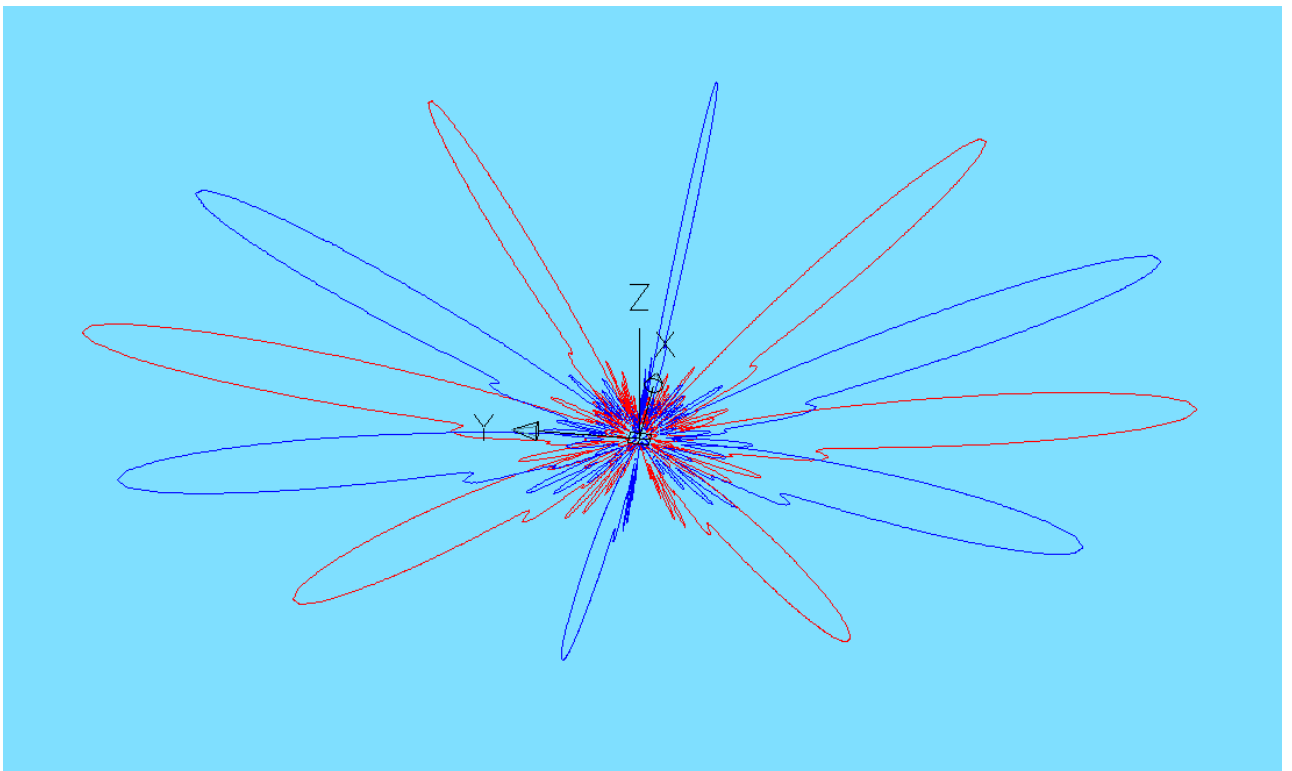
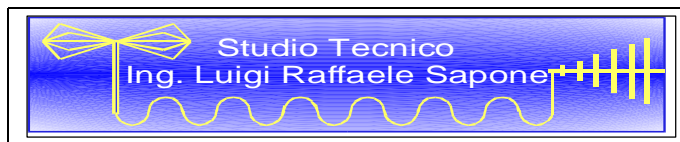


Modulo del software GHERAP per la valutazione radio protezionistica del campo EM generato da segnali impulsivi (radar)





Misura e Consulenza Impatto Elettromagnetico

Premessa

Il modulo, fornito gratuitamente ai possessori del software, permette la valutazione, ai fini radio-protezionistici, del campo EM generato da trasmissioni radio caratterizzate da segnali impulsivi, intendendo con questa accezione dei segnali che durano solo una frazione (durata dell'impulso τ) del tempo di trasmissione, per poi essere ripetuti con una certa periodicità (periodo di ripetizione degli impulsi prt). Un esempio tipico in cui vediamo questa caratteristica è quello di alcune tipologie (le più frequenti) di radar.

E' innanzitutto da sottolineare il fatto che Gherap, essendo nato per il calcolo del Campo Elettrico in presenza di srb, utilizza un algoritmo di calcolo semplificato (spazio libero e campo lontano). Dato che, nel caso dei radar, è sovente possibile trovare antenne di dimensioni maggiori e frequenze minori, questo comporta che la zona di spazio, dove il modello semplificato di calcolo fornisce risultati di una certa accuratezza, si allontana dall'antenna. In ultima analisi, nelle aree più vicine all'antenna, e perciò aventi maggiore valenza radio protezionistica, il modello di calcolo adottato (spazio libero e campo lontano) può dare una sovrastima di rilevante entità.

