

# “PROPOSTE PER LA VALUTAZIONE TEORICA IN AMBIENTE CARTOGRAFICO 3D DELL’IMPATTO AMBIENTALE DI RADAR”

B. Bracci<sup>1</sup>, A. D’Ambra<sup>1</sup>, G.Licitra<sup>1</sup>, A. Zari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ARPAT, Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana, Via Marradi 114, 57126 Livorno, Italia (a.zari@arpat.toscana.it)

*Negli ultimi anni la diffusione di sistemi RADAR, sta ricevendo un notevole impulso: da rari e costosissimi sistemi utilizzati per il controllo del traffico aereo e navale si è passati ad una maggiore diffusione sul territorio di sistemi a costo ridotto. Oggi ad esempio i RADAR vengono utilizzati per funzioni di telerilevamento, sicurezza, sorveglianza, meteorologia ed altro. Pur non essendo ancora obbligatoria la valutazione di impatto ambientale, per l’installazione di questi impianti, sempre più spesso gli Enti richiedono supporto tecnico alle ARPA prima di dare il loro nulla osta.*

*Il presente lavoro mostra l’approccio utilizzato per la simulazione di diversi tipi di RADAR attraverso la costruzione di specifici diagrammi di antenna al fine di permettere la valutazione e la rappresentazione 3D dell’impatto ambientale prima dell’installazione.*

## INTRODUZIONE

Il radar è un sistema che utilizza onde elettromagnetiche per il rilevamento e la determinazione della posizione ed eventualmente della velocità di oggetti (bersagli, target), come aerei, navi, veicoli, formazioni atmosferiche o il suolo.

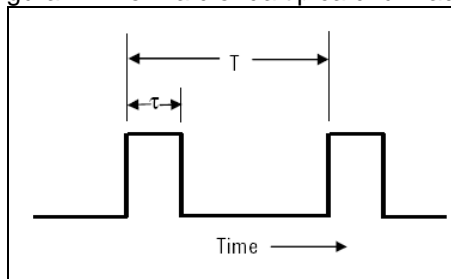
Le frequenze utilizzate vanno tipicamente dalle centinaia di MHz alle decine di GHz.

Il segnale emesso dal radar può assumere diverse forme a seconda della specifica applicazione.

La trasmissione del segnale radar può avvenire in forma continua oppure ad impulsi separati da intervalli temporali di ascolto.

I parametri tipici di un radar di potenza sono la durata dell’impulso, la frequenza di ripetizione dell’impulso, il duty cycle (ciclo di utilizzazione), la velocità di rotazione dell’antenna, la potenza di trasmissione di picco e la potenza di trasmissione media.

Figura 1 – Forma d’onda tipica di un radar



$\tau$  = durata dell’impulso,  $T$  = PRT = periodo di ripetizione

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La Legge 22 febbraio 2001, n. 36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” all’art. 4 comma 2 lettera a) prevedeva l’emanazione di uno specifico decreto per la determinazione dei limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici determinati dalle sorgenti radar e più in generale pulsate.

In attesa dell’emanazione dello specifico decreto le norme di riferimento sono costituite dall’insieme delle restrizioni stabilite da

- raccomandazione del Consiglio dell’Unione europea del 12 luglio 1999;
- linee guida ICNIRP e la CEI 211-7/B (2008-01) “Misura e valutazione del campo elettromagnetico emesso dagli impianti radar di potenza” quest’ultima incentrata più sulle misure che su la valutazione teorica previsionale.

Le linee guida ICNIRP 1998 prevedono la valutazione del livello di campo elettromagnetico sia medio che di picco. Il valore medio (tab. 1), rappresenta il valore del campo elettromagnetico mediato tenendo conto del duty cycle e delle caratteristiche di irradiazione dell'antenna, mentre il valore di picco rappresenta il massimo valore associato all'impulso.

