



## ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI AGRICOLI IN PROSSIMITÀ DI STAZIONI RADIO BASE PER TELEFONIA CELLULARE: PRIME VALUTAZIONI<sup>1</sup>

*F. Santoro, S. Pascuzzi*

Dipartimento di Scienze Agro-Ambientali e Territoriali, Università degli Studi Aldo Moro di Bari

### SOMMARIO

*Nella presente nota si riportano i risultati di uno studio mirato all'analisi del campo elettrico generato da Stazioni Radio Base posizionate su terreni agricoli allo scopo di valutare l'esposizione degli operatori durante le lavorazioni di campo effettuate in aree ad esse circostanti.*

*Per il rischio degli operatori si fa riferimento ai limiti di esposizione ed ai valori di attenzione (per permanenze non superiori alle quattro ore) riportati nel D.P.C.M. 08/07/2003 Art. 3 ovvero, per le frequenze a cui operano le SRB di telefonia cellulare, rispettivamente 20 V/m e 6 V/m.*

*Sulla base dei risultati ottenuti, si può affermare che esiste effettivamente un pericolo per la salute degli operatori che compiono lavori in prossimità di SRB per telefonia cellulare per un periodo superiore alle 4 ore; tale rischio, però, si riduce sensibilmente e diviene accettabile considerando le effettive condizioni di funzionamento delle Stazione Radio Base, notevolmente inferiori a quelle nominali.*

*Parole chiave: campi elettromagnetici, sicurezza, attività colturali di pieno campo.*

### 1 INTRODUZIONE

La notevole diffusione nell'uso delle applicazioni legate alla telefonia cellulare (comunicazione audio-video, trasmissione dati, ecc.) avvenuta negli ultimi anni ha portato ad un notevole aumento della presenza sul territorio di impianti per la trasmissione del segnale; tali impianti, noti con il nome di Stazioni Radio Base (nel seguito SRB), hanno lo scopo di consentire l'utilizzo di dispositivi di comunicazione mobile a seguito dell'irradiazione di un segnale trasmesso mediante idonei apparati ed opportune antenne.

L'irradiazione del segnale avviene mediante propagazione di onde elettromagnetiche nelle quali campo elettrico e magnetico variano periodicamente nel tempo consentendo la trasmissione di energia con un processo di tipo ondulatorio generando, così, un campo elettromagnetico (CEM) (Chatteron *et al.*, 1992).

Dal punto di vista sanitario un individuo immerso in un campo elettromagnetico

---

<sup>1</sup> Ciascuno degli autori ha contribuito in parti uguali.

interagisce con esso creando un accoppiamento fisico tra il suo sistema biologico ed il campo, che produce, in corrispondenza delle frequenze tipicamente utilizzate dalla telefonia cellulare (intorno al GigaHertz), un campo elettrico ed un campo magnetico indotto ed un significativo e disuniforme assorbimento locale di energia (*Apollonio et Al., 2000, D'Amore, 2003*).

I meccanismi fisici di accoppiamento tra campi elettromagnetici ed organismi biologici sono strettamente legati alla geometria del corpo umano, alle proprietà tissutali ed alle condizioni di esposizione. In particolare la frequenza del campo elettromagnetico influenza in modo significativo i predetti meccanismi di accoppiamento, pertanto i limiti massimi vengono espressi in funzione della frequenza (*Bernardi et al., 2000, Rubin et al., 2005*).

Nell'ambito dei campi elettromagnetici ad alta frequenza tipiche della telefonia cellulare (900÷2200 MHz), l'esposizione di una persona è direttamente legata ai valori di alcune grandezze che si stabiliscono per effetto di tali campi, all'interno del corpo umano: tali grandezze, dette interne o primarie, sono essenzialmente la densità di corrente ( $J$ ) [ $A/m^2$ ] e il tasso specifico di assorbimento di energia ( $SAR$ ) [ $W/kg$ ]; queste quantità sono facilmente determinabili una volta noto il valore del campo elettrico ( $E$ ) indotto nel corpo umano o in una sua parte mediante le seguenti equazioni (*Bernardi et al., 2000*):

$$J(x, y, z) = \sigma(x, y, z) \cdot E(x, y, z) \quad (1)$$

$$SAR(x, y, z) = \frac{\sigma(x, y, z) \cdot |E(x, y, z)|_{RMS}^2}{\rho(x, y, z)} \quad (2)$$

$\sigma$ :conducibilità elettrica [ $S/m$ ]

$\rho$ :densità di massa del tessuto [ $kg/m^3$ ]

Purtroppo, però, la valutazione del campo elettrico indotto non è di facile determinazione pertanto la verifica dell'esposizione di una persona ai campi elettrici e magnetici viene condotta misurando le cosiddette grandezze esterne o derivate, ovvero i valori efficaci dei campi inducenti elettrico e magnetico in assenza del corpo esposto. Una volta poi valutate le condizioni di esposizione e le relative caratteristiche del campo elettromagnetico, mediante i modelli dosimetrici si risale dalle grandezze derivate a quelle primarie (*Bevitori P., 2007*).

