

RELAZIONE TECNICA

Rilevazione e valutazione dei livelli di campi elettromagnetici (CEM)

Committente:



Tecnico qualificato che ha svolto le misure e redatto la presente relazione:

Coppolella Sebastiano, Via Montegrande 5 Loiano

C.F CPPSST76R20D643F - P.iva 03509611202

Competenze, accreditamenti e corsi svolti: Certificato di attestazione, Comitato Elettrotecnico Italiano, “organo normativo Nazionale”, corso: misure e valutazione dei campi elettromagnetici per la caratterizzazione dell’esposizione umana.

Certificato di attestazione alla partecipazione formativa “scuola di misure R&S: Analizzatore di spettro, radiogoniometro e interferenze.

Autorizzazione Ministero sviluppo economico, all’ esercizio di una stazione radioamatoriale e superamento esami per il conseguimento della patente da operatore Radio Amatore.

Riconoscimento requisiti tecnico professionali, Camera di commercio Bologna, lettera B: Impianti elettronici ed Antenne.

Certificato di attestazione da parte di Confartigianato: R.S.P.P “Responsabile del servizio di prevenzione e protezione.

Loiano 11-06-2020

Coppolella Sebastiano

Classificazione delle onde elettromagnetiche

Le radiazioni presenti in natura si distinguono in radiazioni ionizzanti e radiazioni non ionizzanti.

Le radiazioni ionizzanti hanno la caratteristica di ionizzare gli atomi presenti nei tessuti biologici e rientrano nella parte di spettro, compresa tra i raggi ultravioletti e quelli gamma, mentre le radiazioni non ionizzanti cedono la loro energia con altre modalità.

Le radiazioni non ionizzanti possono essere suddivise in; campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse (ELF), radiofrequenze (RF), microonde (MO), infrarosso (IR) e luce visibile.

Le radiazioni non ionizzanti di cui fanno parte anche le onde elettromagnetiche analizzate nel presente monitoraggio, comprendono la parte di spettro delle frequenze estremamente basse ELF $1 > 300\text{Hz}$ alle frequenze intermedie IF $300\text{ Hz} > 10\text{ MHz}$, alle radiofrequenze RF $10\text{ MHz} > 300\text{ MHz}$, alle microonde MW $300\text{ MHz} > 300\text{ GHz}$.

Nella gamma di frequenza ELF, le esposizioni avvengono sempre in campo vicino dove il campo elettrico e magnetico sono disaccoppiati e vanno quindi considerati separatamente.

Per quanto riguarda l'esposizione, vengono definite due diverse tipologie di limiti di esposizione:

- 1) limiti di base
- 2) livelli di riferimento

I limiti di base sono limiti veri e propri espressi in termini di grandezze dosimetriche.

I livelli di riferimento sono limiti derivati dai limiti di base e sono espressi in termini di grandezze radiometriche.

I limiti di base assicurano con ampi margini di sicurezza, la protezione dagli effetti sanitari acuti.

Le grandezze riportate nei limiti di base non sono direttamente misurabili.

I livelli di riferimento, essendo derivati dai limiti di base, sono espressi in termini di grandezze radiometriche direttamente misurabili sul campo. Il rispetto dei livelli di riferimento assicura sempre il rispetto dei livelli di base, possono tuttavia presentarsi casi in cui il superamento dei livelli di riferimento, non implica automaticamente il superamento dei limiti di base.

Grandezze radiometriche misurabili

Le grandezze radiometriche misurabili strumentalmente in condizioni normali e confrontabili con i relativi limiti di legge sono le seguenti:

- Intensità del campo elettrico E espressa in Volt su metro (V/m)
- Intensità del campo magnetico H espressa in Ampere su metro (A/m)

- Induzione magnetica B espressa in μT (micro Tesla)
- Densità di potenza dell'onda piana equivalente espressa in W/m^2 (Watt/metro²) significativa solo per frequenze superiori a 10 MHz.

