

ENTRATA IN VIGORE DELLA LEGGE 221/2012: STIMA DELL'AUMENTO MEDIO DELL'ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA

S. Adda, V. Sapino, M. Mantovan, L. Anglesio
Arpa Piemonte, Dipartimento Radiazioni, via Jervis 30 10015 Ivrea(TO)
s.adda@arpa.piemonte.it

ABSTRACT

Con la conversione in legge del decreto sviluppo avvenuta il 13 dicembre 2012 (DL 179/2012 convertito in Legge 221/2012) vengono introdotte, al comma 8 dell'art. 14, nuove norme che modificando le modalità di valutazione e controllo dell'esposizione a campi elettromagnetici emessi da impianti per telecomunicazione portano, di fatto, ad un incremento dei valori di riferimento per l'esposizione della popolazione.

I livelli ai quali potrà essere esposta la popolazione saranno infatti più elevati poiché il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità di 6 V/m dovranno intendersi come media su 24 ore invece che come media su 6 minuti. Tale possibile incremento dei livelli di esposizione è attribuibile anche alla riduzione dell'approccio cautelativo che la legge 221/2012 ha introdotto con la necessità di considerare l'attenuazione degli edifici e di valutare, in sede preventiva, la variabilità dei segnali elettromagnetici con fattori di riduzione sulla potenza degli impianti.

In questo lavoro si presenta un'analisi estensiva basata sulle campagne di monitoraggio effettuate in regione Piemonte nel triennio 2010-2012 (dati relativi a più di 400 campagne di monitoraggio con durata media del campionamento di circa 30 giorni) rivolta a valutare il possibile incremento dell'esposizione della popolazione, a seguito della nuova modalità di calcolo dei valori di attenzione, in funzione di diversi parametri urbanistici e antropici (densità urbana, densità di popolazione, densità impianti produttivi/commerciali/terziario etc.).

L'analisi dei dati è stata condotta con programmi open source, quali R per l'analisi statistica e Q-Gis per la gestione geografica dei dati, ed ha consentito di individuare dei valori di riferimento per indicatori dell'incremento dell'esposizione media della popolazione, che potranno anche consentire di stimare l'impatto dovuto all'entrata in servizio di nuove tecnologie per la telefonia cellulare, quali il sistema LTE. Tale analisi potrà tenere conto anche dell'effetto sull'eventuale incremento dei livelli medi di esposizione dovuto ai fattori di riduzione della potenza considerati in fase di valutazione preventiva dell'impatto elettromagnetico dei nuovi impianti.

MATERIALI E METODI

Scelta del campione di centraline e determinazione dei parametri urbanistici ed antropici

A partire dalle oltre 400 campagne di monitoraggio con centraline realizzate nel periodo 2010-1° semestre 2013, sono state selezionate quelle campagne caratterizzate da un livello di campo elettrico sempre al di sopra della soglia minima di rilevazione. Questa scelta è stata fatta in modo che l'analisi statistica dei dati delle varie campagne potesse essere consistente su tutto il periodo di monitoraggio, ed anche al fine di poter lavorare su aree caratterizzate da livelli di esposizione significativi.

Sono state in questo modo individuate 120 campagne di misura, con le centraline dislocate sul territorio piemontese come visibile in figura 1: 63 sono relative a centraline installate nella città di Torino, arrivando ad una totale di 93 sulla provincia di Torino stessa, mentre le restanti 57 sono distribuite tra le altre province, prevalentemente nei capoluoghi.

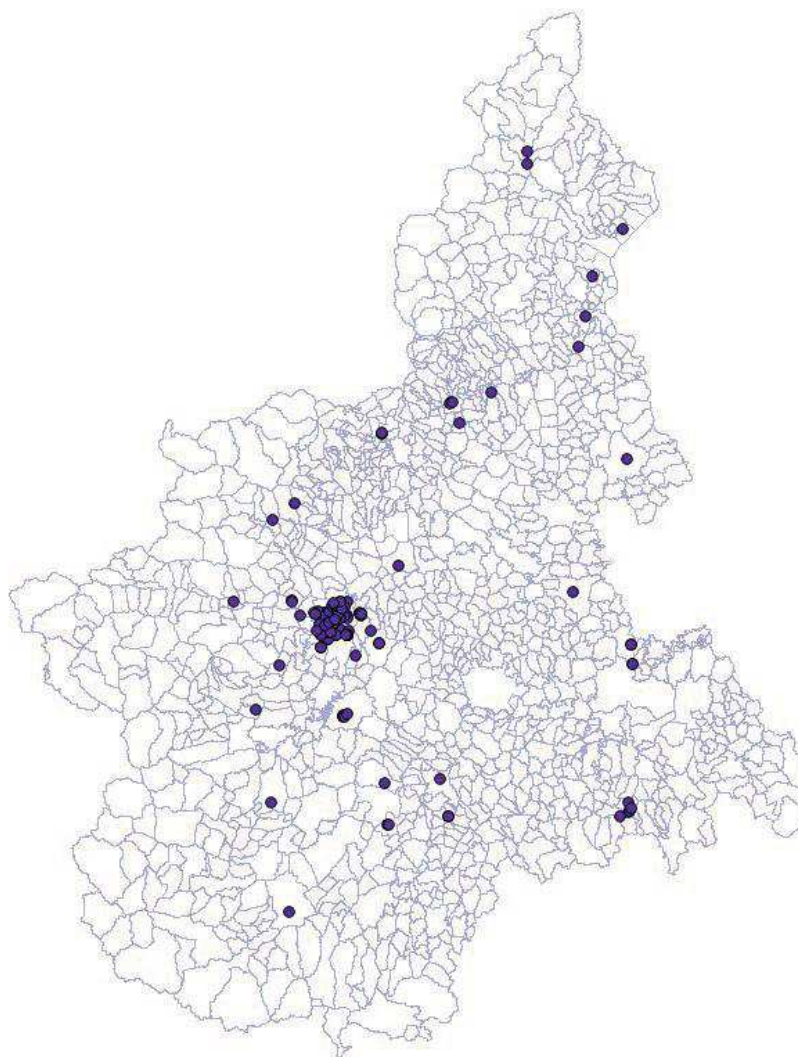


Figura 1: localizzazione sul territorio regionale del campione di centraline selezionato per l'analisi.