Il recente D.Lgs 81/2008 (Testo unico sulla sicurezza) coordinato con il D.Lgs 106/2009 annovera tra i diversi rischi per la salute dei lavoratori anche quello legato all'esposizione a campi elettromagnetici (0 Hz ÷ 300 GHz) durante il lavoro. Queste disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano derivanti dalla circolazione di correnti indotte e dall'assorbimento di energia. In esso si definiscono, infatti: a) i valori limite di esposizione ai campi elettromagnetici, basati direttamente sugli effetti sulla salute accertati e su considerazioni biologiche, il cui rispetto garantisce la protezione contro tutti gli effetti nocivi a breve termine per la salute conosciuti; b) i valori di azione, direttamente misurabili e la cui osservanza assicura il rispetto dei pertinenti valori limite di esposizione, che determinano l'obbligo di adottare una o più delle misure specificate.

Nella presente nota si riportano i risultati di uno studio mirato all'analisi del campo elettrico generato da Stazioni Radio Base posizionate su terreni agricoli allo scopo di valutare l'esposizione degli operatori durante le lavorazioni di campo effettuate in aree ad esse circostanti.

Per il rischio degli operatori si fa riferimento ai limiti di esposizione ed ai valori di attenzione (per permanenze non superiori alle quattro ore) riportati nel D.P.C.M. 08/07/2003 Art. 3 ovvero, per le frequenze a cui operano la SRB di telefonia cellulare, rispettivamente 20 V/m e 6 V/m.

## 2 MATERIALI E METODI

Si è valutato il campo elettromagnetico indotto da una SRB avente caratteristiche tecniche atte a soddisfare appieno le esigenze di connettività mobile allo stato attuale delle tecnologie disponibili. In particolare si è simulata la presenza su un terreno agricolo di una Stazione Radio Base avente le seguenti caratteristiche: 1) uniforme distribuzione del segnale nel piano realizzata mediante tre sistemi di antenne trasmissive, disposti a 120° l'una dall'altra, operanti nella bande GSM900, GSM1800 (DCS), UMTS2100 (UMTS) e UMTS900; 2) capacità operative massime, coerentemente alle esigenze di funzionalità dei servizi erogati.

Occorre ricordare che in una Stazione Radio Base assumono particolare rilevanza, oltre alle caratteristiche tecniche delle apparecchiature utilizzate (trasmettitori ed antenne) le seguenti due grandezze geometriche:

- a) l'altezza del centro radioelettrico (hCRE) delle antenne trasmissive (generalmente coincidente con la mezzeria delle stesse antenne) rispetto al suolo;
- b) l'inclinazione delle antenne trasmissive rispetto alla verticale (DownTilt), in modo da garantire una direzionalità del segnale irradiato verso il terreno.

Nella simulazione effettuata sono state considerate tutte le combinazioni ottenute con i seguenti valori di hCRE [m]: 9 – 12 – 15 – 18 – 21 – 24 – 27 – 30 e i seguenti valori di DownTilt: 0° – 1° – 2° – 3° – 4° – 5° – 6° – 8° – 10°.

LA SRB è stata implementata nel codice facendo riferimento alle caratteristiche tecniche delle apparecchiature di ultima generazione "Nokia Siemens Networks Flexi Multiradio BTS", in grado di fornire il segnale richiesto da ciascuna delle bande di frequenza su menzionate.

Per irradiare il segnale si è ipotizzato, inoltre, l'utilizzo di antenne costituite da schiere di dipoli verticali posti davanti a schermi riflettenti, presenti nel catalogo prodotti dell'industria leader del mercato (Kathrein) adatte alla frequenza ed alla tipologia di segnale da trasmettere.

La configurazione per la SRB ipotizzata per le simulazioni è riportata in Tabella 1.

Il campo elettrico totale  $E_{TOT}$  [V/m] generato dalla SRB è dovuto al contributo del campo elettrico prodotto da ciascuna delle bande di trasmissione considerate secondo l'espressione:

$$E_{TOT} = \sqrt{E_{GSM900}^2 + E_{GSM1800}^2 + E_{UMTS2100}^2 + E_{UMTS900}^2 + E_{FONDO}^2} \quad (3)$$

Nell'Eq. 3 compare, come si può notare, il valore  $E_{FONDO}$  che rappresenta il valore di campo elettrico presente sul territorio prima della installazione della SRB e tiene conto del contributo al campo elettrico totale dovuto alla presenza di altre sorgenti emmissive

(ulteriori SRB, impianti di trasmissione radio AM-FM o televisivi, installazioni militari, ecc.).

