

Valutazione sperimentale dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici generati dagli impianti radar presenti sulle motovedette della capitaneria di porto

INAIL

Relatore **Giancarlo Burriesci**
g.burriesci@inail.it



34° Salone della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro

AMBIENTE LAVORO

Bologna, 20 novembre 2024

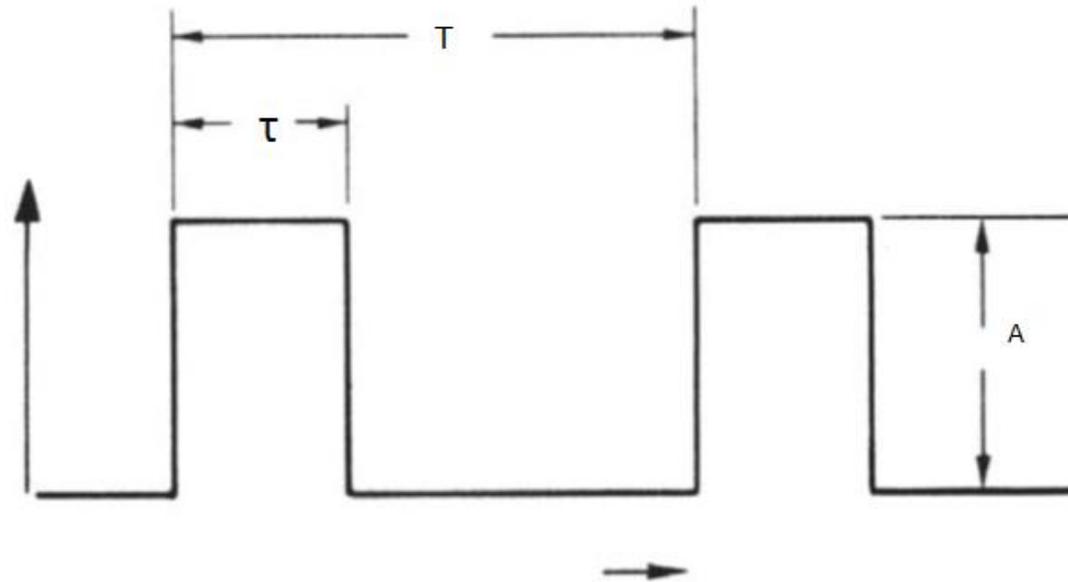
I radar (Radio Detection and Ranging) sono strumenti utilizzati per la localizzazione di oggetti che si trovano anche a distanze elevate, lavorano nel range di frequenza delle microonde, e il loro funzionamento si basa sull'emissione di un treno di impulsi di breve durata.

La localizzazione degli «oggetti bersaglio» avviene mediante l'irraggiamento direzionale di elevata energia elettromagnetica e la successiva osservazione degli echi di ritorno, che ne forniscono la distanza e la posizione rispetto ad una determinata direzione



Caratteristiche dell'impulso RADAR

Il segnale RADAR si può schematizzare come un treno di impulsi rettangolari con le seguenti caratteristiche:



Treno di impulsi con una frequenza di ripetizione costante T

La larghezza del singolo impulso è costante τ

L'ampiezza di ciascun impulso è costante A

Radar Furuno DRS4D-NXT (9,41 GHz \pm 30 MHz)

In questo studio sono stati esaminati i campi elettromagnetici (CEM) generati dall'apparato radar installato su un battello della Capitaneria di porto di Roma, ed emittente in banda X. La complessità dei segnali emessi ha richiesto l'impiego di apparecchiature molto sofisticate con valutazioni a banda stretta



