

## Valutazione dell'impatto elettromagnetico dei sistemi WiFi: simulazioni e misure

M. Barbiroli<sup>(1)</sup>, C. Carciofi<sup>(2)</sup>, D. Guiducci<sup>(2)</sup>,

(1) Università di Bologna – Dipartimento di Elettronica Informatica e Sistemistica  
Villa Griffone, Pontecchio Marconi (BO)

(2) Fondazione Ugo Bordoni – Villa Griffone, Pontecchio Marconi (BO)

### I ABSTRACT

In questo lavoro sono state effettuate valutazioni di esposizione ai campi elettromagnetici prodotti da sistemi WiFi, alla luce della grande diffusione che stanno conoscendo queste reti e delle situazioni di particolare preoccupazione che si sono verificate in alcuni contesti sociali anche a livello europeo.

L'analisi è stata effettuata sia mediante algoritmi di previsione che valutazioni strumentali in ambienti frequentati dal pubblico e in contesti lavorativi.

Come ci si attende i livelli di esposizione risultano molto contenuti anche in prossimità degli Access Point, poiché la potenza trasmessa è molto contenuta e limitata dalla normativa vigente per le bande non licenziate.

### II INTRODUZIONE

Le reti WiFi sono infrastrutture relativamente economiche e di veloce attivazione che permettono di realizzare sistemi flessibili per la trasmissione di dati usando frequenze radio, estendendo o collegando reti esistenti oppure creandone di nuove. Proprio per la loro versatilità queste tipologie di reti vengono sempre più spesso utilizzate per lo scambio di dati in strutture aziendali, oppure per creare veri e propri punti di accesso ad internet in locali scolastici, biblioteche, università o aeroporti.

Tale tecnologia trova inoltre applicazione nello sviluppo di infrastrutture telematiche finalizzate alla riduzione del divario digitale. Infatti gli investimenti contenuti, che sono necessari per lo sviluppo delle reti di accesso attraverso Access Point (AP) WiFi, la rendono particolarmente adatta a fornire accesso a larga banda in zone sprovviste di infrastruttura di rete fissa, quali le zone montane.

In estrema sintesi, quindi, il WiFi può essere utilizzato per diverse applicazioni che possono essere suddivise in (Figura 1):

- Servizio di accesso wireless indoor
- Sviluppo di Wireless Local Area Network (WLAN);
- Collegamento punto-punto

La grande diffusione delle reti WiFi ha causato in Europa l'insorgere di preoccupazione per i possibili rischi dovuti all'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) generati da questi sistemi. In Francia, ad esempio, solo di recente è stato riammesso l'uso del WiFi nelle biblioteche pubbliche, sospeso per il timore di effetti negativi per la salute.

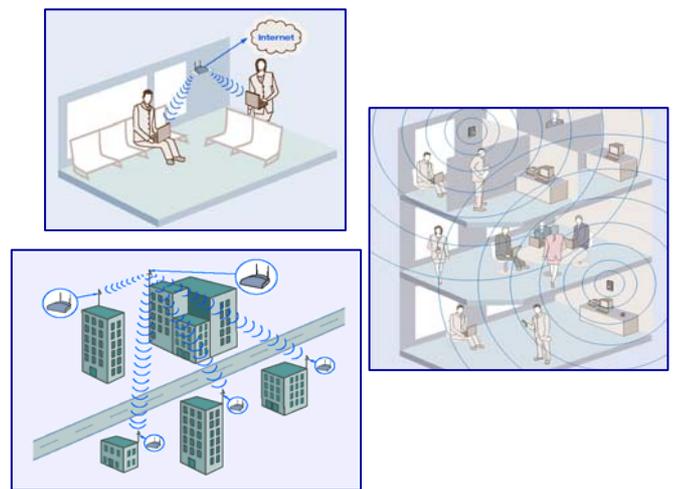


Figura 1. Scenari applicativi per il sistema WiFi

In Italia le coperture locali, i cosiddetti hotspot pubblici, hanno una diffusione attorno ai 6100 hotspot, distribuiti tra hotel, ristoranti, bar, centri commerciali, uffici ed aeroporti, inoltre l'adozione di questa tecnologia è cresciuta rapidamente nel mercato dei consumatori orientato ad applicazioni domestiche.

