

## Impatto elettromagnetico delle Stazioni Radio Base: analisi dei dati di potenza oraria

S. Barba<sup>1</sup>, N. Poles<sup>1</sup>, A. Bampo<sup>1</sup>, M. Benes<sup>1</sup>, M. Marzona<sup>1</sup>, A. Merlino<sup>1</sup>, C. Montefusco<sup>1</sup>, M. Moretuzzo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ARPA-FVG Via Cairoli, 14 Palmanova (UD)

salvatore.barba@arpa.fvg.it

### Abstract

*Lo sviluppo tecnologico nel campo della telefonia mobile e la conseguente necessità di adattamento e potenziamento della rete hanno portato all'aggiornamento delle modalità di valutazione del rispetto dei limiti indicati dal DPCM 08.07.2003, sia a livello preventivo sia per quanto attiene alle modalità di misura. Il DL 179/2012 e s.m.i. hanno modificato in modo sostanziale il precedente decreto, stabilendo che i livelli di campo da confrontare con i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità debbano intendersi come media dei valori di campo elettrico nell'arco delle 24 ore, consentendo così di tenere conto della variabilità della potenza di trasmissione degli impianti. Ciò ha portato all'introduzione dei cosiddetti "fattori di riduzione  $\alpha_{24h}$ ". Secondo quanto previsto dal DM 02.12.2014, tali valori devono essere giustificati sulla base dei dati di potenza oraria pregressi dell'impianto in oggetto, forniti in un apposito database predisposto dal Gestore. La disponibilità di tali dati "reali" permette da un lato di verificare quanto autorizzato e dall'altro di stimare il reale impatto elettromagnetico.*

*Nell'articolo sono presentati i risultati ottenuti dall'analisi statistica delle potenze orarie. In particolare vengono confrontate le distribuzioni di potenza per le diverse tecnologie attualmente implementate (GSM, UMTS e LTE), evidenziandone le differenze in termini di impatto elettromagnetico. Inoltre, poiché l'apparato normativo ad oggi fa riferimento a diversi intervalli temporali di misura e valutazione, si analizzano dettagliatamente i dati di potenza di una cella considerata maggiormente rappresentativa. Viene inoltre fornita una stima dell'impatto elettromagnetico di tale cella in funzione del tempo, in modo da valutare le implicazioni dell'uso del fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  in termini di potenziale superamento dei 6 V/m.*

### 1. INTRODUZIONE

Il costante sviluppo delle tecnologie impiegate nella telefonia mobile ha portato alla necessità di aggiornare la normativa riguardante l'esposizione ai campi elettromagnetici, in particolare per tenere conto dell'alta variabilità temporale delle emissioni prodotte dagli impianti SRB. Se da un lato ciò permette una più realistica valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici prodotti da questa tipologia di sorgenti, in particolare nell'arco delle 24 ore, dall'altro consente di gestire in modo più efficiente lo spazio radioelettrico disponibile. Tuttavia ciò ha portato anche ad una maggiore complessità delle modalità di misurazione e calcolo dei limiti normativi fissati dal DPCM 08.07.2003. In quanto segue verranno brevemente richiamati i concetti riguardanti i riferimenti temporali presenti nella normativa.

