



RELAZIONE

*Misure del Campo Elettrico
prodotto da
Cellulari - Auricolari - Apparati Wi-Fi*

A cura di
Loris Geminiani
Andrea Caccoli
Roberto Tinarelli

Arpa ER - Sezione Provinciale di Ravenna
Via Alberoni, 17/19 - Ravenna

Servizio Sistemi Ambientali
Unità NIR e Area Monitoraggio e valutazione aria e agenti fisici

Ravenna, 5 maggio 2014

Introduzione

La quantità di dispositivi utilizzati dai cittadini per la comunicazione voce e dati, oltre alle apparecchiature che utilizzano micro-ripetitori di segnali TV, apparati radiocontrollati (cancelli – sistemi di allarme – giocattoli – ecc...), è molto elevata ed è destinata a crescere nel tempo.

Normalmente, ogni cittadino utilizza almeno un cellulare e, nella propria abitazione, spesso ha a disposizione un apparato Wi-Fi per la connessione alla rete internet dei propri dispositivi come per esempio PC, smartphone, tablet, stampanti, ecc.

Le reti per la connessione ad internet con tecnologia Wi-Fi si stanno, inoltre, diffondendo nelle città come reti pubbliche e private mentre in aeroporti, stazioni, scuole, esercizi commerciali sono già presenti da anni.

Vista la curiosità e, a volte, la preoccupazione dei cittadini sulla possibile esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) generati da questi dispositivi, abbiamo cercato di illustrare nel modo più semplice possibile la potenziale esposizione ai CEM, quando si utilizzano queste apparecchiature.

Visto che **il numero di apparecchiature sottoposte a misura rappresenta una piccolissima parte di quanto è presente sul mercato**, questo lavoro di indagine strumentale non ha un carattere esaustivo sulla possibile esposizione ai CEM di questo tipo di apparati - dispositivi.

Un secondo limite di questo lavoro di indagine è che le misure sono state effettuate negli ambienti di vita, ovvero in "condizioni non controllate". Si fa presente che le caratteristiche ufficiali di emissione di ogni dispositivo sono effettuate in "condizioni controllate" e in camera anecoica.

Di conseguenza, i valori rilevati del campo elettrico si devono quindi considerare come indicativi di una possibile esposizione ai CEM nell'utilizzo di questi dispositivi.

Le apparecchiature regolarmente commercializzate in Europa sono soggette a controlli della sicurezza elettrica, dei limiti delle emissioni dei CEM e di compatibilità elettromagnetica, in base a normative comunitarie (i controlli sono stati effettuati se sull'apparecchio è riportato l'apposito marchio CE).

L'Italia ha approvato tali normative europee a partire dal 1/1/1997.

Strumentazione utilizzata per i rilievi

- Analizzatore PMM8053B, costruttore Narda, Serie n° 262WL91027 – ultima taratura: 17/06/2013
- Sonda isotropica di campo elettrico modello EP-333, costruttore Narda, Serie n° 000WJ80221 – ultima taratura: 17/06/2013 – soglia minima di campo elettrico rilevabile dalla sonda: 0,15 V/m – range di frequenza rilevabile dalla sonda: da 100 kHz a 3,6 GHz.

Metodologia di misura

Le misure si sono effettuate ponendo la sonda a diverse distanze dall'apparecchiatura oggetto di indagine (sonda adiacente, sonda a 15 cm, sonda a 50 cm).

Considerando che i segnali misurati hanno caratteristiche di forte discontinuità nel tempo, la durata delle misure è stata variabile a seconda delle situazioni; si è comunque cercato di ottenere una lettura del campo elettrico il più stabile possibile (da circa 10 secondi ad alcune decine di secondi).

I valori riportati di campo elettrico E sono i valori massimi E_{max} (V/m) ed efficaci E_{rms} (V/m) (vedi allegato tecnico), mentre i valori al di sotto del limite di rilevabilità della sonda (0,15 V/m) sono stati indicati con $< 0,15$.