Per completare adeguatamente il quadro nazionale, è opportuno infine ricordare che in Italia l'approvazione del Testo Unico sulla sicurezza dei lavoratori [1] ha introdotto i campi elettromagnetici fra gli agenti fisici per i quali è necessaria la valutazione del rischio. Di conseguenza l'utilizzo dei sistemi di accesso WiFi in ambiente lavorativo richiederà la valutazione del rischio, sebbene per questo tipo di sistemi sarà presumibilmente sufficiente una dichiarazione di conformità, poiché le basse potenze di emissione li rendono intrinsecamente sicuri.

Questo documento si propone di valutare l'impatto elettromagnetico di tipici AP WiFi, dapprima mediante simulazioni e poi tramite misure, al fine di confermare che i livelli di esposizione generati da questi sistemi risultano essere particolarmente contenuti, anche in prossimità degli Access Point stessi.

Dopo alcuni brevi richiami sullo standard (Sezione III), sono state individuate alcune tipiche installazioni WiFi (Sezione IV) in relazione alle quali sono stati valutati i volumi

di rispetto [2] (Sezione V). I sistemi WiFi sono stati poi caratterizzati in ambiente reale attraverso simulazioni e misure: per la parte di previsione elettromagnetica si è utilizzato un simulatore di ray tracing [3] (Sezione VI), mentre le misure sono state effettuate mediante un misuratore a banda larga in due diversi ambienti adibiti in un caso ad uffici e nell'altro ad accesso al pubblico (Sezione VII).

### III IL WiFi

Il WiFi, abbreviazione di Wireless Fidelity, è il nome commerciale delle reti locali senza fili (WLAN) basate sulle specifiche IEEE 802.11 [4].

La frequenza prevalentemente utilizzata è quella dei 2.4 GHz, che è una delle frequenze assegnate per usi ISM (Industriali, Scientifici e Medici) e come tale è stata sfruttata per diverse applicazioni. Altre bande di frequenza, assegnate per usi ISM e disponibili per questo tipo di sistema sono quella dei 5.25 GHz e quella dei 5.60 GHz.

Tutte queste bande di frequenza sono lasciate ad uso libero solo per le applicazioni che prevedono EIRP (Massima Potenza Equivalente Irradiata da antenna Isotropica, prodotto del valore della potenza al connettore di antenna per il guadagno) estremamente limitate, come riportato in Tabella 1 [5]. L'uso dei dispositivi WiFi è poi regolato dal D.M. 28 Maggio 2003 [6], il quale prevede che non sia necessaria alcuna autorizzazione all'interno di una proprietà privata, mentre stabilisce obbligo di comunicazione al Ministero dello Sviluppo Economico-Comunicazioni per offrire servizi WiFi nella banda ISM su suolo pubblico, con obbligo di identificazione degli utenti di tali servizi.

Tabella 1. EIRP MASSIMA CONSENTITA		
Frequenza (GHz)	EIRP <sub>MAX</sub> (mW)	Utilizzo consentito
2.45	100	indoor/outdoor
5.25	200	indoor
5.60	1000	indoor/outdoor

Nel corso degli anni si sono evolute diverse versioni dello standard 802.11. La prima versione è l'802.11b, operante nella banda dei 2.4 GHz, con modulazione DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), con capacità di 11 Mbit/s. Al fine di aumentare la Bit Rate sono state sviluppate le versioni 802.11a e 802.11g che, grazie alla tecnica OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), tipo di modulazione multiporante, che utilizza un numero elevato di sottoportanti ortogonali tra di loro, consente di raggiungere Bit Rate dell'ordine dei 54 Mbit/s, nella bande dei 5 GHz e 2.4 GHz. L'ultima evoluzione dello standard è l'802.11n che, grazie a tecniche MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) consente di aumentare la velocità di trasmissione fino a 125 Mbit/s nella banda dei 2.4 GHz.

### IV INSTALLAZIONI TIPICHE

Le reti su standard IEEE802.11 prevedono quattro componenti fisici, schematizzati in Figura 2.

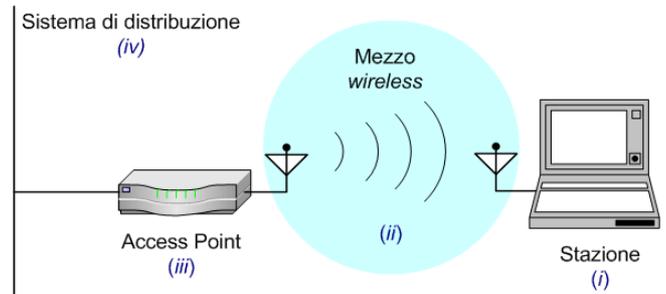


Figura 2. Componenti di una rete IEEE 802.11

Per quanto concerne le valutazioni di carattere radioprotezionistico oggetto del presente lavoro, si focalizzerà l'attenzione sulle tipiche installazioni di Access Point WiFi ed in particolare sulle tipologie di antenne con cui sono equipaggiati gli AP (Figura 3).