Battello G.C. B120

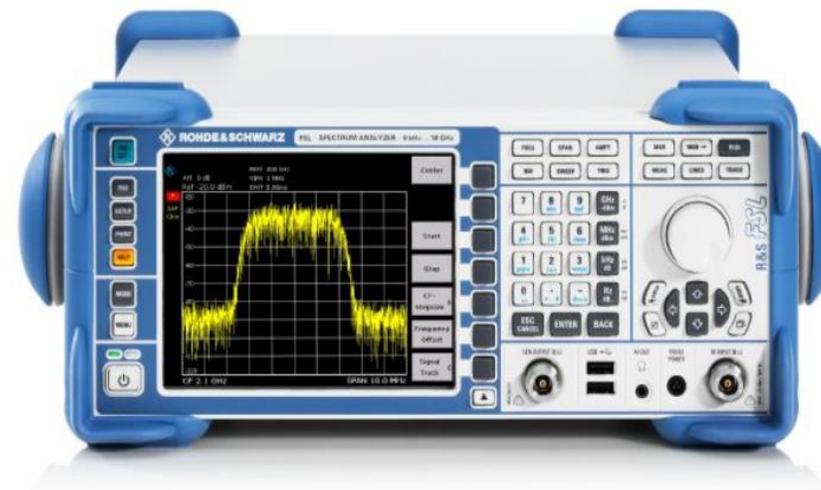
Strumenti utilizzati

Antenna



EMCO mod. 3115 (1 GHz - 18 GHz)
Horn double ridged guide

ANALIZZATORE DI SPETTRO



Rohde & Schwarz
mod. FSL 18 (9 kHz - 18 GHz)

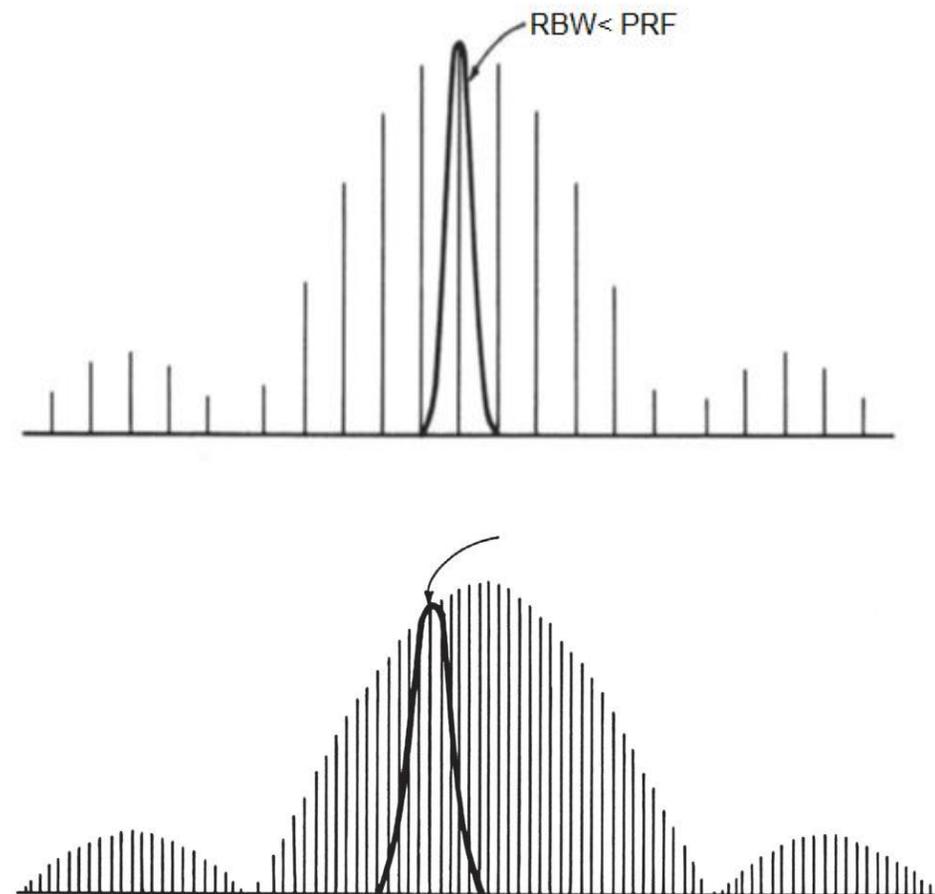
Connections

Scelta dell'Analizzatore di Spettro

Una Resolution Bandwidth (RBW) sufficientemente piccola, consente una misura accurata della durata dell'impulso

Se la RBW è minore della Frequenza di Ripetizione degli Impulsi (PRF) allora le singole componenti spettrali possono essere risolte

Se la RBW è maggiore della PRF, ma è sufficientemente minore della larghezza del lobo principale allora lo spettro a video è uno spettro "ibrido" nel quale l'inviluppo può essere risolto. Esso continua ad essere una "sinc (x)" e l'intervallo di tempo tra due righe adiacenti misurato in "real time" è pari al tempo di ripetizione degli impulsi $1/PRF$. Tale modalità è detta "Pulse Spectrum"



Misura della potenza di picco

Se una RBW piccola ci consente di misurare la larghezza dell'impulso, una RBW il più grande possibile ci consente di misurare la potenza di picco.

Calcolato la larghezza dell'impulso, si sceglie una RBW che consenta di prendere circa il 95% dell'energia.