Il valore medio di campo rilevato in queste campagne varia tra 0.6 e 5.6 V/m, arrivando a 12 V/m circa se si considerano le centraline installate presso il sito radiotelevisivo del Colle della Maddalena.

A partire dai siti di installazione così selezionati, è stata quindi effettuata un'analisi geografica che ha permesso di ricavare i dati di popolazione ed urbanizzazione che caratterizzano le aree circostanti il punto di installazione della centralina. Al fine di determinare l'area intorno alla centralina per la quale i valori di campo misurati possono essere considerati rappresentativi, si è scelto di valutare la distanza media tra gli impianti di telecomunicazioni presenti in quella zona. E' stato quindi definito un buffer intorno al punto di posizionamento, di raggio pari alla distanza media tra gli impianti: un esempio per Torino e cintura è visibile in figura 2(a).

I parametri relativi a popolazione ed edificato, ricavati dal censimento ISTAT georiferito del 2001 (i dati dell'ultimo censimento non sono ancora disponibili), sono stati quindi valutati all'interno di ciascun buffer ed associati alla rispettiva centralina. In figura 2(b) sono visibili le sezioni di censimento all'interno dei buffer.

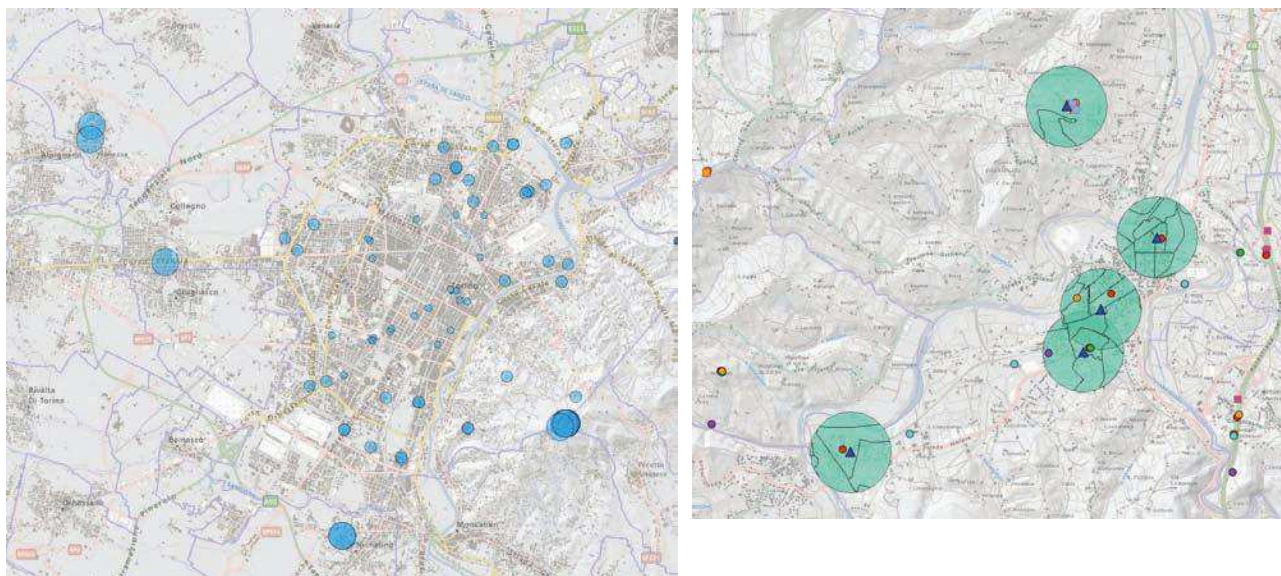


Figura 2: (a) buffer intorno alle centraline individuate per Torino e cintura; (b) dettaglio della città di Ovada (AL) con gli impianti, le centraline con i buffer e le sezioni di censimento.

I parametri ISTAT presi in considerazione per le analisi sono stati i seguenti: popolazione residente, superficie delle abitazioni, numero di edifici adibiti ad abitazione e numero di edifici adibiti ad attività produttive (uffici, negozi, ecc.). I dati sono forniti per sezione di censimento, e quindi sono stati ricalcolati sulla base dell'area delle sezioni ricomprese all'interno dei buffer direttamente nel software geografico [2]. Ad esempio:

$$\text{popolazione_buffer} = \sum_{\text{sezioni}} P_s \cdot \frac{A_{SB}}{A_s}$$

Con P_s = popolazione residente nella sezione di censimento; A_{SB} = area della sezione all'interno del buffer; A_s = area totale della sezione di censimento.

Analisi statistica delle campagne di monitoraggio e determinazione degli indicatori di variazione dell'esposizione

Le campagne di monitoraggio prese in considerazione (di durata tra i 15 e i 30 giorni in media) sono state analizzate con lo scopo primario di quantificare le differenze nei livelli di esposizione dovute all'applicazione della nuova normativa, verificando quanto differiscono i valori misurati come media su 6 minuti dai valori ricavati come media su 24 ore.