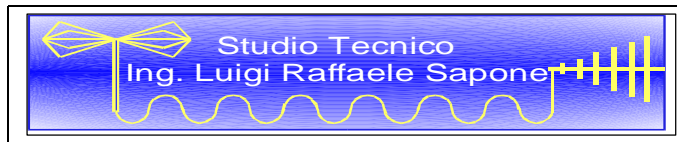
Ai fini del calcolo dell'esposizione in un dato punto è da considerare che, oltre alla generazione discontinua di segnale (e quindi ad un valore rms del campo elettromagnetico che deve tener conto della durata dell'impulso in relazione al periodo di ripetizione dello stesso), c'è la presenza di un'antenna che effettua una "spazzata", ossia un movimento rotatorio rispetto ad un asse.

La rotazione comporta che un dato punto dello spazio viene illuminato da questa sequenza di impulsi solo per una frazione del tempo totale impiegato dall'antenna del radar per compiere un giro completo di 360°.

Già da queste poche note è intuibile come, ai fini del calcolo del valore rms del campo elettrico, vanno applicati dei fattori correttivi. Questo per tener conto sia della trasmissione impulsiva, e quindi discontinua, sia della permanenza dell'antenna sul target (ossia, nel nostro caso, sul punto di calcolo) solo per una frazione del tempo totale necessario all'antenna stessa per girare attorno al proprio asse, e ritrovarsi quindi sul punto di partenza.

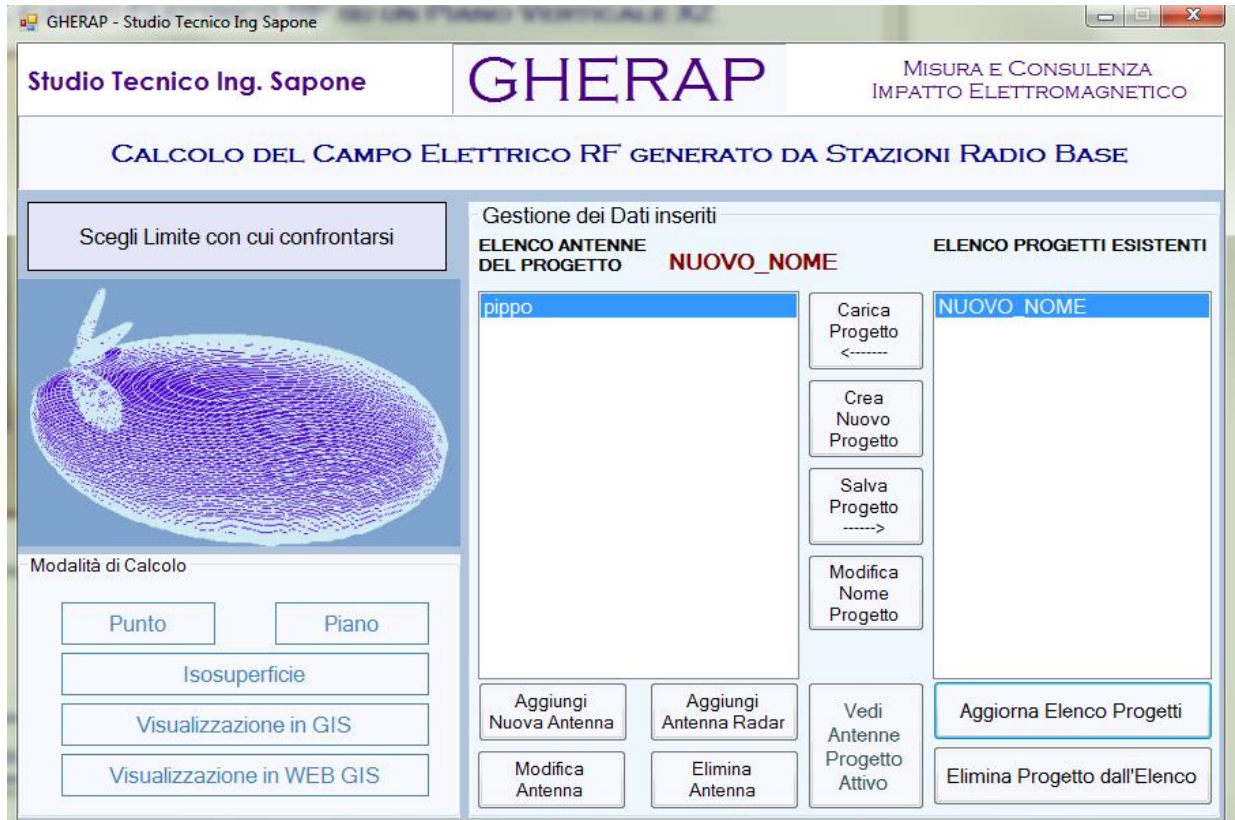
Con questa nuova funzionalità è stata inoltre introdotta in GHERAP anche la possibilità di caratterizzare una situazione di esposizione in cui il limite non è piatto in frequenza (un esempio di limite piatto in frequenza è quello inerente l'obiettivo di qualità di 6V/m presente nel DPCM2003). Infatti, è ora possibile valutare anche situazioni in cui c'è un limite variabile in frequenza (vedi ICNIRP occupational e ICNIRP population, oppure il limite di esposizione del DPCM2003 nel caso ci si trovi in contemporanea presenza di segnali minori e maggiori di 3GHz).

