

Correlazione tra misure in banda larga su brevi intervalli temporali e sulle ventiquattro ore previste dal D.L. 179 del 18 ottobre 2012 di campi elettromagnetici

Mossetti S., Lavore E., Pasetto M.L., Agrillo G., Mombelli M., Nava E., Carella F.
Arpa Lombardia Dipartimento di Como e Varese

Nello studio proposto è stata valutata la possibilità dell'utilizzo di misure in banda larga eseguite su intervalli temporali limitati, come metodologia alternativa alle misure in banda larga di ventiquattro ore, per escludere il superamento del valore di attenzione stabilito nella normativa.

Il metodo proposto si basa sull'analisi dei dati raccolti in più di cinquanta giorni di acquisizione, nel territorio del Dipartimento di Como e Varese, focalizzando l'attenzione e le valutazioni nel periodo della fascia lavorativa del personale dell'Agenzia (giorni feriali ore nove – diciassette), sottraendo quindi solo i tempi tecnici necessari a spostamenti e messa a punto della strumentazione; si è giunti ad approntare una procedura che con un elevato grado di affidabilità permette di escludere il superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità di cui al D.P.C.M. 08.07.2003 allegato B tabella 2, attraverso l'esecuzione di misure in banda larga su intervalli temporali di sessanta minuti con un buon livello di confidenza.

1. INTRODUZIONE

L'emanazione del Decreto Legge, n. 179 del 18 ottobre 2012, coordinato con la Legge di conversione del 17 dicembre 2012, n. 221, ha introdotto importanti novità per il controllo dei livelli di esposizione, prevedendo che i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità siano intesi come media dei valori nell'arco delle ventiquattro ore.

Al quadro normativo, nel settembre 2013, si è aggiunta la norma CEI 211-7 "appendice E", che fornisce i metodi da seguire per il confronto con i limiti.

Dal catasto regionale degli impianti si ricava che in Lombardia sono presenti oltre tredicimila impianti di telecomunicazione di cui circa novemila sono stazioni radio base (SRB), collocate in gran parte nel tessuto urbano. L'alta densità di SRB congiunta con la diffusione della tecnologia LTE, che ha comportato un aumento della potenza impiegata da ciascuna stazione fa sì che le stime modellistiche fatte in fase autorizzativa degli impianti prevedano valori di campo elettrico prossimi ai valori d'attenzione, richiedendo un incremento del numero di controlli in campo.

L'esperienza maturata in questi anni evidenzia, che le misure eseguite con analizzatore di spettro vettoriale, sono affidabili (Mossetti e al., 2015), ma sono anche molto impegnative in termini di tempo dedicati alla singola indagine. Inoltre, spesso ci si scontra con la difficoltà di acquisire dai gestori i parametri necessari all'extrapolazione dei valori misurati. Anche l'impiego di centraline in banda larga risulta piuttosto oneroso in termini temporali e comporta frequentemente la difficoltà logistica di collocare la strumentazione nei luoghi più significativi e l'impossibilità di eseguire misure presidiate.

Sulla base delle considerazioni esposte è nata l'idea di valutare la possibilità di effettuare controlli di SRB con strumentazione in banda larga, per tempi contenuti garantendo un elevato grado di affidabilità dei risultati ottenuti. È stata pertanto, verificata l'applicabilità della metodologia proposta ai casi in cui i valori misurati siano inferiori al 75% del valore di attenzione come previsto dalla norma CEI 211-7.

2. MATERIALI E METODI

Nel presente lavoro sono stati presi in esame i risultati di nove monitoraggi del valore di campo elettrico effettuati, dal dipartimento ARPA di Como e Varese, successivamente all'entrata in vigore del DL 179.

Nei siti considerati le sorgenti di campo elettrico sono esclusivamente SRB dotate di sistemi trasmissivi 2G e 3G e nei sei monitoraggi più recenti anche dei sistemi 4G.