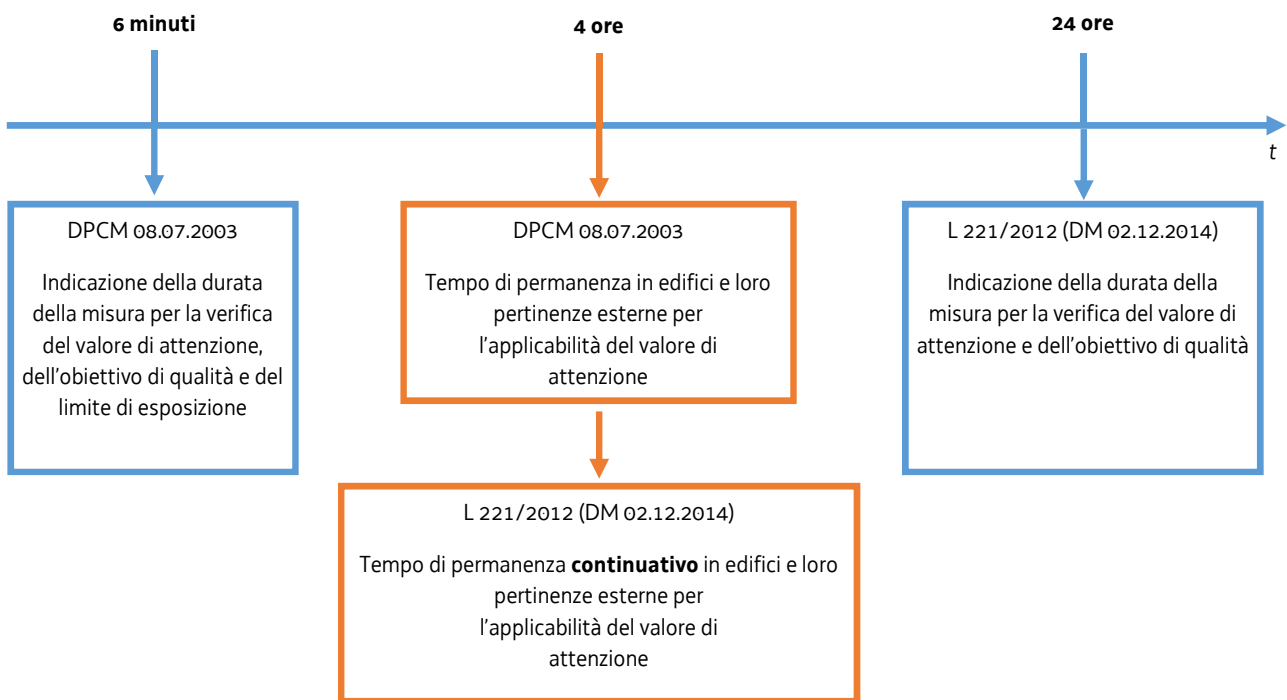
Gli art. 3 e 4 del DPCM 08.07.2003 stabiliscono che i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità di cui alle tabelle 1, 2 e 3 dell'allegato B devono essere valutati come media dei valori su qualsiasi intervallo di 6 minuti. Inoltre, il suddetto DPCM afferma che il valore di attenzione va applicato "a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine eventualmente connessi con le esposizioni ai campi .... all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere, e loro pertinenze esterne ...".

L'art. 14 comma 8 del DL n. 179/2012 (come convertito dalla L. 221/2012) modifica in modo sostanziale il precedente decreto, stabilendo che i livelli di campo da confrontare con i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità, intesi come valori efficaci, debbano intendersi come media dei valori nell'arco delle 24 ore. Afferma inoltre che i valori di attenzione vanno applicati "all'interno di edifici utilizzati come ambienti abitativi con permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere", precisando che la durata della permanenza nell'ambiente ritenuto abitativo deve

essere continuativa. Per quanto riguarda il calcolo previsionale, il DL 179/2012 stabilisce che si può tener conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore, tramite opportuni fattori di riduzione della potenza  $\alpha_{24h}$ , meglio definiti dal DM 02.12.2014.

Quindi la normativa attuale fornisce dei riferimenti temporali sia per la durata delle misure, che differiscono a seconda del limite applicabile, sia per la determinazione della destinazione d'uso di un ambiente (criteri localizzativi). Quanto detto è schematicamente illustrato nel seguente prospetto (Fig. 1):

Figura 1: Riferimenti temporali contenuti nella normativa vigente



Per quanto concerne la valutazione preventiva e in particolare la verifica del rispetto del valore di attenzione, il DM 02.12.2014 fissa le modalità con cui l'operatore fornisce il fattore di riduzione della potenza  $\alpha_{24h}$  al fine di tenere conto della variazione di potenza dell'impianto nell'arco delle 24 ore. In particolare impone il mantenimento dei dati di potenza oraria in appositi database, predisposti dai Gestori, che consentano di giustificare e monitorare nel tempo il fattore di riduzione scelto in fase preventiva.

Dall'entrata in vigore del DM 02.12.2014 ad oggi, il numero di celle per le quali è stato richiesto l'uso del fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  è cresciuto sensibilmente. Ciò ha comportato la disponibilità dei dati di potenza oraria di un numero statisticamente significativo di celle, accrescendo il numero di informazioni tecniche a disposizione delle ARPA/APPA permettendo una più approfondita valutazione dell'impatto elettromagnetico derivato dagli impianti SRB.

Nel seguito verranno analizzati i dati di potenza oraria delle celle disponibili cercando di evidenziare le differenze di impatto elettromagnetico tra le tecnologie attualmente implementate. Verrà poi discusso, per un caso ritenuto rappresentativo, come le variazioni di potenza nel tempo si confrontino con i riferimenti temporali presenti nella normativa vigente.