Condizioni di campo vicino: in queste condizioni il campo elettrico e magnetico sono disaccoppiati e devono essere misurati separatamente.

Condizioni di campo lontano, anche denominata zona di Fraunhofer e onda piana. Può essere calcolata dalla seguente formula: $r = \frac{2D^2}{\lambda}$. In caso di onda piana, può essere misurata soltanto la componente elettrica, inquanto il campo elettrico e campo magnetico sono correlati tra loro secondo la seguente relazione:

$$E/H = \mu_0 / \epsilon_0 = 377 \Omega = 120 \pi \Omega = Z_0 \text{ Impedenza d'onda del vuoto o dello spazio libero}$$

$$S = 377 H^2 = E^2 / 377 = Z_0 H^2 \text{ Densità di potenza } \text{W}/\text{m}^2$$

Poiché la permeabilità magnetica del vuoto μ_0 è numericamente molto piccola e praticamente assume lo stesso valore nell'aria e nei materiali biologici del corpo umano, si giustifica l'applicazione delle formule precedentemente esposte nei calcoli riguardanti i campi elettromagnetici.

$$\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \text{ Permeabilità magnetica del vuoto } \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$$

F/m Costante dielettrica del vuoto L'induzione magnetica B si rapporta al campo magnetico H secondo la relazione:

$$(B) 1 \mu\text{T} = (H) 0,8 \text{ A/m}$$

Effetti sull'uomo dei campi elettromagnetici

I campi elettromagnetici rappresentano uno dei tanti rischi per la salute umana da valutare adeguatamente sia in ambienti di vita che in ambienti di lavoro. Le ricerche effettuate in tanti anni di studi hanno dimostrato che gli effetti dei campi elettromagnetici sulla salute umana possono ricondursi a molteplici perturbazioni dell'equilibrio elettrofisiologico dell'organismo esposto. Tali ricerche hanno inoltre dimostrato che gli effetti biologici e sanitari dipendono dalle caratteristiche fisiche del campo agente e principalmente da intensità, frequenza, orientamento del campo elettrico, orientamento del campo magnetico, variazione temporale di tali grandezze. In particolare i meccanismi di interazione e quindi gli effetti biologici corrispondenti, variano al variare della frequenza dei campi elettromagnetici. Gli effetti sanitari sono inoltre stati classificati come "effetti sanitari a breve termine" (effetti acuti o deterministici) e "effetti sanitari a lungo termine" (effetti differiti o stocastici). Poiché la permittività dei tessuti biologici " ϵ_0 " è maggiore di quella dell'aria, il campo elettrico si attenua all'interno del corpo umano all'aumentare della frequenza, cioè si perturba.

I tessuti biologici invece, non avendo proprietà magnetiche, non modificano

l'induzione magnetica cioè non perturbano il campo. Gli effetti più importanti che le basse frequenze

(ELF) generano normalmente nell'organismo, sono riscontrabili in correnti elettriche indotte le quali a loro volta, possono causare la stimolazione dei tessuti elettricamente eccitabili. Normalmente i livelli di campo ELF presenti negli ambienti di vita e di lavoro inducono correnti interne molto minori di quelle fisiologiche e pertanto non generano effetti acuti riconoscibili. Man mano che le frequenze del campo elettromagnetico aumentano, diminuiscono gli effetti delle correnti interne indotte e cominciano a presentarsi effetti di riscaldamento negli organi e nei tessuti; gradualmente, considerando frequenze di campo sempre più elevate, gli effetti di riscaldamento corporei profondi si localizzano sempre più verso la superficie esterna del corpo stesso, fino a generare, per frequenze estremamente elevate, effetti di riscaldamento superficiali della cute esterna.