Concludo questa premessa evidenziando il fatto che, in GHERAP, è possibile effettuare anche simulazioni di antenne radar e di antenne srb presenti contemporaneamente. In altre parole in uno stesso Progetto GHERAP è possibile inserire sia antenne di SRB sia antenna di RADAR, ed il segnale in un dato punto di valutazione sarà calcolato considerando la contribuzione congiunta delle varie tipologie di sorgenti, considerate scorrelate.



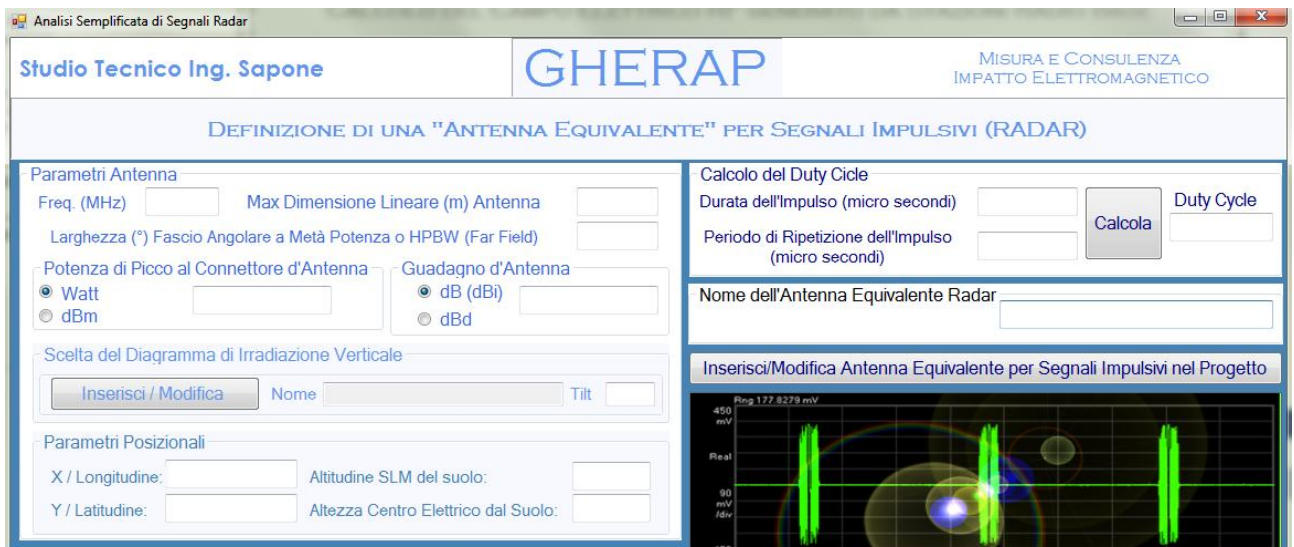
Misura e Consulenza Impatto Elettromagnetico

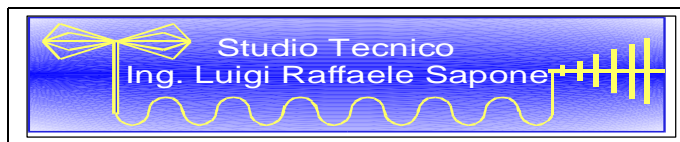
La finestra della nuova funzionalità



L'introduzione di questa nuova funzionalità ha comportato una leggera modifica della Home.

Nella parte bassa possiamo infatti notare l'aggiunta del pulsante "Aggiungi Antenna Radar", il quale permette l'apertura della finestra associata al dimensionamento inerente il radar, come di seguito..





Misura e Consulenza Impatto Elettromagnetico

Come vediamo, il titolo della finestra è "Definizione di una antenna Equivalente per Segnali Impulsive (Radar)".

Come lo stesso titolo lascia trasparire, il codice di GHERAP deputato a questa funzionalità permette la definizione di una "sorta" di "antenna equivalente" di caratteristiche standard da sostituire all'antenna del radar.