## 2. IL METODO DI ANALISI DEI DATI

Il confronto tra i dati di celle diverse, seppure qualitativo, può essere effettuato solo se le distribuzioni di potenza giornaliera sono “omogenee” nel periodo di riferimento (convenzionalmente un anno, secondo quanto previsto dalla normativa vigente). In questo contesto il termine “omogeneo” si riferisce ad un set di dati relativi ad un periodo temporale in cui la presenza dell’utenza si possa considerare costante. I set di dati analizzati hanno mostrato essenzialmente due tipi di andamento:

- Per le celle presenti nelle zone centrali delle principali città (ad esempio Trieste), dove l’utenza rimane pressoché invariata nei vari mesi dell’anno, la distribuzione di potenza è omogenea, quindi può essere analizzata integralmente;
- Per le celle presenti in città prevalentemente marittime/turistiche (ad esempio Lignano Sabbiadoro (UD)) la distribuzione di potenza dipende fortemente dal periodo dell’anno, mostrando un aumento significativo di potenza nel periodo estivo. In tal caso è necessario considerare due diversi gruppi di dati che presentino ognuno una distribuzione omogenea e quindi analizzarli separatamente. I due gruppi riguardano il periodo invernale e quello estivo.

Per ciascun set di dati omogeneo così individuato, si procede ad una ulteriore suddivisione, individuando due sotto-gruppi:

- Diurno, che comprende le ore dalle 08 alle 22;
- Notturno, che comprende le ore dalle 23 alle 07.

Assumendo che durante il periodo notturno il traffico sia molto limitato, questa distinzione permette di evidenziare le differenze di potenza emessa e quindi di valutare l’impatto elettromagnetico delle SRB in condizioni di presenza (periodo diurno) e di assenza (periodo notturno) di traffico.

A titolo di esempio delle variazioni di potenza nei diversi mesi dell’anno, si riportano due casi analizzati, entrambi relativi a celle operanti nella banda 2100 MHz con tecnologia UTMS (3G).

Figura 2.a: Andamento temporale della potenza media giornaliera normalizzata alla potenza autorizzata (cella di Trieste)

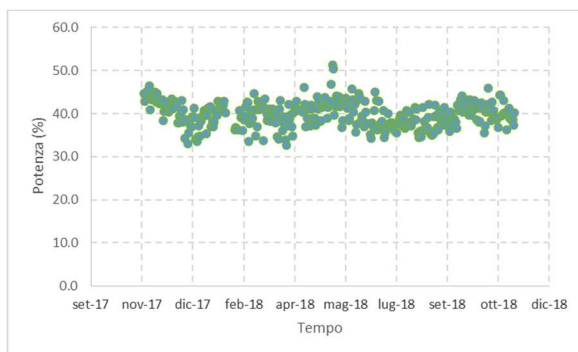
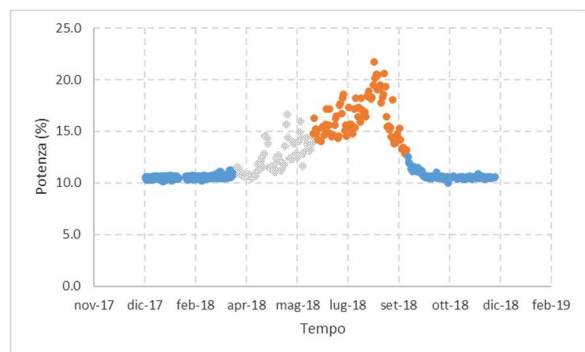


Figura 2.b: Andamento temporale della potenza media giornaliera normalizzata alla potenza autorizzata (cella di Lignano Sabbiadoro)



Com’è possibile notare in Fig. 2.a, relativa ad una cella di un sito a Trieste, la distribuzione delle potenze medie giornaliere risulta omogenea nell’anno, pertanto può essere analizzata nel suo complesso. Viceversa, come visibile in Fig. 2.b, relativamente ad una cella di un sito a Lignano

Sabbiadoro (zona marittima/turistica), la distribuzione delle potenze medie giornaliere presenta un andamento costante durante il periodo invernale (punti in blu), mentre cresce significativamente durante il periodo estivo (punti in rosso). I punti in grigio, relativi al periodo compreso indicativamente tra aprile e giugno, sono stati scartati perché riguardano una fase di transizione in cui si assiste ad un progressivo aumento dell'utenza e quindi del traffico, pertanto non omogenei.

Una volta individuato il set di dati omogeneo, è stata ricavata la distribuzione delle potenze orarie. L'analisi è stata ulteriormente affinata valutando anche l'andamento delle potenze orarie medie, massime e minime (calcolate nel periodo di riferimento, ovvero un anno) per ciascuna ora del giorno.