Le misure sono state eseguite con centraline in banda larga Tesy 2001 e Narda AMB-8057. Nel complesso l'analisi riguarda cinquantadue giorni di misura, di cui trentuno lavorativi. Per ogni giorno sono disponibili duecentoquaranta dati medi su sei minuti.

Il punto di partenza è la validazione dei dati tramite l'identificazione di valori singolari, che potrebbero essere identificati come outlier e di eventuali altre anomalie.

Successivamente si è verificata, per ogni sito, la stabilità del valore di campo elettrico misurato su ventiquattro ore nei vari giorni di monitoraggio.

I dati sono stati normalizzati per studiare la correlazione tra i diversi siti.

Sono state utilizzate le diverse tecniche statistiche applicate attraverso il software statistico R, disponibile all'indirizzo web <https://www.r-project.org/>.

Si è proceduto con la creazione di un unico database composto dai soli dati acquisiti nel normale periodo lavorativo del personale dell'Agenzia (fascia oraria otto – diciassette dei giorni feriali).

Al database di partenza ne sono stati aggiunti altri tre costituiti dalle medie mobili calcolate, con frequenza di sei minuti, su trenta, sessanta e centoventi minuti.

I valori di campo elettrico, relativi alle quattro frequenze temporali considerate, sono stati confrontati con la media sulle ventiquattro ore prevista dalla normativa.

Attraverso le tecniche d'inferenza statistica è stato calcolato l'indice di affidabilità del metodo in studio. Particolare attenzione è stata posta nel valutare i casi di sottostima riscontrati attraverso la loro quantificazione, sia in termini assoluti, sia in termini relativi all'incertezza delle catene di misura impiegate.

3. ANALISI DEI DATI

3.1 COSTRUZIONE DEL DATASET

Il dataset è stato costruito considerando i risultati delle misure in continuo svolte in nove siti nelle cui vicinanze erano presenti solo SRB. Per comodità di notazione i siti sono identificati con i codici da S1 a S9.

Le misure sono state effettuate, come previsto dal D.L. n. 179/2012, alla quota di 1.5 metri sul piano di calpestio.

I punti di misura considerati sono ubicati in luoghi indoor in tre casi, mentre i restanti sei si trovano in pertinenze esterne (terrazzi, balconi).

In tabella 1 sono sintetizzate alcune informazioni di base sui nove siti. In particolare si evidenzia che il sito S1 presenta un valore di campo elettrico medio sulle ventiquattro ore pari a 5.5 V/m, valore che secondo quanto previsto dalla Norma CEI 211-7, richiede l'esecuzione di misure in banda stretta per accertare il rispetto o meno del valore di attenzione.

I bassi valori di deviazione standard registrati in tutti i siti indicano che non si hanno sostanziali differenze nei vari giorni di monitoraggio.

Tabella 1 – Valori di campo elettrico nei siti di studio mediati sul periodo di misura