Le caratteristiche della nostra antenna equivalente sono definite standard riferendoci, con questo termine, ad una antenna fissa (senza rotazione) che irradii un segnale il cui valore rms (calcolato in un dato punto) sia uguale a quello generato da una antenna radar, ossia da una antenna che trasmetta un segnale impulsivo solo per il periodo di illuminazione del punto di calcolo.

In ultima analisi, partendo dalle caratteristiche di base dell'antenna del radar (potenza in ingresso al connettore, guadagno), il codice di Gherap utilizza gli altri parametri di funzionamento del radar (diagramma di irradiazione verticale, tilt, massima dimensione lineare dell'antenna, apertura del fascio a metà potenza in condizioni far field, periodo di esistenza dell'impulso, periodo di ripetizione dell'impulso e, quindi, partendo dagli ultimi due dati, il duty cycle) per determinare i parametri dell'antenna equivalente.

Abbiamo visto che nel definire questa antenna equivalente abbiamo utilizzato il termine "sorta".

Perchè?

Perchè la nostra antenna equivalente non potrebbe mai esistere in pratica, e questo non perchè i parametri che la caratterizzano siano difficilmente implementabili, ma perchè alcuni parametri sono variabili in relazione al punto nel quale si vuol effettuare il calcolo. Essa può quindi essere definita come una antenna con guadagno dinamico, ossia con guadagno diverso a seconda del punto di calcolo.

Per rendersi conto di quanto appena detto è possibile osservare come l'angolo durante il quale l'antenna illumina un dato punto di calcolo può essere posto uguale, in condizioni di campo lontano, alla larghezza a metà potenza del fascio (hpbw=half power beamwidth), parametro questo noto per il tipo di antenne utilizzato nei radar.

Quanto appena detto non è più vero in condizioni di campo vicino.

Come noto e desumibile dalla lettura di qualsiasi testo di radiopropagazione, le modalità con le quali un campo elettromagnetico è presente nello spazio variano a seconda delle distanza dall'antenna trasmittente.

Benchè, a rigore, ogni antenna di data forma dovrebbe essere analizzata singolarmente, dato che la sua forma influenza la modalità secondo la quale le onde EM generate dalle varie parti dell'antenna (ipotizzando una sua discretizzazione) si compongono in fase ed ampiezza in un dato punto dello spazio, è possibile definire delle zone di spazio aventi caratteristiche peculiari e delimitate da distanze universalmente ritenute consone.

In particolare, la zona di campo lontano, ossia la zona nella quale il guadagno non dipende dalla distanza e la propagazione em assume le caratteristiche di onda piana, viene delimitata inferiormente da una distanza, detta di Rayleigh, dall'antenna uguale a

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

Questa distanza deriva da un calcolo nel quale si fissa uno sfasamento massimo di 22.5° per le onde elettromagnetiche derivanti dalle varie parti di una antenna.

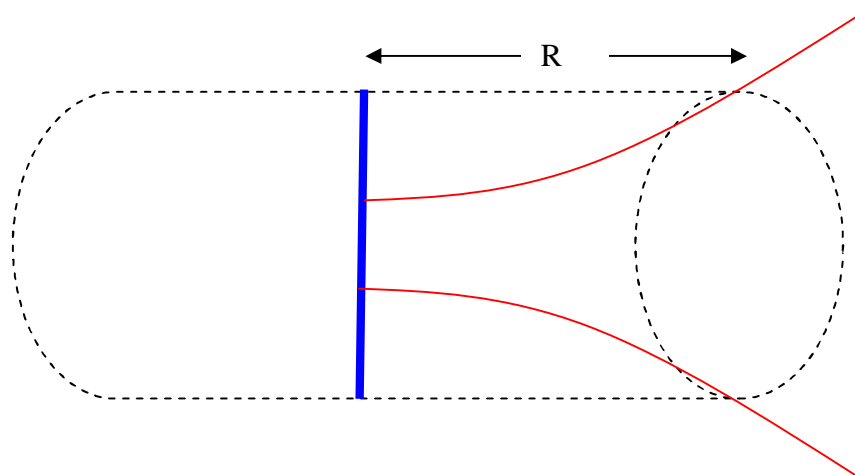
Misura e Consulenza Impatto Elettromagnetico

Detto questo, ai fini radio-protezionistici, viene ammesso che la distanza oltre la quale si possa definire accettabile la condizione di campo lontano possa essere un quarto di quella appena definita, ossia