### 3. LE TECNOLOGIE GSM, UMTS E LTE

L'analisi dei dati di potenza oraria, eseguita sul set di dati disponibile, ha permesso di osservare delle caratteristiche tipiche per ogni tecnologia. Per poterle discutere vengono riportati in quanto segue i dati di sintesi più indicativi tra quelli disponibili per ogni tecnologia analizzata.

#### GSM (2G)

Figura 3.a: distribuzione della potenza oraria normalizzata alla potenza autorizzata con indicazione dei contributi delle ore diurne e notturne. Le linee tratteggiate verticali indicano il fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  misurato (giallo) e autorizzato (arancione)

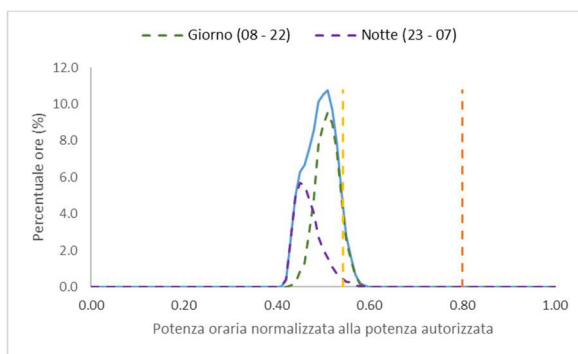
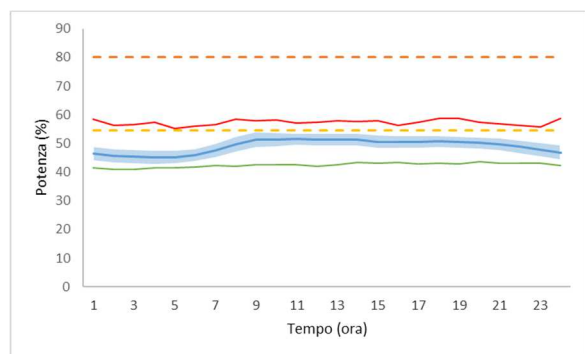


Figura 3.b: andamento orario della potenza minima (curva verde), media (curva blu) e massima (curva rossa). Le linee tratteggiate orizzontali indicano il fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  misurato (giallo) e autorizzato (arancione)



Come è possibile osservare in Fig. 3.a, le distribuzioni di potenza oraria relative ai periodi diurno e notturno sono rappresentate da due picchi centrati su valori medi molto vicini tra loro, aventi una differenza pari a circa il 7%. Tale differenza può essere ulteriormente apprezzata in Fig. 3.b, in cui l'andamento della potenza media oraria (curva blu) presenta delle variazioni molto contenute. Infatti lo scarto tipo rappresentato dalla fascia blu (scarto quadratico medio con fattore di copertura pari a 1) è pari a circa il 2.5% e si mantiene praticamente costante nelle 24 ore. La differenza tra i valori di massimo (curva rossa) e minimo (curva verde) è contenuta entro il 20 % circa.

Infine è possibile osservare che il valore minimo di potenza è pari a circa il 40% della potenza massima. Ciò implica che, anche in condizioni di traffico limitato o assente, la cella emette una potenza considerevole.

## UMTS (3G)

Figura 4.a: distribuzione della potenza oraria misurata normalizzata alla potenza autorizzata con indicazione dei contributi delle ore diurne e notturne

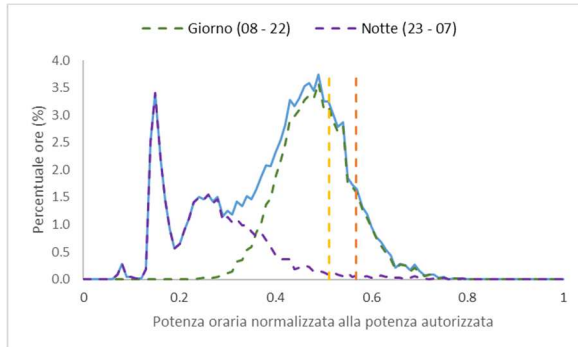
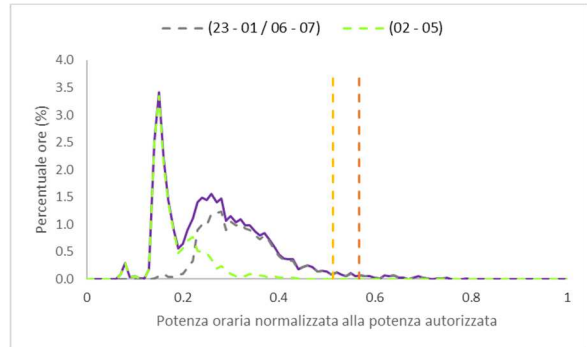
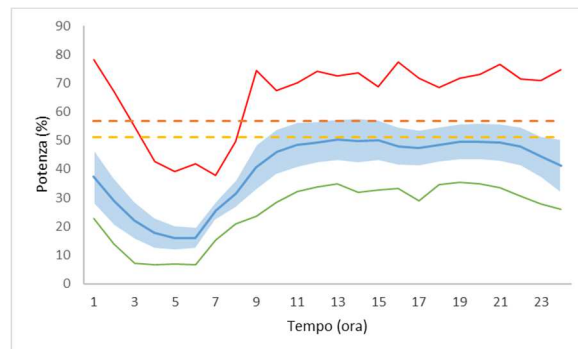