Per quanto riguarda le prove di misura sui cellulari, queste si sono effettuate all'interno degli uffici Arpa nel centro della città di Ravenna, in presenza quindi di una buona "copertura" del segnale e sempre con lo stesso gestore. Si può quindi ritenere che le misure si sono effettuate nelle **condizioni standard** di utilizzo dei cittadini (in città ed indoor). Di solito **le peggiori possibili condizioni radioelettriche** si raggiungono all'interno di edifici (indoor) e lontano dagli impianti (aree rurali – montane – foreste), mentre le **migliori condizioni possibili** si verificano all'esterno (outdoor) ed in visibilità ottica della stazione radio base del gestore che fornisce il servizio al cellulare.

Per ogni apparecchiatura è riportato il **tasso di assorbimento specifico** o **SAR** (vedi l'allegato tecnico) che esprime la misura della potenza (energia elettromagnetica / tempo) assorbita dal corpo umano quando questo viene esposto all'azione di un campo elettromagnetico a radiofrequenza (RF).

I valori dei SAR degli apparati sottoposti ad indagine sono stati estratti dal sito: <http://www.handystrahlung.ch>

Si sottolinea che la normativa nazionale che regola la possibile esposizione della popolazione ai CEM, non è la stessa che viene utilizzata per l'omologazione delle apparecchiature oggetto della presente relazione. I dettagli tecnici relativi alle tipologie di trasmissioni adottate dalle apparecchiature, oggetto delle nostre misurazioni, sono riportati nell'Allegato tecnico.


MISURE DEL CAMPO ELETTRICO GENERATO DAI DISPOSITIVI - APPARECCHIATURE

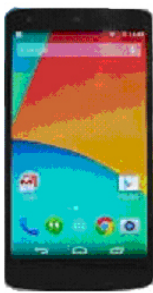
TELEFONIA CELLULARE

Nelle tabelle riportate di seguito, per i cellulari si indicano i valori di campo elettrico associato a tre diverse condizioni di utilizzo:

- Stand-by (cellulare acceso);
- In connessione (richiesta di connessione dall'esterno – il telefono squilla);
- Durante la chiamata (conversazione in corso).

Cellulari - SmartPhone

		Tipo: SmartPhone Marca: Apple Modello: Iphone 3GS Anno produzione: 2009 Servizi gestiti : GSM – DCS - UMTS SAR: 1,10 W/Kg Nota: le misure sono state effettuate con tutti i servizi accesi (Servizio Dati, Bluetooth, Wi-Fi)					
		a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
Distanza sonda		$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
Stand-by		0,45	0,16	0,40	0,18	< 0,15	< 0,15
In connessione		0,85	0,6	0,46	0,22	0,38	0,22
Durante la chiamata		1,3	0,8	0,27	0,22	0,25	0,19

		Tipo: SmartPhone Marca: LG Modello: Nexus 5 Anno produzione: 2013 Servizi gestiti : GSM – DCS – UMTS - LTE SAR: 0,486 W/Kg Nota: le misure sono state effettuate con tutti i servizi accesi (Servizio Dati, Bluetooth, Wi-Fi)					
		a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
Distanza sonda		$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
Stand-by		0,72	< 0,15	0,20	< 0,15	< 0,15	< 0,15
In connessione		0,97	0,73	0,55	0,29	< 0,15	< 0,15
Durante la chiamata		1,12	0,67	0,21	0,20	< 0,15	< 0,15



Tipo: SmartPhone
 Marca: Samsung
 Modello: S3 mini
 Anno produzione: 2012
 Servizi gestiti : GSM – DCS – UMTS
 SAR: 0,51 W/Kg

Nota: le misure sono state effettuate con tutti i servizi accesi (Servizio Dati, Bluetooth, Wi-Fi)

Distanza sonda	a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
Stand-by	0,77	0,42	0,24	0,17	0,16	< 0,15
In connessione	0,90	0,64	0,47	0,27	0,27	0,19
Durante la chiamata	0,69	0,42	0,44	0,31	0,17	< 0,15




Tipo: cellulare
 Marca: Nokia
 Modello: 3500C
 Anno produzione: 2007
 Servizi gestiti : GSM
 SAR: 0,51 W/Kg

Distanza sonda	a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
Stand-by	0,64	0,21	0,70	0,18	0,22	0,20
In connessione	13,6	7,40	4,05	3,01	1,73	1,47
Durante la chiamata	7,70	5,91	1,62	1,21	0,61	0,53





