

# Misura dei livelli di campo elettromagnetico nell'ambiente

M. Bini, coordinatore della Linea 2

IFAC– Istituto di Fisica Applicata del CNR

Via Panciatichi, 64 – 50127 Firenze

[m.bini@ifac.cnr.it](mailto:m.bini@ifac.cnr.it)

**Abstract** – This paper presents a synthetic report of the second year activity of Line 2 of the three-year project "Salvaguardia dell'uomo e dell'ambiente dalle emissioni elettromagnetiche", financed by the Italian Ministry of Education and Research (MIUR). The task of Line 2, which includes 13 Operative Units (OU), is to develop instruments and procedures for measuring the levels of electromagnetic (EM) fields present in the environment. Line 2's main effort is focused on designing and prototyping a network of multi-band measuring stations able to perform selective measurements in the frequency range from 50 Hz to 3 GHz. As a following-up to the technical specifications stated in the first year, during this second year a detailed design has been made of all the sub-systems which compose both the multi-band measuring station and the central control unit. We are now ready to prepare a first prototype of a selective monitoring network for EM-fields.

## Introduzione

Nell'ambito del progetto MIUR/CNR–ENEA "Salvaguardia dell'uomo e dell'ambiente dalle emissioni elettromagnetiche", l'attività della Linea 2, dedicata alla strumentazione e alle tecniche per la misura dei campi elettromagnetici (EM) ambientali, è centrata su questi due obiettivi: (1) sviluppo di una rete di monitoraggio, basata su stazioni di misura selettive multibanda; (2) sviluppo di sistemi per la misura di correnti tra corpo umano e terra. Senza entrare sulle motivazioni di queste scelte né sulle modalità con cui questi obiettivi verranno raggiunti – argomenti già discussi nel 1<sup>o</sup> Convegno [1] e che ora non ripetiamo – diamo qui di seguito una rapida sintesi dello stato di avanzamento dei lavori e dei risultati ottenuti. Dei due punti, quello sulla rete di monitoraggio assorbe la maggior parte delle risorse – 12 su 13 Unità Operative (UO) – e richiederà di soffermarvisi un po' più che non sul punto 2).

L'elemento più innovativo della rete di monitoraggio è costituito dalle stazioni di misura selettive che hanno la caratteristica di discriminare ed identificare i contributi delle varie sorgenti all'interno del segnale misurato. Altri elementi rilevanti della stazione di misura sono: la modularità, la possibilità di scegliere il più conveniente fra vari mezzi per il collegamento con la centrale di controllo; la rilocabilità, ecc.

## La stazione di misura selettiva

La stazione di misura copre la gamma di frequenze che va dalle ELF a 2.5 GHz. Essa ha una struttura modulare, come mostrato in Figura 1. La descrizione sarà necessariamente molto sintetica. Un po' più di dettaglio può essere trovato negli articoli delle UO coinvolte nella realizzazione dei singoli moduli, pubblicati su questi stessi Atti, ai quali faremo riferimento quando necessario.

Il canale ELF, predisposto al presente per misure di solo campo magnetico (sensibilità, 0.01-100 $\mu$ T), ha una struttura abbastanza tradizionale: il segnale, captato da ciascuno dei tre sensori (disposti secondo tre assi ortogonali), passa attraverso un filtro (30-600Hz) e quindi al

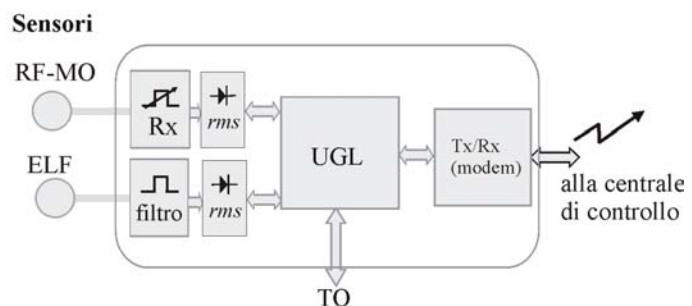


Figura 1 Schema a blocchi di stazione selettiva multibanda.

Il segnale, captato da ciascuno dei tre sensori (disposti secondo tre assi ortogonali), passa attraverso un filtro (30-600Hz) e quindi al

rivelatore a *vero valore efficace (rms)*. Dai segnali relativi ai tre assi si ottiene il modulo del campo a 50 Hz e della (eventuale) distorsione armonica nel punto di misura [3].

Il canale per le radiofrequenze e microonde (RF–MO) copre l'intervallo di frequenze (150 kHz ÷ 2.5 GHz) nel quale sono allocate le più importanti sorgenti di campo EM per telecomunicazioni, come: radio a modulazione di ampiezza in onda media (AM–OM); radio a modulazione di frequenza (FM); ripetitori TV; Stazioni Radio Base per la Telefonia Cellulare (GSM, UMTS) ecc.[2]. In esso si individuano questi moduli: (a) *sensore* di campo elettrico a larga banda, (b) *ricevitore* (Rx), sintonizzabile nelle bande di interesse, dotato di filtro di media frequenza adatto a selezionare una singola sorgente; (c) rivelatore a *vero valore efficace (rms)*.

