

Misure di campo elettrico generato in ambiente di vita da stazioni radio base UMTS e analisi della relazione con la potenza in antenna

Mathiou M., Politecnico di Torino III Facoltà di Ingegneria, marzia.mathiou@gmail.com

Bottura V., Cappio Borlino M., Arpa Valle D'Aosta, Loc. Grande Charrière 44, Saint Christophe (AO),
nir@arpa.vda.it

Vaccarone D., D'Elia S., Vodafone Omnitel NV, Via Jervis 13, 10015 Ivrea (TO),
davide.vaccarone@vodafone.com

Adda S., Arpa Piemonte, Via Jervis 30, 10015 Ivrea (TO), agentifisici@arpa.piemonte.it

Le simulazioni teoriche preventive sulle emissioni di campo elettrico generate da SRB con tecnologia UMTS portano in molti casi a risultati eccessivamente sovrastimati. E' stato oggetto di una tesi di laurea magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni del Politecnico di Torino in collaborazione con ARPA Valle d'Aosta e Vodafone Italia di Ivrea un primo lavoro di confronto tra misure di campo elettrico generato in ambiente e potenza emessa dall'antenna trasmittente, per valutare un modo di effettuare le simulazioni che fornisca risultati più reali dell'impatto elettromagnetico generato da questo tipo di impianti. A seguito di tale lavoro primario sono seguite altre verifiche sul campo in siti del Piemonte grazie alla collaborazione tra ARPA Piemonte e operatore Vodafone Italia ed un lavoro di elaborazione statistica dei dati di potenza di alcune importanti SRB.

INTRODUZIONE

Presso l'ARPA Valle d'Aosta, in collaborazione con l'operatore Vodafone Italia, è stata svolta una tesi di laurea magistrale di una studentessa del corso di laurea specialistica in Ingegneria delle Telecomunicazioni del Politecnico di Torino. L'obiettivo della tesi era quello di verificare la possibilità di trovare dei fattori di riduzione da applicare alla potenza utilizzata nelle simulazioni teoriche eseguite per una Stazione Radio Base (SRB) funzionante con la tecnologia UMTS, per avere una visione più realistica, ma pur sempre conservativa, dell'impatto elettromagnetico che tale impianto può avere sull'ambiente circostante, rispetto a quella ottenibile utilizzando la potenza di progetto. Tali fattori sono, peraltro, già previsti dalla normativa tecnica di settore (Guida CEI 211-10, Admission Control)

L'ipotesi di lavoro era quella di identificare i fattori di riduzione andando ad esaminare il legame presente tra traffico, potenza irradiata e campo misurato in siti di tipologia differente, verificando anche se fosse possibile raggruppare i siti in base a caratteristiche comuni di tipo geografico o di tipo tecnico. Sono state eseguite diverse misure di campo elettrico in ambiente di vita per periodi di tempo piuttosto lunghi (anche 24 ore) mentre, contemporaneamente, venivano memorizzati i dati puntuali di potenza e traffico gestiti dalla stazione radio base tramite un processo costruito appositamente per questa attività.

SITI DI MISURA

Risulta molto importante il tipo di sito di misura da scegliere perché deve presentare tutte le caratteristiche idonee all'effettuazione delle misure, ed individuarli non è stato facile. Il sito ottimale doveva prevedere: una stazione radio base dell'operatore Vodafone in tecnologia UMTS, la possibilità di collocare la sonda nella zona illuminata dal lobo principale dell'antenna emittente e la possibilità di avere accesso alla rete elettrica per la gestione della strumentazione di misura per molte ore consecutive, nonché l'accesso in sicurezza. Dopo aver preso in considerazione tutti i siti presenti sul territorio valdostano, la scelta è ricaduta su due, nei comuni di Saint Vincent (fig. 1) e Quart (fig. 2), a cui se ne è aggiunto uno ulteriore, presso la sede Vodafone di Ivrea (fig.3). Tutti e tre i siti hanno caratteristiche tecniche e urbanistiche differenti:

Figura 1. Sito di Saint Vincent

Il sito di Saint Vincent (fig. 1) è posto al centro della cittadina, in una zona residenziale, in cui è presente una SRB composta da tre settori ognuno dei quali lavora su due portanti, una dedicata al traffico voce e una dedicata al traffico dati



Il sito di Quart (fig. 2) è posizionato in una zona prevalentemente commerciale e di uffici, è presente una SRB composta da tre settori e ogni settore lavora su una sola portante in grado di gestire sia il traffico voce che il traffico dati

Figura 2. Sito di Quart



Il sito di Ivrea (fig. 3) è posto in una zona commerciale e di uffici ed è costituito da una SRB composta da due settori che utilizzano ciascuno due portanti entrambe in grado di gestire sia il traffico voce che il traffico dati.