Tipo: cellulare
 Marca: Samsung
 Modello: GT-S5230
 Anno produzione: 2009
 Servizi gestiti : GSM - DCS
 SAR: 0,61 W/Kg

Distanza sonda	a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
Stand-by	0,44	0,17	0,33	< 0,15	< 0,15	< 0,15
In connessione	10,1	4,52	6,06	0,42	0,53	0,22
Durante la chiamata	5,73	4,84	0,63	0,51	0,52	0,23

		Tipo: modem 3G Marca: Huawei Modello: E1800 Servizi gestiti: 3G SAR: < 2 W/Kg				
		Dispositivo per una connessione alla rete mobile 3G				
Distanza sonda	a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
In funzione	2,33	1,41	0,68	0,20	< 0,15	< 0,15

AURICOLARI

		Tipo: auricolare wireless Servizio utilizzato: Bluetooth Marca: JABRA Modello: N356 Dispositivo di Classe 3				
		<i>Misura con il cellulare a circa 1,5 m dal dispositivo Bluetooth</i>				
Distanza sonda	a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
Stand-by	0,43	0,26	0,17	< 0,15	< 0,15	< 0,15
In connessione	0,47	0,28	0,40	0,16	< 0,15	< 0,15
Durante la chiamata	0,53	0,32	0,21	0,16	< 0,15	< 0,15

		Tipo: auricolare a filo Marca: LG Modello: Nexus 5				
		<i>Misura con il cellulare a circa 70 cm dall'auricolare</i>				
Distanza sonda	a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
Stand-by	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
In connessione	0,22	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Durante la chiamata	0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15




Tipo: auricolare via filo
 Marca: Apple
 Modello: Iphone 3GS


Misura con il cellulare a circa 70 cm dall'auricolare


Distanza sonda	a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
Stand-by	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
In connessione	0,36	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Durante la chiamata	0,22	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15


APPARECCHIATURE WI-FI


I dispositivi Wi-Fi, utilizzati nelle abitazioni, nelle aree pubbliche (scuole, biblioteche, piazza, ...), o negli ambienti di lavoro (uffici, magazzini, ecc..) hanno la funzione di collegare dispositivi mobili o altri dispositivi Wi-Fi, a reti di tipo ADSL o 3G/4G.


		Tipo: Access Point Servizio utilizzato: Wi-Fi Marca: TP-LINK Modello: TI-WA701ND Anno produzione: 2012 SAR: < 2 W/Kg Dispositivo che permette se collegato ad una rete cablata di creare una rete wireless del tipo Wi-fi, oppure di estenderla.					
		a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
Distanza sonda		$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
In funzione		2,84	1,62				

		Tipo: Modem ADSL - Router – Wi-Fi dual band Servizio utilizzato: Wi-Fi Marca: Fritz! Modello: Box 7270 Anno produzione: 2011 SAR: < 2 W/Kg Dispositivo in grado di distribuire il servizio internet per creare una rete di tipo cablato e/o di tipo wireless (Wi-Fi)					
		a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
Distanza sonda		$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
In funzione		5,15	4,29	3,81	3,41	1,42	1,10

		Tipo: Modem ADSL - Router – Wi-Fi dual band Servizio utilizzato: Wi-Fi Marca: Netgear Modello: N600 Anno produzione: 2011 SAR: < 2 W/Kg Dispositivo in grado di distribuire il servizio internet per creare una rete di tipo cablata e/o di tipo wireless (Wi-Fi)					
		a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
Distanza sonda		$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
In funzione		4,52	1,43	1,71	1,25	0,53	0,50

		Tipo: Universal Wi-Fi Range Extender Servizio utilizzato: Wi-Fi Marca: Netgear Modello: WN2000RPT Anno produzione: 2012 SAR: < 2 W/Kg Apparecchio avente la funzione di estendere la copertura di una rete Wi-Fi					
		a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
Distanza sonda		$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
In funzione		3,67	2,91	1,34	1,01	0,42	0,22

		Tipo: Universal Wi-Fi Range Extender Servizio utilizzato: Wi-Fi Marca: Netgear Modello: WN3000RP Anno produzione: 2011 SAR: < 2 W/Kg Apparecchio avente la funzione di estendere la copertura di una rete Wi-Fi					
		a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
Distanza sonda		$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
In funzione		5,57	2,98	3,27	1,63	0,7	0,52