Tabella 1 - Livelli di riferimento per i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (0 Hz-300 GHz, valori efficaci (rms) non perturbati)

Intervallo di frequenza	Intensità di campo E (V/m)
0-1 Hz	---
1-8 Hz	10000
8-25 Hz	10000
0,025-0,8 KHz	250/f
0,8-3 KHz	250/f
3-150 KHz	87
0,15-1 MHz	87
1-10 MHz	87f <sup>1/2</sup>
10-400 MHz	28
400-2000 MHz	1,375 f <sup>1/2</sup>
2-300 GHz	61

f come indicato nella colonna della gamma di frequenza

Per le frequenze comprese fra 10 MHz e 300 GHz i valori di riferimento di picco si ottengono moltiplicando i corrispondenti valori efficaci (RMS) per 32.

### METODOLOGIA DI CALCOLO

La metodologia di calcolo utilizzata per la valutazione previsionale dei radar può essere mutuata da quella utilizzata per altri impianti come le Stazioni Radio Base, utilizzando la formula di diffusione in campo libero.

$$E(r, \theta, \varphi) = \frac{\sqrt{30 * P * G(\theta, \varphi)}}{r} \cong 5.48 \frac{\sqrt{P * G(\theta, \varphi)}}{r}$$

L'implementazione di questa formula in SW specifici per calcoli 3D, pone due principali questioni:

- la necessità di effettuare un doppio calcolo per verificare il rispetto sia del valore di campo elettrico di picco (durante il tempo di accensione del radar) che di quello medio (che tenga conto del duty-cycle e di eventuali rotazioni dell'antenna trasmittente).
- la necessità di reperire e di *costruirsi* diagrammi di irradiazione dell'antenna specifici, da utilizzare nei due diversi calcoli.

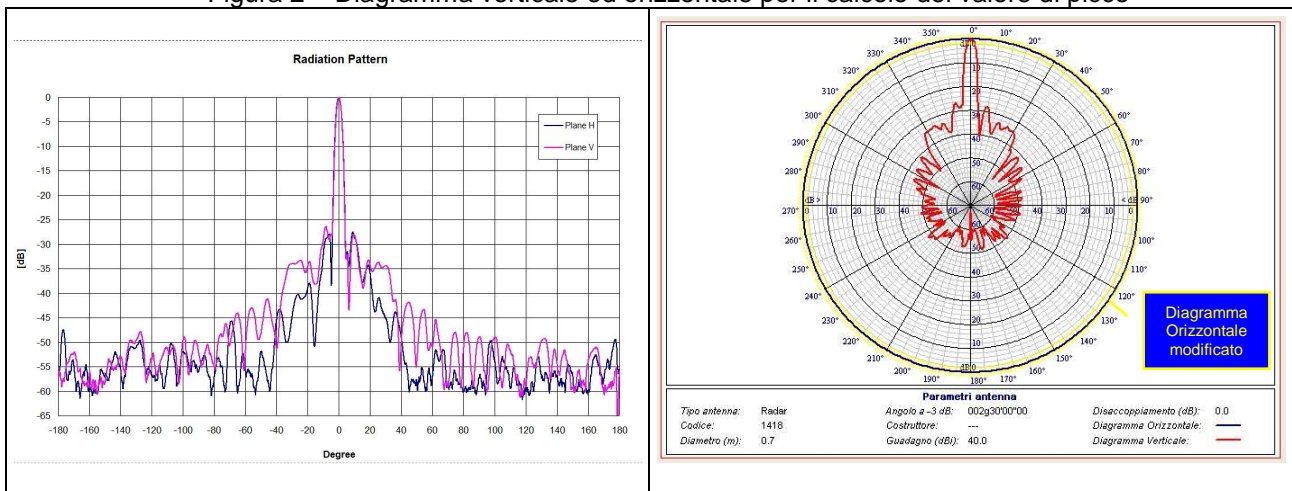
### CALCOLO DEI VALORI DI PICCO DI CAMPO ELETTRICO

Una volta reperiti i valori di attenuazione è possibile *costruire* il diagramma di irraggiamento dell'antenna (fig. 2).

- diagramma verticale: rimane invariato rispetto a quello fornito dal costruttore. In caso il diagramma sia parziale (alcune ditte forniscono solo i valori relativi al lobo principale), si può costruire la parte mancante del diagramma anteriore con un valore di attenuazione costante e pari al minimo valore dichiarato per l'emissione fuori dal lobo principale.