Sulla base delle caratteristiche di radiazione di tali antenne è infatti possibile individuare alcune classi di installazioni tipiche. Le diverse categorie di installazioni si differenziano per l'apertura del lobo principale dei diagrammi di radiazione nel piano verticale e orizzontale, che quindi danno luogo a guadagni diversi, fermi restando i limiti in termini di EIRP massima consentita. Come già detto l'EIRP massimo è la somma - in unità logaritmiche - della potenza al connettore d'antenna e del guadagno massimo dell'antenna stessa: ciò significa che la potenza massima al connettore d'antenna erogabile è pari alla differenza tra il valore limite di EIRP e il guadagno massimo dell'antenna e quindi maggiore è la direttività dell'antenna, minore è la potenza disponibile al connettore d'antenna.



Figura 3. Esempi di router e antenne WiFi.

In generale per i sistemi WiFi si utilizzano antenne omnidirezionali o con direttività limitata sul piano orizzontale (Classe A e Classe B), con apertura del lobo principale del diagramma sul piano verticale più (Classe A) o meno (Classe B) grande a seconda della specifica progettuale.

Qualora la specifica del progetto richieda antenne più direttive potranno essere utilizzate antenne di Classe C che sono caratterizzate da un guadagno superiore e da aperture del lobo principale sia sul piano orizzontale che verticale più strette.

La Tabella 2 sintetizza le tipiche installazioni per sistemi WiFi nella banda dei 2.4 GHz, nella quale il valore di EIRP

massima consentita è pari a 20 dBm. Oltre ad essere riassunte le caratteristiche dei diagrammi di radiazione sul piano orizzontale e verticale, è riportato anche il guadagno massimo dell'antenna, a partire dal quale è possibile dedurre per differenza la massima potenza erogabile al connettore d'antenna.

	DIAGRAMMA ORIZZONTALE	DIAGRAMMA VERTICALE	G (dBi)	P <sub>MAX</sub> (dBm)
A	OMNI (apertura a -3 dB: 360°)	DIRETTIVO (apertura a -3 dB: 150°)	2.2	17.8
B	OMNI (apertura a -3 dB: 360°)	DIRETTIVO (apertura a -3 dB: 60°)	5.2	14.8
C	DIRETTIVO (apertura a -3 dB: 120°)	DIRETTIVO (apertura a -3 dB: 120°)	9	11

La Tabella 3 sintetizza le tipiche installazioni per sistemi WiFi nella banda dei 5 GHz, nella quale il valore di EIRP massima consentita è pari a 23 dBm (banda 5.25 GHz) e 30 dBm (banda 5.60 GHz). La Tabella riassume le caratteristiche di radiazione delle antenne e riporta nelle ultime due colonne la massima potenza erogabile al connettore d'antenna, calcolata per differenza a partire dal guadagno massimo dell'antenna.

	DIAGRAMMA ORIZZONTALE	DIAGRAMMA VERTICALE	G (dBi)	P <sub>MAX</sub> [5.25 GHz] (dBm)	P <sub>MAX</sub> [5.60 GHz] (dBm)
A	OMNI (apertura a -3 dB: 360°)	DIRETTIVO (apertura a -3 dB: 20°)	12	11	18
B	DIRETTIVO (apertura a -3 dB: 120°)	DIRETTIVO (apertura a -3 dB: 30°)	15	8	15
C	DIRETTIVO (apertura a -3 dB: 40°)	DIRETTIVO (apertura a -3 dB: 40°)	17	6	13

### V VOLUMI DI RISPETTO PER INSTALLAZIONI TIPICHE

Per le valutazioni preliminari di impatto elettromagnetico è stato considerato il volume di rispetto, riferito alle installazioni tipiche per sistemi WiFi identificate alla precedente Sezione IV.

In conformità alla Norma Tecnica CEI 211-10 [2] è stato stimato un parallelepipedo caratterizzato dalle dimensioni d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub> (Figura 4), simmetrico rispetto alle dimensioni di massima irradiazione dell'antenna, al di fuori del quale il livello di campo elettrico non supera mai la soglia stabilita (E<sub>limite</sub>).