		Tipo: adattatore USB – rete wireless Wi-Fi Servizio utilizzato: Wi-Fi Marca: Netgear Modello: N150 SAR: < 2 W/Kg Chiavetta con presa USB usata per connessione a reti wireless di tipo Wi-Fi					
		a contatto		a 15 cm		a 50 cm	
Distanza sonda		$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$	$E_{max}(V/m)$	$E_{rms}(V/m)$
In funzione		1,04	0,42	0,20	0,17	< 0,15	< 0,15

VALUTAZIONI CONCLUSIVE

In generale, per quanto riguarda i cellulari, si evidenzia una possibile esposizione significativa sia quando viene stabilita una connessione che, in misura minore, quando è in corso una conversazione. Nel caso particolare delle emissioni degli SmartPhone considerati, si può constatare che sono risultate significativamente inferiori rispetto a quelle dei cellulari verificati.

Se si utilizza un auricolare con tecnologia Bluetooth, vista la bassissima potenza del dispositivo, i valori della sua possibile emissione sono teoricamente molto bassi. I valori del campo misurato confermano tale ipotesi. La presenza del cellulare, a circa 1,5 m dal dispositivo Bluetooth, dovrebbe influenzare poco il risultato della misura.

Con l'utilizzo degli auricolari a filo i valori di campo elettrico risultano ancora più bassi se confrontati con l'uso dell'auricolare Bluetooth, nonostante la distanza dal cellulare sia più vicina (circa 0,7 m) rispetto al caso del Bluetooth (1,5 m).

Per quanto riguarda la presenza dei dispositivi Wi-Fi, è risultato che la possibile esposizione ai CEM è molto bassa e, in generale, si ritiene che sia trascurabile, ad oltre un metro di distanza da tali dispositivi.

Allegato Tecnico

Definizione di Valore efficace

Il valore efficace di una funzione continua, come è il campo elettrico $E(V/m)$, è data dalla "radice quadrata della media del quadrato" sul periodo della funzione stessa

$$x_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt}$$

Tasso di assorbimento specifico - SAR

Il tasso di assorbimento specifico o SAR (acronimo di *Specific Absorption Rate*) è definito come la quantità di energia elettromagnetica che viene assorbita nell'unità di tempo da un elemento di massa unitaria di un sistema biologico, sicché la sua unità di misura è: W/kg (Watt per chilogrammo).

Calcolo teorico

Il SAR può essere calcolato partendo dalla conoscenza dell'intensità del campo elettrico all'interno del tessuto, nel modo seguente:

$$\text{SAR} = \int_{\text{campione}} \frac{\sigma(\mathbf{r}) |\mathbf{E}(\mathbf{r})|^2}{\rho(\mathbf{r})} d\mathbf{r}$$

dove:

σ è la conduttività elettrica del campione

E è il valore efficace (RMS) dell'intensità del campo elettrico

ρ è la densità del campione.

Il SAR viene usato per misurare l'esposizione ai campi elettromagnetici con frequenza portante compresa tra 100kHz e 10GHz.

È comunemente usato per misurare l'energia assorbita dal corpo umano dai telefoni cellulari e durante una sessione di risonanza magnetica tomografica (RMT).

Il valore risente moltissimo della geometria della parte del corpo esposta alle onde elettromagnetiche a radio frequenza (RF) nonché della esatta collocazione e geometria della sorgente RF. Per questo motivo i test devono essere eseguiti con ciascuna sorgente specifica, come un particolare modello di telefono cellulare, e nella esatta posizione in cui esso deve essere usato in condizioni operative.

Per esempio, quando si misura il SAR dovuto ad un telefono cellulare, quest'ultimo viene collocato accanto all'orecchio, cioè ove lo posizionerà il suo utente nelle reali condizioni di utilizzo. Il valore del SAR dunque è misurato

in condizioni di assorbimento massimo da parte del corpo umano (nella fattispecie della testa). Nel caso del telefono cellulare l'orecchio, infatti, è spesso il punto più vicino all'antenna.

