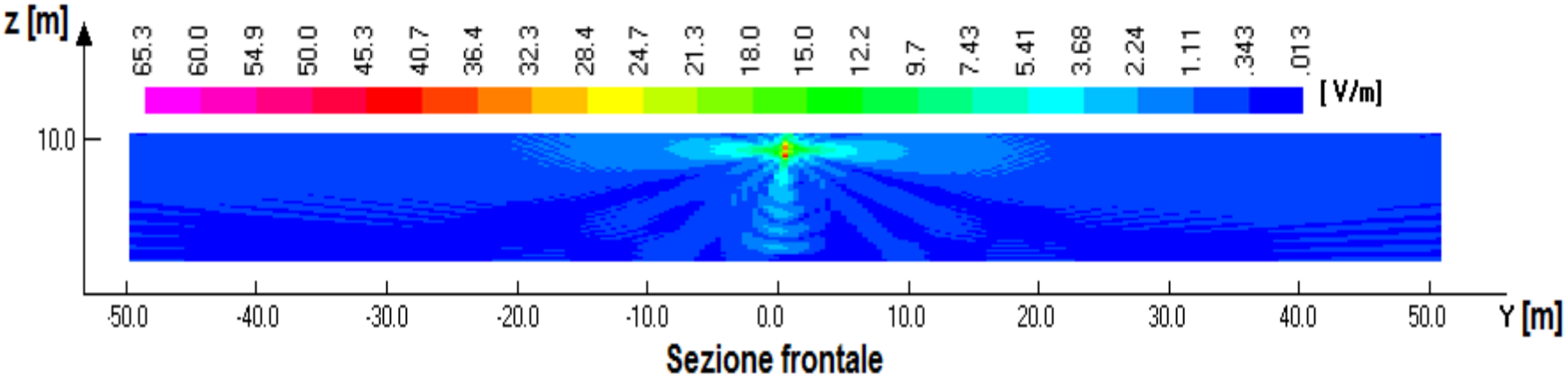
Sezione frontale

Calcolo campo elettromagnetico generato

- **Intensità del campo elettrico** alla frequenza di lavoro di 900 MHz con potenza di ingresso 30 W su una sezione verticale lunga 100 metri e alta 10 metri generato dall'**antenna su terreno perfettamente riflettente** (metallico)