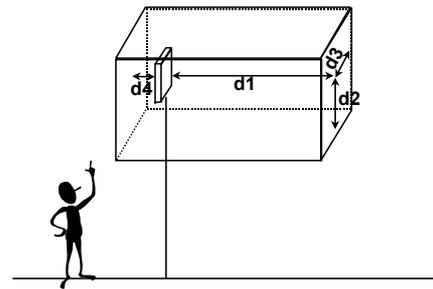


Figura 4. Volume di rispetto

Le quattro distanze utilizzate per definire il volume di rispetto sono calcolate a partire dalla formula di spazio libero:

$$E[V/m] = \frac{\sqrt{P \times G(\theta, \varphi) \times 30}}{d}$$

con *E* valore efficace del campo elettrico, *P* potenza al connettore d'antenna, *G* (*θ*, *φ*) guadagno nella direzione di interesse, *d* distanza.

La formula di spazio libero vale in condizioni di campo lontano dalla sorgente. In Tabella 4 si riportano le distanze oltre le quali vale l'ipotesi di campo lontano calcolate conformemente a quanto indicato in [2] e i corrispondenti valori efficaci del campo elettrico.

Frequenza (GHz)	Lunghezza d'onda λ (m)	Distanza campo lontano (m)	E alla distanza di campo lontano (V/m)
2.45	0.125	0.375	4.62
5.25	0.057	0.171	14.32
5.60	0.053	0.159	34.45

Nel calcolo dei volumi di rispetto, come soglia E<sub>limite</sub> si è sempre utilizzato il valore di attenzione di 6 V/m. Questo è il valore indicato nella normativa [7][8] per apparati posizionati in zone accessibili alla popolazione. Si osservi che il valore limite è diverso per le diverse bande di utilizzo dei sistemi WiFi: è pari a 20 V/m per la banda dei 2.4 GHz e a 40 V/m per le bande 5.25 GHz e 5.60 GHz.

Nella Tabella 5 vengono fornite le dimensioni del volume di rispetto al variare della classe di apparato per tipiche installazioni WiFi, come classificate in Tabella 2.

CLASSE	Lunghezza (m) d1+d4	Larghezza (m) d3	Altezza (m) d2
CLASSE A	0.38	0.28	0.189
CLASSE B	0.38	0.28	0.098
CLASSE C	0.38	0.175	0.175

Poiché le dimensioni del volume di rispetto riferito al valore di 6 V/m risultano inferiori alla distanza oltre la quale vale l'ipotesi di campo lontano, è maggiormente cautelativo, dal punto di vista protezionistico, individuare come volume di rispetto un cubo di lato 38 cm.

Come si può notare le aree di rispetto a 6 V/m sono molto contenute e danno quindi indicazione sull'intrinseca sicurezza degli apparati, anche se installati in ambiente indoor in luoghi accessibili alla popolazione.

Nelle Tabella 6 e Tabella 7 vengono fornite le dimensioni dei volumi di rispetto al variare della classe di apparato rispettivamente per la banda di frequenza a 5.25 GHz e a 5.60 GHz. Le dimensioni delle aree di rispetto a 6 V/m sono anche in questo caso molto contenute e confermano l'intrinseca sicurezza degli apparati per sistemi WiFi.

Tabella 6. VOLUME DI RISPETTO PER CLASSI DI INSTALLAZIONI WiFi NELLA BANDA DEI 5.25 GHz, EIRP <sub>MAX</sub> = 23 DBM			
CLASSE	Lunghezza (m) d1+d4	Larghezza (m) d3	Altezza (m) d2
CLASSE A	0.54	0.40	0.10
CLASSE B	0.54	0.50	0.15
CLASSE C	0.54	0.19	0.19

Tabella 7. VOLUME DI RISPETTO PER CLASSI DI INSTALLAZIONI WiFi NELLA BANDA DEI 5.60 GHz, EIRP <sub>MAX</sub> = 30 DBM			
CLASSE	Lunghezza (m) d1+d4	Larghezza (m) d3	Altezza (m) d2
CLASSE A	1.234	0.912	0.22
CLASSE B	1.234	1.11	0.33
CLASSE C	1.234	0.44	0.44

## VI ANALISI IN UN AMBIENTE REALE: SIMULAZIONI CON IL RAY TRACING

Per un'analisi approfondita dei livelli di esposizione sono state eseguite simulazioni con il tool di previsione ArGIS [9], dotato di un modello tridimensionale di ray-tracing [3].