I vari governi hanno definito i limiti di sicurezza di esposizione all'energia RF (per la testa od una sua porzione) prodotta dai dispositivi mobili.

- Stati Uniti d'America: la Commissione Federale per le Comunicazioni (FCC) richiede che i telefoni cellulari venduti abbiano un livello di SAR minore o uguale di 1,6 Watt per chilogrammo (W/kg) riferito ad un volume contenente una massa di 1 grammo di tessuto.
- Unione Europea: il Comitato europeo di normazione elettrotecnica (CENELEC) stabilisce i limiti per il SAR nell'area UE, seguendo gli standard dell'IEC.

A queste grandezza è legato il concetto di **dosimetria** delle radiazioni elettromagnetiche. Esso vuole indicare la **misura** o la **stima** dell'energia elettromagnetica assorbita nell'unità di tempo e quindi della potenza assorbita da un soggetto irradiato, considerando anche la distribuzione interna della stessa potenza assorbita.

Non è appropriato assimilare questa grandezza alla dose.

Le quantità normalmente usate sono:

- il SAR locale o specifico, che è l'energia trasferita nell'unità di tempo ad un elemento infinitesimale di volume del corpo, in un punto di esso, diviso per la massa dell'elemento di volume;
- il SAR medio, che è la quantità totale di energia trasferita al corpo nell'unità di tempo, divisa per la massa totale del corpo.

Il SAR dipende da:

- i parametri del campo incidente (intensità, frequenza, polarizzazione e configurazione del soggetto irradiato rispetto al campo - condizioni di campo vicino o lontano);
- le caratteristiche del corpo esposto (dimensioni, geometria interna ed esterna, proprietà dielettriche dei vari spessori di tessuto attraversati);
- gli effetti *di terra* e di riflessione di altri oggetti presenti nel campo di irradiazione, come superfici metalliche vicino al corpo esposto.

Ad un minor valore di assorbimento specifico SAR corrisponde un minor riscaldamento dei tessuti ed un potenziale minor rischio per la salute.

Alcuni cellulari prevedono l'opzione *flight mode*, che permette di usare il telefonino con la sezione radio spenta, senza la possibilità di effettuare o ricevere chiamate. Il dispositivo viene progettato per i viaggi in aereo: si

possono scrivere messaggi, salvarli e inviarli non appena a terra. Utile anche in montagna: quando il segnale ricevuto dal telefono è debole quest'ultimo emette a potenza più elevata per cercarlo, consumando più batteria.

Per i telefoni cellulari, ed altri dispositivi portatili, il limite per il SAR è 2 (W/Kg) mediato rispetto a 10 g di tessuto.

L'ICNIRP per quanto riguarda l'**esposizione della popolazione** ai CEM, ha indicato un limite per l'esposizione dell'intero corpo pari a:

0,08 (W/kg) mediato rispetto all'intero corpo

(vedi <http://www.icnirp.org/documents/emfgdl.pdf>)

Per l'**esposizione professionale** si è fissato un SAR per l'intero corpo pari a:

0,4 (W/kg) mediato rispetto all'intero corpo.

Caratteristiche dei segnali Wi-fi e Bluetooth

Wi-Fi (dettagli tecnici)

Il termine **Wi-Fi**, nel campo delle telecomunicazioni, indica una tecnologia ed i relativi dispositivi che consentono a dei terminali di collegarsi tra loro attraverso una rete locale in maniera wireless (senza fili) – reti del tipo WLAN - basandosi sulle specifiche dello standard IEEE 802.11.

A sua volta la rete locale così ottenuta può essere allacciata alla rete Internet tramite un router ed usufruire di tutti i servizi di connettività offerti da un Internet Provider.

Ad oggi, le implementazioni più stabili e diffuse sono quelle che corrispondono alle versioni "b" e "g" dello standard di riferimento IEEE (quindi 802.11b e 802.11g) le cui caratteristiche principali sono:

- Intervallo di frequenza da 2400 a 2483,5 MHz, diviso in 14 canali da 22 MHz ciascuno parzialmente sovrapposti; sono effettivamente utilizzati due gruppi di tre canali non sovrapposti (1, 6, 11 e 2, 7, 12)
- Codifica / Modulazione / Velocità di trasmissione
 - 802.11b: DSSS-CCK (FHSS abband.) / QPSK / fino a 11 Mbps
 - 802.11g: 64 ch. OFDM / BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM / fino a 54 Mbps
- **EIRP massima 100 mW** fissata da una **norma europea**; vengono spesso utilizzati valori inferiori, per esempio 30 mW (specie nel terminale mobile, per risparmiare la batteria)
- Antenne a guadagno molto basso (poco più che unitario).