Figura 3. Sito di Ivrea



MISURE

Prima dell'esecuzione delle misure vere e proprie sono stati effettuati rilievi e simulazioni preventivi per poter comprendere la distribuzione del campo elettrico nell'intorno del sito considerato e poter scegliere il punto migliore di misura.

Nei tre siti è stato misurato in ambiente di vita il campo elettrico generato da una delle portanti della SRB mentre, contemporaneamente, venivano memorizzati i relativi dati di potenza e traffico.

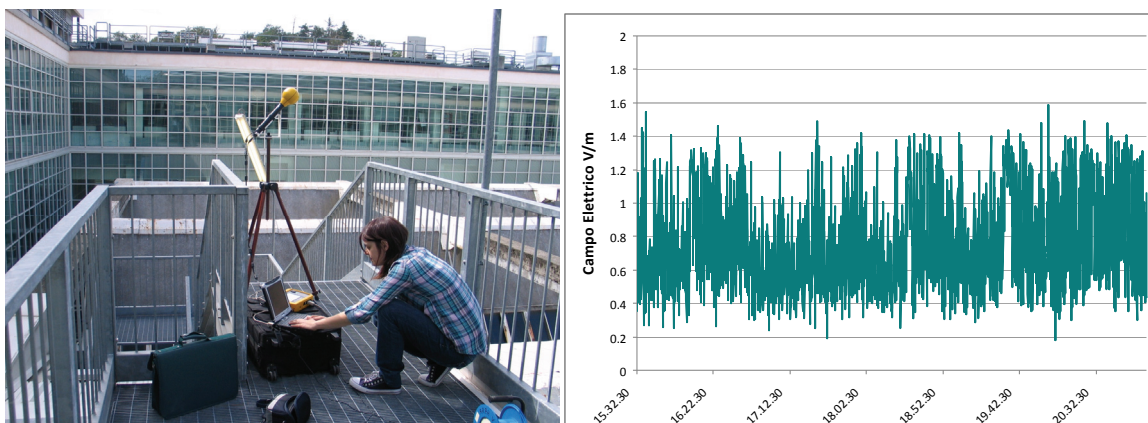
Le misure di campo elettrico sono state effettuate con l'analizzatore NARDA SRM3000 messo a disposizione da ARPA Valle d'Aosta. Al fine di acquisire i dati su un periodo lungo è stato necessario predisporre un programma di controllo dello strumento via PC (fig. 4).

I dati di traffico e potenza trasmessa sono stati campionati direttamente dalla rete Vodafone tramite un procedimento costruito ad-hoc. Tale processo consiste in un collegamento da remoto di un tecnico direttamente agli apparati della SRB tramite il quale si è potuta fare un'estrazione ogni 3 secondi ed una memorizzazione dedicata dei contatori di rete interessanti per la nostra analisi. Nei processi automatizzati standard tali dati invece non vengono estratti con questa capillarità ma solamente su base oraria.

Le prime misure in banda stretta sono state eseguite con modalità digitale sul canale di controllo del segnale UMTS che fornisce in uscita valori quasi stabili, per cui si è potuto verificare che, escludendo il traffico, l'antenna eroga al minimo sempre una potenza pari a circa 35 dBm. In tale modalità viene comunque registrato anche il contributo totale del segnale UMTS. Nelle misure

successive si è invece misurato direttamente l'integrale sull'intera banda del segnale. L'intervallo di misura è stato posto pari a 10 secondi poiché la procedura di campionamento sulla SRB era in grado di fornire i dati di potenza e di traffico ad intervalli non regolari compresi tra 3 e 5 secondi.

Figura 4. Misure di campo elettrico



ELABORAZIONI E PRIMI RISULTATI

È stato necessario effettuare delle elaborazioni preliminari per sincronizzare tra loro le misure di campo elettrico con i dati memorizzati dalla SRB, in quanto gli intervalli di campionamento non erano uguali, inoltre, i dati di traffico non sono stati memorizzati per tutto l'intervallo di misura.