ArGIS consente di tenere conto dettagliatamente sia delle caratteristiche dell'ambiente di propagazione sia di quelle degli impianti radianti in esame (es. potenza trasmessa, diagramma di radiazione, tilt, azimut, altezza).

La propagazione è studiata mediante raggi che, interagendo con l'ambiente, garantiscono il collegamento radio tra Access Point e ricevitore. I meccanismi di propagazione tipicamente considerati sono la riflessione, la diffrazione e la trasmissione. Il campo elettrico complessivo nel punto di stima si può ottenere perciò combinando opportunamente in modulo e fase tutti i contributi associati ai raggi che giungono nel punto di interesse:

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i = \sum_i a_i \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} r_i\right) \hat{r}$$

dove  $a_i$  e  $r_i$  sono rispettivamente l'ampiezza e la lunghezza del cammino percorso dell' $i$ -esimo raggio.

In particolare l'ampiezza  $a_i$  dipende dalle interazioni che il raggio subisce nel propagarsi, siano esse riflessioni, trasmissioni o diffrazioni e si può ricavare come:

$$a_i = \frac{E_0 f_u f_{ri}}{r_i} \prod_j \Gamma_j \prod_k \tau_k \prod_n D_n$$

con:

- $E_0$  costante dipendente dall'ampiezza del segnale trasmesso;
- $f_u f_{ri}$  diagrammi di radiazione delle antenne nelle direzioni degli angoli di emissione e di arrivo;
- $\Gamma_j$  coefficiente di Fresnel per la  $j$ -esima riflessione;
- $\tau_k$  coefficiente di Fresnel per la  $k$ -esima trasmissione;
- $D_n$  coefficiente di diffrazione (comprensivo dell'opportuno fattore di divergenza spaziale) per la  $n$ -esima diffrazione.

L'ambiente reale selezionato come oggetto di studio per le valutazioni di esposizione è l'Ufficio Relazioni con Pubblico (URP) del Comune di Bologna, dove è offerto ai cittadini un servizio di accesso WiFi, che interessa sia l'interno dell'URP sia l'area antistante (Piazza Maggiore). L'accesso ad internet è fornito mediante Access Point WiFi, operanti alla frequenza dei 2.4 GHz, la cui collocazione è mostrata in Figura 5. L'AP1 è installato a parete, nell'area dello Sportello Iperbole, su una vetrata anti-sfondamento ad un'altezza di 3.5 m dal piano di calpestio; l'AP2 è installato invece, nell'area dello Sportello Informagiovani, ad un'altezza di 4.4 m dal suolo. Sia l'AP1 che l'AP2 sono Access Point CISCO Aironet 1100 operanti su standard IEEE 802.11b/g alla frequenza di 2.4 GHz. La massima potenza irradiata possibile, in accordo con le normative, è di 100 mW EIRP (20 dBm). Ogni AP utilizza due antenne omnidirezionali integrate con diversità con guadagno pari a 2.2 dBi ciascuna.

Il calcolo dei livelli di esposizione è stato effettuato attraverso simulazioni in condizioni di rete a pieno carico, per considerare il caso maggiormente cautelativo, utilizzando quindi l'EIRP massima consentita di 20 dBm.

Il modello tridimensionale di ray-tracing, utilizzato per le previsioni di campo, consente di tener conto dell'effetto dell'eventuale presenza di oggetti nell'ambiente sulla propagazione e valutare la penetrazione del campo elettromagnetico attraverso ostacoli come muri e arredi. Di conseguenza è necessario costruire un opportuno modello della struttura geometrica e delle caratteristiche elettromagnetiche dello scenario di propagazione.

Il salone dell'URP del Comune di Bologna si trova all'interno di un edificio medievale e presenta numerosi archi e colonne ed è in generale costituito da materiali estremamente eterogenei. L'utilizzo del simulatore ha imposto di descrivere l'ambiente attraverso superfici piane, che approssimano le strutture reali alle quali sono state attribuite le opportune caratteristiche elettromagnetiche e i relativi spessori.

La Figura 6 mostra le curve isolivello a 0.5, 1, 3 e 6 V/m rispettivamente su un piano orizzontale (a) e un piano verticale (b) passanti per il centro elettrico dell'AP2. L'effetto della presenza degli ostacoli è all'origine dei contorni irregolari delle curve di livello.