Figura 4.b: dettaglio della distribuzione della potenza oraria misurata normalizzata alla potenza autorizzata delle ore notturne



Le linee tratteggiate verticali indicano il fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  misurato (giallo) e autorizzato (arancione)

Figura 4.c: andamento orario della potenza minima (curva verde), media (curva blu) e massima (curva rossa). Le linee tratteggiate orizzontali indicano il fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  misurato (giallo) e autorizzato (arancione)



Come è possibile osservare in Fig. 4.a, le distribuzioni di potenza oraria relative ai periodi diurno e notturno consistono in due curve distinguibili seppure parzialmente sovrapposte. Infatti la lunga coda della distribuzione di potenza relativa al periodo notturno è dovuta principalmente alle variazioni di traffico nei periodi di tarda serata (dalle 23 alle 01 circa) e di prima mattinata (dalle 06 alle 07 circa), come mostrato in dettaglio in Fig. 4.b. Ciò è ancora più evidente osservando l'andamento della potenza media oraria (curva blu) in Fig. 4.c, in cui è possibile notare un minimo in corrispondenza del periodo della giornata che comprende le ore dalle 02 alle 05 circa. Lo scarto tipo rappresentato dalla fascia blu (scarto quadratico medio con fattore di copertura pari a 1) rende conto della variabilità della potenza, maggiore nelle ore diurne.

Inoltre, come è possibile osservare in Fig. 4.b, durante il periodo notturno (dalle 02 alle 05), nell'ipotesi che il traffico sia molto limitato o assente, la potenza media emessa, dovuta quasi esclusivamente ai soli canali di controllo, è pari a circa il 15 %.

Per il periodo diurno, invece, la distribuzione di potenza è simmetrica e centrata attorno al 50 % della potenza autorizzata.

Si può osservare che la differenza percentuale tra la cella in condizioni di traffico (periodo diurno) e di assenza di traffico (periodo notturno dalle 02 alle 05) è circa il 35 %, a conferma dell'ipotesi di traffico limitato nelle ore notturne.

## LTE (4G)

Figura 5.a: distribuzione della potenza oraria misurata normalizzata alla potenza autorizzata con indicazione dei contributi delle ore diurne e notturne. Le linee tratteggiate verticali indicano il fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  misurato (giallo) e autorizzato (arancione)

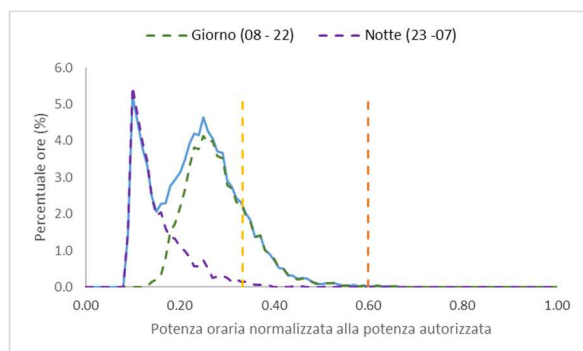
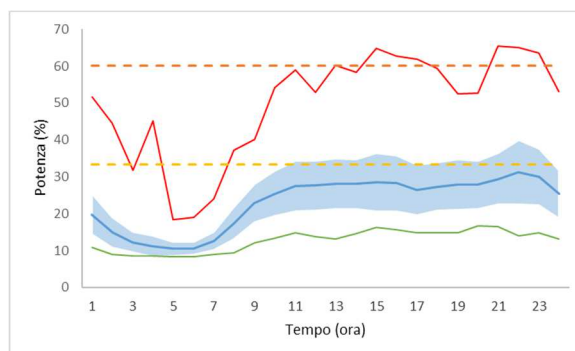