- diagramma orizzontale: il diagramma viene costruito con valori di attenuazione pari a zero.

Figura 2 – Diagramma verticale ed orizzontale per il calcolo del valore di picco



Implementando nel SW di simulazione, il massimo valore di potenza dell'apparato, cioè la potenza di picco del segnale ( $P_{picco}$ ), si può procedere alla simulazione per la verifica del valore di picco del campo elettrico.

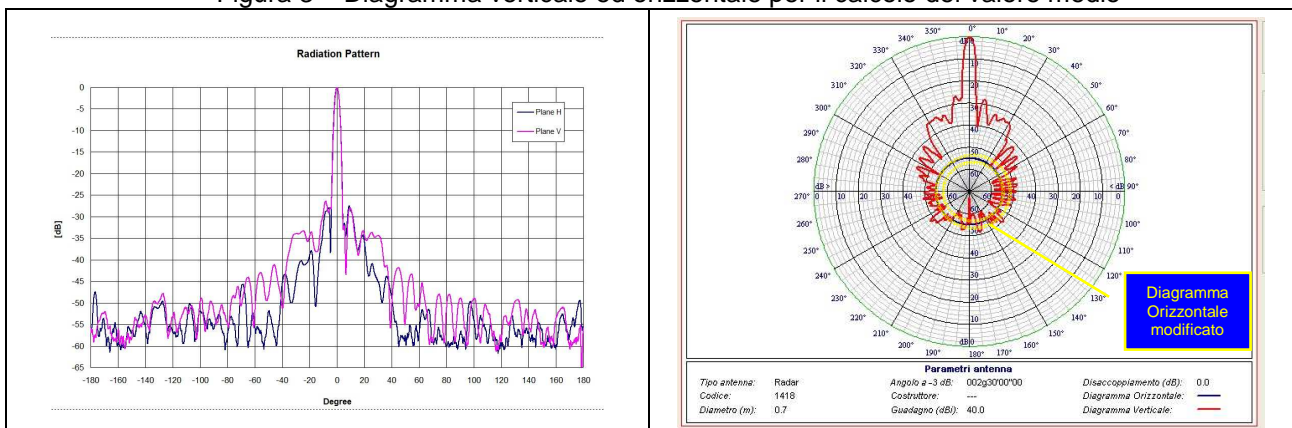
### CALCOLO DEL VALORE MEDIO DI CAMPO ELETTRICO

Per la costruzione del diagramma di irraggiamento dell'antenna (fig. 3) si deve tenere conto della rotazione del sistema.

- diagramma verticale: anche in questo caso come per il valore di picco il diagramma rimane invariato rispetto a quello fornito dal costruttore.

- diagramma orizzontale: nel caso di un radar che emetta lungo tutto l'angolo di rotazione il diagramma viene costruito con valori di attenuazione pari al valore medio degli stessi. Se il radar invece ha una zona di illuminazione soltanto per una parte della rotazione completa (ad esempio radar utilizzati per il monitoraggio delle zone costiere) il diagramma avrà come valori di attenuazione il valore medio, per tutti i valori di angolo pari alla zona di illuminazione, e valori uguali al minimo valore di attenuazione dato per il retro lobo per tutti gli altri valori di angolo. La zona di illuminazione sarà ampliata al confine dell'angolo emissione/non emissione con un valore angolare pari a metà ampiezza del lobo a 3 dB.