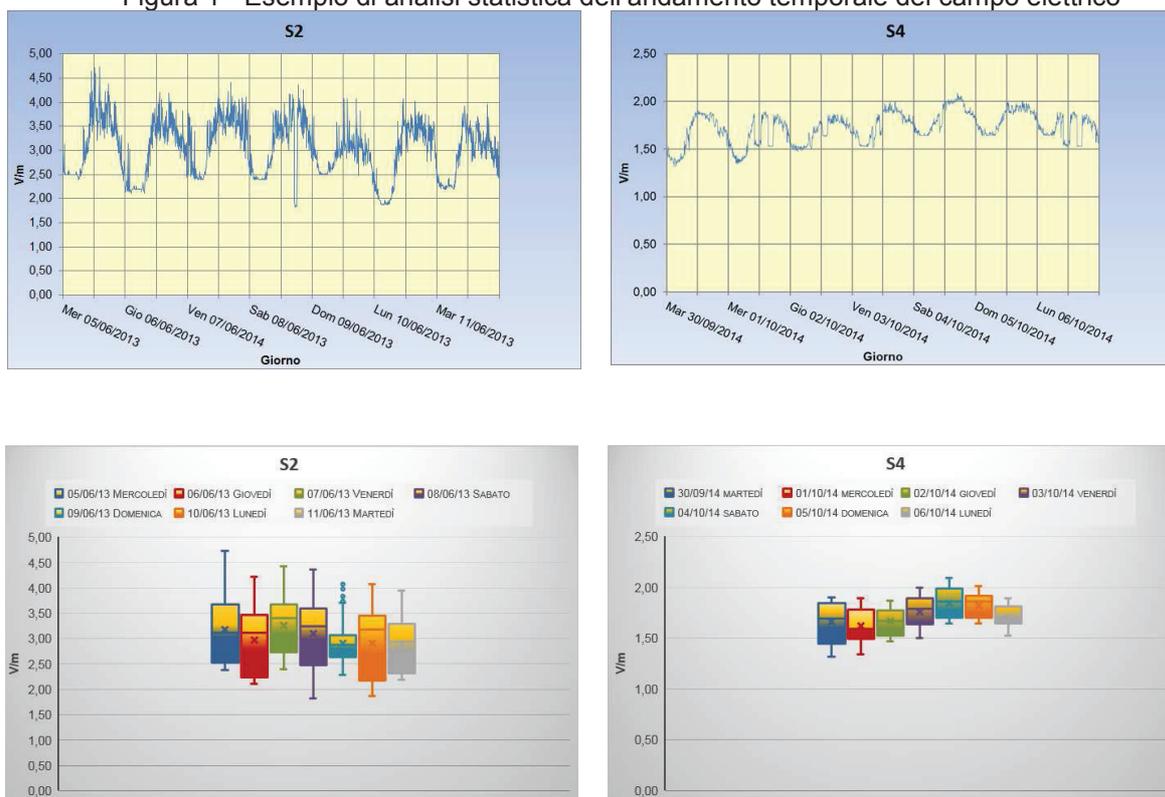
	Sito								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Media (V/m)	5.5	3.1	1.9	1.7	0.6	1.3	1.5	1.7	2.4
Deviazione standard (V/m)	0.15	0.14	0.07	0.08	0.02	0.02	0.07	0.07	0.00
Giorni di misura	5	8	10	7	3	2	9	4	4

Alcune anomalie, che comportano temporanee riduzioni del valore di campo nelle ore diurne, si osservano in alcuni giorni di monitoraggio del sito S4. Eccezioni probabilmente originate dall'esecuzione di lavori di manutenzione all'impianto.

In figura 1 è presentata la situazione riscontrata nel sito S4 ponendola a confronto con un altro sito, S2, che non presenta particolari singolarità.

Per mantenere la massima aderenza a quanto riscontrato nella realtà quotidiana e conservare un approccio cautelativo si è deciso di non escludere dallo studio le anomalie osservate in alcuni giorni nel sito S4.

Figura 1 - Esempio di analisi statistica dell'andamento temporale del campo elettrico



Il passo successivo è la valutazione dell'andamento del valore di campo elettrico nelle ventiquattro ore, nei nove siti attuata con il calcolo dei coefficienti di correlazione di Pearson, R, riportati in tabella 2.

Il loro esame mostra un alto livello di correlazione tra i siti con valori di R intorno a 0.9.

Il solo sito S4 presenta in due casi un valore di R appena minore di 0.8.

Sulla base delle precedenti considerazioni si è ritenuto il database omogeneo procedendo alla normalizzazione dei valori misurati e l'insieme dei dati è stato trattato indipendentemente dal sito in cui è stato misurato.