Figura 5.b: andamento orario della potenza minima (curva verde), media (curva blu) e massima (curva rossa). Le linee tratteggiate orizzontali indicano il fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  misurato (giallo) e autorizzato (arancione)



Come è possibile osservare in Fig. 5.a, le distribuzioni di potenza oraria relative ai periodi diurno e notturno consistono in due curve distinguibili seppure parzialmente sovrapposte. Per il periodo diurno si osserva una distribuzione abbastanza simmetrica con una coda a potenze più alte. Inoltre lo scarto tipo rappresentato dalla fascia blu (scarto quadratico medio con fattore di copertura pari a 1) nel periodo diurno, pari a circa 15 %, risulta significativamente maggiore rispetto al corrispondente del periodo notturno, pari a circa 5 %. Ciò rende conto delle variazioni di potenza in funzione del traffico utente.

Per il periodo notturno, nell'ipotesi di traffico limitato o assente, la potenza impiegata è riconducibile ai soli canali di traffico. La coda a potenze più alte nel periodo notturno è presumibilmente dovuta ad un uso sporadico dell'utenza, visto che il dispositivo mobile, una volta connesso alla rete 4G, rappresenta un terminale sempre connesso alla rete.

Infine, in Fig. 5.b si può notare, a differenza delle precedenti tecnologie, come l'andamento della potenza media oraria (curva blu) risenta poco delle fluttuazioni dei valori massimi (curva rossa).

## 4. IL CONFRONTO TRA LE TECNOLOGIE ANALIZZATE

È importante precisare che i risultati ottenuti fotografano lo stato attuale di utilizzo delle diverse tecnologie di telefonia mobile. Ci si aspetta che tali risultati cambino anche drasticamente in un prossimo futuro, ad esempio perché verrà introdotto massivamente il 5G e dismesso il 2G, o per l'adeguamento dell'utenza alle tecnologie più recenti.

Estendendo l'analisi precedente a tutte le celle di cui sono disponibili i dati di potenza oraria è possibile trarre alcune osservazioni riguardo il funzionamento intrinseco delle tecnologie precedentemente discusse e alcune conclusioni di carattere più generale.

In particolare, per la tecnologia GSM (2G) si osserva che la potenza oraria ha variazioni contenute. Ciò può essere dovuto ad uno scarso utilizzo della cella, considerando anche che il progressivo adeguamento tecnologico dell'utenza fa sì che la tecnologia GSM tenda ad essere sempre meno utilizzata.

Inoltre il valore di potenza minimo relativamente elevato è strettamente legato ai canali di controllo e quindi al numero di portanti attive. Ad esempio, per la tecnologia GSM, il canale di controllo BCCH, necessario a segnalare la presenza della SRB ai dispositivi mobili, viene emesso sempre alla massima potenza stabilita [3]. Si ricorda che per il GSM il controllo di potenza viene gestito in base al livello di rapporto segnale-rumore (quest'ultimo dovuto anche alle interferenze), pattuito tra SRB e dispositivo mobile, che deve superare una certa soglia perché la comunicazione possa avere luogo [6][7][8].

Per la tecnologia UMTS (3G) si osserva una potenza minima sicuramente inferiore rispetto a quella del GSM, pari a circa il 15 %. Ciò è compatibile con il fatto che il canale di controllo CPICH, usato per trasmettere il codice di scrambling della cella [4], viene emesso sempre ad una percentuale fissa della potenza stabilita (solitamente compresa tra 8 % e 10 % della potenza massima), mentre gli altri canali di controllo vengono emessi a frazioni di potenza di quest'ultima [3].

Per la tecnologia LTE (4G) la potenza minima è inferiore a quella dell'UMTS e quindi del GSM, segno di una migliore gestione dei canali di controllo. La coda alle potenze più alte relativa al periodo diurno è indice del maggiore fattore di cresta (PAPR), dovuto alla natura multi portante del segnale [3] [5] nonché all'utilizzo da parte dell'utenza della tecnologia stessa.

Si ricorda che per l'UMTS e LTE il controllo di potenza si basa sul raggiungimento di un certo livello di QoS (Quality of Service), quindi è dinamico [8]. In particolare per LTE il QoS può essere adattato a seconda del tipo di applicazione (voce, video, internet) che l'utente utilizza.

