



arpav

Misure del campo elettrico generato da stazioni radiobase: confronto tra diversi metodi di valutazione indicati dalla norma CEI 211-7/E

Sepulcri D.(1), Scola M. (1), Zulianello M.(1), Andolfato F.(2), Canal L.(2), Cecchinato M.(2), Guaiti F.(3), Lorenzetto G.(3), Belleri L.(3)

- (1) ARPAV – Dipartimento Provinciale di Venezia, Via Lissa 6, 30171 Venezia Mestre, daniele.sepulcri@arpa.veneto.it
(2) ARPAV – Dipartimento Provinciale di Treviso, Via Santa Barbara 5/a, 31100 Treviso, franco.andolfato@arpa.veneto.it
(3) ARPAV – Dipartimento Provinciale di Vicenza, Via Zamenhof 353, 36100 Vicenza, laura.belleri@arpa.veneto.it

INTRODUZIONE

- Recentemente sono cambiate le modalità di controllo del rispetto dei limiti e dei valori di attenzione del campo elettromagnetico a radiofrequenza di cui alla L.36/2001. In particolare, la necessità di verificare il rispetto del valore di attenzione come media su 24 ore ha reso necessario definire nuove tecniche di misura e di estrapolazione dei dati, descritte nella norma CEI 211/7/E, che richiedono il coinvolgimento dei gestori per l'acquisizione dei dati relativi al funzionamento degli impianti necessari per le estrapolazioni.
- Allo scopo di verificare l'affidabilità e la riproducibilità dell'intero processo di valutazione, sono state eseguite alcune prove di confronto utilizzando, nella medesima situazione operativa, metodi di misura alternativi.
- Dall'autunno scorso ARPAV dispone, per le misure di campo elettrico a radiofrequenza:
 - in aggiunta alle centraline di monitoraggio a banda larga, di centraline selettive per il monitoraggio del campo elettrico con la possibilità di preimpostare fino a 20 bande di frequenza;
 - per le misura in banda stretta, di un analizzatore di spettro vettoriale anche per le componenti LTE del campo elettrico.

METODI DI MISURA (NORMA CEI 211/7/E)

La norma CEI indica le diverse metodologie di misura del campo elettrico a radiofrequenza generato da stazioni radio base per telefonia cellulare, distinguendo i vari metodi secondo il tipo di sistema: 2G (GSM), 3G (UMTS) o 4G (LTE).

La misura può avere due finalità; la prima è:

1 - Ottenere un'intensità di campo elettrico da confrontare direttamente con il limite di legge, per la verifica di un eventuale superamento.

In questo caso può essere sufficiente svolgere una misura/monitoraggio in banda larga: mediata su un intervallo di 6 minuti per la verifica del limite di esposizione o mediata su un intervallo di 24 ore per la verifica del valore di attenzione/obiettivo di qualità.

Tuttavia con la sola misura/monitoraggio in banda larga:

- in presenza di più impianti per telecomunicazioni non sarà possibile attribuire la responsabilità di un eventuale superamento (si dovrà poi utilizzare un analizzatore di spettro);
- è più difficile accorgersi, identificare e/o spiegare eventuali "anomalie" nel funzionamento degli impianti rispetto ai dati tecnici autorizzati.

A parziale superamento di tali svantaggi, vengono in aiuto le centraline di monitoraggio selettive che possono monitorare in continuo singole bande di frequenza per tempi prolungati (pur con limitazioni rispetto ad un analizzatore di spettro tradizionale).

METODI DI MISURA (NORMA CEI 211/7/E)

La seconda finalità della misura è:

2 - Stimare un valore cautelativo, riferito alle massime potenzialità della stazione radio base, per escludere in qualsiasi evenienza il superamento dei limiti (cosa possibile solamente tramite estrapolazioni dei valori misurati).

Nel caso dei sistemi 3G e 4G, qualora ci si prefigga di compiere delle estrapolazioni dei valori misurati, finalizzate al confronto con i limiti di legge per la verifica dell'effettivo superamento, è necessario l'utilizzo di un analizzatore vettoriale in grado di decodificare i segnali per separarne determinate componenti logiche. In ogni caso serve conoscere parametri che devono essere forniti dai gestori degli impianti di telefonia: la potenza massima al connettore d'antenna P_{max} e il fattore α_{24h} che descrive il rapporto tra la potenza media dell'impianto sulle 24 ore e la potenza massima; oltre a questi dati sono necessari, per i sistemi 3G, il rapporto ρ_{CA} tra la potenza del CPICH e quella massima trasmissibile e/o (a patto di disporre di una misura in banda stretta con contributo nullo o trascurabile dei canali di traffico) la percentuale ρ_{SA} di potenza dedicata a tutti i canali di controllo sempre presenti, rispetto alla massima potenza; per i sistemi 4G, il *boosting factor* BF, ovvero il fattore di incremento della potenza del segnale RS.

Non sempre i parametri, forniti dai gestori a posteriori, sono disponibili nelle date di interesse e/o sono congruenti.