Tabella 2 – Coefficienti di correlazione di Pearson tra i siti

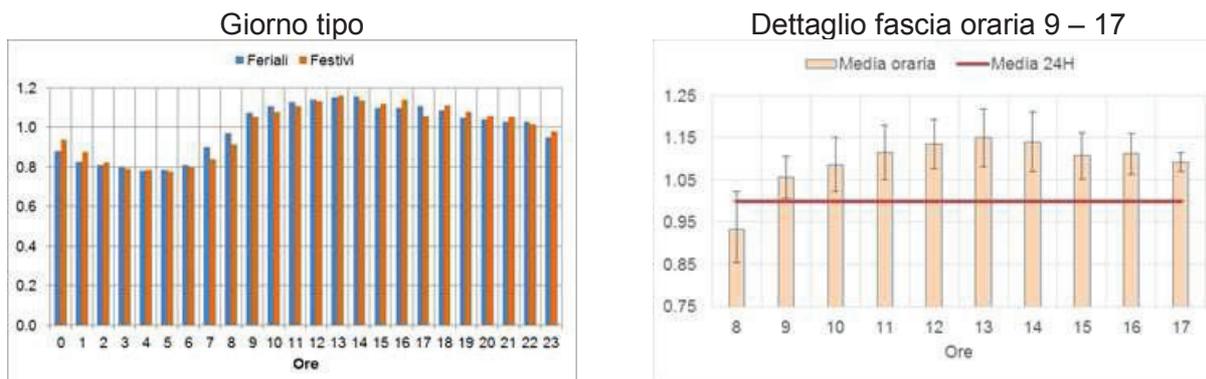
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
S1	1.00	0.91	0.91	0.88	0.89	0.83	0.90	0.88	0.91
S2	0.91	1.00	0.95	0.89	0.91	0.88	0.95	0.93	0.96
S3	0.91	0.95	1.00	0.90	0.89	0.86	0.95	0.93	0.93
S4	0.88	0.89	0.90	1.00	0.79	0.78	0.86	0.87	0.92
S5	0.89	0.91	0.89	0.79	1.00	0.88	0.91	0.87	0.89
S6	0.83	0.88	0.86	0.78	0.88	1.00	0.90	0.88	0.89
S7	0.90	0.95	0.95	0.86	0.91	0.90	1.00	0.92	0.95
S8	0.88	0.93	0.93	0.87	0.87	0.88	0.92	1.00	0.94
S9	0.91	0.96	0.93	0.92	0.89	0.89	0.95	0.94	1.00

3.2 DEFINIZIONE PERIODO DI MISURA

Per verificare la bontà delle ipotesi di lavoro prefissate, sono stati presi in esame i soli dati acquisiti nei giorni lavorativi nella fascia oraria compresa tra le otto e le diciassette, che coincide con il normale periodo lavorativo del personale dell’Agenzia.

In figura 2 è rappresentato il confronto tra il giorno tipo feriale e festivo ottenuto combinando le medie orarie normalizzate sull’intero data-set. Si osserva come nella fascia oraria diurna i valori siano generalmente maggiori rispetto alla fascia oraria notturna ed il giorno tipo feriale ha valori più elevati del giorno tipo festivo.

Figura 2 - Rappresentazione del giorno tipo.



Dall’esame del dettaglio delle medie orarie, si osserva come il rischio di sottostima, calcolato con confidenza pari al 99 %, è molto alto nella fascia oraria compresa tra le otto e le nove, pertanto si è deciso di escluderla dalle successive analisi proponendo che l’inizio delle misure avvenga dopo le ore nove.

4. RISULTATI

Sul database costruito nelle modalità sopra esposte si è calcolato il numero di casi in cui il valore misurato, con le frequenze temporali scelte, è inferiore alla media sulle ventiquattro ore. Il numero dei casi di sottostima è riportato in tabella 3.

Tabella 3 – analisi della sottostima

	Tempo di misura (minuti)			
	6	30	60	120
Misure (numero)	2480	2356	2201	1891
Valori minori della media su 24 ore (numero)	221	150	109	72

Ai risultati si sono applicate le tecniche di inferenza statistica per valutare il grado di affidabilità del metodo proposto. In figura 3 sono riassunti gli indici di successo, ritenuti altamente significativi (livello di significatività pari a 0.01).