I risultati delle simulazioni confermano che i livelli di esposizione generati dagli AP WiFi risultano ben al di sotto dei limiti nelle zone accessibili al personale di lavoro o alla popolazione. La curva a 6 V/m individua una superficie molto contenuta di dimensioni confrontabili con quelle del volume di rispetto calcolato con la formula di spazio libero alla Sezione V.

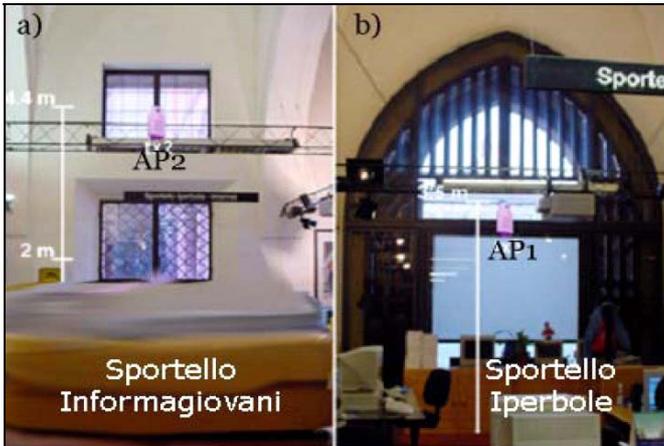


Figura 5. Collocazione degli AP presso l'URP del Comune di Bologna

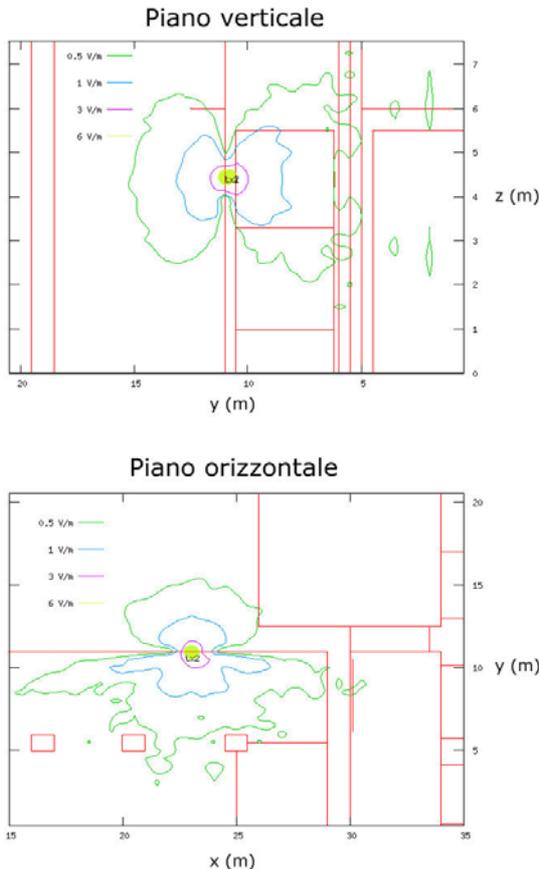


Figura 6. Valore efficace del campo elettrico prodotto dall'AP2 sul piano orizzontale a 1.7 metri da terra (a) e sul piano verticale (b).

**VII MISURE DI ESPOSIZIONE PER IL PUBBLICO E PER I LAVORATORI**

Per completare le valutazioni di esposizione dovute ad AP WiFi, Elettra 2000 ha effettuato alcune campagne di misura in ambienti adibiti ad uso pubblico e in contesti lavorativi.

In collaborazione con la Sezione Provinciale di Bologna dell'ARPA Emilia-Romagna, e con il Comune di Bologna è stata condotta una campagna di misura presso l'URP del Comune, nel medesimo ambiente oggetto delle valutazioni di cui alla Sezione VI.

Le misure sono state effettuate secondo la procedura indicata dalle Norme CEI 211-7 [10], utilizzando un misuratore a banda larga Narda EMR 300, dotato di una sonda isotropica che opera nell'intervallo di frequenza 100 kHz - 3 GHz ed avente sensibilità pari a 1 V/m.

In Figura 7 si mostrano i punti in cui sono state effettuate le misure, mentre in Tabella 8 sono riportati i risultati dei rilievi strumentali effettuati sia in condizioni di rete scarica (ossia in assenza di trasferimento dati), sia collegando un notebook all'AP e scaricando un file video per tutta la durata dell'acquisizione.