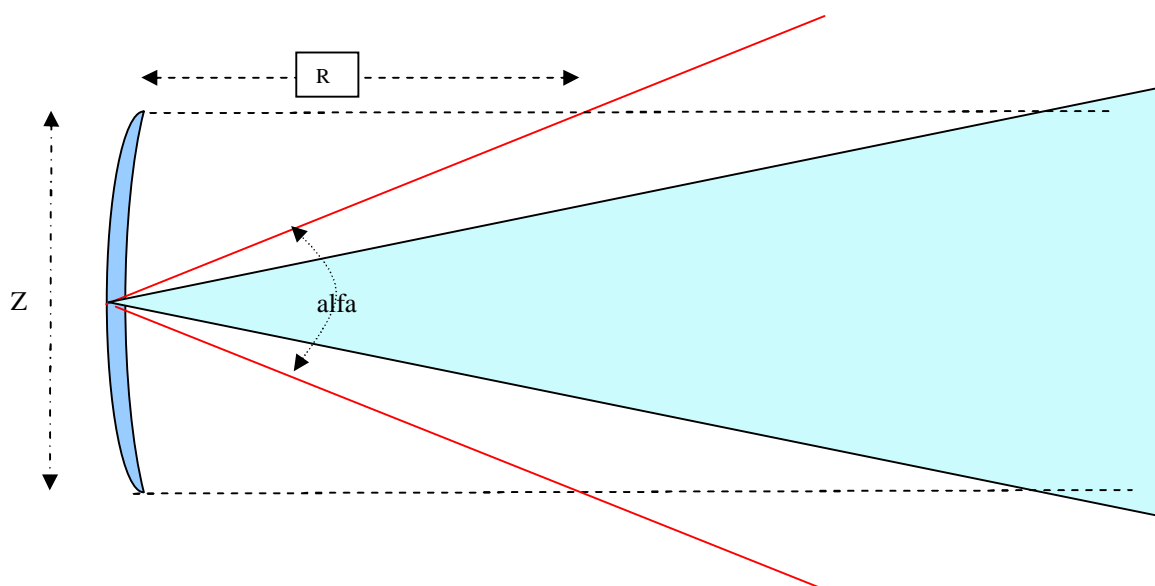
$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot \lambda}$$

In questo caso, lo sfasamento massimo che viene ammesso tra le onde elettromagnetiche derivanti dalle varie parti di un'antenna è fissato a 90°.

Fino a questa distanza D_p , la potenza irradiata dall'antenna può essere pensata come contenuta in un cilindro avente raggio uguale alla metà della massima dimensione lineare dell'antenna, come nel seguente esempio:



Conseguentemente, a queste distanze di valutazione (le quali, date le dimensioni delle antenne utilizzate nei radar, e, conseguentemente, date le corrispondenti distanze di Rayleigh, sono quelle aventi un maggiore interesse radioprotezionistico), l'angolo alfa di illuminazione è variabile (a differenza della zona di campo lontano). Vediamo la figura:



Misura e Consulenza Impatto Elettromagnetico

In azzurro è indicato l'angolo di illuminazione in condizioni di campo lontano, posto uguale all'ampiezza a metà potenza del lobo di irradiazione (hpbw).

Gherap, nello stabilire l'angolo di illuminamento da utilizzare adotta il seguente metodo. A partire dalla distanza di valutazione viene calcolato l'angolo alfa. Nel caso in cui l'angolo alfa sia maggiore dell'hpbw, viene settato come l'angolo di illuminazione l'angolo alfa così calcolato.

Nel caso in cui, invece, sia l'angolo alfa minore di hpbw, viene settato l'hpbw come angolo di illuminazione.

Da quanto detto risulta chiaro che, a determinate distanze dall'antenna, l'angolo di illuminazione varia in funzione della distanza stessa. Conseguentemente, sempre in funzione della distanza, varia il rapporto tra il tempo di illuminazione ed il tempo totale, e, in ultima analisi varia il guadagno (o meglio il fattore di attenuazione del guadagno) della nostra antenna equivalente utilizzata per caratterizzare l'antenna radar.

Per quanto riguarda il metodo di calcolo adottato, GHERAP utilizza, come per la simulazione delle antenne delle srb, il metodo semplificato utilizzabile nelle condizioni di spazio libero e campo lontano.

Ma come abbiamo detto, le valutazioni radio protezionistiche di maggior interesse saranno da effettuarsi nella zona di campo vicino (radiativo).