Successivamente le elaborazioni sono state eseguite mettendo in relazione il campo elettrico e la radice quadrata della potenza in antenna espressa in Watt, per valutare la correlazione tra le due grandezze che, teoricamente, è ben definita. Tale correlazione è stata analizzata sia tra i valori istantanei, che mediando su diversi intervalli temporali, tra cui quello più significativo, anche ai fini stessi del lavoro, è quello su 6 minuti come previsto dalla normativa nazionale.

Mediando su 6 minuti le correlazioni tra campo elettrico (espresso in V/m) e radice della potenza (espressa in W) sono già molto buone, si mostra un esempio di correlazione tra un set di dati (fig. 5) e una tabella (tab. 1) riassuntiva delle correlazioni ottenute per tutti e tre i siti di misura nei diversi intervalli di media temporale:

Figura 5. Esempio di correlazione campo elettrico – radice potenza

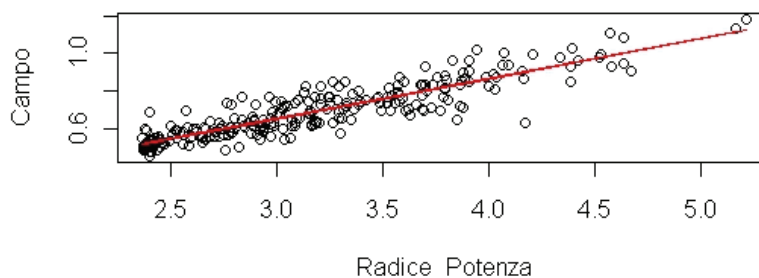


Tabella 1. Correlazioni a diverse medie temporali tra campo elettrico – radice quadrata della potenza

	IST	1 MIN	6 MIN	10 MIN	15 MIN	30 MIN	1 ORA
St. Vincent (*) Aprile	0,494	--	0,855	0,904	0,933	0,964	0,980
St. Vincent Giugno	0,183	0,427	0,740	0,777	0,794	0,808	0,810
Ivrea Giugno 1° giorno	0,012	0,068	0,319	0,432	0,494	0,482	0,483
Ivrea Giugno 2° giorno	0,052	0,167	0,617	0,649	0,647	0,692	0,769
Quart Giugno	0,346	0,617	0,908	0,943	0,961	0,977	0,983

(*) le misure di campo elettrico sono state effettuate ad intervalli di campionamento di 1 minuto

I differenti risultati tra i siti dipendono da vari fattori: tipo di traffico gestito dall'antenna, giorno della settimana in cui si esegue la misura, condizioni atmosferiche di temperatura ed umidità, ecc.

Inoltre per ottenere correlazioni accettabili tra campo elettrico e potenza è necessario disporre di molti dati di misura.

Le correlazioni sono comunque significative quando si media già su un periodo di 6 minuti.

Sono state eseguite le stesse elaborazioni anche sui dati di traffico. Purtroppo, a causa della mole di dati impattata dall'operazione di acquisizione di questo tipo di informazione, non è stato possibile avere a disposizione tutti i valori istantanei di traffico per i vari siti, ma in alcuni giorni sono stati forniti solo per alcune ore. I risultati delle elaborazioni non hanno evidenziato correlazione tra campo elettrico e traffico.

Tra i motivi va considerato lo scarso numero di dati a disposizione, ma, soprattutto, il fatto che non esiste una definita relazione che lega il campo elettrico al traffico, nonostante la potenza emessa dall'antenna sia generata per gestire tale traffico. Infatti, può accadere che un utente molto vicino alla SRB generi molto traffico ma richieda poca potenza e che un altro utente che si trova ai confini della cella richieda molta più potenza per generare lo stesso quantitativo di traffico. Inoltre, è importante anche il tipo di traffico, in quanto il traffico voce è sicuramente diverso dal traffico dati, di tipo spot e con ampiezze decisamente inferiori.

Considerando che mediando a 6 minuti le correlazioni tra campo elettrico e potenza sono già buone, si è provato a vedere se, utilizzando come potenza di simulazione la massima ricavata dalle medie su 6 minuti, il risultato dell'elaborazione teorica fornisse un valore sempre maggiore anche rispetto ai valori ricavati dalle singole medie ogni 6 minuti dei dati di campo elettrico misurato. Inoltre, si sono simulati i valori di campo anche utilizzando la media tra valori di potenza mediati su 6 minuti e la massima potenza dichiarata dall'operatore in fase di progetto, per metterli tutti a confronto.