DESCRIZIONE DEI SITI E DELLE SORGENTI UMTS

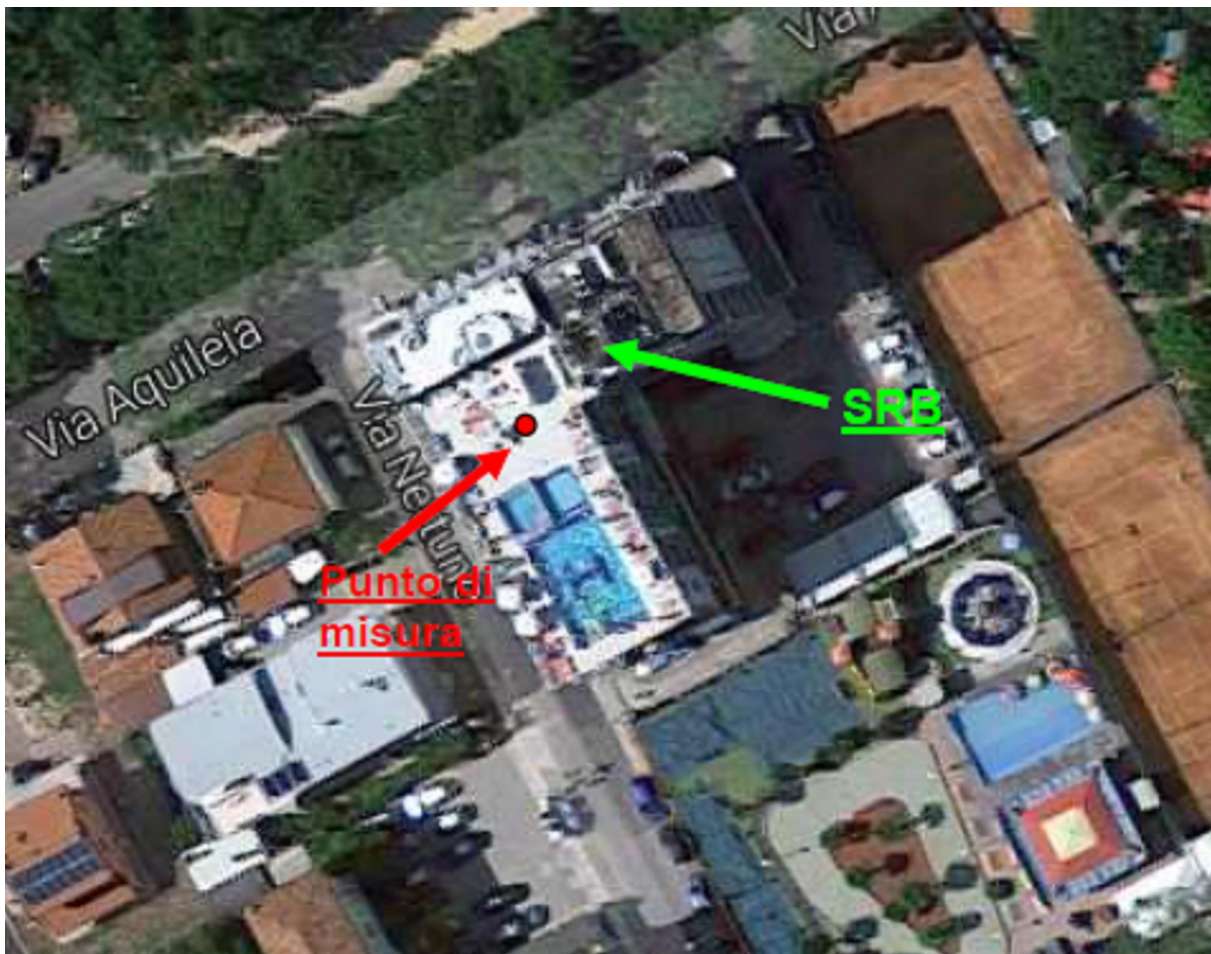
Per l'esecuzione delle prove sono stati individuati tre siti con presenza di impianti telefonici con varie tecnologie. In tutti i siti, per le misura in banda stretta, è stato utilizzato un sistema costituito da antenna biconica abbinata all'analizzatore di spettro dotato di funzionalità di decodifica di segnali sia UMTS sia LTE.

Il primo sito è ubicato nel comune di Jesolo in provincia di Venezia, sulla terrazza sommitale di un edificio adibito ad Hotel dove sono installati impianti per telefonia mobile di tre diversi gestori, la cui configurazione prevede anche le tecnologie UMTS ed LTE. In questo sito sono state effettuate misure anche con la centralina selettiva con sonda triassiale.

Nel periodo in cui sono state condotte le prove, come successivamente comunicato dai gestori, gli impianti LTE non erano attivi. A circa 100 metri sono presenti antenne di altre due stazioni radiobase i cui centri elettrici sono alla stessa quota dei punti di misura. I segnali LTE provenienti da tali SRB, pur misurabili con l'analizzatore di spettro, non venivano rilevati dalla centralina selettiva e non sono stati perciò considerati nei confronti.

Pertanto, nel primo sito sono stati fatti confronti per la sola tecnologia UMTS (sono stati scelti gli altri due siti per i confronti per l'LTE).