Lo SPAN viene scelto 2-3 volte la larghezza del lobo principale

Una volta che siano state effettuate tali scelte ed aver centrato l'analizzatore attorno alla frequenza centrale si procede con la misura di picco. Questa si effettua facendo una misura o in modalità maxhold o scegliendo un tempo di scansione sufficientemente lungo perché ciascun punto video sia illuminato almeno una volta dal fascio rotante

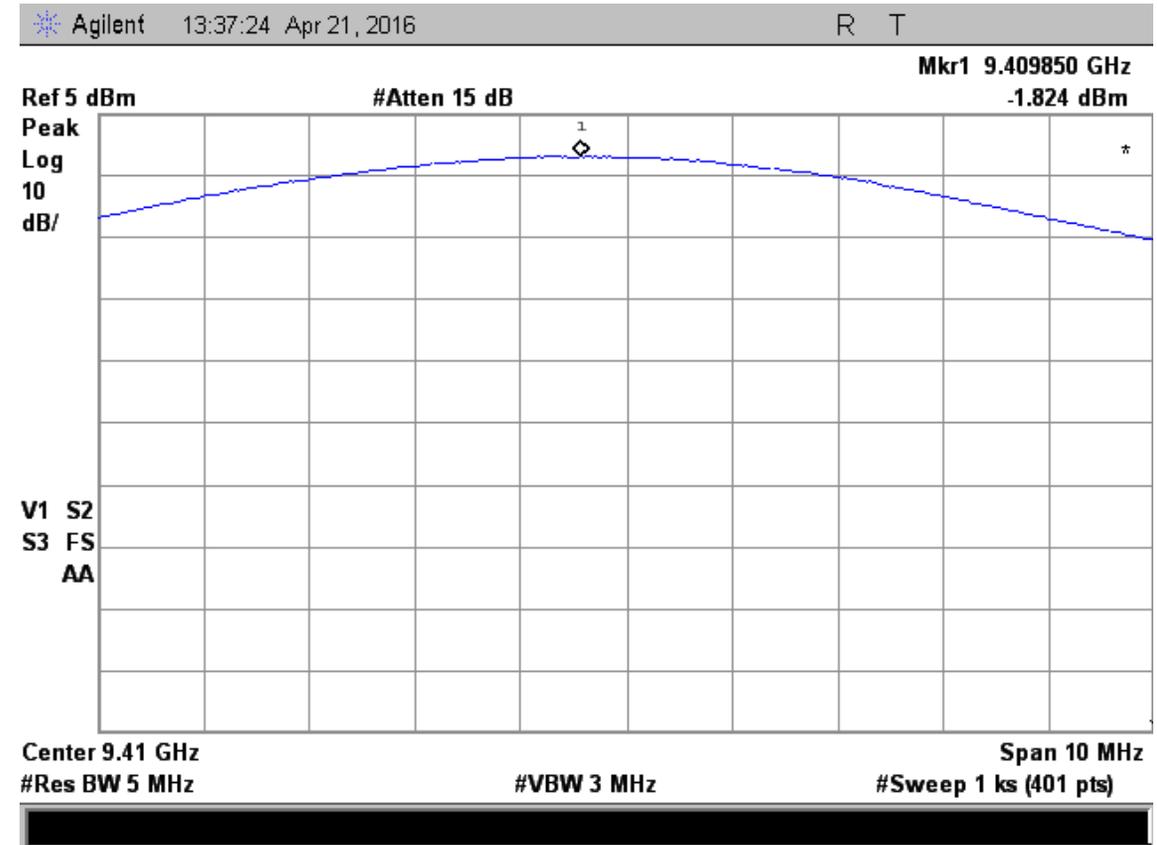


Tabella 1 – VA per i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ambientali a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz Effetti Termici - Tabella B1 dell'Allegato XXXVI – D.Lgs.81/08 s.m.i.-

Intervallo di frequenza	VA (E) per l'intensità del campo elettrico [V/m] (RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica [μ T] (RMS)	VA (S) per la densità di potenza [W/m^2]
$100 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^2$	$2,0 \times 10^6 / f$	—
$1 \leq f < 10 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^8 / f$	$2,0 \times 10^6 / f$	—
$10 \leq f < 400 \text{ MHz}$	61	0,2	—
$400 \text{ MHz} \leq f < 2 \text{ GHz}$	$3 \times 10^{-3} f^{1/2}$	$1,0 \times 10^{-5} f^{1/2}$	—
$2 \leq f < 6 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	—
$6 \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	50