I comportamenti sono differenti nei tre siti: solo per il sito di Quart, dove le correlazioni campo/potenza erano ottime, il valore di campo elettrico ottenuto inserendo nella simulazione la massima tra le potenze mediate sui 6 minuti è risultato sempre maggiore delle medie dei valori di misura (fig. 6). Questo risultato è molto importante perché il sito di Quart era quello in cui si sono riscontrati intervalli di 6 minuti in cui la potenza rimaneva abbastanza costante e la cui media si avvicinava al valore limite per il corretto funzionamento della rete (fig. 7).

Figura 6. Confronti tra simulazioni e misure – Sito di Quart

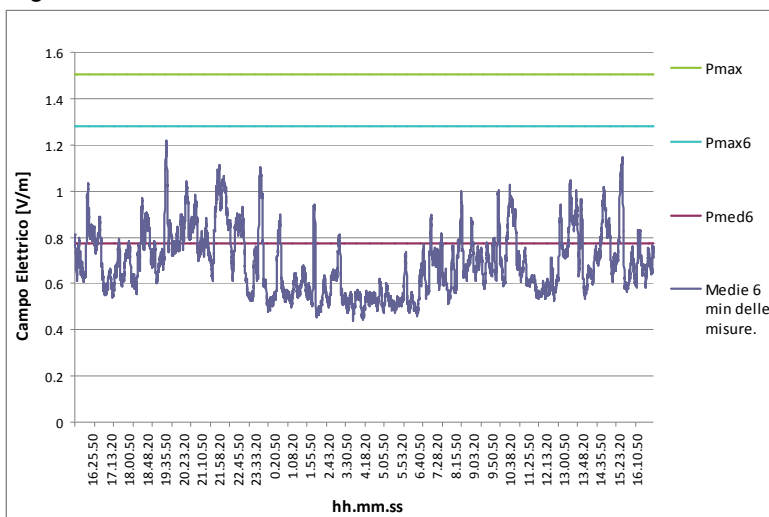
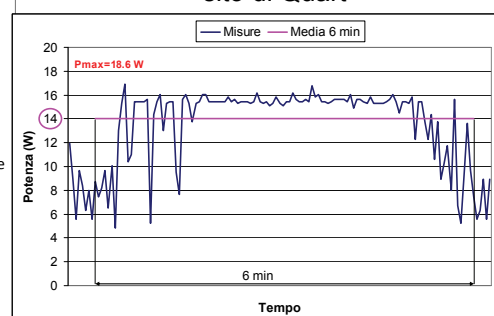


Figura 7. Potenza nei massimi 6 min. durante la sessione di misura sito di Quart



Negli altri siti, in cui la potenza realmente utilizzata dalla SRB nel periodo di misura è stata nettamente al di sotto della massima potenza disponibile, e non è stato possibile trovare un periodo di 6 minuti in cui essa rimanesse abbastanza costante, (fig. 9), alcuni valori delle singole medie ricavate dalle misure superavano il valore ottenuto dalla simulazione (fig. 8)

Figura 8. Confronti tra simulazioni e misure – Sito di St. Vincent

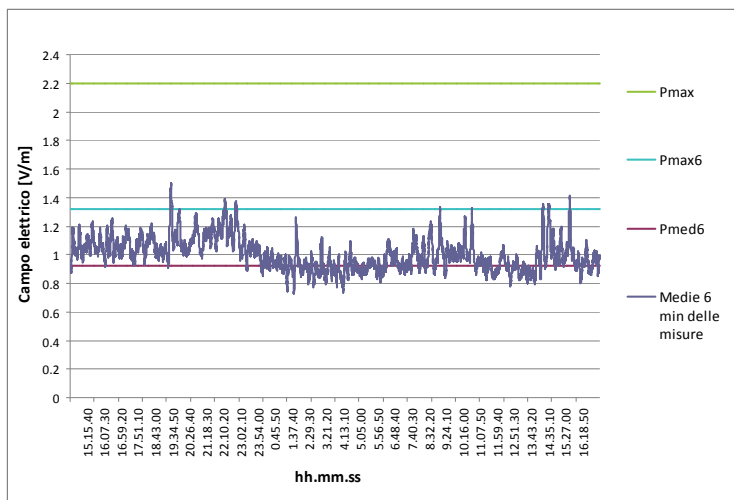
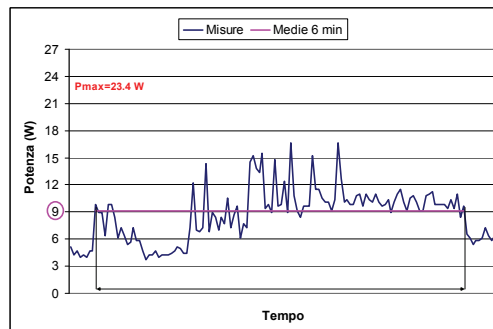