DESCRIZIONE DEI SITI E DELLE SORGENTI - UMTS



Sito UMTS

DESCRIZIONE DEI SITI E DELLE SORGENTI - UMTS



Sito UMTS

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS

Misure eseguite per i confronti:

- 1 – monitoraggio del campo elettrico (campionamento ogni 6 minuti) con centralina selettiva
- 2 – analisi spettrale in modalità channel power per UMTS
- 3 – analisi spettrale maxhold (GSM) e con decodifica (con misura del canale CPICH per UMTS/LTE)

Confronti UMTS

- A – Confronto dei valori misurati in punti vicini con 1, 2 e 3 (limitatamente all'UMTS)
- B – Confronto tra i dati estrapolati dalle misure dei CPICH (3) con i parametri ρ_{CA} e α_{24DAY} e i corrispondenti valori misurati dalla centralina selettiva (1)
- C – Confronto tra i valori estrapolati dai minhold giornalieri estratti dal monitoraggio (1) e dai parametri ρ_{SA} e α_{24DAY} e i corrispondenti valori misurati dalla centralina selettiva (1)
- D – Per tre frequenze UMTS, confronto tra l'andamento orario del campo elettrico ricavato dal monitoraggio (1) e lo stesso andamento estrapolato dal rapporto *potenza oraria al connettore/potenza massima* (fornite dal gestore), ρ_{CA} ed i valori misurati dei CPICH (3)

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA

PROVE SU SISTEMI UMTS

Impostazioni bande centralina

$f_{\text{inizio banda}}$ (MHz)	$f_{\text{fine banda}}$ (MHz)	Descrizione
75	110	inizio - FM
791	801	LTE
801	811	LTE
811	821	LTE
930	935	GSM
935	940	GSM
940	945	GSM
945	950	GSM
1825	1845	DCS/LTE
1860	1880	DCS

$f_{\text{inizio banda}}$ (MHz)	$f_{\text{fine banda}}$ (MHz)	Descrizione
2125	2130	UMTS
2130	2135	UMTS
2135	2140	UMTS
2145	2150	UMTS
2150	2155	UMTS
2155	2160	UMTS
2160	2165	UMTS
2165	2170	UMTS
2170	3000	fine
-	-	altro

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS

Nella posizione prescelta sono state eseguite in una prima fase misure con analizzatore di spettro, acquisendo, per ciascuna banda di frequenza, i valori di campo associati al canale CPICH per ciascuno scrambling code, in modalità analizzatore vettoriale.

Successivamente (11/02/2016 alle ore 12 circa) è stata installata nella medesima posizione la centralina selettiva, sulla quale sono stati impostati quali canali di acquisizione le diverse bande di frequenza caratteristiche degli impianti presenti nel sito; la centralina è stata lasciata sul posto per alcuni giorni, con acquisizione in continuo dei dati a cadenza di 6 minuti.

Preliminarmente si è eseguita una prova per verificare la compatibilità delle due catene strumentali, posizionandole durante una misura in parallelo rispettivamente nella posizione di monitoraggio (P1) ed in una seconda posizione vicina (P2). I valori dei segnali di controllo CPICH rilevati nei punti P1 e P2 non mostravano differenze significative, e ciò ha permesso di escludere differenze significative anche nei livelli effettivi di campo elettrico presenti nei due punti; ciò ha consentito di confrontare direttamente, senza necessità di normalizzazione, i valori misurati parallelamente dalle due catene strumentali. La prova, eseguita sulla banda UMTS 2165-2170 MHz (impostando l'analizzatore in modalità Channel Power) ha fornito un valore di campo di 1,45 V/m per la centralina, contro 1,40 V/m per l'analizzatore, evidenziando quindi un'ottima compatibilità dei risultati entro l'intervallo di incertezza (in entrambi i punti 1.6 V/m è il valore estrapolato nell'ora di riferimento).

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS

**Dati e parametri richiesti ai gestori, per tutti i giorni delle prove
(dal 7 al 14 febbraio 2016)**

per tutte le tecnologie, per ciascun settore e, per i sistemi UMTS e LTE, anche per ciascuna portante:

α_{24DAY} , P_i su ciascun intervallo di 60 minuti (Allegato al DM 2 dicembre 2012, punto 2), P_{max}
(CEI 211-7/E par. 3.2)

per la tecnologia 2G (GSM/DCS)

frequenza BCCH e numero portanti, α_{PC} e α_{DTX} .

per la tecnologia 3G (UMTS)

frequenza centrale, scrambling code, ρ_{CA} (CEI 211-7/E par. 5.2.2) e ρ_{SA} (CEI 211-7/E par. 5.2.3)

per la tecnologia 4G (LTE)

frequenza centrale, n_{RS} (largh. banda), codici Cell ID e GroupID-SectorID, Boosting Factor.

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS

Risposte dei gestori

Di tutte le 64 celle delle 5 SRB, solo per i segnali rilevati nelle bande di frequenza UMTS 2155-2160, 2160-2165 e 2165-2170 MHz i dati richiesti sono completi (ad eccezione del parametro ρ_{SA} , ricavabile però dalle potenze orarie).

La maggior parte dei dati relativi al traffico (α_{24DAY}) non erano disponibili (per problemi tecnici). Sono state trovate differenze tra i valori di potenza massima (al connettore) rispetto a quelli autorizzati oltre che, in alcuni casi, nel numero di portanti (inoltre LTE disattivato).