Figura 3 – Diagramma verticale ed orizzontale per il calcolo del valore medio



Utilizzando come valore di potenza la potenza media nel periodo di ripetizione (potenza equivalente emessa dal radar se, anziché impulsivamente, emettesse la stessa energia in modo continuo) si può procedere alla simulazione per la verifica del rispetto del valore medio.

$$P_{media} = \frac{1}{PRT} \int_0^{PRT} P(t)dt$$

per un RADAR classico si può facilmente calcolare la potenza media, moltiplicando la potenza di picco per il duty cycle:

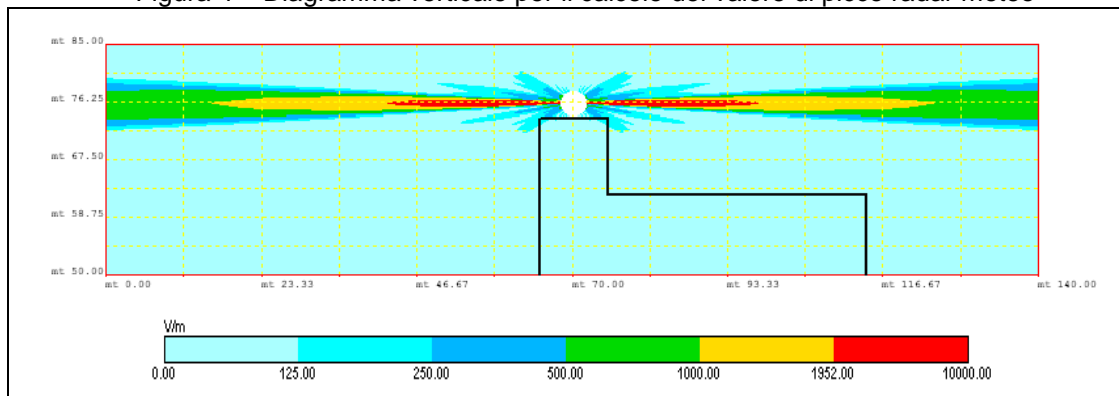
$$P_{media} = P_{picco} * \frac{\tau}{PRT}$$

$\tau$  = durata dell'impulso,  $PRT$  = periodo di ripetizione

### ESEMPI DI SIMULAZIONE SU BASE CARTOGRAFICA

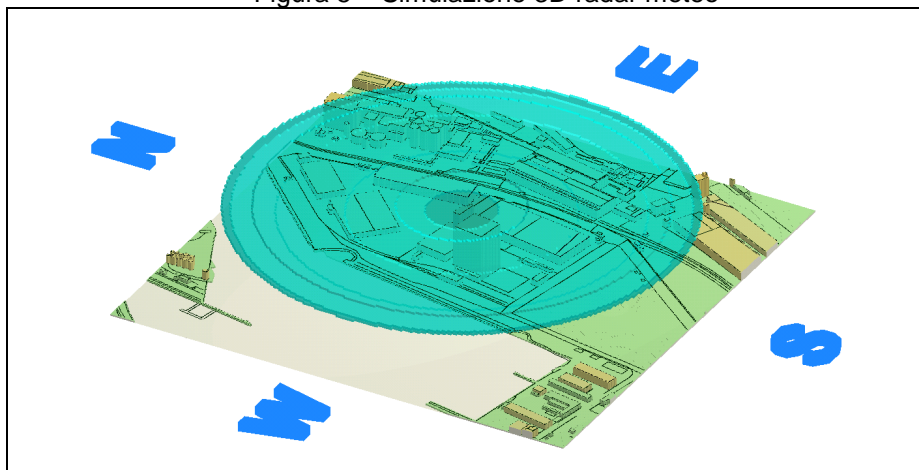
Si riportano di seguito esempi di simulazione 2D e 3D ottenuti utilizzando il software di simulazione Vicrem della Sedicom per un radar meteo operante nel range di frequenza 9.3 ÷ 9.5 GHz, modello Eldess WR-10X con potenza massima di circa 10000 W (fig. 4 e 5)

Figura 4 – Diagramma verticale per il calcolo del valore di picco radar meteo



Calcolo previsionale dei valori di campo elettrico (V/m) di picco: vista in prospettiva verticale. In rosso la eventuale zona di supero del valore di riferimento normativo di 1952 V/m