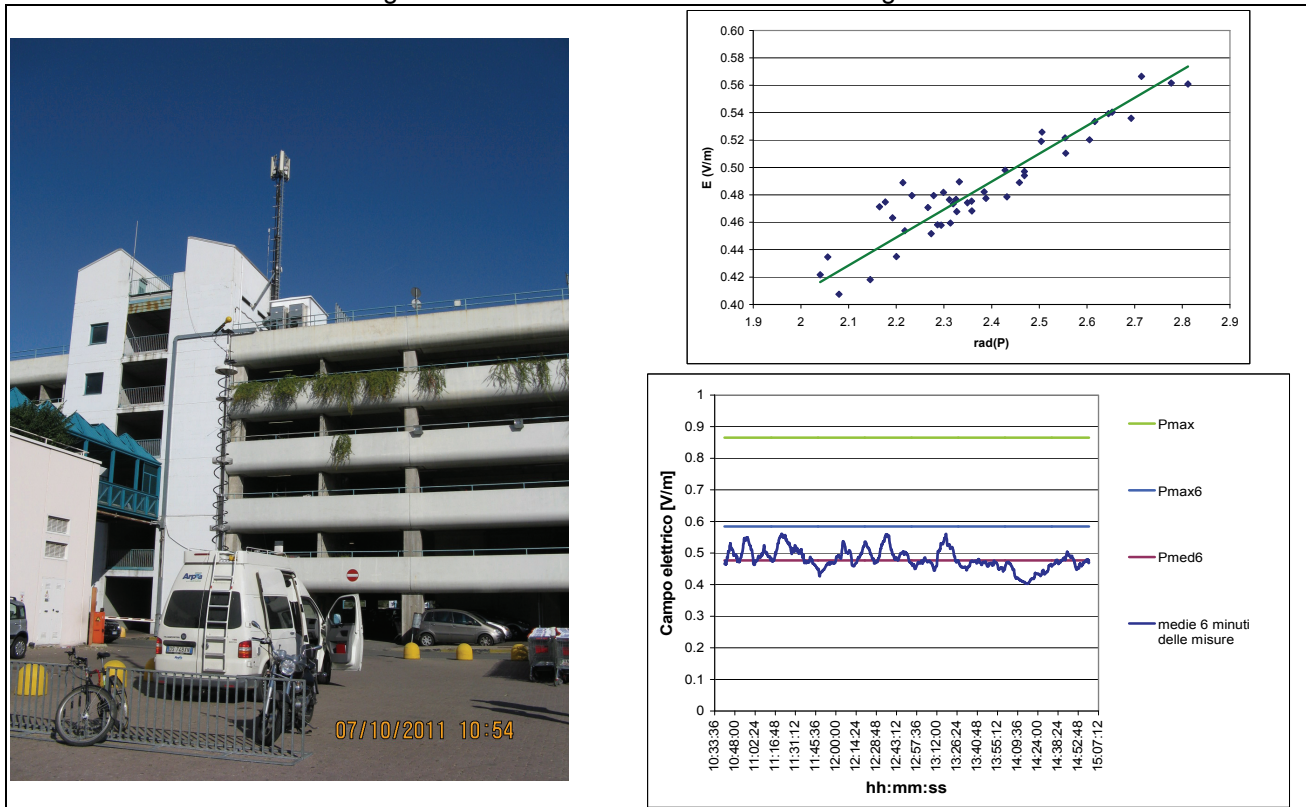
Figura 9. Potenza nei massimi 6 min. durante la sessione di misura sito di St. Vincent



Solo per nel sito di Quart, dove il valore massimo di potenza utilizzata è pari circa al 75 % della potenza totale, valore che si avvicina al valore limite per il corretto funzionamento della rete, il valore di campo elettrico ottenuto inserendo nella simulazione la massima tra le potenze mediate sui 6 minuti è risultato sempre maggiore dei valori delle medie su 6 minuti ottenuti direttamente dalle misure.