Elaborazione dati e misure

Un gestore ha fornito solo i parametri per settore. La misura UMTS con l'analizzatore vettoriale fornisce il campo elettrico per i canali CPICH di ciascuna cella per una data frequenza e quindi è stato necessario sommare quadraticamente il campo elettrico delle diverse portanti nello stesso settore.

Nelle misure GSM è stato rilevato un picco (in un canale che avrebbe dovuto essere di guardia) che i gestori hanno confermato essere un'interferenza e che ha inficiato il confronto tra i valori misurati con la centralina selettiva e quelli ricavati dall'analisi spettrale.

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS

- esempio: 3 bande UMTS (dati e valori misurati)

Cella	Scr. Code	Settore (°N)	f (MHz)	E_{CPICH} (V/m)	ρ_{CA}	Pmax (W)	Paut (W)	E _{max} (V/m)
1_3p	423	70	2157.6	0.292	0.100	7.998	6.66	0.922
1_2p	423	70	2162.6	0.119	0.100	7.998	6.66	0.376
1	423	70	2167.6	0.069	0.100	7.998	6.66	0.219
3_3p	425	320	2157.6	0.421	0.100	10.069	8.30	1.332
3_2p	425	320	2162.6	0.536	0.100	10.069	8.30	1.695
3	425	320	2167.6	0.265	0.100	10.069	8.30	0.838
2_3p	424	230	2157.6	0.730	0.089	12.106	10.00	2.445
2_2p	424	230	2162.6	0.858	0.089	12.106	10.00	2.873
2	424	230	2167.6	1.099	0.089	12.106	10.00	3.681

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS

- esempio: 3 bande UMTS (medie giornaliere estrapolate)

Settore (°N)	f (MHz)	12/02/16		13/02/16	
		α_{24DAY}	E (V/m)	α_{24DAY}	E (V/m)
70	2157.6	0.168	0.378	0.172	0.382
70	2162.6	0.165	0.153	0.167	0.153
70	2167.6	0.208	0.100	0.211	0.101
320	2157.6	0.164	0.540	0.163	0.538
320	2162.6	0.162	0.682	0.160	0.678
320	2167.6	0.204	0.378	0.202	0.377
230	2157.6	0.147	0.938	0.151	0.950
230	2162.6	0.145	1.094	0.146	1.098
230	2167.6	0.186	1.587	0.186	1.587

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS

- **Risultati dei confronti eseguiti (per i soli due giorni del periodo di monitoraggio in cui erano disponibili dati completi).**

E_{CENTR} = risultato del monitoraggio continuativo;

E_{VETT} = risultato dell'estrapolazione eseguita a partire dalla misura in modalità analizzatore vettoriale del canale CPICH (par. 5.2.2 CEI 211-7/E);

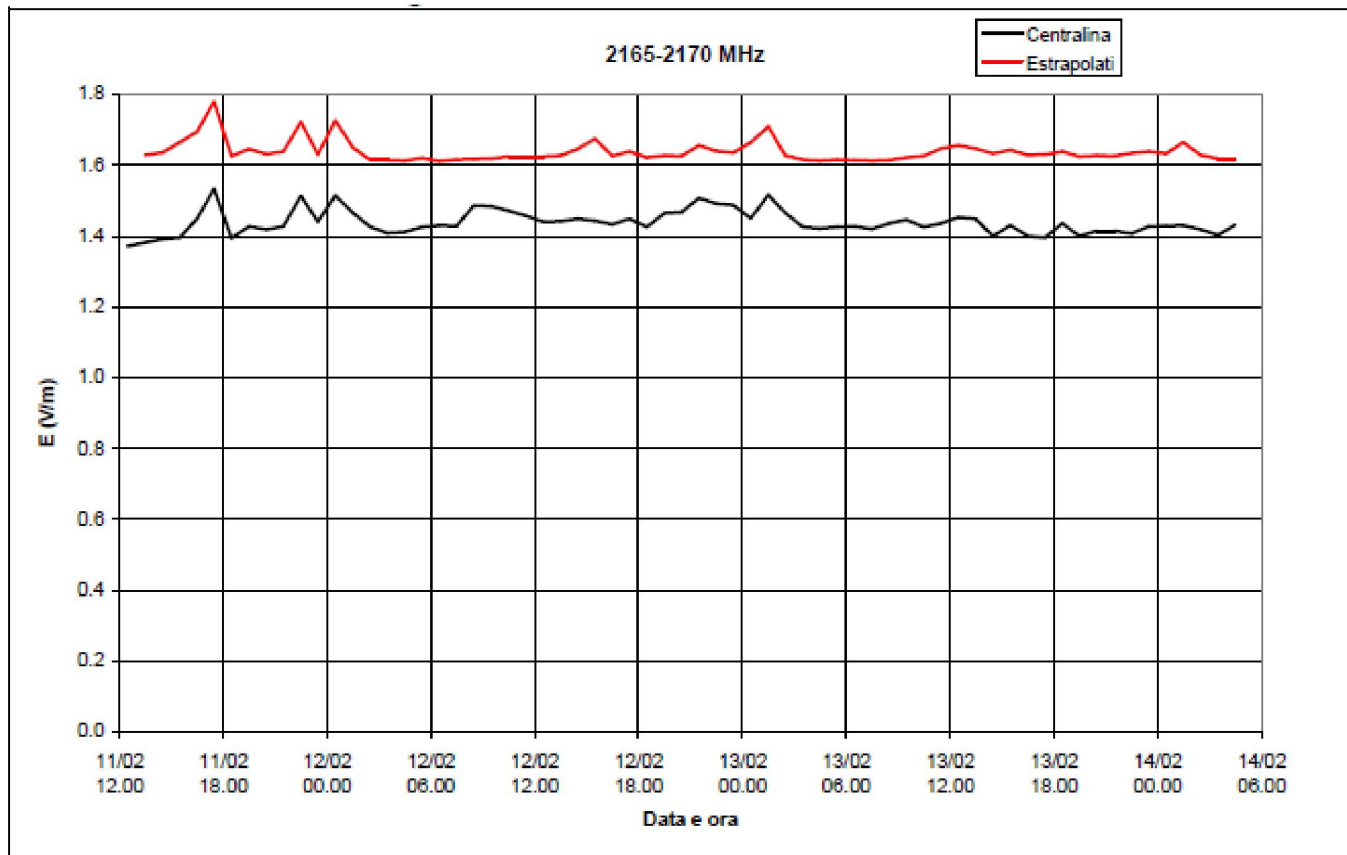
E_{PWCHN} = risultato dell'estrapolazione eseguita a partire dalla misura in modalità Channel Power dell'analizzatore di spettro (par. 5.2.2 CEI 211-7/E).