Al fine di limitare le esposizioni delle persone ai campi elettromagnetici di qualsiasi frequenza ed impedire il manifestarsi degli effetti acuti, sono stati individuati opportuni livelli di soglia citati dalle normative di legge vigenti. I due decreti ministeriali emessi nel mese di luglio 2003 (D.P.C.M. 8 Luglio 2003), hanno inteso imporre ulteriori misure di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine e per la progressiva minimizzazione delle esposizioni della popolazione, introducendo "valori di attenzione" e "obiettivi di qualità" per la frequenza di rete generata da elettrodotti e per le alte frequenze generate da sistemi fissi di radiocomunicazione o radiotelevisivi. Quadro normativo generale e specifici riferimenti legislativi.

Si riporta di seguito un'ampia panoramica relativa al complesso quadro normativo vigente, regionale, nazionale ed europeo che regola le emissioni di campo elettromagnetico negli ambienti di vita.

Si sottolinea tuttavia che cautelativamente viene adottata per i luoghi di lavoro ordinari, la normativa vigente per la popolazione in ambienti di vita.

Principale legislazione e normativa Regionale:

n. 30 del 31 Ottobre 2000 Norme per la tutela della salute e la salvaguardia dell'ambiente dall'inquinamento elettromagnetico" In vigore Legge Regionale n. 30 del 25 Novembre 2002 Norme concernenti la localizzazione di impianti fissi per l'emittenza radio e televisiva e di impianti per la telefonia mobile" In vigore Deliberazione della Giunta Regionale n° 1965 del 02/11/1999 Direttiva per l'applicazione della L.R. 22 febbraio 1993, n. 10 recante "Norme in materia di opere relative a linee ed impianti elettrici fino a 150.000 volt. Delega funzioni amministrative", così come modificata dall'art. 90 della L.R. 21 aprile 1999, n. 3. In vigore

Principale legislazione e normativa Nazionale:

Decreto Ministeriale 16 gennaio 1991. Aggiornamento delle norme tecniche per la disciplina della costruzione e dell'esercizio di linee elettriche aeree esterne. In vigore Modifica il Decreto Ministeriale n° 449 del 21/03/1988: approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee

aeree esterne D.M. 10 settembre 1998, n. 381 Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana. In vigore Linee guida del Decreto 10 settembre 1998, n. 381 Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana In vigore L. 22 Febbraio 2001 n. 36 Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. In vigore D. Lgs. 4 settembre 2002, n.198: Disposizioni volte ad accelerare la realizzazione delle infrastrutture di telecomunicazioni strategiche per la modernizzazione e lo sviluppo del Paese. In vigore D.P.C.M. 8 Luglio 2003 Gazzetta Ufficiale serie Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la In vigore

generale n°199 del 28/8/03 protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz. D.P.C.M. 8 Luglio 2003 Gazzetta Ufficiale serie generale n°200 Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti. In vigore Testo coordinato della legge 20 marzo 2001, n. 66 Conversione in legge con modificazioni, del decreto legge 23 gennaio 2001, n.5, recante disposizioni urgenti per il differimento dei termini in materia di trasmissioni radiotelevisive analogiche e digitali, nonché per il risanamento di impianti radiotelevisivi In vigore Apporta tra l'altro modifiche al DECRETOLEGGE 23 GENNAIO 2001, N.5 Decreto Ministeriale 29 gennaio 2003 Gazzetta Ufficiale 10 marzo 2003 n. 57 Istituzione del catasto delle reti radiomobili di comunicazione pubblica e degli archivi telematici in attuazione dell'art. 12, comma 3, del decreto legislativo 4 settembre 2002, n. 198 In vigore Decreto Ministeriale 22 luglio 2003 Gazzetta Ufficiale 5 agosto 2003, n. 180 Modalità per l'acquisizione dei dati necessari per la tenuta del catasto delle infrastrutture delle reti radiomobili di comunicazione pubblica In vigore D. Lgs. 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. (G. U. n. 101 del 30 aprile 2008 - Suppl. Ord. n.108 - Artt.28 e 181 del DLgs.81/2008) In vigore D. Lgs. 1 Agosto 2016, n. 159 Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE. (16G00172) In vigore

Principali norme tecniche seguite:

Le misure sono state effettuate rispettando le seguenti norme e guide:

CEI 211-7 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-7. Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana. Richiamata dal D.P.C.M. 8 Luglio 2003 Gazzetta Ufficiale serie generale n°199 del 28/8/03.