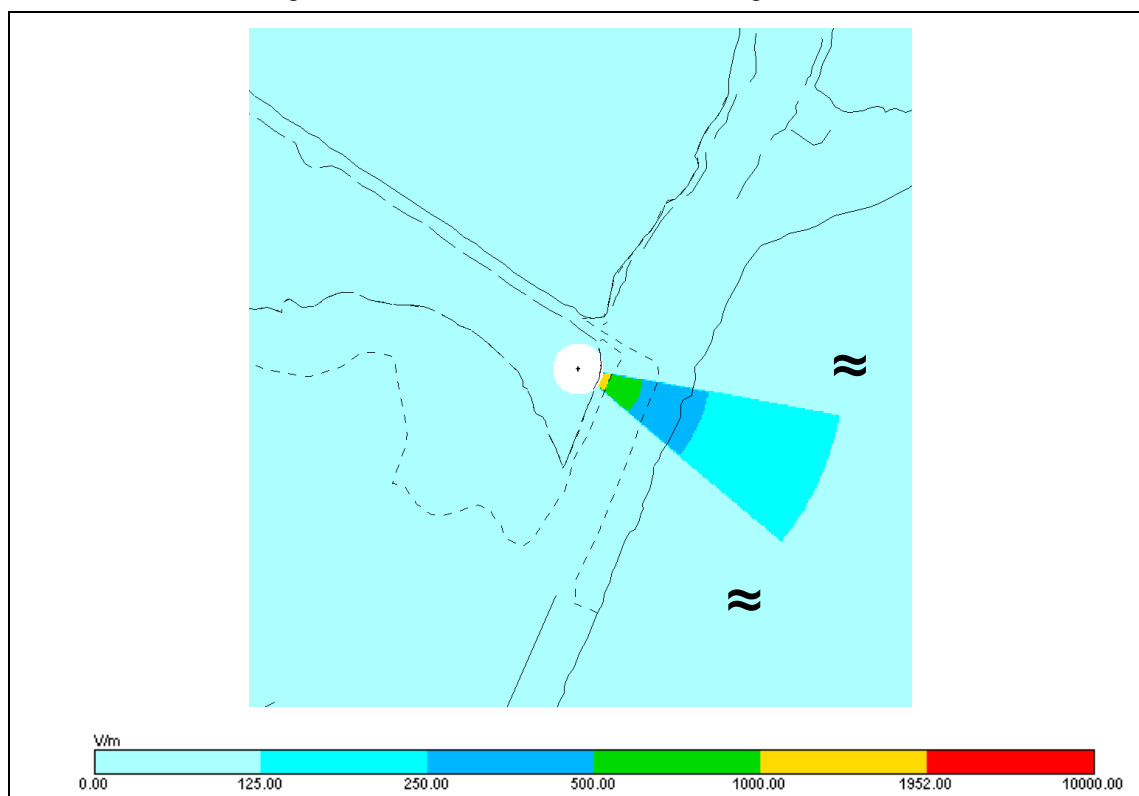
Figura 5 – Simulazione 3D radar meteo



Valore di picco radar meteo. In azzurro il lobo di rispetto di 191 V/m (circa 1/10 del limite)

Di seguito un ulteriore esempio di calcolo di emissione di picco per un radar di sorveglianza costiera modello Koden Electronics RW701B-09 operante alla frequenza di 9.4 GHz con potenza massima di circa 10000 W (fig. 6)

Figura 6 – Simulazione 2D radar di sorveglianza costiera



Calcolo previsionale dei valori di campo elettrico (V/m) di picco: vista in pianta.

Tenendo presente che i limiti dei valori di campo elettrico di picco, previsti dalle attuali norme, non sono altro che i valori medi moltiplicati per 32 (equivalente ad un incremento della potenza di circa 1000 volte), quando il rapporto tra la potenza media e quella di picco dell'apparato è superiore al valore di circa 1000, condizione che si verifica per molti dei sistemi RADAR in circolazione, il rispetto dei limiti di picco comporta automaticamente il rispetto del valore medio.