Infine è possibile trarre due importanti conclusioni di carattere generale, ricavate in condizioni di funzionamento **reale** degli impianti (posizionati in centro città per cui è possibile supporre che l'utenza sia abbastanza alta), e dall'analisi delle potenze **misurate**:

- In condizioni di assenza di traffico, la tecnologia più recente è in media meno impattante. In condizioni di traffico non è possibile trarre una conclusione altrettanto netta perché la forma della distribuzione oraria e la percentuale di potenza utilizzata dalla cella potrebbero cambiare. Tuttavia si fa presente che le celle analizzate si trovano in centro città e come tali sono presumibilmente molto utilizzate;
- I valori di potenza oraria normalizzati alla potenza autorizzata possono superare il valore del fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  autorizzato (come esempio si veda la Fig. 4.a). Inoltre i valori di potenza massima (curve rosse) possono superare la potenza autorizzata corretta per il fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  (come esempio si vedano le Fig. 4.c e 5.b).

Se il primo risultato è la dimostrazione del progresso della tecnologia nell'ambito delle telecomunicazioni (maggiore efficienza con un minore impatto elettromagnetico), il secondo solleva un potenziale problema riguardo il rispetto dei 6 V/m per un periodo di tempo inferiore alle 24 ore. In quanto segue, si cercherà di analizzare dettagliatamente il secondo punto, in riferimento, a titolo esemplificativo, alla sola tecnologia UMTS.

## 5. IL CONFRONTO CON I RIFERIMENTI TEMPORALI PRESENTI NELLA NORMATIVA VIGENTE

L'analisi dei dati di potenza della cella con tecnologia UMTS e operante nella banda 2100 MHz descritta in precedenza (Fig. 4) mostra che esiste una percentuale di ore in un anno per le quali la potenza oraria normalizzata alla potenza autorizzata supera il valore del fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  autorizzato, come specificato meglio in Fig. 6.a. Sebbene tale confronto non coincida con quanto previsto dalla normativa, può essere utile per comprendere il potenziale impatto elettromagnetico per intervalli di tempo inferiori alle 24 ore, ovvero 6 minuti e 4 ore.

In quanto segue verranno illustrati i risultati ottenuti per la sola cella in esame. Tali risultati saranno poi confrontati con i riferimenti temporali presenti nella normativa.

Figura 6.a: distribuzione della potenza oraria misurata normalizzata alla potenza autorizzata. Le linee tratteggiate verticali indicano il fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  misurato (giallo) e autorizzato (arancione)

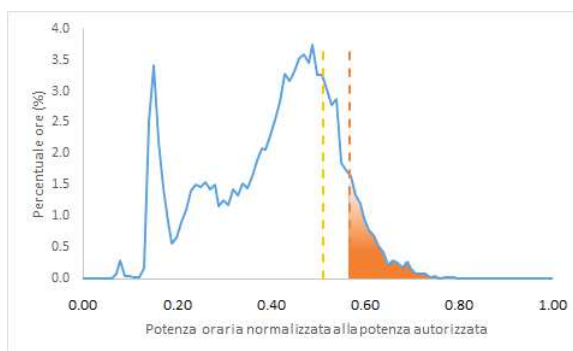


Figura 6.b: istogramma, per numero di ore, del numero di giorni in cui la potenza oraria ( $P_h$ ) normalizzata alla potenza autorizzata ( $P_{aut}$ ) supera il valore  $\alpha_{24h}$  autorizzato

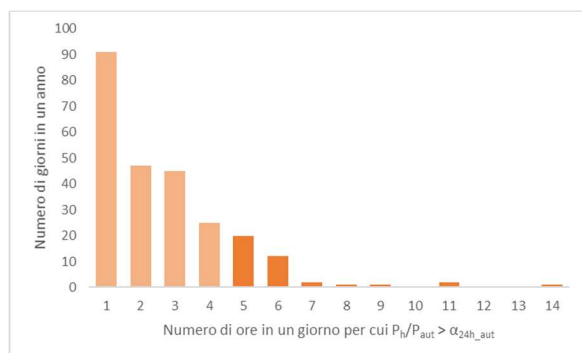
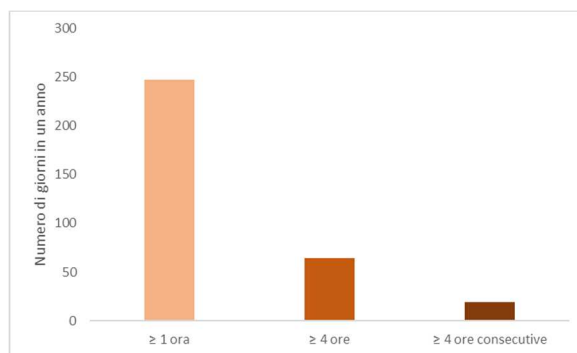