L'incertezza estesa (con fattore di copertura $k=2$) per i valori di campo elettrico è pari al 27%.

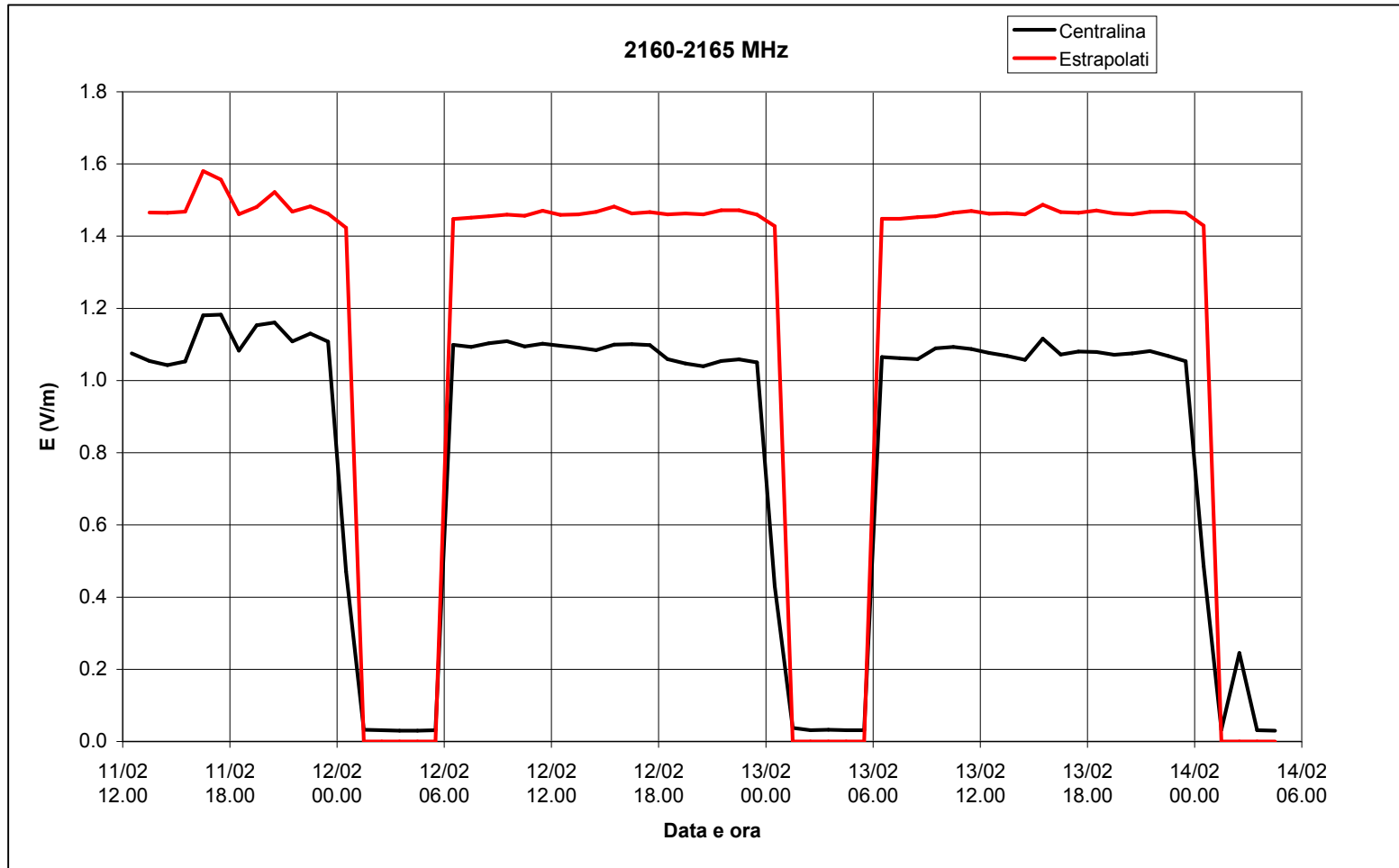
Banda (MHz)	12/02/2016			13/02/2016		
	E_{CENTR} (V/m)	E_{VETT} (V/m)	E_{PWCHN} (V/m)	E_{CENTR} (V/m)	E_{VETT} (V/m)	E_{PWCHN} (V/m)
2140-2145	0.32	0.39	0.22	0.30	0.39	0.34
2145-2150	0.19	0.19	0.09	0.17	0.19	0.12
2150-2155	0.36	0.40	0.13	0.36	0.40	0.25
2155-2160	1.12	1.28	0.50	1.13	1.32	0.58
2160-2165	1.08	1.46	0.03	1.08	1.48	0.03
2165-2170	1.45	1.63	1.35	1.43	1.64	1.32