Tabelle riepilogative dei principali limiti di esposizione:

Limiti di Esposizione ($f = \text{frequenza}$)	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)	di
$0,1 < f \leq 3$ MHz	60	0,20	---	
$3 < f \leq 3000$ MHz	20	0,05	1	
$3 < f \leq 300$ GHz	40	0,10 *	4	
Valori di attenzione e obiettivi di qualità ($f = \text{frequenza}$)	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)	di
$0,1\text{M Hz} < f \leq 300$ GHz	6	0,016	0,10 (3MHz-300GHz)	

Luoghi e data delle misure a banda larga:



Luogo e data delle misure effettuate a banda stretta:



Le misure sono state effettuate nei pressi delle zone di ingresso e uscita della fabbrica e nelle due aree esterne adibite a pause o ritrovo dei dipendenti. Le possibili fonti di campi elettrici, sono situate a nord e a ovest, dalla presenza di due celle radio base, distanti dai punti di misura, 170mt e 700 mt.

Strumentazione utilizzata per le misure

Strumento utilizzato	Modello	Sonda-Antenna
Misuratore BL	Narda 8053A	Sonda 0.1-3000MHz
Misuratore di campo Vettoriale	JDSU-JD745	Aaronia 7040 0,7-4 GHz



Narda 8053A+ Sonda 100KHz >3GHz + cavalletto in legno



Strumento Vettoriale Celladvisor Base station - JDSU JD745B

Metodologia e tecniche di misura

La metodologia di indagine adottata, si è basata inizialmente sull'analisi a banda larga dell'intero spettro elettromagnetico 100 KHz – 3GHz applicando la media Average di 6 minuti per ogni punto di misura e successivamente, data la rilevanza di valori misurati dell'ordine del 70% rispetto ai limiti di attenzione è stata effettuata anche una misura a banda stretta.

Tutte le misure sono state eseguite con riferimento ai valori RMS riportati dallo strumento.

Nella tabella che segue sono riportati i singoli range di misura dello strumento PMM 8053A per il tipo di sonda utilizzata.

Le misure sono state effettuate alle ore 10:00 AM, 13:00 PM e 18:00 PM e ripetute due volte per ogni fascia oraria. Lo strumento è stato impostato in modalità AVG e in modalità di rilevamento RMS, per la durata di 6 minuti, tempo necessario per misurare ed escludere il superamento dei limiti massimi 20 V/m.

La temperatura al sole, rilevata dal termometro esterno: $13^{\circ} > 18^{\circ}$.

Le misure sono state effettuate su tre altezze differenti e successivamente mediate, rispettivamente di; 1,1mt, 1,5 mt e 1,9mt, inquanto si è pensato di verificare le parti stratificate, considerando le persone sedute, erette o di altezza maggiore alla media cittadina, comunque altezze coerenti con la media di proporzione dei dipendenti che accedono alla fabbrica.

Risultati di misura- Banda Larga:

Orario-Misura banda larga	Altezza 1,1mt	Altezza 1,5mt	Altezza 1,9mt
Ore 10:00	2.7 V/m	2.82 V/m	2.91 V/m
Ore 10:10	2.67 V/m	2.73 V/m	2.79 V/m
Media quadratica	2.77 V/m		
Ore 13:00	1.93 V/m	1.92 V/m	1.98 V/m
Ore 13:10	1.91 V/m	1.88 V/m	1.94 V/m
Media quadratica	1.92 V/m		
Ore 18:00	3.4 V/m	3.45 V/m	3.5 V/m
Ore 18:10	3.35 V/m	3.39 V/m	3,48 V/m
Media quadratica	3.42 V/m		