Tanto gli algoritmi di accesso multiplo quanto il duplex sono a divisione di tempo (TDMA e TDD) in quanto mutuati dalla rete ethernet in cavo.

Ogni access point utilizza un singolo canale (largo 22 MHz), che viene condiviso in TDMA-TDD (CSMA/CA) da tutti gli utenti.

La trasmissione avviene a pacchetti con conferma di ricezione.

La potenza media (su 6 minuti) dipende dalle condizioni di servizio ed è influenzata dal **duty cycle**, a sua volta determinato da vari fattori:

- La bidirezionalità della trasmissione (attesa dell'OK di ricezione)
- La necessità di servire più terminali mobili (diminuisce il duty cycle di ogni singolo terminale mobile)
- Il duty cycle aumenta col volume di dati da trasferire, ma raramente ci si avvicina al 100%
- Il duty cycle dipende dalla velocità della connessione (connessioni più veloci richiedono tempi di trasmissione inferiori)
- Il duty cycle dipende anche dalla qualità del collegamento, a causa delle ritrasmissioni
- La presenza di più access point sullo stesso canale determina collisioni che fanno diminuire il duty cycle di un singolo access point
- La capacità di traffico della rete collegata influenza il duty cycle
- Il duty cycle minimo dell'access point è fissato dai segnali di servizio (beacon signals) ed è dell'ordine di 0,01%.

Bluetooth

I collegamenti via radio con tecnologia Bluetooth servono a trasmettere voci e dati su brevi distanze mediante radiazioni ad alta frequenza e permette di collegare senza fili vari apparecchi, ad esempio un cellulare con il vivavoce oppure un laptop con la stampante o il mouse.

Gli apparecchi con tecnologia Bluetooth sono suddivisi in tre classi di potenza di trasmissione (classe 1, 2 e 3). Le radiazioni degli apparecchi Bluetooth delle classi di potenza 2 e 3 sono deboli e limitate al raggio locale.

La maggior parte delle applicazioni Bluetooth utilizzate vicino al corpo rientra in queste classi di potenza.

I trasmettitori Bluetooth della classe 1, la più forte, possono provocare carichi di radiazioni simili a quelle dei cellulari, se sono utilizzati nelle immediate vicinanze del corpo. I carichi di radiazioni generati dagli apparecchi Bluetooth di tutte le classi di potenza sono inferiori ai valori limite raccomandati a livello internazionale.

Le applicazioni Bluetooth delle classi di potenza 2 e 3 non richiedono misure precauzionali.

Frequenza di trasmissione: 2,4 - 2,4835 GHz

Lunghezza d'onda: circa 12,5 cm.

Questa banda (ISM) è libera e non è soggetta a licenza a livello mondiale.

Potenza di trasmissione.

La classe di potenza più debole (3) è quella nettamente più diffusa (tabella 1). In generale, la potenza di trasmissione effettiva è inferiore alla potenza massima: la trasmissione avviene infatti a un'intensità appena sufficiente da consentire all'altro apparecchio di ricevere il segnale. L'apparecchio ricevente può misurare la potenza di trasmissione e chiedere al trasmettitore di aumentarla o ridurla, se possibile. Questa regolazione della potenza permette di risparmiare la batteria e di ridurre i disturbi su altre reti Bluetooth.

Classe di potenza	Potenza di trasmissione di picco (mW)	Potenza di trasmissione massima (mW)	Potenza di trasmissione minima (mW)	Portata (m)
1	100	76	1	100
2	2,5	1,9	0,25	40
3	1	0,8		10

Tabella - Classi di potenza di trasmettitori Bluetooth

La potenza di trasmissione e di conseguenza anche la possibile esposizioni ai CEM non sono quindi costanti. La regolazione automatica della potenza è obbligatoria per la classe di potenza 1 e facoltativa per le classi 2 e 3.