I dati rilevati da Arpa Valle d'Aosta sono poi stati integrati da ulteriori misure, effettuate con la stessa metodologia da Arpa Piemonte su un sito nella prima cintura di Torino (Grugliasco), caratterizzato da traffico elevato e buona accessibilità del punto di misura. Tale sito è stato monitorato in una prima fase con una condizione di singola portante UMTS, ed in una seconda fase dopo il potenziamento tramite aggiunta della seconda portante. Il coefficiente di correlazione tra campo e potenza è risultato pari a 0.94. In fig.10 sono riportati la regressione campo-radice della potenza e le valutazioni teoriche effettuate analogamente a quanto fatto per i siti valdostani (per il caso a singola portante).

Figura 10. misure e simulazioni – sito di Grugliasco



ANALISI STATISTICA DELLA POTENZA DI CELLE UMTS IN AREE URBANE

Visto l'obiettivo di validare il coefficiente di riduzione da applicare alla potenza ipotizzato nella prima fase dell'attività, si è voluto estendere l'analisi ad un cluster di siti statisticamente significativo dal quale estrarre e memorizzare i dati puntuali relativi alla potenza emessa. Si è scelto quindi di concentrarsi su due primarie città del Nord /Sud Italia che sono gestite dai due diversi produttori di apparati radio fornitori di Vodafone Italia. All'interno di questi cluster sono stati individuate le celle che sulla base dei contatori potenza smaltita (oraria) sono risultate le più ad alto traffico.

L'analisi effettuata sui dati di potenza ha avuto sostanzialmente la finalità di predisporre un metodo per la stima dell'entità della riduzione dovuta all'Admission Control, ed è stata sviluppata in due obiettivi:

- determinare se il cluster di dati fosse realmente rappresentativo di condizioni di carico elevato degli impianti,
- valutare statisticamente, in condizioni effettivamente conservative, l'entità del fattore di riduzione rispetto alla potenza massima, assimilabile all'admission control.

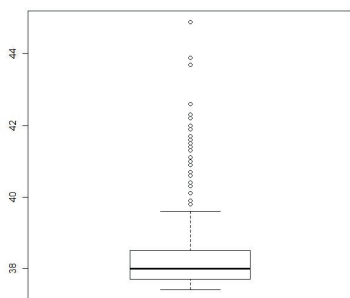
Tale analisi ha contemplato sia siti con singola portante, sia siti con due portanti (in genere ripartite tra voce e dati).

La prima operazione effettuata sulle serie di dati è stata lo studio dell'autocorrelazione, finalizzato a determinare l'intervallo di campionamento più corretto sul quale lavorare, dal quale è emerso che un campionamento ogni 10s.circa garantisce che i dati siano effettivamente significativi in quanto indipendenti tra di loro.

Dopo aver effettuato il ricampionamento, si quindi è proceduto all'analisi, tramite la stima di una serie di parametri statistici utili per la determinazione della bontà del cluster di dati e tramite calcolo della media trascinata su 6 minuti.

Per la determinazione della rappresentatività del cluster in merito alle condizioni di carico elevate, sono stati calcolati i percentili e valutati i boxplot (esempio figura 11).

Figura 11. boxplot per una serie di dati della città del Nord



Si sono in pratica considerate come condizioni di alta potenza i valori che nel boxplot sono considerati come outlayers, ossia quei valori superiori al limite (L_{out}) determinato come somma del 75° percentile più il range interquartilico.

Un ulteriore discriminare per individuare le sessioni ad alta potenza è stato il valore del 95° percentile.

In prima analisi, si sono individuate quelle celle per le quali si potevano riscontrare condizioni di alta potenza ($>L_{out}$) per intervalli di tempo maggiori di 1 minuto. Su 30 celle analizzate in totale, 12 rispondevano a questo requisito (4 su 17 a Milano e 8 su 13 a Palermo). Per queste celle, si è considerato che la media trascinata sui 6 minuti fosse effettivamente una stima

sufficientemente conservativa della massima potenza raggiunta in presenza del meccanismo di admission control.