Non è stato possibile definire a priori un indicatore rappresentativo della differenza nei livelli di esposizione dovuta ai due approcci (media 6 minuti-media 24 ore), e pertanto sono stati valutati molti diversi parametri, sui quali effettuare un'analisi complessiva per determinare quello maggiormente rappresentativo. Tutte le analisi effettuate hanno preso in considerazione una grande mole di dati (oltre 700000 campioni di campo elettrico in totale), e sono state possibili grazie all'utilizzo dell'ambiente statistico open source R [1].

Il primo passo è consistito nell'analisi dell'andamento del campo e della distribuzione dei suoi valori nel periodo di misura, con stima della moda (valore più frequente) per tutti i giorni di monitoraggio, considerati sia nell'arco delle 24 ore, sia nelle sole ore diurne (tra le 10 e le 15, orario in cui tipicamente si effettuano la maggior parte delle misure spot).

I dati sono stati poi aggregati per giornata, calcolando per ciascun giorno la media su 24 ore. Per ogni giornata, si è quindi calcolato lo scarto percentuale tra ciascun valore preso su 6 minuti e il valore della media su 24 ore. Di questi dati giornalieri relativi agli scarti, sono state prese in considerazione le principali statistiche (1° quartile, mediana e 3° quartile), anche grazie alla stima dei boxplot.

Oltre all'analisi generale della distribuzione degli scarti per tutti i campioni su 6 minuti rilevati nelle ore diurne, per ogni giorno di monitoraggio è stato calcolato lo scarto percentuale rispetto alla moda dei suddetti campioni, in modo da caratterizzare ciascuna giornata sulla base della più probabile differenza tra la misura su 6 minuti e la misura mediata su 24 ore. Analogamente, lo scarto percentuale è stato calcolato anche rispetto al valore massimo su 6 minuti nell'intervallo delle ore diurne, in modo da considerare le differenze rispetto ad una misura maggiormente conservativa.

I dati sugli scarti ricavati giorno per giorno sono poi stati riaggregati per valutarne le statistiche principali sull'intero periodo di misura.

Inoltre, si è stimato un parametro sintetico di variazione dell'esposizione per ciascuna centralina, prendendo in considerazione la differenza tra la moda dei campioni diurni di campo elettrico su 6 minuti e la moda dei valori di media su 24 ore nell'arco dell'intera campagna.

Stima del legame tra le variazioni nei livelli di esposizione e i parametri urbanistici ed antropici

I dati relativi alla variazione dell'esposizione per ciascuna centralina, dovuta all'introduzione della media su 24 ore del campo elettrico, sono stati messi a confronto con i parametri di urbanizzazione già elencati, per ricercare un'eventuale correlazione tra la variabilità dei livelli di campo e la zona di misura, in relazione al numero di utenti degli impianti di telefonia presenti e al tipo di utilizzo della rete di telefonia.

Per prima cosa, sono stati analizzati i trend grafici e i coefficienti di correlazione tra i parametri legati alla variazione nei livelli di esposizione e quelli legati all'urbanizzazione. Una volta individuato in questo modo un legame, si è scelto, data l'estrema variabilità dei parametri di esposizione da punto a punto, di procedere con un'analisi di valori medi per classi di parametri urbanistici.

RISULTATI

La prima parte del lavoro ha permesso di associare a ciascun punto di installazione di centralina dei valori dei parametri urbanistici (popolazione residente, superficie delle abitazioni, numero di edifici adibiti ad abitazione e numero di edifici adibiti ad attività produttive). A titolo di esempio, si riporta in figura 3 la distribuzione della popolazione residente nei buffer intorno alle centraline: il fatto che i casi di popolazione elevata siano poco rappresentate è un motivo in più per effettuare l'analisi in termini di valori medi per classi relativamente ampie di parametri.

Distribuzione della popolazione nel campione di 120 centraline

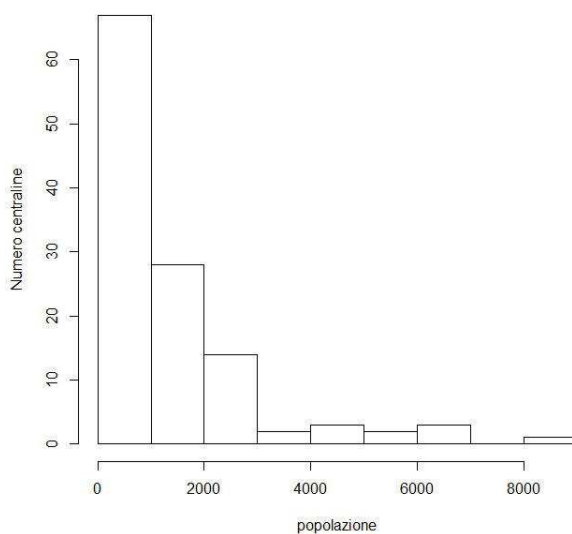


Figura 3: istogramma per classi di popolazione residente nei buffer definiti intorno alle centraline

Per quanto riguarda l'analisi dei dati sull'intero periodo di monitoraggio di ciascuna centralina, si riportano in figura 4 alcuni esempi di distribuzione degli scarti tra i campioni su 6 minuti in orario diurno (10-15) e le medie giornaliere su 24 ore.