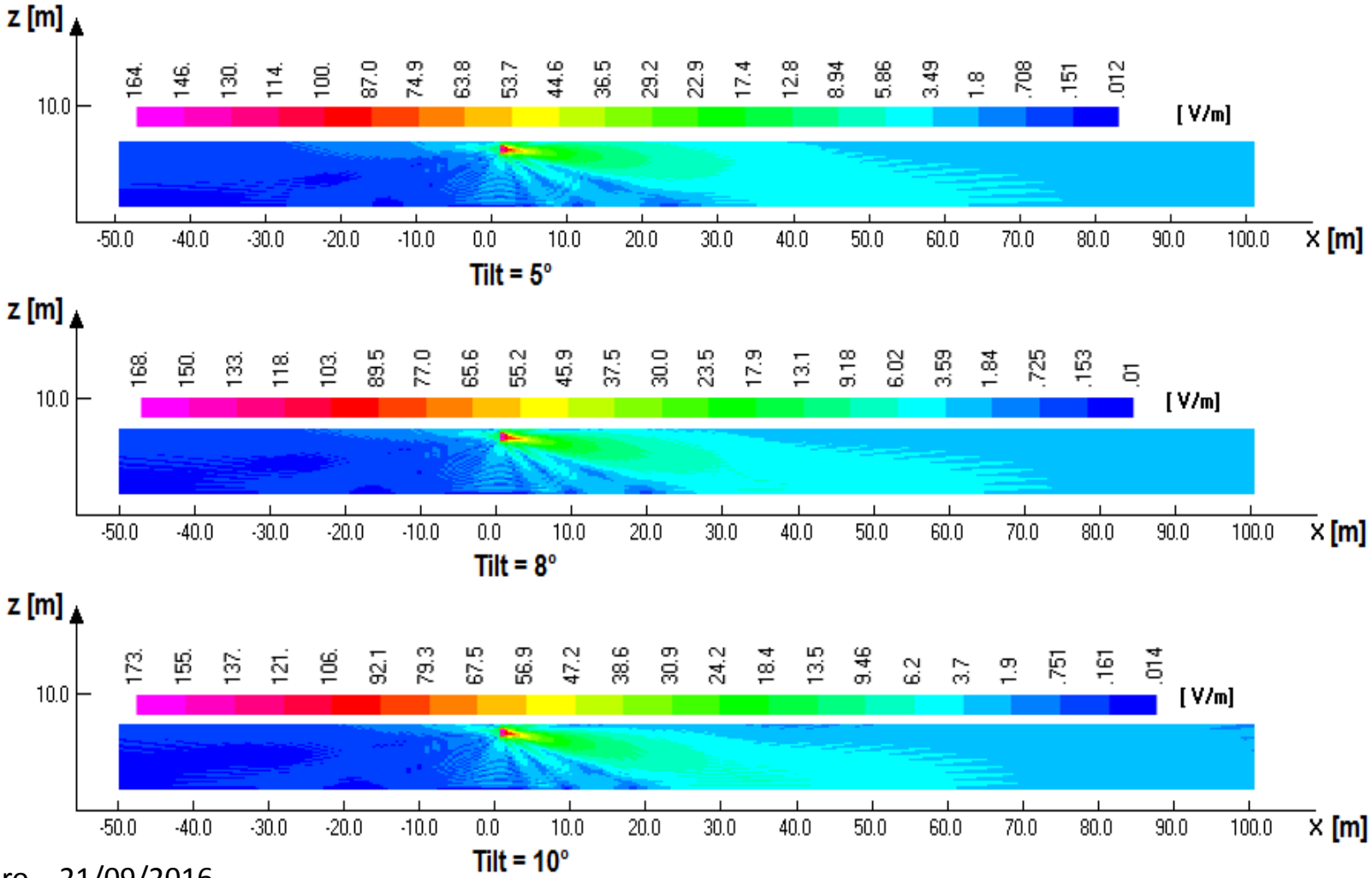
Sezione laterale



Sezione frontale

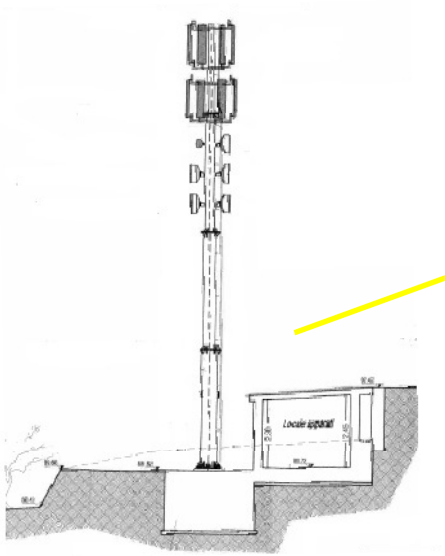
Calcolo campo elettromagnetico generato

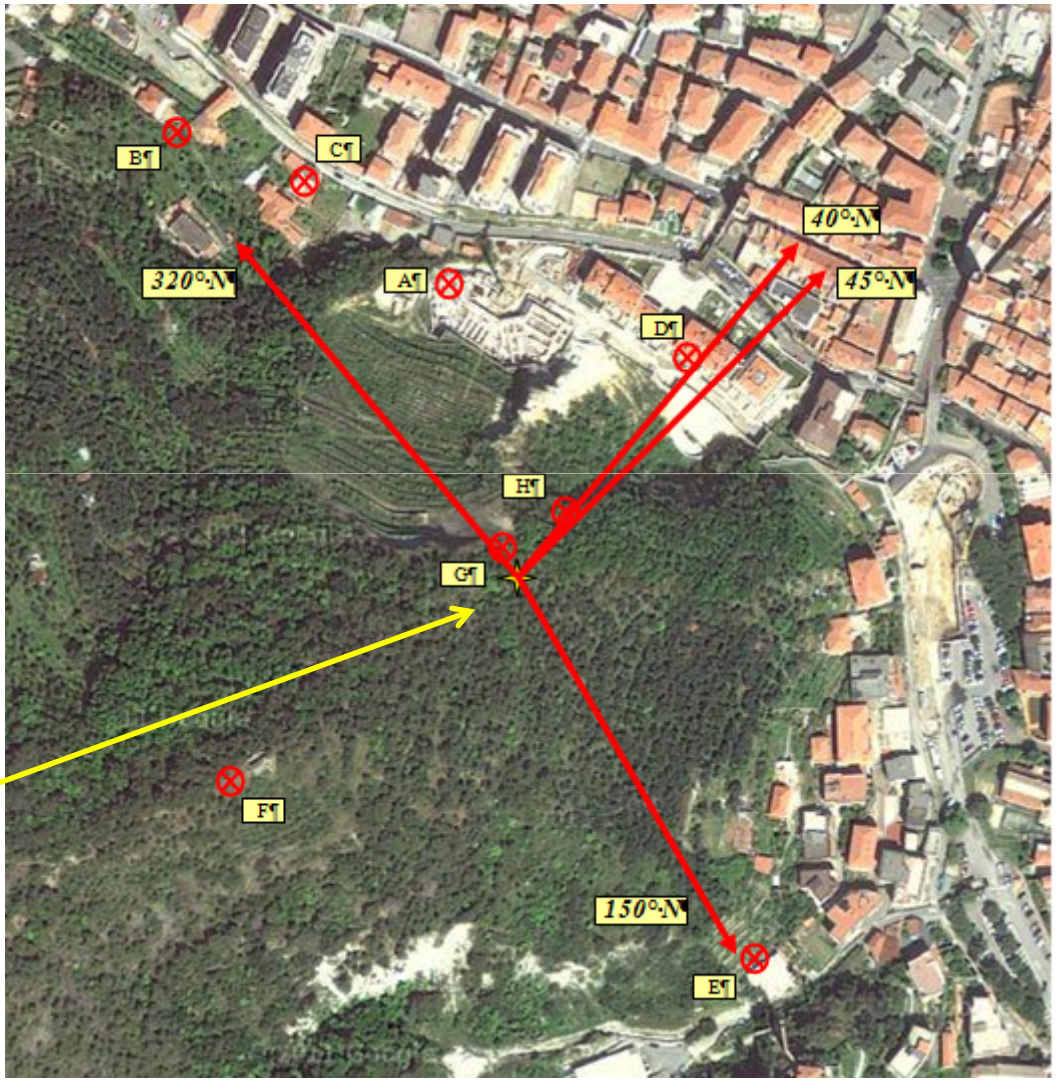
- **Intensità del campo elettrico** alla frequenza di lavoro di 900 MHz con potenza di ingresso 30 W su una sezione verticale lunga 150 metri e alta 10 metri generato dall'**antenna in spazio libero con differenti angoli di "tilt"** (orientamento antenna verso il basso):



Analisi impatto campo generato da antenne

- **ESEMPIO: Impianto multi-settore in posizione sopraelevata su centro abitato**