	GSM900	GSM1800	UMTS2100	UMTS900
Potenza apparato [W]	60	60	60	60
Numero portanti	6	6	3	2
Potenza totale [W]	360	360	180	120
Numero settori	3	3	3	3
Orientamento settori [°]	0 – 120 – 240	0 – 120 – 240	0 – 120 – 240	0 – 120 – 240
Tipo antenna	Kathrein 80010204V02	Kathrein 80010439V01	Kathrein 80010439V01	Kathrein 80010204V02
Guadagno antenna [dBi]	17.8	20.8	21.1	17.8
Ampiezza orizzontale irradiazione [°]	65	63	60	65

**Tabella 1.** Configurazione adottata per la Stazione Radio Base.

Se si disponesse di informazioni tecniche precise sulle configurazioni e sugli apparati utilizzati da tali ulteriori impianti emissivi sarebbe possibile stimare il contributo al campo elettrico ad essi dovuti. Nella generalità dei casi, però, le caratteristiche di tali impianti non sono note (soprattutto in caso di installazioni militari); pertanto, nelle simulazioni condotte, si suppone che il valore di  $E_{FONDO}$  sia sempre nullo ovvero non siano presenti, nell'intorno del sito considerato, altri impianti trasmissivi di qualunque genere.

La simulazione del funzionamento della SRB è avvenuta mediante il software di calcolo per la previsione dei campi elettromagnetici presenti nelle vicinanze di antenne trasmettenti “Aldena Telecomunicazioni-NFA3D (Near Field Analyzer 3D) 1.4.08”; questo software è conforme alle specifiche richieste dalla normativa CEI 211-10;V1 2004-01 – Appendice G (CEI 211-7, 2001, CEI 211-10 V1, 2004).

### 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Per ogni coppia di valori hCRE-DowTilt, la simulazione ha consentito di tracciare le curve di isolivello orizzontali del campo elettrico ad un'altezza sul suolo pari a 1.70 m (altezza convenzionale della testa di un operatore di campo), allo scopo di determinare la massima distanza, dal centro della SRB, dei punti dello spazio in cui sono presenti valori di campo elettrico pari a 6 V/m; tale distanza può essere assunta come “distanza di rispetto” onde prevenire potenziale effetti dannosi sulla salute degli operatori di campo.

I valori di tali “distanze di rispetto” sono riportati, unitamente alla corrispondente combinazione minima hCRE-DownTilt, in Tabella 2.

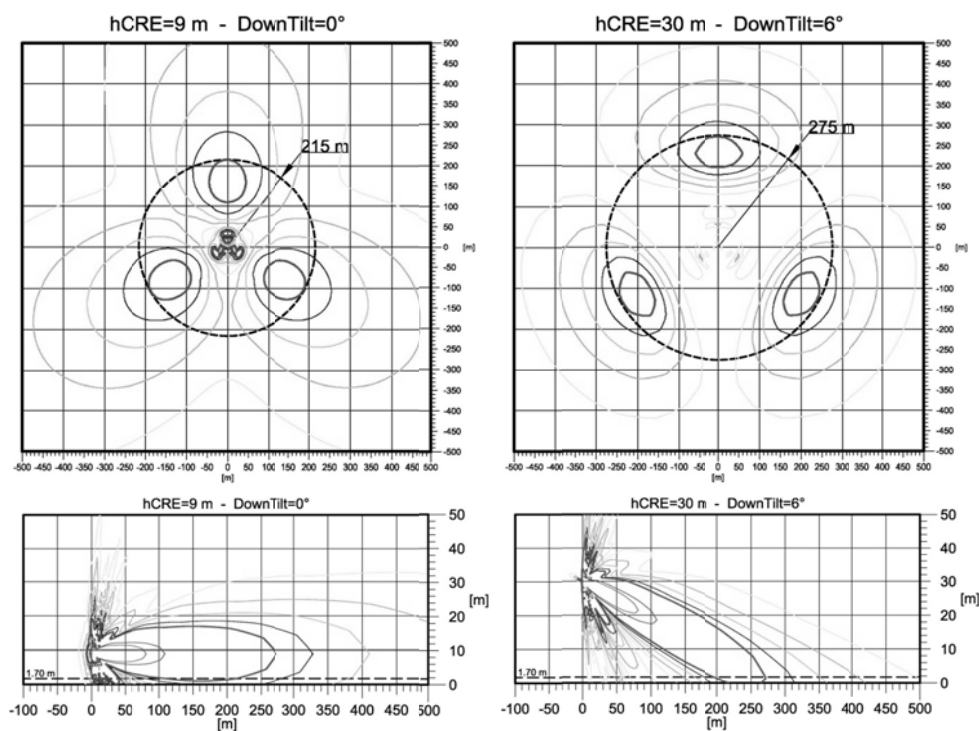
In Figura 1, a titolo esemplificativo e per meglio chiarire l'andamento del campo elettrico nello spazio circostante la SRB, sono riportate, per le combinazioni 1 e 6 della