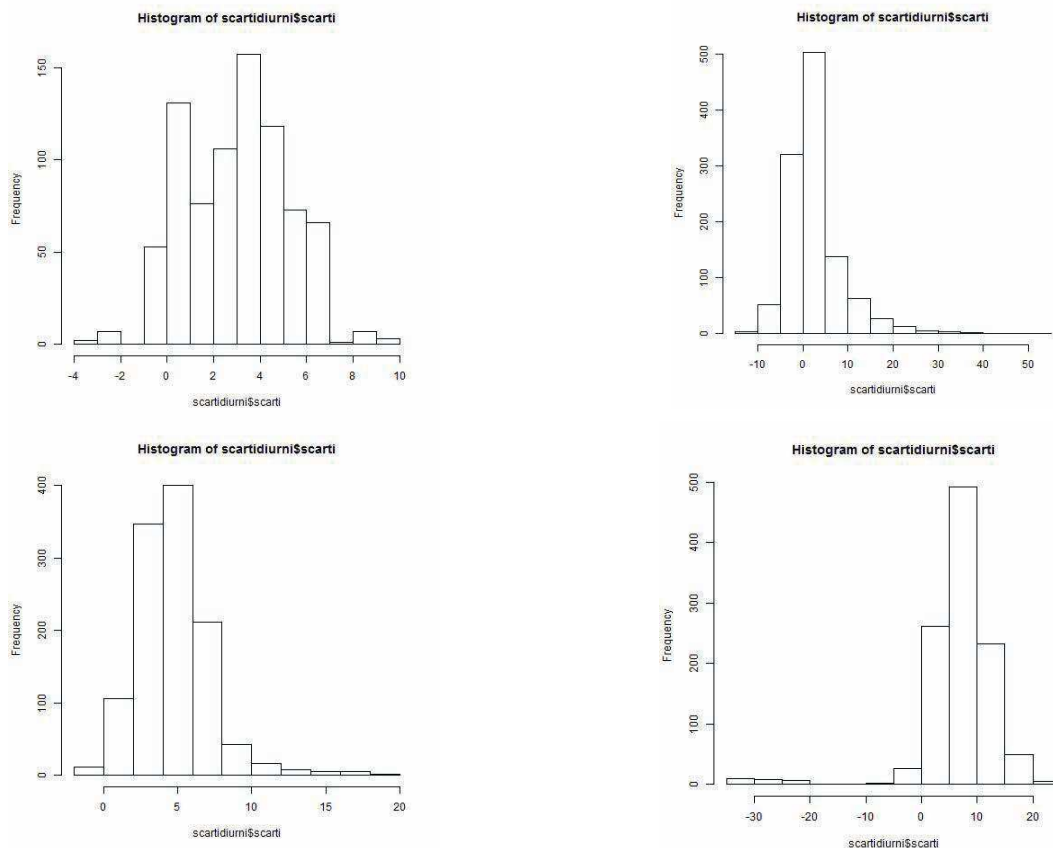


Figura 4: distribuzione dei valori di scarto percentuale tra campioni mediati su 6 minuti nell'intervallo orario 10-15 e medie su 24 ore per l'intero periodo di monitoraggio (4 siti).

Si osserva chiaramente una estrema varietà di condizioni da un sito all'altro (verificabile anche quando le centraline appartengono a classi comuni di parametri urbanistici). In particolare, lo scarto tra il valore su 6 minuti misurabile durante la giornata e la media su 24h può essere anche negativo, a significare che ci si trova in una condizione per cui i livelli di campo elettrico tendono ad essere più elevati al primo mattino e nella tarda serata.

Un simile fenomeno, relativamente inatteso visto che fino a pochi anni fa la maggior parte delle campagne con centraline evidenziava valori di campo più elevati nelle ore diurne, non è invece ad oggi per nulla raro, dato che nel 55% delle centraline analizzate vi sono uno o più giorni in cui la mediana degli scarti è negativa (con una percentuale sul totale dei giorni di monitoraggio variabile tra il 3% e il 60% circa).

In figura 5 vengono confrontati un andamento giorno-notte "standard" (con valori diurni più elevati) ed un andamento caratterizzato da valori elevati durante la tarda serata (in particolare per il secondo giorno, i valori più elevati sono nell'intervallo orario 21-24)