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS

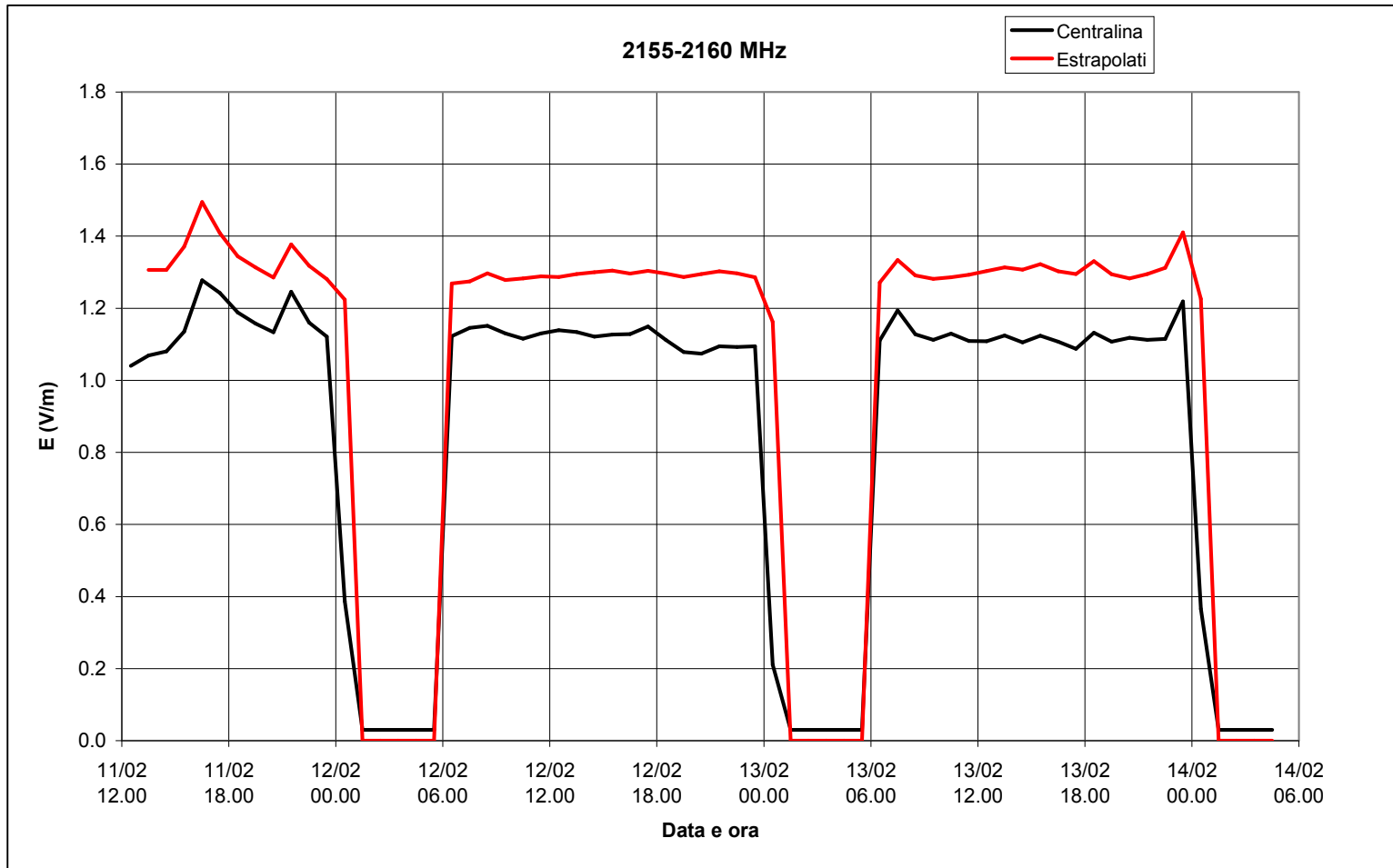
$$E_{iESTR} = E_{CPICH} \sqrt{\frac{P_i}{P_{MAX} \cdot \rho_{CA}}}$$



PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS



PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI UMTS



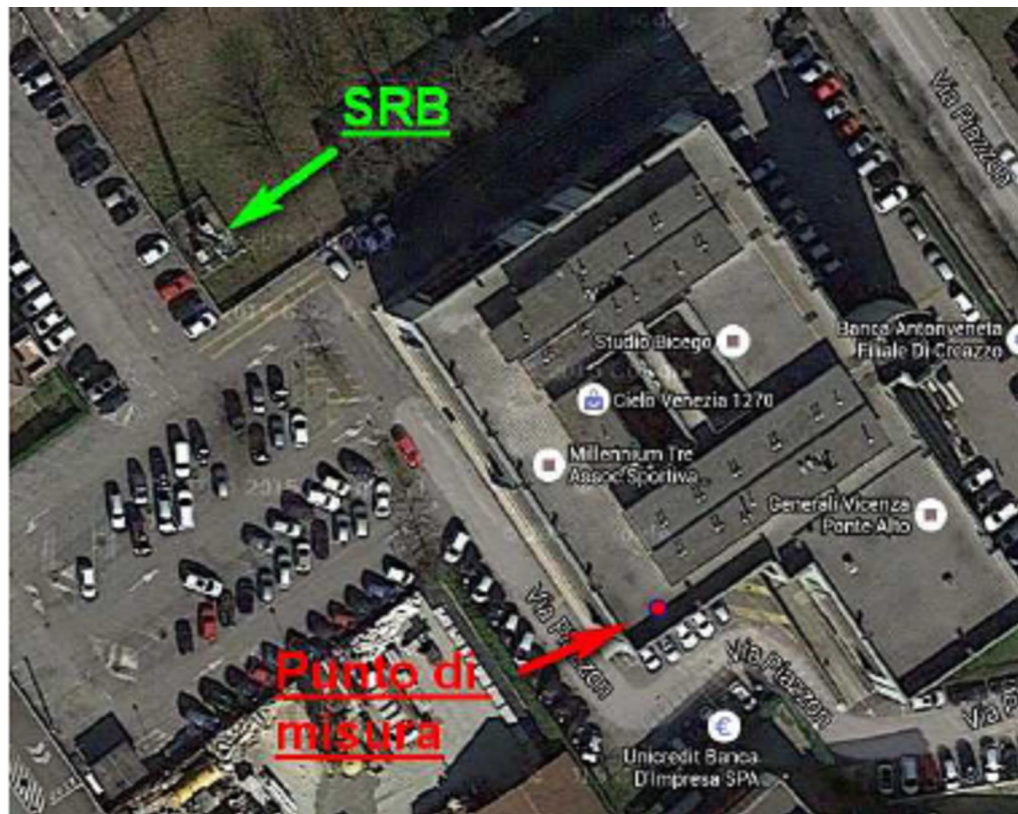
DESCRIZIONE DEI SITI E DELLE SORGENTI – LTE1 e LTE2

Altri due siti sono stati scelti in provincia di Vicenza a Marostica (sito LTE1) e Creazzo (sito LTE2) per ulteriori prove per la tecnologia LTE. In questo caso non si disponeva di centralina selettiva e le prove hanno quindi riguardato il confronto tra misure a banda larga e misure con analizzatore di spettro in modalità tradizionale e in modalità di decodifica del segnale LTE.



Sito LTE1

DESCRIZIONE DEI SITI E DELLE SORGENTI – LTE1 e LTE2



Sito LTE2

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI LTE

Misure eseguite per i confronti:

- 1 – analisi spettrale maxhold (FM/GSM) e con decodifica (con misura del canale CPICH per UMTS e del RS per LTE)
- 2 – analisi spettrale in modalità “span zero” per LTE

Confronti LTE

- A – Confronto dai valori misurati in modalità span zero (2) e vettoriale (1)
- B – Confronto del campo elettrico totale misurato/estrapolato in banda stretta con una misura in banda larga

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA PROVE SU SISTEMI LTE

- In entrambi i siti LTE1 e LTE2 le rilevazioni sono state effettuate su terrazzi piani, in cui la componente prevalente di campo elettrico era generata da impianti di telefonia mobile. Nel primo caso a circa 15m dal punto di misura sono installate due stazioni radiobase (SRB), mentre nel secondo vi è una assoluta prevalenza nel campo elettrico misurato di una SRB posta a circa 70m dal punto di rilevazione.
- Si è proceduto in entrambi i siti ad eseguire misurazioni nella medesima posizione, sia con sonda a banda larga che con catena strumentale composta da antenna biconica e dal medesimo analizzatore di spettro impiegato per le prove su segnali UMTS descritte al punto precedente, dotato di funzionalità di decodifica anche per i segnali LTE. Per entrambe le modalità si è posto il centro sonda alla quota di 1,5m dal piano di calpestio.
- Le rilevazioni delle emissioni per il sistema LTE con analizzatore di spettro sono state effettuate seguendo le due metodologie alternative, descritte ai paragrafi 5.3.2 (metodo 1) e 5.3.3 (metodo 2) della norma CEI 211-7/E .

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA

PROVE SU SISTEMI LTE – Sito LTE1

- Nel sito di misura LTE1, dalla misura a banda stretta è emerso che il campo elettrico risulta composto quasi totalmente dai segnali 2G-3G-4G generati dalle SRB, con una residua componente valutata in 0,4V/m dovuta ad impianti di radiodiffusione FM. In Tabella sono confrontati i risultati complessivi delle misure in banda stretta, comprensivi di tutti i contributi dovuti alle diverse tecnologie, dove per la misura della componente LTE sono state impiegate le due metodiche alternative.