Per le restanti celle, si è scelto di considerare come rappresentative quelle che soddisfano le seguenti condizioni:

- 1- il valore massimo istantaneo raggiunge livelli superiori al 95% della potenza massima erogabile
- 2- la percentuale degli outlayers (stimata secondo il metodo visto sopra) è superiore al 10% del totale dei campioni, ossia almeno 30 minuti su un campionamento di 24 ore sono in condizioni di alta potenza

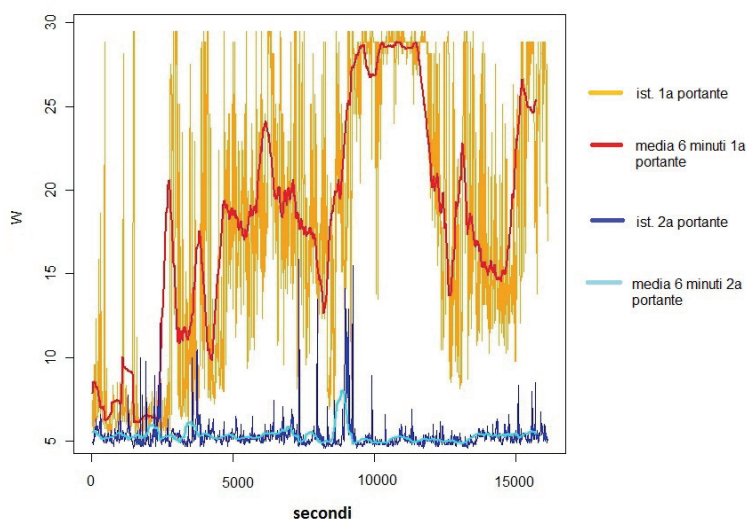
Per le celle così individuate (7 su 30), il parametro utilizzato per la stima della massima potenza raggiungibile dall'impianto è stato la media dei valori individuati come outlayers. In pratica, sono stati ricostruiti i potenziali peggiori 6 minuti, che si realizzerebbero nel caso in cui le condizioni di alta potenza fossero richieste continuamente per un tempo di durata di qualche minuto.

Tale parametro è stato stimato anche per le prime 10 celle, ed è risultato, a riprova della validità del ragionamento sopra riportato, convergente con il valore della massima media su 6 minuti.

I parametri scelti (massima media su 6 minuti o media degli outlayers) sono stati quindi espressi in percentuale rispetto alla potenza massima erogabile dagli impianti.

In merito all'aspetto del rapporto con la potenza massima erogabile, nell'analizzare le serie di dati della città del Sud, ci si è resi conto di un comportamento anomalo rispetto ai dati della città del Nord. In effetti, per la maggior parte dei siti della città del Sud è utilizzato un depotenziamento via software a causa di una situazione storica di copertura della città. E' in effetti evidente, nel grafico di figura 12, come il depotenziamento via software infici il funzionamento del meccanismo di admission control. Per la cella analizzata, infatti, il valore massimo della potenza istantanea raggiunge soltanto il 73.8% della potenza di targa dell'impianto, ma livelli elevati vengono mantenuti per intervalli di tempo prolungati, per cui il valore massimo della media su 6 minuti raggiunge il 72% della potenza di targa.

Figura 12. andamento nel tempo della potenza su 2 portanti di un impianto della città del Sud



In tab. 2 sono riportati i risultati delle stime per tutte le celle analizzate (indicate con una N quelle della città del Nord e con una S quelle della città del Sud). Nella sezione A sono visibili i valori percentuali del rapporto tra massima media su 6 minuti e massima potenza erogabile per le 10 celle che rispettano il requisito di alta potenza per periodi prolungati. Nella sezione B sono riportati i valori percentuali del rapporto tra la media degli outlayers e la massima potenza erogabile per le celle considerate rappresentative secondo i criteri sopra riportati.

Queste prime due sezioni possono essere utilizzate per una prima stima dell'entità del fattore da applicare ai sensi della norma CEI 211-10 per tener conto dell'admission control. E' però da rilevare che il depotenziamento di molte delle celle della città del Sud è dovuto non al meccanismo dell'admission control, che anzi non è operativo in maniera efficace come già evidenziato, bensì al depotenziamento via software operato a priori sulla cella.