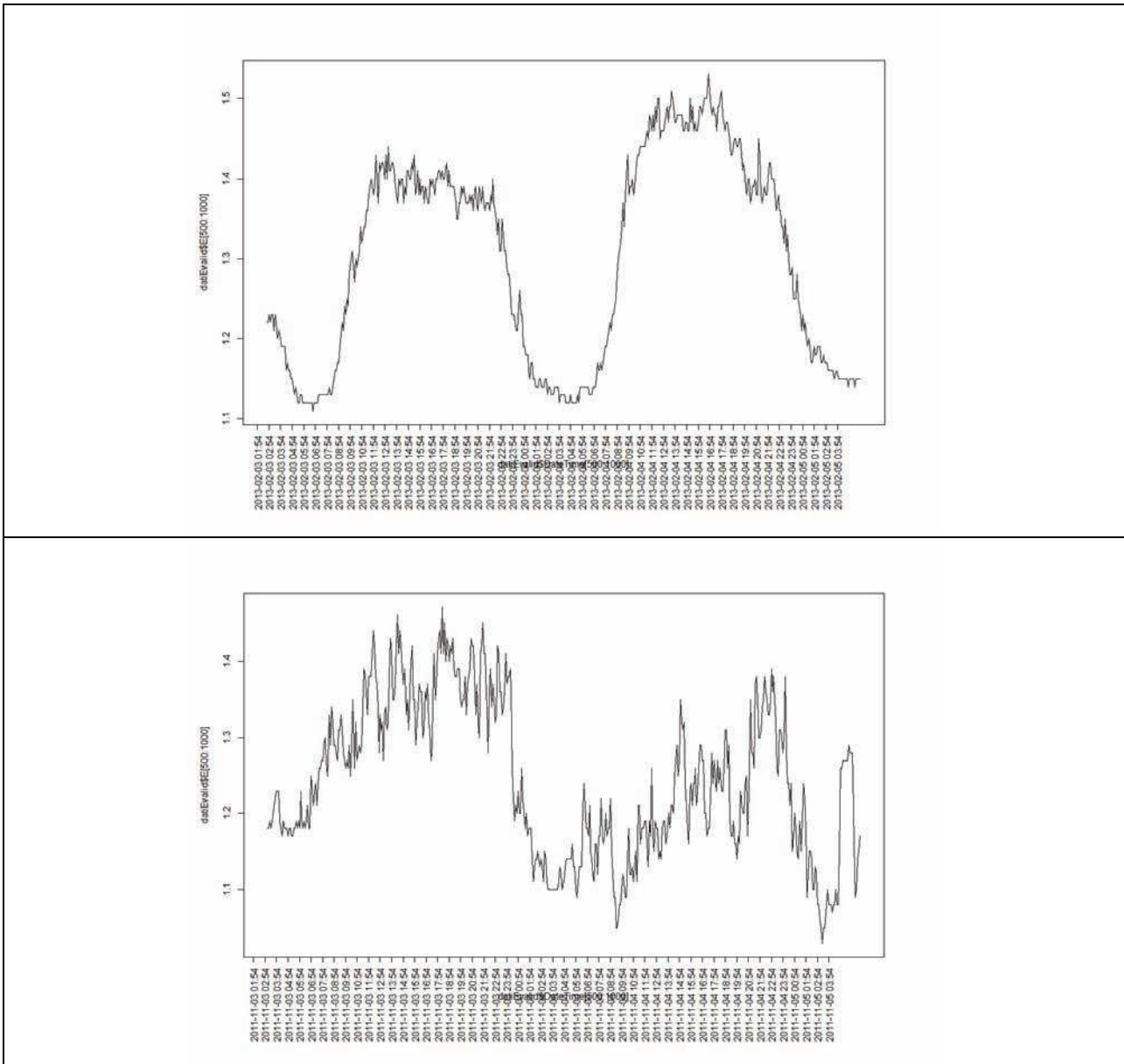


Figura 5: andamento del campo elettrico durante i primi due giorni di acquisizione di due centraline

La grande variabilità del fenomeno non si manifesta soltanto tra un sito e l'altro, ma anche all'interno dello stesso sito nelle differenti giornate di monitoraggio. Questo aspetto è presumibilmente legato alle diverse condizioni locali di utilizzo della rete di telefonia nei vari giorni (ad esempio per presenza di mercati, eventi vari, turni delle attività produttive, ecc.), ed è chiaramente visibile in figura 6, dove sono riportati i boxplot delle distribuzioni degli scarti percentuali tra i valori su 6 minuti misurabili durante la giornata e la media su 24h di ciascun giorno. Nell'immagine è possibile rilevare come la distribuzione vari di giorno in giorno, sia in termini di valore della mediana degli scarti (che per alcuni giorni è addirittura negativa, segnalando una prevalenza serale-notturna di livelli di campo elevati), sia in termini di allargamento della distribuzione stessa. In questo caso, ma anche in diversi altri, non vi è ripetibilità nemmeno considerando lo stesso giorno della settimana.

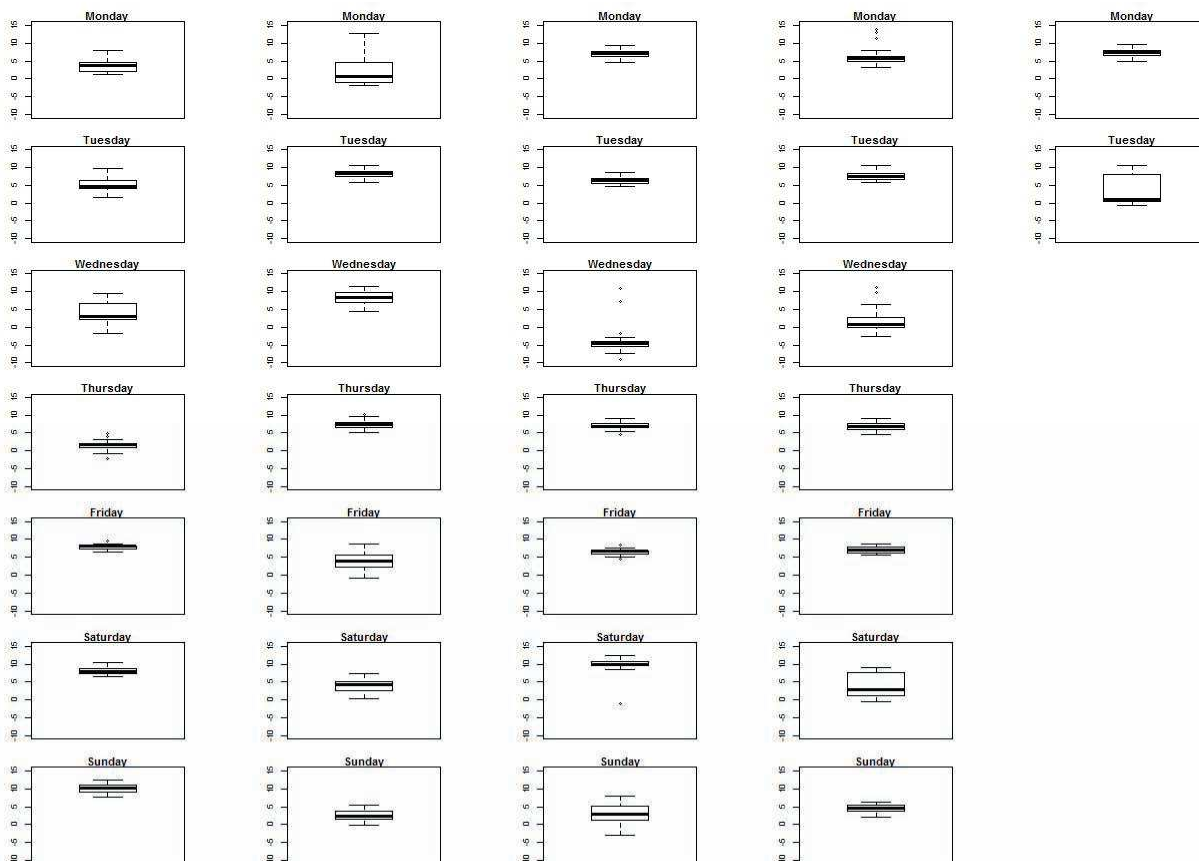
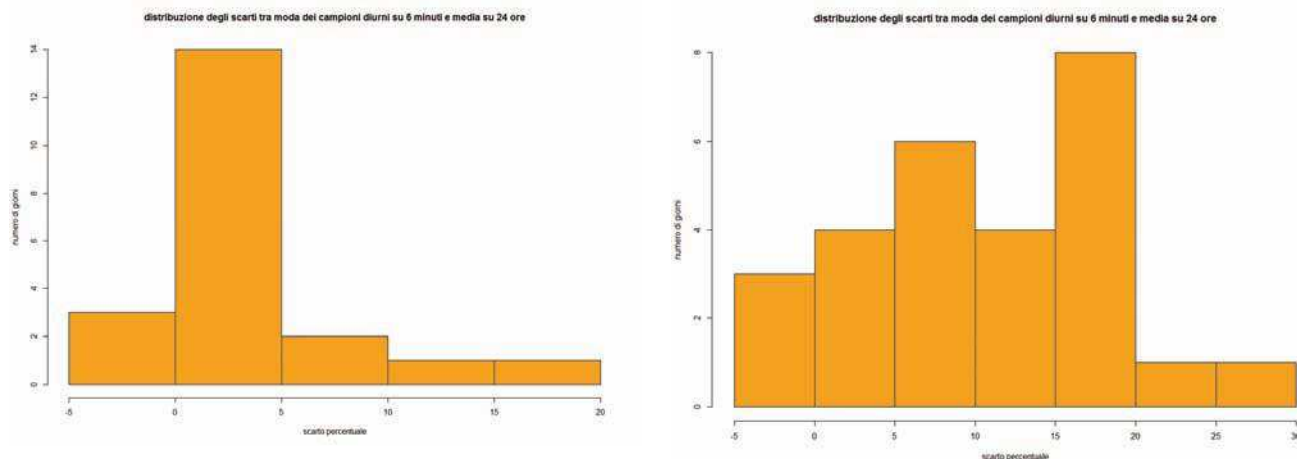