Questo cosa comporta. Vediamo il seguente grafico:

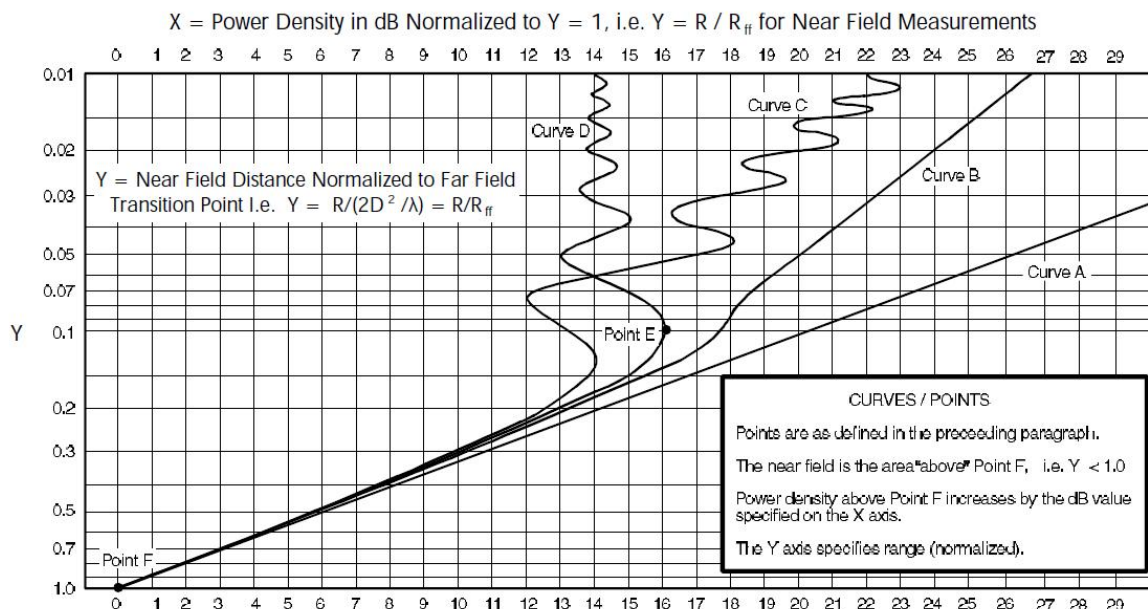
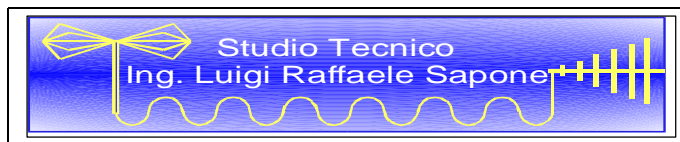


Figure 4 - Antenna Near-Field On-Axis Power Density (Normalized)
For Various Aperture Illuminations

Sull'asse verticale viene indicata la quantità Y uguale al rapporto tra la distanza dall'antenna e la distanza di Rayleigh D.

Sull'asse orizzontale vediamo l'aumento in dB che subisce la densità di potenza all'avvicinarsi all'antenna del punto di valutazione.



Misura e Consulenza Impatto Elettromagnetico

La curva A rappresenta l'estrapolazione, a questa zona di campo vicino, del modello di campo lontano.

La curva B mostra la variazione della densità di potenza per una antenna ad apertura con una distribuzione della potenza generata del tipo a coseno. Un esempio può essere rappresentato da una horn antenna.

La curva C mostra la variazione della densità di potenza per una antenna uniformemente illuminata, come può essere una antenna lineare.

La curva D, infine, mostra la variazione della densità di potenza per una antenna ad apertura con una illuminazione presente nel fuoco (tapered). Un esempio tipico è una antenna parabolica a disco.

La prima cosa da evidenziare è che, fino a distanze uguali a $0.25D$, ossia $1/4D$, ossia D_p come precedentemente definito, non ci sono variazioni significative rispetto alla condizione di campo lontano.

Inoltre, e questo è di maggior interesse per il nostro caso, il modello di campo lontano fornisce stime superiori (e quindi cautelative) rispetto alle reali distribuzioni spaziali della densità di potenza osservata per le altre antenne.

In ultima analisi, la scelta di adottare il modello di campo lontano fornisce una stima cautelativa (a volte anche troppo) rispetto alla condizione reale.

Osservando la figura precedente, possiamo anche notare come, nel caso dell'antenna di tipo D, viene individuato un punto E che rappresenta una maggiorazione della densità di potenza presente nella zona di campo vicino. In corrispondenza del punto E la densità di potenza assume un valore 16dB maggiore della densità di potenza presente alla distanza di Rayleigh D. In base a questo è possibile, con questa tipologia di antenna, calcolarsi il massimo valore assunto dalla densità di potenza nella zona di campo vicino, senza sperimentare la maggiorazione introdotta dalla estrapolazione a questa zona della condizione di campo lontano e spazio libero.

La cautelatività appena dichiarata vale comunque senza considerare le riflessioni che possono essere generate dal terreno o altri oggetti conduttori (riflessioni che non sono tenute in conto nel modello di spazio libero e campo lontano utilizzato de Gherap).