Nota -1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz)

Nota -2: i $[VA (E)]^2$ e $[VA (B)]^2$ devono essere mediati per ogni periodo di sei minuti. Nel caso di segnali impulsivi a radiofrequenza, la densità di potenza di picco (vale a dire mediata sulla durata dell'impulso) non deve superare di 1.000 volte il valore di VA (S) tabellato. Per campi a frequenze multiple l'analisi è basata sulla sommatoria dei contributi, descritta nelle norme tecniche di riferimento e negli strumenti tecnici e specialistici per la riduzione dei livelli di rischio di cui all'articolo 28, comma 3 -ter.

Essendo l'emissione del radar esaminato di tipo impulsivo in Banda X a frequenza di circa 9,4 GHz, la valutazione dei campi deve comprendere sia il calcolo del campo elettrico medio (V_{medio}) che il calcolo del campo elettrico di picco (V_{picco}), i cui valori di azione, sulla base della nota 2 alla Tabella 1, sono rispettivamente pari a:

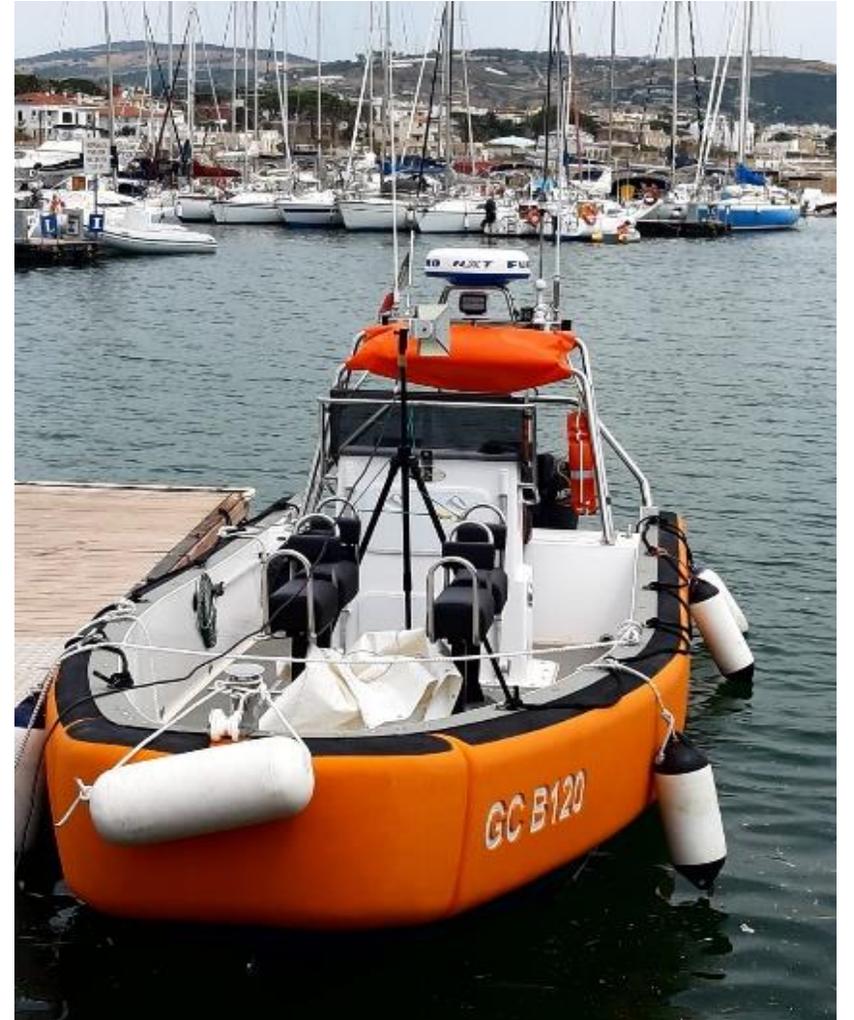
- $VA_{\text{medio}} = 140 \text{ V/m}$
- $VA_{\text{picco}} = 4480 \text{ V/m}$