Analisi impatto campo generato da antenne

- Analisi impatto mediante "mappe di campo" a varie quote sul livello del mare

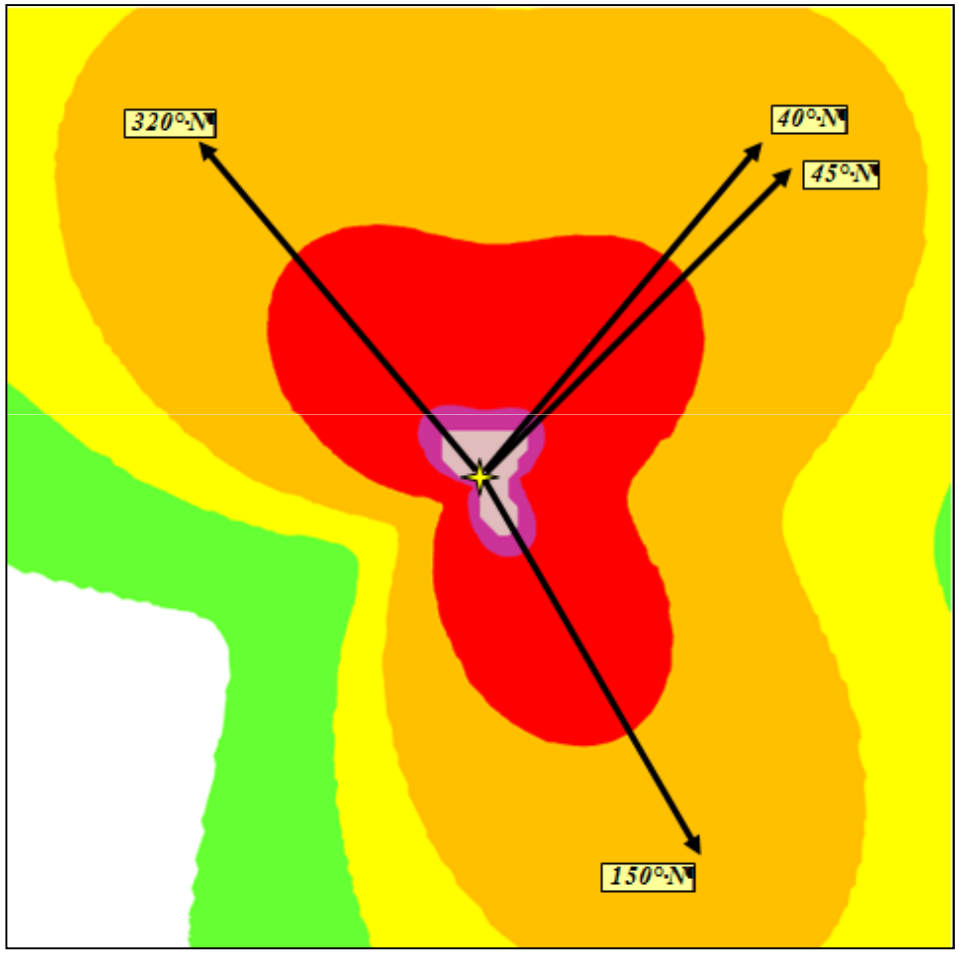
h = 102,5 s.l.m.
h = 90 s.l.m.

h = 70 s.l.m.

h = 40 s.l.m.
(quota max edifici)