Come si può notare, i valori misurati risultano inferiori alla sensibilità dello strumento, fatta eccezione per le misure nelle immediate vicinanze dell'AP1 (punto B), situazione comunque non di interesse per l'esposizione al pubblico. Si può quindi concludere che in ogni caso il limite dei 6 V/m per la popolazione risulta ampiamente rispettato.

Per maggiori dettagli sulla campagna di misura in esame si rimanda a [11].

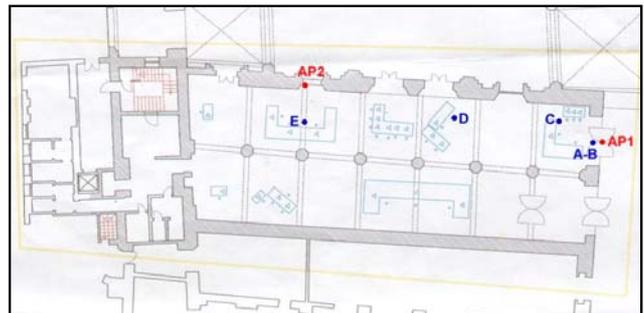


Figura 7. Ambiente di misura: URP del Comune di Bologna

**Tabella 8. CAMPAGNA DI MISURA EFFETTUATA NELL'AMBIENTE DELL'URP DEL COMUNE DI BOLOGNA**

	Distanza dall'AP [cm]	Stato dell'AP	h [m]	E <sub>MAX</sub> [V/m]	E <sub>MEDIO</sub> [V/m]
A	50 (AP1)	On	3.5	< 1	< 1
	50 (AP1)	Download	3.5	< 1	< 1
B	15 (AP1)	On	3.5	2.0	1.4
	15 (AP1)	Download	3.5	4.5	1.9
C	40 (AP1)	Download	1.2	< 1	< 1
D	125 (AP1)	On	1.5	< 1	< 1
E	35 (AP2)	On	1.5	< 1	< 1

Per caratterizzare l'esposizione da sorgenti WiFi anche in ambiente di lavoro, Elettra 2000 ha effettuato misure di una rete costituita da 4 AP in ambiente indoor ad uso ufficio. Ciascun AP è costituito da un apparato operante simultaneamente su entrambi gli standard IEEE802.11b/g (banda 2.4 GHz) e IEEE802.11a (banda 5 GHz). Tali apparati sono alloggiati nella controsoffittatura dei 4 corridoi che disimpegnano il piano, ad una altezza di 260 cm.

Per i rilievi è stato utilizzato un misuratore a banda larga PMM 8053B con sensore isotropico di campo elettrico EP-183 nella banda 1 MHz-18 GHz ed avente sensibilità pari a 0.8 V/m. Le misure sono state effettuate conformemente alle Norme CEI 211-7 [10].

In Figura 8 si mostrano i punti in cui sono state eseguite le misure, mentre in Tabella 9 sono riportati i risultati dei rilievi strumentali effettuati con gli AP sia in modalità OFF sia in modalità ON. In quest'ultima modalità, si sono create le condizioni di massima attività dell'AP più prossimo effettuando il download (per tutta la durata del tempo di misura) di un filmato dal server della ditta.

In tutti i punti di misura il valore medio del campo elettrico misurato è inferiore alla soglia di sensibilità dello strumento.