Tipo di misura	2G (V/m)	3G (V/m)	4G (V/m)	FM (V/m)	E _{TOT} (V/m)
Banda stretta (LTE: estrapolazione da misura canale RS)	0.86	1.12	1.08	0.4	1.82
Banda stretta (LTE: estrapolazione da misura span zero)	0.86	1.12	1.42	0.4	2.04

- I risultati delle misure (ripetute) in banda larga sono stati 2.00 e 2.21 V/m (*l'incertezza standard combinata con fattore k=2 sul campo elettrico totale è del 33% per le misure a banda larga, del 9,3% per quelle a banda stretta*).
- I risultati delle misure, effettuate in un periodo di traffico intenso, mostrano un buon accordo tra i valori riscontrati a banda larga e quelli delle valutazioni a banda stretta. Si evidenzia una sovrastima del 32% ottenuta utilizzando l'analizzatore di spettro classico in modalità Zero Span rispetto a quanto ottenuto con la decodifica RS.

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA

PROVE SU SISTEMI LTE – Sito LTE2

- Nel sito LTE2 si è eseguito un analogo confronto fra misure a banda larga e a banda stretta; in questo caso l'estrapolazione per il segnale LTE è stata possibile solo dalle misure del canale RS in modalità analizzatore vettoriale, in quanto si è rilevata la presenza nella medesima banda di frequenza di due segnali con diverso Cell ID, che non è possibile separare con le misure in modalità Zero Span.
- In Tabella è riportato un confronto fra i valori rilevati nella banda LTE con le due metodiche. Il valore complessivo ricavato dalla misura del canale RS è ottenuto per somma quadratica dei valori relativi ai due Cell ID.

Sistema	f (MHz)	Cell ID	Estrapolazione max Potenza (V/m)	α_{24DAY}	E (V/m)
LTE: estrapolazione da misura canale RS	796	57	0.77	0.23	0.37
LTE: estrapolazione da misura canale RS	796	58	1.89	0.22	0.89
LTE: estrapolazione da misura canale RS	796	57 + 58	2.04		
LTE: misura span zero	796	---	2.57	---	---

PROVE SPERIMENTALI DI CONFRONTO TRA METODI DI MISURA

PROVE SU SISTEMI LTE – Sito LTE2

Nella seguente tabella è riportato invece il confronto fra i valori estrapolati da quelli misurati con la sola prima metodica e i valori rilevati a banda larga.

Tipo di Misura	2G [V/m]	3G [V/m]	4G [V/m]	FM [V/m]	E _{TOT} [V/m]
Banda Larga	---	---	---	---	2,19
Banda Larga	---	---	---	---	2,56
Banda stretta (LTE: estrapolazione da misura canale RS)	1,48	1,6	0,97	---	2,38

Anche in questo caso quindi il metodo 2 descritto dalla norma CEI 211-7/E fornisce un valore di campo elettrico del 25% superiore a quello ricavato col metodo 1. Il confronto con le misura in banda larga mostra comunque un buon accordo, ampiamente all'interno dell'incertezza di misura.

Conclusioni e considerazioni

Le prove hanno consentito di verificare la compatibilità di metodi di misura alternativi su segnali UMTS ed LTE.

Nel caso della tecnologia 3G, si è riscontrata la compatibilità, entro l'intervallo di incertezza, dei valori rilevati con centralina selettiva e con metodo di estrapolazione a partire da misure sui canali di controllo CPICH in modalità analizzatore vettoriale, benché la centralina fornisca sistematicamente valori più bassi. Il metodo di estrapolazione basato sulla misura in modalità Channel Power invece non sembra dare risultati altrettanto affidabili.

Per quanto riguarda la tecnologia 4G si è confermata la compatibilità fra valori estrapolati e misure a banda larga; si è evidenziata una tendenza alla sovrastima del valore di campo per le misure con modalità Zero Span.

Conclusioni e considerazioni

Per le tre bande UMTS 2155-2160, 2160-2165 e 2165-2170 MHz, il gestore ha fornito tutti i dati (tranne ρ_{SA}) ed è stato possibile verificare se α_{24DAY} è proprio, come da definizione, la media giornaliera delle potenze orarie al connettore d'antenna rapportata alla potenza massima.

Considerazioni a margine:

1 – in un caso (2165-2170 MHz, cella a 70°N) i valori di α_{24DAY} differivano dai valori calcolati con le potenze orarie ma il gestore, contattato, ha riconosciuto un errore ed ha mandato una correzione al valore della potenza massima inizialmente comunicato;

2 – per le prime due bande di frequenza tutti i canali (non solo quelli di traffico) venivano disattivati da mezzanotte alle 6 del mattino e si è verificato che α_{24DAY} è stato calcolato per le rimanenti 18 ore quindi è sovrastimato perché non sono state considerate nella media le potenze (nulle) al connettore d'antenna negli orari in cui la SRB non era attiva.

Non sempre è possibile verificare l'effettivo rispetto o superamento del valore di attenzione/obiettivo di qualità a causa della non disponibilità dei dati di traffico nello stesso giorno di indagine (CEI 211-7/E pag.12).