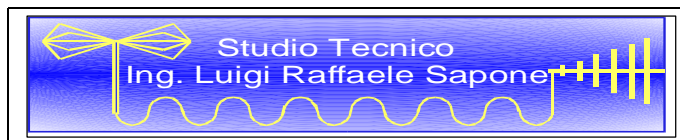
Queste riflessioni possono generare, in una zona di campo lontano, valori di campo elettrico (o magnetico) maggiori di quelli che sono stimati dal modello di spazio libero, sebbene questo avvenga solo in alcuni "punti caldi".

D'altra parte questo vale non solo per i radar.

Nella zona di campo vicino radiativo (di maggiore interesse radioprotezionistico) è invece ragionevole considerare come la maggiorazione introdotta, rispetto alla situazione reale, dall'utilizzare una formulazione di spazio libero e campo lontano possa essere superiore all'effetto delle riflessioni.

Passiamo ora ai risultati.

Ripresentiamo, per comodità, la finestra dell'applicativo

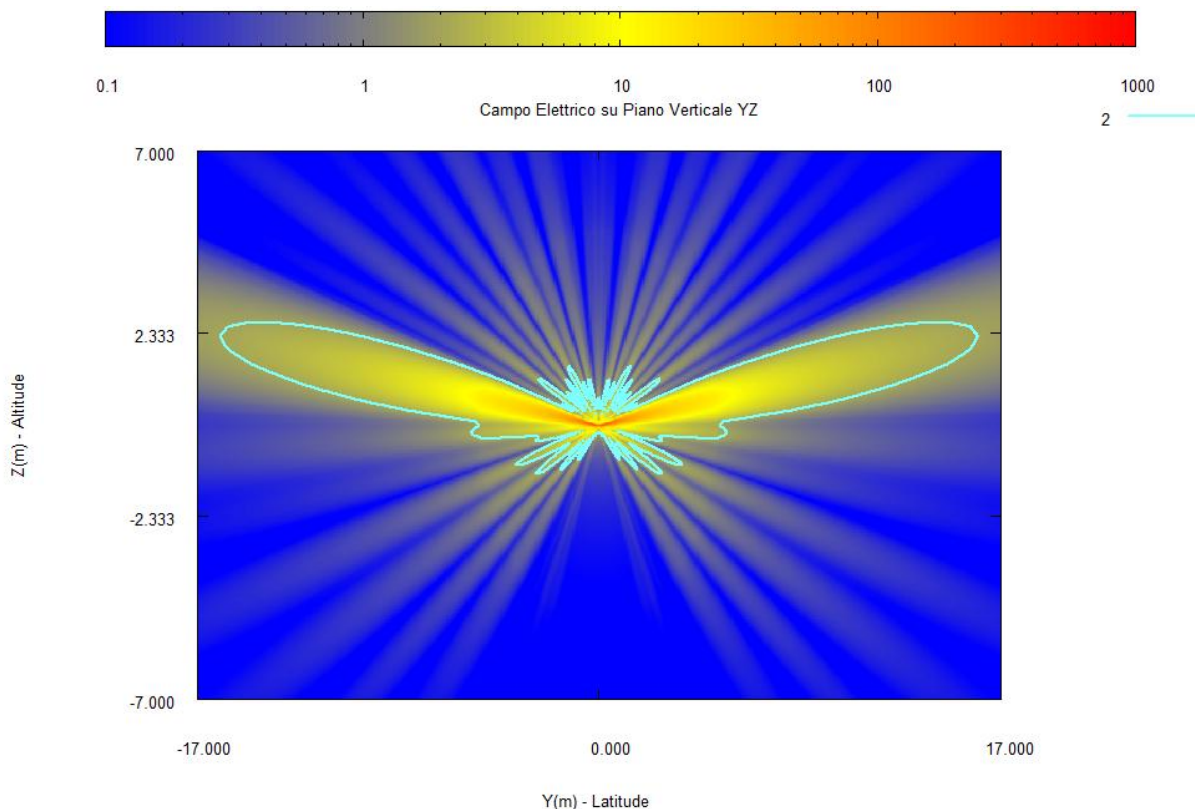


Misura e Consulenza Impatto Elettromagnetico



Come vediamo c'è la possibilità di introdurre un diagramma di irradiazione verticale. In questo caso GHERAP accetta il formato classico per i diagrammi di irradiazione, ignorando però la parte relativa al diagramma orizzontale e, quindi, costruendo il solido di irradiazione attraverso la rivoluzione del diagramma verticale (modificato con il tilt meccanico impostato) attorno all'asse di rotazione.

Il seguente grafico rappresenta una sezione, passante per il centro del radar, del campo elettrico (con isolinea a 2V/m) generato dallo stesso radar. In questo caso è stato settato un tilt negativo, ossia una inclinazione verso l'alto.