Impostazioni

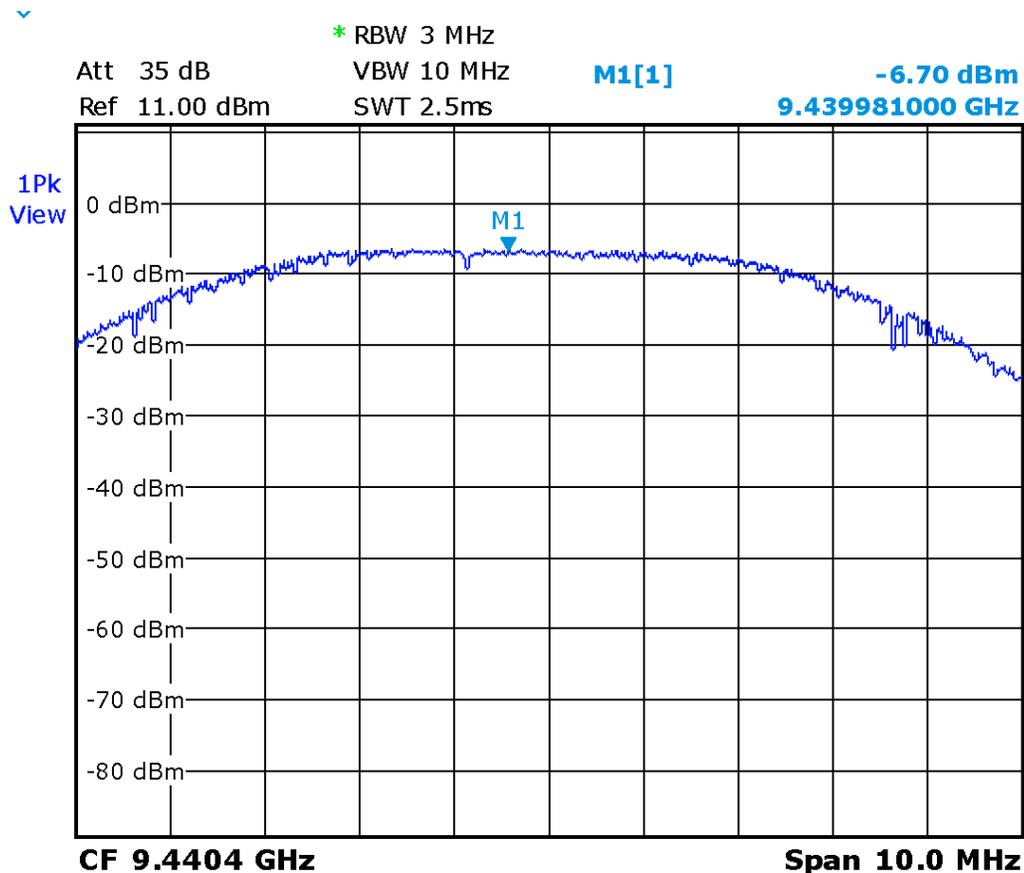
Nel dettaglio il radar, che emette a frequenza pari a $9,41 \text{ GHz} \pm 30 \text{ MHz}$, è stato impostato

- range pari a 12 miglia nautiche;
- velocità di rotazione dell'antenna pari a 24 rpm (rotazioni per minuto).