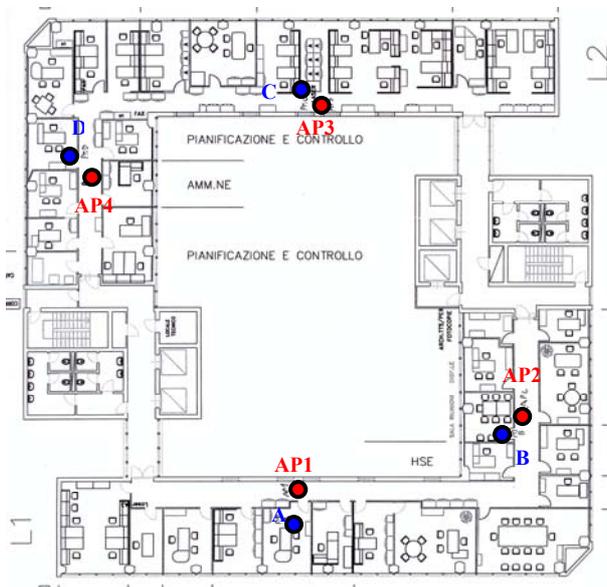


Figura 8. Ambiente di lavoro oggetto dell'analisi

Tabella 9. CAMPAGNA DI MISURA EFFETTUATA IN AMBIENTE LAVORATIVO					
	Distanza dall'AP [cm]	Stato dell'AP	h [m]	E <sub>MAX</sub> [V/m]	E <sub>MEDIO</sub> [V/m]
A	290 (AP1)	Off	1.25	2.79	< 0.8
	290 (AP1)	Download	1.25	1.29	< 0.8
B	180 (AP2)	Off	1.25	1.68	< 0.8
	180 (AP2)	Download	1.25	1.6	< 0.8
C	220 (AP3)	Off	1.25	0.9	< 0.8
	220 (AP3)	Download	1.25	1.05	< 0.8
D	260 (AP4)	Off	1.25	0.98	< 0.8
	260 (AP4)	Download	1.25	0.87	< 0.8

L'ambiente di lavoro analizzato non mostra quindi particolari criticità dal punto di vista dell'esposizione ai campi elettromagnetici, considerando anche che la soglia di interesse per i lavoratori è ben superiore a quella prevista per la popolazione. In particolare si ricorda che, a differenza della normativa di rilievo per l'esposizione della popolazione, il Testo Unico sulla sicurezza dei lavoratori [1] prevede limiti di esposizione riferiti a grandezze dosimetriche e valori di azione riferiti invece a grandezze radiometriche. Il rispetto dei

valori di azione assicura il rispetto del pertinente limite di esposizione. Per le frequenze di lavoro dei sistemi WiFi il valore di azione di riferimento è pari a 137 V/m.

### VIII CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono state effettuate valutazioni relative all'esposizione a campi elettromagnetici generati da sistemi WiFi sia attraverso analisi previsionale sia mediante rilievi strumentali. L'analisi dell'esposizione è stata riferita ad ambienti destinati a frequentazione del pubblico e a contesti lavorativi.

Le valutazioni simulate, ottenute tramite la stima dei volumi di rispetto e attraverso un sofisticato algoritmo di ray-tracing, indicano che i sistemi WiFi non presentano particolari criticità dal punto di vista dell'esposizione.

Le campagne di misura effettuate confermano quanto ottenuto per via simulativa evidenziando che pressoché nella totalità dei casi i valori misurati risultano inferiori alla sensibilità dello strumento.

Si può pertanto ritenere che le installazioni WiFi siano intrinsecamente sicure, anche in ragione delle limitate potenze di emissione in gioco. Si prevede quindi che le valutazioni del rischio per installazioni WiFi in ambiente di lavoro seguiranno una procedura semplificata che non richieda necessariamente valutazioni specifiche dei livelli di esposizione.

### RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Sezione Provinciale di Bologna di ARPA Emilia-Romagna e in particolare l'ing. Giuseppe Anania, per la realizzazione della campagna di misura presso l'Ufficio Relazioni con il Pubblico del Comune di Bologna.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] "Testo unico in materia di sicurezza sul lavoro", Decreto legislativo 09.04.2008 n° 81, G.U. 30.04.2008.
- [2] Norma Tecnica CEI 211-10, "Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza".
- [3] G. E. Corazza, V. Degli-Esposti, M. Frullone, G. Riva, "A Characterisation of Indoor Space and Frequency Diversity by Ray Tracing Modelling", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 14, No. 3, pp. 411-419, Nov. 1996.
- [4] <http://www.ieee802.org/11/index.shtml> IEEE 802.11TM Wireless Local Area Networks. The Working Group for WLAN Standards.
- [5] CEPT ERC/REC/70-03 "ERC Recommendation 70-03 Relating To The Use Of Short Range Devices (Srd)".
- [6] D.M. del 28 maggio 2003, "Decreto Ministeriale di regolamentazione dei servizi WiFi ad uso pubblico", G.U. n° 126 del 3 giugno 2003.
- [7] Legge n. 36 del 22 febbraio 2001, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", G.U. n. 55 del 7 marzo 2001.
- [8] DPCM 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di

qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”, G.U. n.199 del 28 agosto 2003

[9] <http://www.wirelessfuture.it/index2.php>

[10] Norma Tecnica CEI 211-7 “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell’intervallo di frequenza 10 kHz - 300 Ghz, con riferimento all’esposizione umana”.

[11] [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/cem/bologna/report\\_misure\\_wifi\\_urp.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/cem/bologna/report_misure_wifi_urp.pdf)