Tabella 2, le curve di isolivello di campo elettrico orizzontali (a 1,70 m di altezza dal terreno) e verticali nella direzione di puntamento di un settore.

Nei grafici relativi alla sezione orizzontale del campo elettrico, la curva rappresentativa di valori di campo elettrico pari a 6 V/m è rappresentata in grassetto e, mediante una circonferenza centrata sulla SRB, è stata evidenziata la “zona di rispetto” con la indicazione della distanza dal centro della SRB.

Combinazione	hCRE [m]	DownTilt [°]	Distanza da SRB [m]
1	9	0	215
2	12	1	235
3	15	2	260
4	18	3	266
5	21	4	274
6	24	4	261
7	27	5	269
8	30	6	275

**Tabella 2.** Combinazioni limite inferiori generanti un campo elettrico atteso di 6 V/m.



**Figura 1.** Esempi di curve di isolivello e delle aree di rispetto a 6 V/m.

Dalle simulazioni effettuate è stato possibile desumere, quindi, le “distanze di rispetto” minime da mantenere onde prevenire potenziale effetti dannosi sulla salute

degli operatori di campo in caso di permanenza superiore alle 4 ore in funzione dell'altezza della struttura di supporto delle antenne della SRB.

Va altresì osservato, comunque, che i valori delle distanze di rispetto minime determinate con le simulazioni effettuate sono da considerarsi estremamente prudenziali in quanto:

- 1) le simulazioni sono state effettuate per una SRB configurata al massimo delle potenzialità rese disponibili dalle tecnologie attualmente disponibili;
- 2) le zone di campo elettrico con valori pari 6 V/m (come evidenziato nei grafici di Figura 1) sono circoscritte nel piano e si manifestano essenzialmente nelle direzioni di puntamento dei settori della SRB;
- 3) sono presenti ampie zone all'interno delle aree di rispetto in cui i valori di campo elettrico sono anche sensibilmente inferiori a 6 V/m.

La circostanza secondo cui le stime effettuate risultano estremamente prudenziali si evidenziano pure a seguito del confronto tra i valori simulati e i valori misurati in campo nel corso della campagna di rilievi effettuata.

#### 4 CONCLUSIONI

Lo studio riportato nella presente nota, sebbene introduttivo, fornisce una metodologia per l'analisi delle condizioni di sicurezza degli operatori di campo che svolgono il loro lavoro in aree circostanti Stazioni Radio Base per telefonia cellulare.

I risultati consentono di affermare che esiste effettivamente un pericolo per la salute degli operatori che compiono lavori in prossimità di SRB per telefonia cellulare per un periodo superiore alla 4 ore; tale rischio, però, si riduce sensibilmente e diviene accettabile considerando le effettive condizioni di funzionamento delle Stazioni Radio Base, notevolmente inferiori a quelle nominali.

#### BIBLIOGRAFIA

- Apollonio F, Liberti M, Tarricone L, D'Inzeo G. Integrated models for the analysis of biological effects of EM fields used for mobile communications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2000, 48(11), pp.2082-2094.
- Bernardi P., Cavagnaro M., Pisa S., Piuze E. Human exposure to radio base-station antennas in urban environment. *IEEE Trans Microwave Theory Tech*, 2000, 48(11), pp.1996-2002.
- Bevitori P. Inquinamento da campi elettrici, magnetici, ed elettromagnetici. Maggioli Editore, 2007.
- 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", 2001.
- CEI 211-10 V1 "Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza - Appendice G: Valutazione dei software di calcolo previsionale dei livelli di campo elettromagnetico - Appendice H: Metodologie di misura per segnali UMTS", 2004.
- Chatteron P.A. Houlden M.A. *EMC Electromagnetic Theory to practical design*. John Wiley and Sons, 1992.
- D'Amore M. *Compatibilità elettromagnetica*. Edizioni scientifiche Siderea, 2003.
- Rubin G.J., Das Munshi J., Wessely *Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation study*. *Psychosomatic Medicine*, 2005, vol.67, pp.224-232.