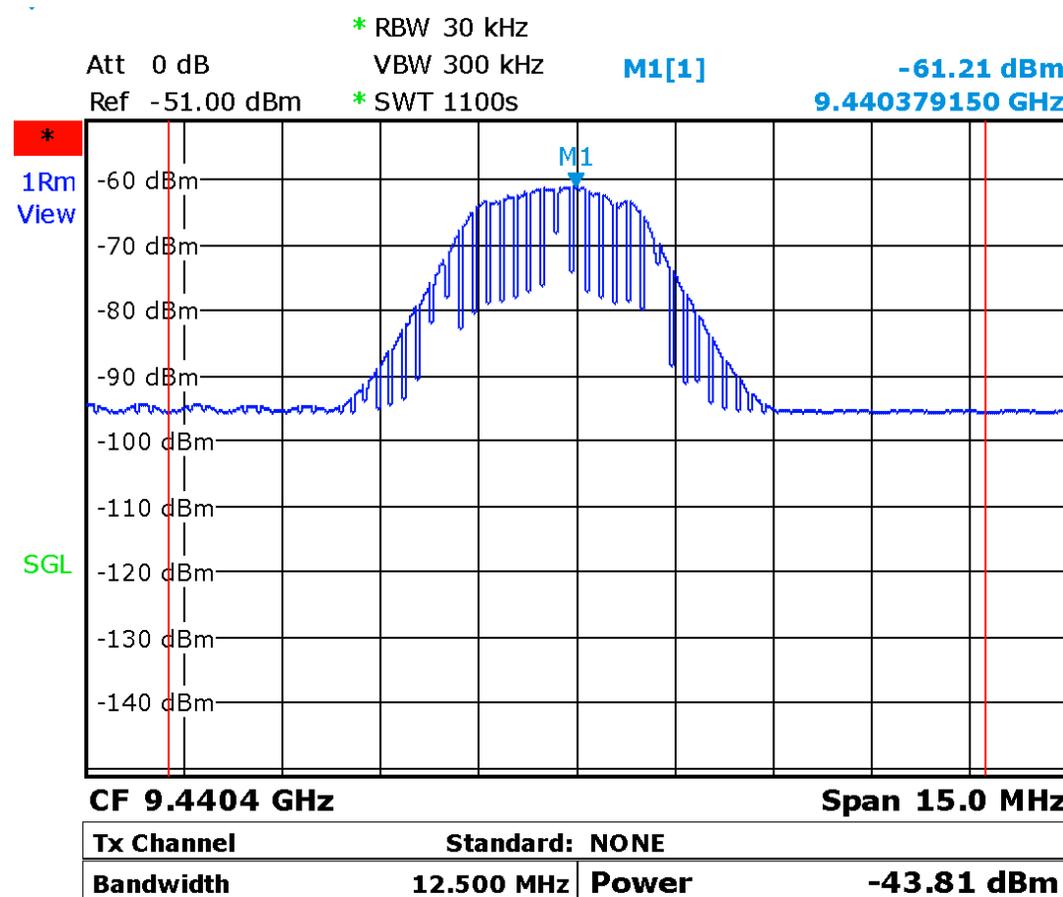
L'antenna della catena di misura è stata posizionata in prossimità della plancia ad un'altezza di 1,8 m e ad una distanza di 2,5 m che, anche se difficilmente occupabile da una persona, intercetta meglio il fascio emesso dal radar (worst case).



Risultati



Misura della Potenza di Picco



Misura Potenza Media
Modalità Channel Power

Risultati

I valori di potenza, espressi in dBm e valutati tramite l'analizzatore di spettro, per poter essere confrontati con i rispettivi limiti di azione, devono essere convertiti mediante la seguente equazione in valori di campo elettrico (V/m):

$$VA \left(\frac{V}{m} \right) = 10^{\frac{E_{picco}(dBm) + AF + AC - 13}{20}}$$

Misure di Campo Elettrico effettuate con strumentazione in banda stretta.						
Analizzatore <u>Rohde & Schwarz</u> FSL18						
Punto di misura	<u>VAmedio</u> (dBm)	<u>VAmedio</u> (V/m)	<u>VAmedio</u> (V/m) D. Lgs. 81/2008	<u>VApicco</u> (dBm)	<u>VApicco</u> (V/m)	<u>VApicco</u> (V/m) D. Lgs. 81/2008
Plancia	-43,81	0,29	140	-6,70	20,9	4480

$$VA_{picco} \left(\frac{V}{m} \right) = 10^{\frac{-6.70 + 38.8 + 7.3 - 13}{20}} \cong 20,9 \left(\frac{V}{m} \right)$$

$$VA_{medio} \left(\frac{V}{m} \right) = 10^{\frac{-43.81 + 38.8 + 7.3 - 13}{20}} \cong 0,29 \left(\frac{V}{m} \right)$$

Conclusioni

I rilievi effettuati per valutare l'emissione del radar Furuno DRS4D-NXT hanno evidenziato valori di campo elettromagnetico inferiori ai valori di azione previsti nel Capo IV del Titolo VIII del D. Lgs. 81/08 per l'esposizione professionale, sia considerando il campo elettrico di picco che il campo medio.

Purtuttavia, considerando che gli apparati radar sono sempre più diffusi, con caratteristiche tecniche diverse tra loro, e installati anche in imbarcazioni di piccole dimensioni, tale valutazione si può considerare solo un primo passo nello studio di tali emissioni. Infatti, questi apparati emettono segnali complessi che necessitano per la loro corretta valutazione di strumenti sofisticati e personale altamente qualificato. Benché lo scopo di questo lavoro mirasse alla valutazione dell'esposizione dei lavoratori, l'installazione di radar anche su imbarcazioni piccole, può sottoporre a una sovraesposizione anche individui della popolazione che utilizzino il mezzo di trasporto. Infine, ulteriori studi mirerebbero a testare nuovi strumenti immessi sul mercato di piccole dimensioni con sonde opportunamente progettate.

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

ANY QUESTIONS, ASK 