Figura 6.c: numero di giorni in un anno in cui la potenza oraria ( $P_h$ ) normalizzata alla potenza autorizzata ( $P_{aut}$ ) supera il valore  $\alpha_{24h}$  autorizzato



In Fig. 6.b viene riportato, in funzione del numero di ore in un giorno, il numero di giorni in cui la potenza oraria normalizzata alla potenza autorizzata supera il valore del fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  autorizzato. In particolare i giorni dell'anno interessati sono circa 247 (67.6 % di un anno). Per 64 giorni (17.5 % di un anno) la condizione precedente è soddisfatta per più di 4 ore al giorno e, in 19 giorni di questi (5.2 % di un anno) per più di 4 ore consecutive (da 4 a 9 ore), come meglio indicato in Fig. 6.c.



## 6. CONCLUSIONI

Dall'entrata in vigore del DM 02.12.2014 ad oggi, il numero di celle per le quali è stato richiesto l'uso del fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  è cresciuto sensibilmente. La conseguente disponibilità dei dati di potenza oraria ha permesso una più approfondita valutazione dell'impatto elettromagnetico derivato dagli impianti SRB, ricavata in condizioni di funzionamento reale e dall'analisi di potenze misurate.

Dall'analisi effettuata, descritta in dettaglio nei paragrafi precedenti emergono due risultati: le tecnologie più recenti risultano meno impattanti e, per quanto riguarda il rispetto dei valori di legge, in particolare del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità, risulta che in condizioni di funzionamento reale, i valori di potenza oraria normalizzati alla potenza autorizzata possono superare il valore del fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  autorizzato (si veda la Fig. 4).

Poiché la normativa attuale fornisce dei riferimenti temporali sia per la durata delle misure, che differiscono a seconda del limite applicabile, sia per la determinazione della destinazione d'uso di un ambiente, ovvero stabilisce dei criteri temporali per la permanenza (si veda la Fig. 1), si è cercato di valutare il possibile impatto ambientale di un impianto SRB, in termini di potenza emessa, in funzione del tempo. Dall'analisi effettuata si è visto che, per la cella in esame, la potenza oraria normalizzata alla potenza autorizzata supera il valore del fattore di riduzione  $\alpha_{24h}$  autorizzato anche per più di 4 ore consecutive (si veda la Fig. 6). Ciò nonostante la potenza media valutata nelle 24 ore risulta inferiore al valore di attenzione, quindi non costituisce un superamento del limite di legge.

L'analisi precedente rappresenta la dimostrazione di un concetto generale: maggiore è l'intervallo temporale in cui le misure vengono mediate, meno cautelativa sarà la valutazione. Quindi effettuare le misure come media nelle 24 ore è sicuramente meno cautelativo per la valutazione dell'impatto elettromagnetico. Ciò implica che il principio di cautela su cui si basano i concetti di valore di attenzione e obiettivo di qualità, espressi dalla L. 36/2001 e dal DPCM 08.07.2003, possa venir meno.

Infine, l'analisi e il confronto con i riferimenti temporali presenti nella normativa sopra descritti potranno essere estesi a tutte le celle per le quali saranno disponibili in futuro i dati di potenza oraria, in modo da quantificare l'entità del potenziale problema.

## Bibliografia

- [1] DPCM 08.07.2003 – *“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”*
- [2] DM 02.12.2014 – *“Linee guida, relative alla definizione delle modalità con cui gli operatori forniscono all’ISPRA e alle ARPA/APPA i dati di potenza degli impianti e alla definizione dei fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tenere conto della variabilità temporale dell’emissione degli impianti nell’arco delle 24 ore”*
- [3] Norma CEI 211-7 App. E – *“Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio base per sistemi di comunicazione mobile (2G, 3G, 4G)”*
- [4] G. Columpsi, M. Leonardi, A. Ricci – *“UMTS. Tecniche e architetture per le reti di comunicazioni mobili multimediali”* – 2005 – Hoepli
- [5] Application Report *“AN-1434 Crest Factor Invariant RF Power Detector”* – 2013 – Texas Instruments
- [6] F. Hägglund – *“Improved Power Control for GSM/EDGE”* – 2005 – Luleå University of Technology
- [7] GSM Technical Specification – *“Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception (GSM 05.05)”* – 1996 – ETSI
- [8] M. Chiang, P. Hande, T. Lan, C. W. Tan – *“Power Control in Wireless Cellular Networks”* – 2008 – Now Publishers Inc.