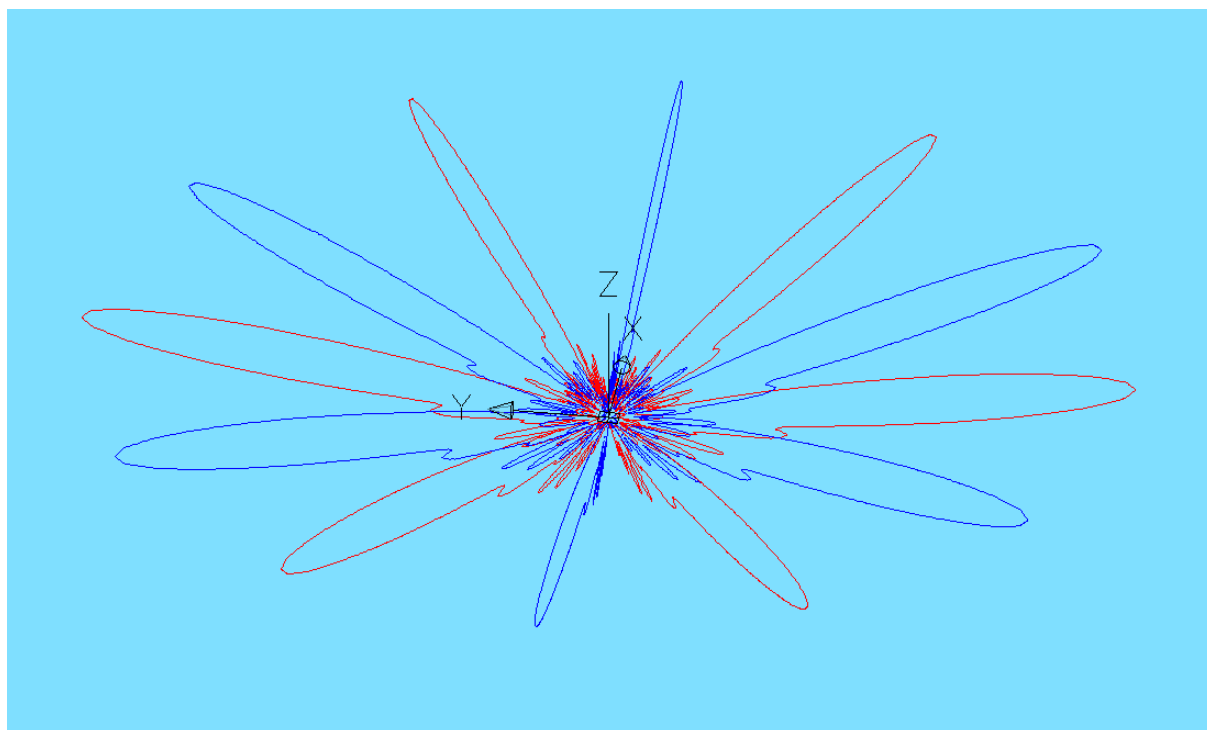


Misura e Consulenza Impatto Elettromagnetico

Per vedere il risultato ottenuto in modalità 3D, si è sfruttata la possibilità, offerta da Gherap, di effettuare simulazioni su un piano relativo rispetto ad un punto georeferenziato. In questo modo è possibile effettuare la simulazione su un piano centrato su un punto arbitrario (quindi sulla posizione del radar) e avente un qualsiasi angolo di rotazione rispetto al Nord.

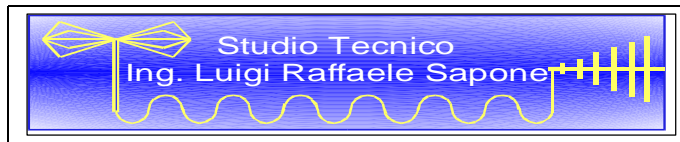
In questo caso si è effettuata una simulazione su una serie di piani verticali, aventi il centro in comune e ruotati secondo multipli di 30°, ottenendo l'andamento del solido di rivoluzione.

Il risultato si è esportato in ambiente CAD (ma è possibile l'esportazione anche in ambiente GIS e WEB GIS) ottenendo il grafico seguente:



Volevo infine segnalare che, al fine di effettuare confronti della situazione di esposizione con limiti variabili in frequenza, è sufficiente agire sul pulsante "Scegli limite con cui confrontarsi" presente sulla finestra principale. Ottenendo l'apertura della seguente finestra:





Misura e Consulenza Impatto Elettromagnetico

E' evidente che nel caso in cui venga scelto di confrontarsi con il limite di picco, la potenza utilizzata nel calcolo per le antenne radar è quella di picco.

Per quanto riguarda il limite di picco in relazione al DPCM2003, essendo questo non definito dal Decreto, esso è stato ricavato a partire dal limite sul valore rms e seguendo lo stesso razionale indicato nelle Linee Guida ICNIRP.

Grazie del tempo dedicatomi

Luigi Raffaele Sapone