Figura 6: *boxplot giornalieri degli scarti tra campioni mediati su 6 minuti nell'intervallo orario 10-15 e medie su 24 ore (centralina posizionata in centro ad una cittadina di medie dimensioni).*

Lavorando poi sul parametro sintetico “scarto giornaliero tra la moda dei valori mediati su 6 minuti e la media su 24 ore” (SModa), è possibile caratterizzare ciascuna campagna di monitoraggio con il livello minimo e massimo di tale scarto. I valori minimi variano, per il campione di centraline considerato, nell'intervallo (-30%÷5%), mentre i valori massimi oscillano tra l'1% e il 27%. Analizzando la distribuzione dei valori di SModa per tutti i giorni di ciascuna campagna di monitoraggio, è però possibile verificare che, nonostante i valori massimi e minimi abbastanza elevati, per la maggior parte dei giorni di misura tale scarto è piuttosto contenuto, e solo in alcune situazioni particolari resta significativo. Alcuni esempi di distribuzione dei valori sono riportati in figura 7, dalla quale è possibile vedere che in 3 dei 4 casi riportati, lo scarto è, nella maggior parte delle giornate, contenuto entro il 5%.



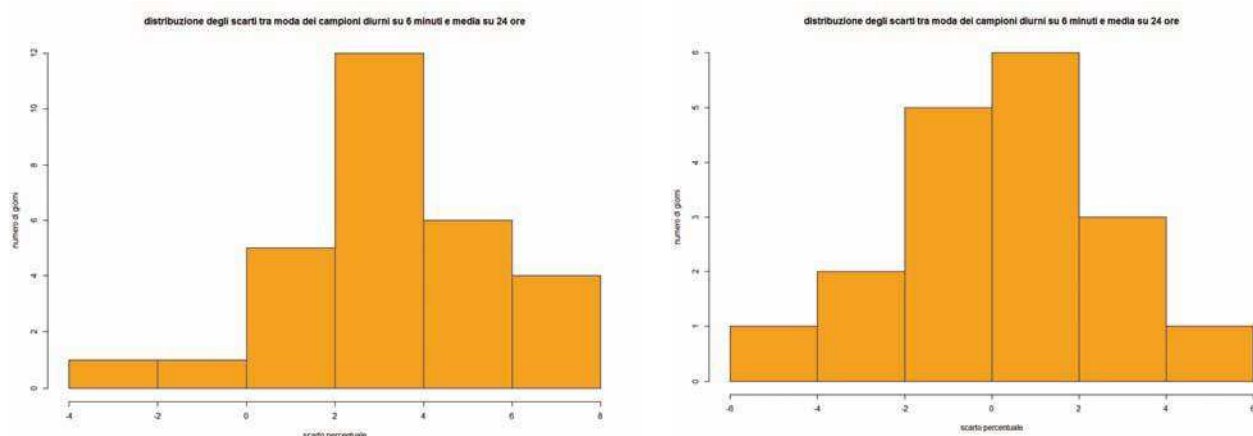


Figura 7: esempi di distribuzioni del parametro “scarto giornaliero tra la moda dei valori mediati su 6 minuti e la media su 24 ore” (SModa)

Questo trend è confermato se si sintetizza in un unico parametro la variazione nei livelli di esposizione considerando la media su 24 ore invece della media su 6 minuti: lo scarto percentuale tra la moda dei valori su 6 minuti nelle ore diurne lungo tutto il periodo di ciascuna campagna e la moda delle medie su 24 ore per lo stesso periodo (SUnico) varia tra un massimo del 12% ed un minimo pari a -5%.