Dal suo esame emerge che le misure brevi in banda larga, acquisite nella fascia oraria considerata, sono da ritenersi cautelative rispetto al valore medio giornaliero in una percentuale compreso tra il 92%, nel caso di misure di sei minuti, e il 97% per quelle di centoventi minuti. In particolare il tempo minimo di misura per ottenere una percentuale di successo pari al 95% è di trenta minuti.

L’analisi della percentuale di successo del metodo proposto nei vari siti di misura, riportata in tabella 4, evidenzia anomalie significative solo nel sito S4, il cui indice di successo è compreso tra il 69% e il 76%. Risultato che conferma i problemi sul funzionamento dell’impianto descritti nell’analisi di validazione dei dati.

Tabella 4 – Indice di successo del metodo proposto – dettaglio siti di misura

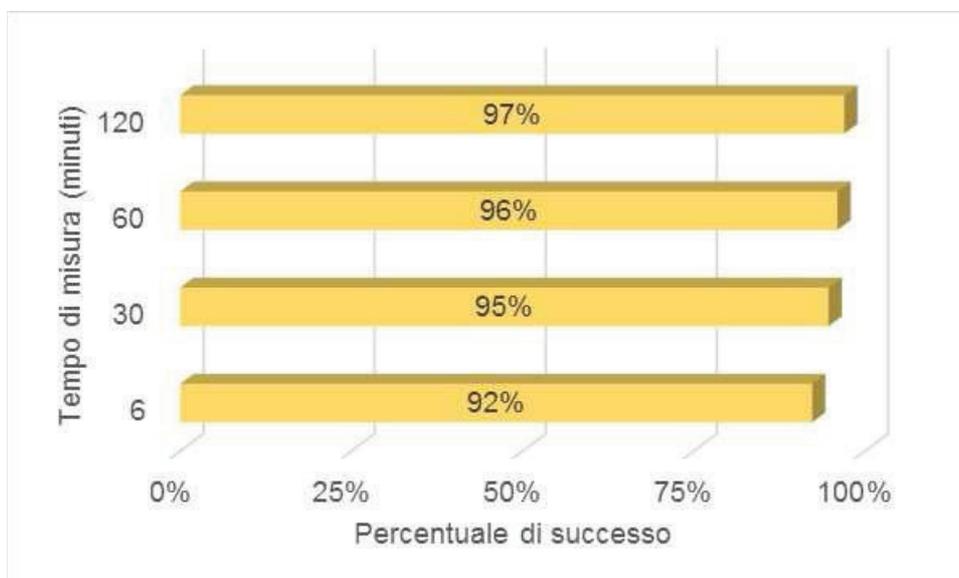
Tempo	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
6 minuti	88%	90%	98%	69%	100%	99%	100%	100%	97%
30 minuti	92%	95%	99%	72%	100%	100%	100%	100%	100%
60 minuti	96%	99%	100%	73%	100%	100%	100%	100%	100%
120 minuti	100%	100%	100%	76%	100%	100%	100%	100%	100%

A completamento dell'indagine si è proceduto all'analisi dei casi di sottostima.

In primo luogo si è calcolato il massimo valore della sottostima, che risulta pari al 39% per le misure su sei minuti, al 13% su trenta minuti, all'11% su sessanta minuti e al 10% su centoventi minuti.

Si osserva che per misure di durata pari o superiori a trenta minuti la sottostima massima risulta sempre inferiore all'incertezza propria delle catene di misura, che per le frequenze della telefonia è pari al 21%.

Figura 3 – Indice di successo del metodo ai diversi intervalli temporali di misura



Si è valutata infine, la distribuzione dei valori inferiori alla media giornaliera, rispetto a vari livelli di sottostima.