Incerteza di misura

L'incerteza di misura può essere differenziata in tre tipologie; quella strumentale, che viene dichiarata dal produttore dello stesso strumento e successivamente da chi effettua le tarature. Dopodiché vi sono le incerteze dovute ad errori nella misura, che riguardano sostanzialmente un uso improprio delle strumentazioni o semplicemente che queste si trovino a lavorare in ambienti che per la loro natura intrinseca, incidono sul risultato della misura. Infine le incerteze dovute ad eventi casuali imprevedibili, quali; particolari fenomeni di propagazione, oppure oggetti mobili posti nelle vicinanze, che possono far variare il percorso dei segnali riflessi e di conseguenza far variare la densità di campo elettrico rilevata in un determinato punto.

In questa relazione vengono riportate i tre valori di incerteza espressi in decibel.

Incerteza strumentale della flattness (linearità della risposta in frequenza) 100KHz>3 GHz	+/-1.5 dB
+ Incerteza isotropica a 50MHz	+/- 0,8 dB
Incerteza nella modalità di misura. Seppure le misure sono state effettuate come da manuale CEI 211-7 e non si è rilevato nessun oggetto conducibile o che	+/- 0.5 dB

<p>potesse alterare la misura, si considera ugualmente una incertezza cautelativa motivata da una variazione repentina della temperatura e un continuo passaggio di automobili ad una distanza di circa 50mt dal punto di misura.</p>	
<p>Incertezza dovuta ad eventi imprevedibili e casuali.</p>	<p>+0.2 dB</p>

Totale incertezze calcolate = +/- 3 dB

Ulteriori accertamenti:

Considerato che le misure effettuate nella fascia oraria serale, hanno registrato valori di media pari a 3,42 V/m e considerato che l'incertezza totale di misura è stata quantificata a +/-3 dB, si è resa necessaria una indagine più approfondita, che ha comportato una analisi selettiva dei vari contributi e della loro provenienza. Difatti anche la guida CEI 211-7, consiglia di effettuare tali accertamenti, laddove vi sia un presupposto di dubbio oppure un valore rilevato in modalità banda larga, superiore al 70% dei limiti di attenzione, considerando anche l'incertezza di misura, questo è il caso.

Verifica del campo elettrico in modalità banda stretta:

Le misure sono state effettuate il giorno successivo nelle medesime posizioni e condizioni, utilizzando come rivelatore "trasduttore", una antenna calibrata log periodica, marca Aaronia, modello 7040 700MHz > 4 GHz, fornita di diagramma radiativo e tabella dei valori F/C fattore antenna, per i 330 punti di calibrazione.

Il cavo che collega l'antenna allo strumento è un cavo Sucoflex per alta frequenza, dalla lunghezza di 3mt e con caratteristiche di ottima linearità. L'attenuazione del cavo alle frequenze di risonanza dell'antenna, vengono riportate in seguito:

AC = Frequenza 700MHz 0,7dB – 1,5 GHz 0,9dB – 2 GHz 0,9 dB -3 GHz 1,05 dB – 4 GHz 1,1 dB

Questi parametri sono stati inseriti nei set dello strumento, insieme ai parametri di F/C. Lo strumento utilizzato ha facoltà di misurare direttamente in V/m. Tuttavia dato che la guida CEI 211-7 non menziona questo tipo di misura diretta, sono state effettuate sia misure dirette e sia misure manuali, successivamente ne è stato riconvertito il risultato in V/m partendo da un risultato in dBuV. I risultati di misura in entrambi i modi non hanno presentato variazioni significative.

Le misure sono state effettuate, in modalità Channel Power con il detector impostato in RMS ed è stata attivata la modalità AVG con durata di 1 minuto (massimo valore impostabile dallo strumento) e ripetute consecutivamente per 6 volte, in modo da ricavare una media in questo determinato arco temporale.