Anche la variabilità del fenomeno per ciascuna campagna di monitoraggio è stata parametrizzata, come differenza tra i valori massimo e minimo di SModa. Essa oscilla tra il 3% e il 42% circa.

E' inoltre possibile analizzare la variazione dell'esposizione a partire dalla condizione peggiore durante le ore diurne (valore massimo dei campioni su 6 minuti) per ciascun giorno di monitoraggio: considerando i valori massimi degli scarti così ricavati per ogni centralina, si osserva che la media su 24 ore può essere, al più, tra il 10% e il 40% al di sotto del valore massimo su 6 minuti.

Il passo successivo del lavoro è stato quindi quello di cercare una correlazione tra le variazioni nei parametri di variazione dell'esposizione individuati e i parametri urbanistici ed antropici. Data la grande variabilità all'interno del campione, i coefficienti di correlazione sono piuttosto bassi, ma la loro analisi ha permesso di identificare quei parametri che con maggiore probabilità possono influire sulle variazioni di esposizione. In particolare, si è rilevato un legame tra il parametro SUnico (scarto percentuale tra la moda dei valori su 6 minuti nelle ore diurne lungo tutto il periodo di ciascuna campagna e la moda delle medie su 24 ore per lo stesso periodo) e la popolazione totale residente nei buffer intorno alle centraline, con un coefficiente di correlazione di circa -0.5. Andando però ad effettuare delle medie di SUnico per classi di popolazione, la correlazione arriva a -0.95, permettendo di verificare un effettivo legame di tipo lineare tra i due parametri (figura 8).

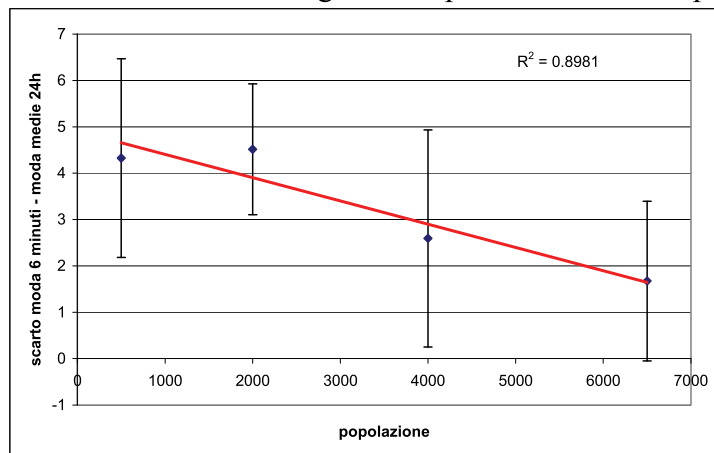


Figura 8: rappresentazione del legame tra SUnico e la classe di popolazione (espressa nel valore intermedio della classe stessa) associata al sito monitorato.

Le barre di errore in figura 8 rappresentano la deviazione standard dei valori S_{Unico} all'interno della classe di popolazione definita, evidenziando una variabilità tale che non è possibile determinare con univocità il legame funzionale tra i parametri. E' però corretto asserire che la variazione complessiva (più probabile) nei livelli di esposizione valutati su 24 ore rispetto a quelli su 6 minuti tende ad essere più elevata per classi di popolazione poco numerosa, mentre al crescere della popolazione si osserva una diminuzione di tale variazione, che può arrivare anche ad essere negativa (cioè con un valore medio su 24 ore mediamente più elevato del valore più probabile su 6 minuti durante le ore diurne).

Una analoga correlazione lega inoltre il parametro di variabilità degli scarti nel periodo di monitoraggio con il parametro urbanistico "numero di edifici adibiti ad attività produttive": si rileva che al crescere del numero di edifici produttivi, la variabilità tende mediamente ad aumentare, anche se in modo lieve (figura 9).

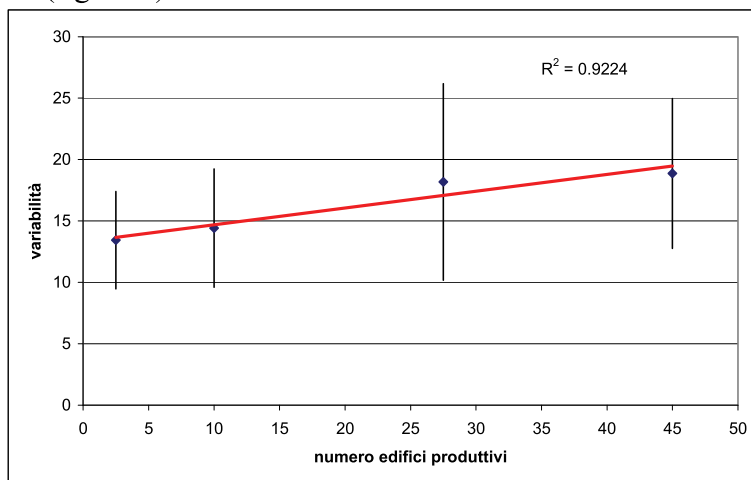


Figura 9: rappresentazione del legame tra la variabilità degli scarti (differenza tra S_{moda} massimo e minimo nel periodo) e la classe di numero di edifici adibiti ad attività produttive (espressa nel valore intermedio della classe stessa) associata al sito monitorato.