Il risultato presentato in tabella 5 mette in luce la riduzione del valore della sottostima al crescere dell'intervallo temporale di misura. Nel complesso, per le misure di durata di sei minuti, la metodologia proposta presenta solo in quattro casi, pari allo 0.2% del totale, un valore della sottostima superiore all'incertezza delle catene strumentali impiegate.

Tabella 5 – Distribuzione dei valori inferiori alla media su ventiquattro ore

Valore della sottostima (%)	Tempo di misura (minuti)			
	6	30	60	120
0 – 1	31	16	11	19
1 – 5	85	55	48	33
5 – 10	68	59	38	20
10 – 15	31	20	12	0
15 – 20	2	0	0	0
>20	4	0	0	0

5. CONCLUSIONI

Le valutazioni effettuate mostrano che è possibile affrontare la tematica delle misure di campo elettromagnetico prodotto sul territorio, dagli impianti di radiotrasmissione, con una modalità che assicuri la validità del controllo stesso e contemporaneamente permetta di ampliare il numero di verifiche.

L'analisi mostra che la scelta di svolgere misure in continuo più brevi, nel corso della giornata lavorativa (compresa tra le ore nove e le ore diciassette dei giorni feriali) produce risultati affidabili per la valutazione del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità, senza svolgere rilievi aventi durata continuativa di ventiquattro ore.

Si evidenzia, inoltre, che le medie ottenute con tempi pari ad almeno trenta minuti sono caratterizzate da sottostime inferiori alle incertezze strumentali proprie delle catene di misura usate e pertanto portano ad una possibile valutazione del non superamento dei valori limite con elevata confidenza.

Si propone quindi una metodologia di misura, che permetta di sostituire i rilievi in continuo, in banda larga della durata di ventiquattro ore, con analoghi aventi durata di trenta - sessanta minuti, da effettuarsi nella fascia oraria nove - diciassette nei giorni feriali.

Infatti, queste misurazioni permettono di verificare in modo affidabile il non superamento del valore di 6 V/m e possono, inoltre, essere considerate esaustive in fase di controllo nel caso in cui il valore medio riscontrato sia inferiore al 75 % del valore limite.

Per valori superiori si ricorda che la norma CEI 211/7 prevede la necessità di analisi spettrali.

La metodologia proposta presenta ulteriori vantaggi che possono essere così riassunti:

- la misura può essere svolta in un solo sopralluogo nel corso di un'unica giornata, portando così ad una migliore gestione delle risorse umane e strumentali, soprattutto in siti distanti;
- risulta possibile ampliare la dotazione strumentale utile per svolgere i rilievi, potendo utilizzare strumentazione portatile in grado di svolgere misure per meno di ventiquattro ore;
- con queste caratteristiche, l'intervento di misura appare meno disturbante ed invasivo per i proprietari delle abitazioni, che collaborerebbero più facilmente;
- risulta fattibile svolgere misure in contesti indoor particolari, ad esempio in luoghi con finestre e persiane aperte e locali nei quali è impossibile lasciare durante la notte una postazione fissa;
- i rilievi sono presidiati, garantendo maggiore sicurezza delle condizioni di misura e del dato ottenuto;
- la procedura consente di caratterizzare un sito con più punti di misura durante lo stesso sopralluogo, fornendo anche un valore aggiunto alla sessione di misura.

Tutto ciò a supporto di una maggiore produttività del personale impiegato in queste attività di controllo, migliorando sensibilmente sia la qualità delle prestazioni dell'Agenzia, sia l'efficacia del controllo sul territorio.

Bibliografia

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"

CEI 211-7, appendice E "Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio base per sistemi di comunicazione mobile (2G, 3G, 4G), tecniche relative alle procedure di misura"

Nava E., Mossetti S., de Bartolo D., Cosenza C., Veronese I., Cantone M.C. "Prime misure di campo elettromagnetico mediato sulle 24 ore applicando le diverse tecniche proposte dalla Norma CEI 211-7/E del 9/2013". Atti del XXXVI Congresso Nazionale di Radioprotezione, Matera 28-30 ottobre 2015.