Analisi impatto campo generato da antenne

- Analisi impatto mediante "mappe di campo" a varie quote sul livello del mare

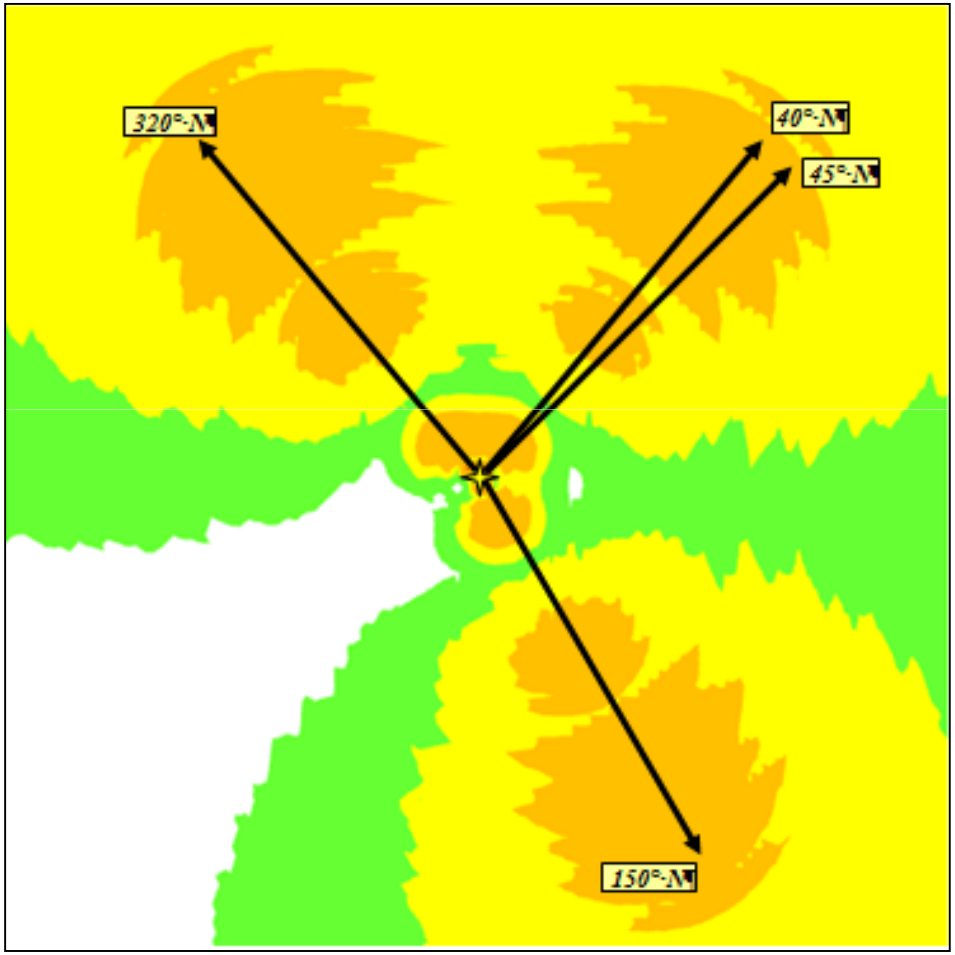


	E<1V/m
	1<E<2 V/m
	2<E<3 V/m
	3<E<6 V/m
	6<E<20 V/m
	E>20V/m ⇐ Max

NOTE:

- dim. 400 m X 400 m
- quota **h = 102,5 metri s.l.m.** (quota antenne impianto)
- angolo di **tilt = 0°**

Analisi impatto campo generato da antenne

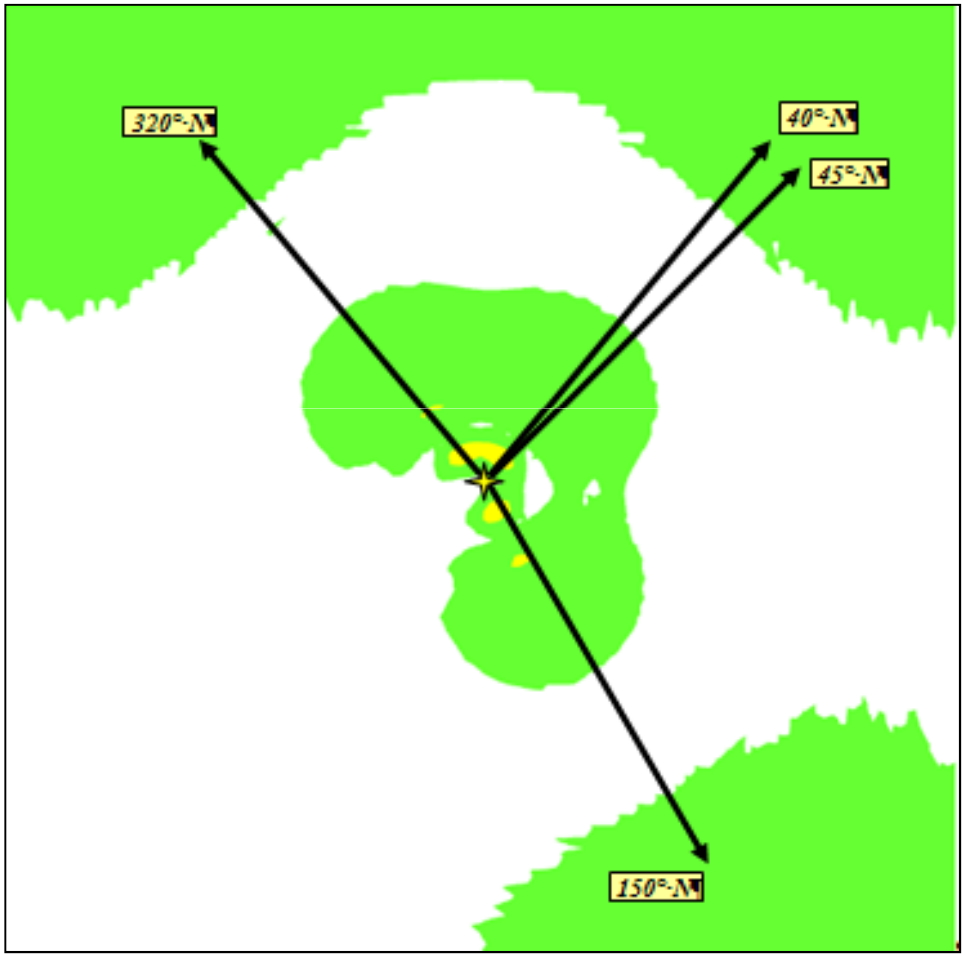


	E<1V/m
	1<E<2 V/m
	2<E<3 V/m
	3<E<6 V/m ⇐ Max
	6<E<20 V/m
	E>20V/m

NOTE:

- dim. 400 m X 400 m
- quota **h = 90 metri s.l.m.**
- angolo di **tilt = 0°**

Analisi impatto campo generato da antenne



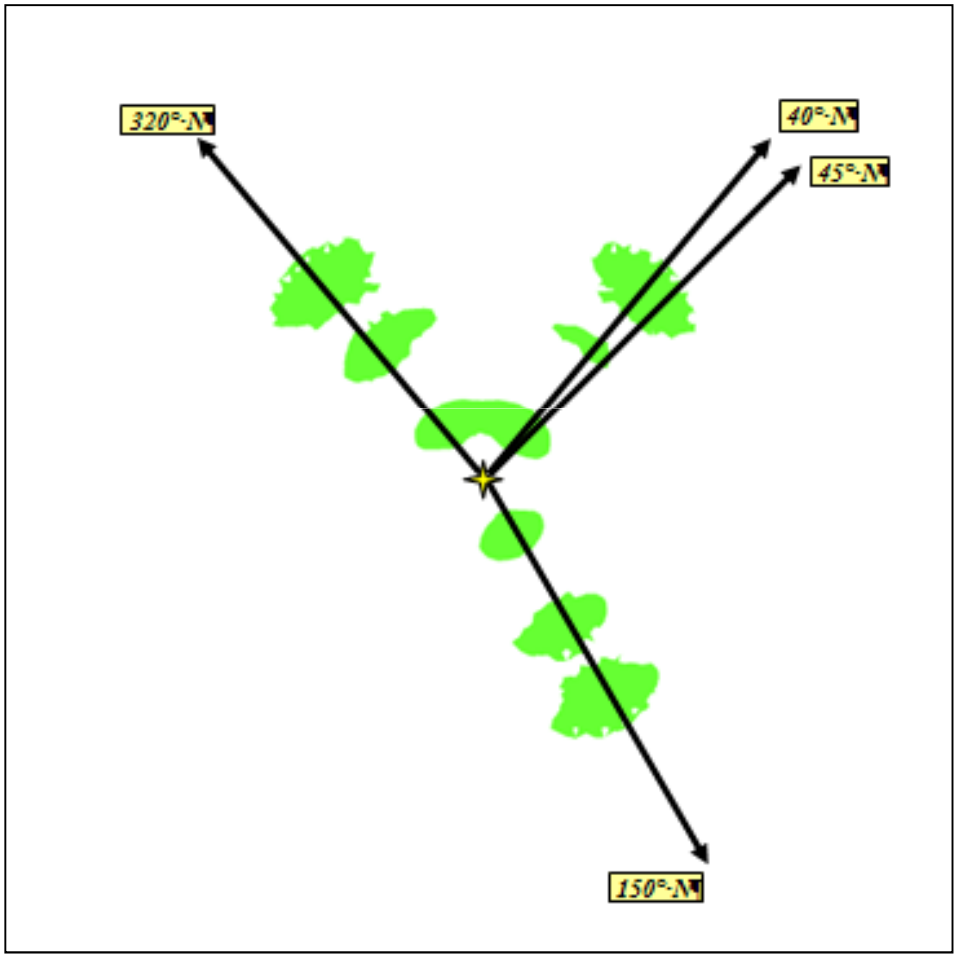
	E<1V/m
	1<E<2 V/m
	2<E<3 V/m
	3<E<6 V/m
	6<E<20 V/m
	E>20V/m

Max

NOTE:

- dim. 400 m X 400 m
- quota **h = 70 metri s.l.m.**
- angolo di **tilt = 0°**

Analisi impatto campo generato da antenne



	E<1V/m
	1<E<2 V/m ⇐ Max
	2<E<3 V/m
	3<E<6 V/m
	6<E<20 V/m
	E>20V/m

NOTE:

- dim. 400 m X 400 m
- quota **h = 40 metri s.l.m.** (quota massima edifici più elevati)
- angolo di **tilt = 0°**