### PRIMI CONFRONTI CON MISURE EFFETTUATE

Nell'ambito dell'attività di controllo di ARPAT, sono state eseguite alcune misure presso impianti RADAR ed è stato osservato quanto segue:

- Radar di sorveglianza: un valore di campo elettrico di picco teorico calcolato di 61,8 V/m (utilizzando diagrammi di irraggiamento parziali e quindi cautelativi) a fronte di un valore misurato di 46,5 V/m. Le misure sono state eseguite con una catena strumentale composta da un analizzatore di spettro Agilent E4407B (9.5 KHz ÷ 26.5 GHz), da un'antenna biconica Austrian Research Centers PCD8250 (80 MHz ÷ 2.5 GHz), un cavo coassiale Austrian Research Centers RG-142 ed un cavalletto dielettrico. L'incertezza estesa (con fattore di copertura  $k=2$ ) sul valore di campo elettrico rilevato è del 38 %.

- Radar per il rilevamento delle correnti marine: un valore di campo elettrico teorico calcolato di 3,99 V/m a fronte di un valore misurato di 3.87 V/m. Le misure sono state eseguite con una catena strumentale composta da un analizzatore di spettro Agilent E4402B (9kHz-3 GHz), una sonda di campo elettrico CLAMPSCO Sistemi mod. FP2000 ed un cavalletto dielettrico. L'incertezza estesa (con fattore di copertura  $k=2$ ) sul valore di campo elettrico rilevato è del 21 %.

### CONCLUSIONI

L'implementazione di sistemi radar in SW di simulazione cartografica permette oltre alla verifica del rispetto del valore di picco e medio previsti dalle linee guida ICNIRP per il singolo impianto

radar anche la valutazione della sovrapposizione dei livelli in caso di presenza di più impianti, sempre più numerosi ed addensati, in zone portuali ed aeroportuali.

In condizioni tipiche, quando il rapporto tra la potenza media e quella di picco dell'apparato RADAR in esame è superiore al valore di circa 1000, è sufficiente fare il calcolo per la verifica del rispetto dei limiti di picco ed i limiti previsti per i valori medi, saranno automaticamente rispettati.

La criticità maggiore del metodo proposto è rappresentata dal reperimento di validi pattern di irradiazione di antenne RADAR, dati che, nel caso di antenne di altro tipo, come quelle per la telefonia cellulare sono di facile reperimento e di largo uso. Ci si auspica che anche per le antenne RADAR i costruttori comprendano l'importanza della valutazione preventiva in relazione all'emissione di campo elettromagnetico e dotino i loro prodotti di informazioni tecniche sempre più complete e dettagliate.

Le prime indagini preliminari mostrano come ci sia una buona corrispondenza tra il modello utilizzato ed i valori misurati. Lo sviluppo futuro di questo lavoro si propone di effettuare ulteriori misure per la conferma della validità dei criteri di calcolo illustrati.

## **BIBLIOGRAFIA**

CEI 211-7 (2001) *"Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimenti all'esposizione umana"*

CEI 211-7/B (2008-01) *"Misura e valutazione del campo elettromagnetico emesso dagli impianti radar di potenza"*

ICNIRP (1998) *"Linee guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (1 Hz - 100 KHz)"*

Legge 22 febbraio 2001, n. 36 *"Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici"*.

Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999 (1999/519/CE) relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz

Andreuccetti D. *Campi elettromagnetici pulsati: problemi di misura e di valutazione dell'esposizione*, Atti 1° convegno nazionale ARPAP-ISE su "Problemi e tecniche di misura degli agenti fisici in campo ambientale", pp.13-18, Ivrea, 2001.

Barellini A., Bogi L., Licitra G, Silvi A.M., Zari A. *Applicazione della norma CEI 211\_7B per la misura con analizzatore di spettro del campo elettrico prodotto da impianti radar di potenza*, Atti del IV Convegno Nazionale sul controllo degli Agenti Fisici: Controllo ambientale degli agenti fisici: nuove prospettive e problematiche emergenti - Vercelli, 24-27 marzo 2009

Barellini A., Bogi L., Licitra G, Silvi A.M., Zari A. *Measurement of electromagnetic fields generated by air traffic control radar systems with spectrum analyzers*, Radiation Protection Dosimetry - vol. 137(3-4), 210,213, Ed. Nuclear Technology Publishing, Ashford, England, dicembre 2009;