DISCUSSIONE

Il lavoro svolto è stato mirato a quantificare, tramite l'analisi di 120 campagne di monitoraggio con centraline, la variazione nei livelli di esposizione della popolazione legata al considerare come parametro di esposizione la media su 24 ore del campo elettrico invece della media su 6 minuti.

I risultati presentati evidenziano come tale variazione sia difficilmente parametrizzabile, in quanto soggetta a grandi differenze da sito a sito e, per lo stesso punto, da giorno a giorno. Sono stati comunque identificati alcuni parametri sintetici che forniscono un'indicazione numerica della variazione nell'esposizione, utilizzabili in futuro anche per il monitoraggio nel tempo di tale variazione a partire da campagne di misura successive negli stessi siti.

Considerando la variazione rispetto ai valori più frequenti di campo medio su 6 minuti misurabili durante le ore diurne (condizione attuale di misura da parte degli enti di controllo), si osserva, per un medesimo sito di monitoraggio, che globalmente su tutto il periodo le variazioni di esposizione tendono ad essere contenute entro un 10% circa, sia in positivo, sia in negativo. Questo significa che, pur essendo la variazione poco significativa nel complesso, è comunque possibile che l'utilizzo del parametro di media su 24 ore porti non soltanto ad un aumento dell'esposizione ma, in taluni casi, ad una diminuzione della stessa.

Se invece si prendono in considerazione le variazioni giorno per giorno nei diversi siti, la variabilità degli scarti è più elevata. In effetti, per la maggior parte delle campagne analizzate, per una percentuale elevata di giornate di monitoraggio gli scarti sono abbastanza contenuti, ma sono sempre presenti alcune giornate in cui essi diventano più significativi (in 25 campagne su 120 gli scarti massimi nel periodo sono superiori al 20%). Inoltre, nel 30% circa delle campagne analizzate

vi è almeno un giorno in cui lo scarto è negativo, ad indicare un valore di media su 24 ore superiore al valore su 6 minuti più frequente durante le ore diurne (scarti massimi intorno al -10%). Rapportandosi invece al valore massimo su 6 minuti durante le ore diurne, gli scarti oscillano tra il 10% e il 40%, sempre in positivo.

Considerando pertanto le variazioni giorno per giorno, si può dire che il valutare la media su 24 ore come parametro per il confronto con i limiti può portare ad aumenti nell'esposizione dell'ordine del 10-20% rispetto ai valori su 6 minuti che è più probabile rilevare nell'arco delle ore diurne, salendo al 30-40% se ci si confronta con il valore massimo su 6 minuti riscontrabile da misure diurne. Va però tenuto in conto che nella maggior parte delle giornate, tale aumento è limitato entro un 5-10%. Addirittura in alcune giornate si ha una diminuzione dell'esposizione in quanto la media su 24 ore è più elevata dei valori misurabili con maggior frequenza durante il giorno.

La differenza dei valori qui sintetizzati da un sito all'altro può essere considerevole, ed è risultata in qualche modo legata ai parametri antropici ed urbanistici dell'area di installazione della centraline, in relazione alle diverse modalità di flusso dei traffici telefonici.

In particolare, si è osservato che le differenze nei livelli di esposizione valutati come media su 24 ore o come media su 6 minuti tendono a diminuire all'aumentare della pressione antropica: tale risultato è ragionevole pensando che all'aumentare della popolazione residente intorno a degli impianti di telefonia, il carico di traffico gestito dagli stessi tende ad aumentare e a livellarsi tra giorno e sera/notte.

La variabilità delle stesse differenze nell'arco di un periodo di 15-30 giorni tende poi a modificarsi in funzione della tipologia urbana: laddove sono presenti più edifici adibiti ad attività produttive, la variabilità negli scarti diviene maggiore.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha permesso di mettere a punto una metodologia di analisi dei dati di campagne di monitoraggio utile per quantificare le variazioni nell'esposizione legate al passaggio dal parametro "media su 6 minuti" al parametro "media su 24 ore".

Le prime osservazioni che è possibile fare sulla base delle analisi effettuate è che la variazione nei livelli di esposizione è, complessivamente, piuttosto contenuta, ed a volte addirittura poco significativa tenuto conto delle incertezze di misura. Tale variazione, poi, tende a diminuire in quei siti dove vi è una maggiore pressione antropica, che sono anche generalmente i siti in cui è più probabile un superamento dei limiti. Ne deriva che la modifica nella normativa introdotta con la legge 221/2012 non andrà ad influire in modo sensibile sulle situazioni di criticità nei livelli di esposizione ad oggi individuate, se non aumentando la difficoltà ed i tempi delle misure, e riducendo quindi di conseguenza la capacità di controllo del sistema agenziale.

La variazione nei livelli di esposizione può essere più sensibile considerando alcune singole giornate delle campagne di monitoraggio, con una notevole varietà di risultati sia da sito a sito, sia da giorno a giorno all'interno di ciascuna campagna.

Quest'ultimo aspetto ci sembra poter influire sulla possibilità di definire con univocità ed in modo rappresentativo i fattori α_{24} previsti dalle linee guida in applicazione della legge 221/2012.

Infatti, la consistente variabilità del fenomeno da un giorno all'altro, considerando la misura di campo elettrico in banda larga, è presumibilmente da collegarsi ad una variabilità a livello di gestione della potenza sui singoli impianti che influiscono nel punto di misura. Pare pertanto difficile definire quale statistica sui dati di potenza utilizzare come α_{24} rappresentativo dell'effettiva variazione nei livelli di esposizione su periodi prolungati.

[1] R version 2.15.1 (2012-06-22) -- "Roasted Marshmallows" - Copyright (C) 2012 The R Foundation for Statistical Computing

[2] Quantum GIS version 1.8.0 – "Lisboa"