Per completezza e' da evidenziare anche la presenza di una cella con un sovraccarico nell'utilizzo della potenza (la N58841, evidenziata in rosso nella tab. 2). Tale cella risultava già come congestionata ed anomala come servizio fruibile dagli utenti, in quanto caratterizzata da una sola portante UMTS implementata in un contesto di traffico elevato (e' già stato pianificato un aumento capacitivo con l'aggiunta della seconda portante). Infatti la percentuale di occupazione di potenza da parte del traffico dati, per il mese di aprile, è stata sempre superiore al 95%, contro una media di riferimento di circa il 70% (ad di sopra della quale vengono pianificati interventi di espansione). Peraltro, il numero di campioni con valore di potenza su 6 minuti maggiore dell'80% della massima potenza erogabile è molto limitato (pari all'1.4%).

Oltre ai valori riportati in tabella, è stato calcolato il rapporto tra la massima media su 6 minuti e la massima potenza erogabile per le celle residue, dato che, pur non essendo adeguato ad una stima cautelativa del fattore di riduzione per l'admission control, può servire come indicazione delle condizioni medie di esposizione riscontrabili da misura rispetto alla valutazione a massima potenza, anche in presenza di traffico elevato. Considerando tutte le celle analizzate, l'occupazione media di potenza rispetto alla massima erogabile è del 54% circa.

Tabella 2. Risultati della stima della percentuale della potenza massima erogabile effettivamente trasmessa in condizioni di carico elevato delle celle

	Identificativo cella	Numero portanti	% della potenza massima erogabile
A	N02863	1	79.7
	N57641	1	73.6
	N58841	1	86.05
	N46713	2	62.6
	S06652	1	58.75
	S24809*	1	68.75
	S24591	1	62.2
	S31061*	1	67.8
	S55482	1	59.2
	S05503-6	2	62.4
	S54892-5	2	72.15
	S54952-5	2	73.0
B	N25481	2	68.25
	N58865		73.7
	N63165		50.7
	N58294		36.5
	N58785		62.2
	N60105		48.2
	N63275		55.3

* celle di Palermo che non sono state depotenziate via software

Il valore più elevato tra quelli di tabella 2 è quello relativo alla cella in condizioni di funzionamento non sostenibili (per la quale è stata richiesta l'attivazione della seconda portante). Se si esclude questa cella, la percentuale più elevata riscontrata è inferiore all'80%.

Ragionando in termini di media sul set di celle maggiormente cariche, il fattore da applicare alla massima potenza erogabile è all'incirca di 0.74.

CONCLUSIONI

La tecnologia UMTS è radicalmente diversa dalle precedenti nella gestione spettrale ed è caratterizzata da una efficiente gestione spazio/potenza utilizzato dagli utenti. Per un funzionamento ottimale, la stazione radio base non deve utilizzare la massima potenza disponibile per lunghi periodi, portando così ad un risultato medio di potenza utilizzata sempre minore di quella massima di un fattore stimabile. Tale coefficiente è già previsto dalla normativa tecnica di settore (Admission Control). I lavori presentati nell'articolo hanno lo scopo di quantificare tale coefficiente in modo cautelativo rispetto alle reali condizioni di emissione delle antenne (dati ricavati dai contatori di rete). Si è cominciato con il verificare la correlazione campo – potenza tra le misure in ambiente e la potenza emessa in antenna. In condizioni di buona visibilità delle antenne e di elevato utilizzo della stazione, tale correlazione su una media di 6 minuti è ottima (superiore a 0.9). Il passo successivo è stato una estesa elaborazione statistica sui dati di potenza delle SRB più significative di due grandi città per verificare se il coefficiente ricavato dai dati misurati (circa 0.75) fosse cautelativo anche per ampi cluster di siti.

Le elaborazioni confermano tale risultato e indicano un metodo per ricavare un coefficiente utile a calcolare un valore più realistico della potenza in antenna da utilizzare per le simulazioni preventive di impatto elettromagnetico, che garantisce comunque il rispetto dei limiti nel confronto con i valori misurabili in campo.

Questa metodologia potrà essere in futuro quindi applicata per ricavare il valore di Admission Control relativi a fornitori di tecnologia UMTS anche di altri operatori.

Bibliografia

Z. Mahfouz, A. Gati, D. Lautru, M. Wong, J. Wiart, V. Fouad Hanna "Influence of Traffic Variations on Exposure to Wireless Signals in Realistic Environments", Bioelectromagnetics (2011).

Norma CEI 211-10 "Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare I limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza (2002)