Il risultato è quindi stato mediato per i sei valori ed è stata ricavata successivamente la somma quadratica dei valori registrati, nelle polarizzazioni verticali ed orizzontali e alle tre differenti altezze spaziali, con antenna direzionata nella traiettoria di massima intensità del segnale.

Questo è servito per discriminare la provenienza del campo elettrico con la maggiore intensità, rispetto agli altri contributi di segnali più lievi.

Sono state eseguite anche misure in modalità Span Zero e di tipo vettoriale in modalità OTA, per rilevare e caratterizzare i vari contributi ricevuti e quindi per distinguere i vari gestori delle stazioni radio base e le posizioni delle celle trasmettenti.

Risultati di misura – Banda Stretta, verso la direzione di massima intensità di campo elettrico rilevato. I risultati in tabella sono rispondenti alla somma quadratica dei contributi, del vettore elettrico verticale e di quello orizzontale e mediati per le tre posizioni spaziali:

Orario-Misura Banda stretta	Altezza 1.1 mt Polarizzazione V/H	Altezza 1,5 mt Polarizzazione V/H	Altezza 1,9 mt Polarizzazione V/H
Ore 9:00	1.8 V/m	1.77 V/m	1.77 V/m
Totale mediato	1.77 V/m		
Ore 13.30	1.66 V/m	1.63 V/m	1.67 V/m
Totale mediato	1.64 V/m		
Ore 18.00	1.20 V/m	1.18 V/m	1.19 V/m
Totale mediato	1.18 V/m		

Sono state effettuate anche indagini sulla operatività delle due celle telefoniche, in particolare è stata analizzata la maschera delle risorse di blocco utilizzate dalla cella telefonica nei momenti di misure. Questo ha permesso di capire se la cella stesse trasmettendo ad una potenza più elevata o meno, in funzione di quanti utenti erano assegnatari di una o più risorse RB e quindi quante portanti erano attive al momento della misura. La verifica è portata ad accertare che le BTS interessate, si trovassero in una condizione di lavoro abbastanza continuativo e con diversi utenti da gestire.

Questo dato però si è trovato in discordanza con le misure effettuate in banda larga se pur ripetute anche nel secondo giorno.

Terzo giorno di misura:

Date le incongruenze tra le misure a banda larga da quelle a banda stretta è stato necessario predisporre un ulteriore banco di misura, utilizzando lo strumento a banda stretta in modalità spettrogramma e radiogoniometro, in questo modo si è arrivati alla conclusione che una lampada della illuminazione pubblica, posta nelle immediate vicinanze di uno degli ingressi del parcheggio, generasse un campo elettrico significativo e rilevante nella parte di spettro compresi tra i 150 MHz e 400 MHz. Tale segnale era causa sia di un aumento del valore di campo, correttamente e giustamente rilevato dalla sonda isotropica, ma si presume che data la natura impulsiva e ondulatoria di questi segnali, potessero in qualche modo desensibilizzare lo strumento a banda larga ed aumentare le percentuali di incertezza.

Conclusioni:

Dall'analisi complessiva e comparativa dei dati misurati per quanto attiene i campi elettromagnetici ad alta frequenza nel range 100 KHz – 3 GHz relativamente all'area oggetto di indagine, emerge che nessuna area o edificio per i quali sia prevista o prevedibile la permanenza di persone, sono attualmente interessati da livelli di campo elettromagnetico alle alte frequenze superiori a 6 V/m. Neppure che i valori di campi elettromagnetici misurati, fossero effettivamente prossimi a tali soglie, escludendo di conseguenza la necessità di effettuare anche una misura mediata nelle 24 ore, per confrontare i valori con i limiti, mediante l'estrapolazione dei valori misurati. Tuttavia è stata attivata una segnalazione all'ispettorato del ministero di competenza, per denunciare un guasto tecnico ad un lampione di illuminazione pubblica.

Si allega alla presente relazione i seguenti:

Allegato 1: estratto di mappa dell'area interessata

Allegato 2: documentazione fotografica

Allegato 3: certificati di taratura della strumentazione utilizzata