Il funzionamento dell'intera stazione è controllato dall'Unità di Governo Locale (UGL) che gestisce sia la procedura di misura sia i dispositivi di collegamento (Tx/Rx) con la Centrale di Controllo.

#### *Sensore RF–MO* [3]–[5]

Il sensore è progettato per una risposta piatta nella gamma 150 kHz ÷ 3 GHz. Esso è costituito da tre dipoli corti disposti secondo tre assi ortogonali (X,Y,Z).

Per minimizzare la perturbazione indotta dal collegamento fra dipoli e ricevitore, il sensore è diviso in due unità, unite da un collegamento in fibra ottica. Delle due unità, quella che contiene i dipoli – chiamata *satellite* – è di dimensioni ridotte e, grazie alla flessibilità del collegamento, può essere agevolmente posizionata nel punto di misura; l'altra, detta unità *base*, è posta a conveniente distanza dal satellite. L'unità satellite contiene un convertitore elettro-ottico (E/O) che modula con il segnale RF il segnale ottico trasmesso via fibra. Un commutatore RF seleziona, su comando dell'UGL, il dipolo (X,Y,Z) il cui segnale viene instradato verso il modulatore E/O. Nella unità base viene quindi effettuata la conversione inversa (O/E), dopo di che il segnale RF passa attraverso una rete di equalizzazione e alcuni stadi di amplificazione che aggiustano il livello e l'impedenza di uscita (50 Ω), per adattarli alle caratteristiche del ricevitore.

#### *Ricevitore e rivelatore rms* [6]

Il ricevitore è l'elemento a cui sono affidate le funzioni di selettività della stazione. Si tratta di un ricevitore del tipo supereterodina con filtri di media frequenza (IF) la cui larghezza può essere scelta in un insieme che, al presente, offre: 10 kHz, 200 kHz e 1 MHz allargabile a 5 MHz e 7 MHz nella realizzazione finale. Il ricevitore è sintonizzabile nella gamma 100 kHz ÷ 1 GHz a passi di 10 kHz (5 kHz nella realizzazione finale, se ne verrà ravvisata la necessità), un *down-converter* provvede a portare la gamma delle frequenze sintonizzabili fino a 2.5 GHz, includendo così anche la telefonia cellulare di terza generazione (UMTS).

La rivelazione è effettuata all'uscita della media frequenza, con un circuito integrato che fornisce il *vero valore efficace* del segnale in modo da poter successivamente ricostruire il modulo del vettore campo elettrico in valore efficace, come richiesto dai limiti di esposizione.

#### *Unità di Governo Locale* (UGL) [7], [8]

La funzione della Unità di Governo Locale (UGL) è quella di: (1) gestire l'esecuzione delle misure; (2) memorizzare i risultati sulla memoria di massa locale; (3) trasmettere i dati alla centrale di controllo; (4) controllare il corretto funzionamento di tutte le apparecchiature della stazione.

Dal punto di vista hardware la UGL è costituita da una scheda madre e una scheda I/O sulla quale si interfacciano i diversi sub-assiemi: i due canali di misura (ELF ed RF–MO, su una presa RS485); il modem GSM e un (opzionale) modem PSTN analogico; un collegamento LAN/WLAN. Inoltre è presente una connessione RS232 (TO, in Figura 1) su cui interfacciare un PC per un eventuale operatore locale. Per garantire modularità alla rete,

sono state definite appositi protocolli e interfacce, su cui non possiamo però soffermarci [7],[8]. Un'altra scelta chiave per la modularità è stata quella di utilizzare appositi file (o *registri*) in cui registrare le informazioni necessarie all'UGL per la gestione della stazione. Il *registro di configurazione* contiene le informazioni relative alle caratteristiche tecniche degli apparati di misura presenti nella stazione, mentre il *registro di predisposizione* descrive quali misure eseguire (frequenza, asse, larghezza filtro IF, ecc.) e con quale cadenza [8].

#### *Collegamento con Unità Centrale [7]*

La tecnologia delle telecomunicazioni offre al presente una grande varietà di mezzi per la trasmissione dei dati. Per il collegamento stazione di misura/Unità Centrale, sono previste le seguenti soluzioni standard: collegamento su rete pubblica fissa (PSTN, ISDN, CDA/CDN, ecc.); rete LAN (Ethernet); link radio punto-punto o punto-multipunto (WLAN); Wireless Local Loop (WLL); ponte radio privato (MR/PAMR); link radio mobile digitale (DECT, GSM, ecc.); link satellitare (VSAT, DVB, ecc.). La convenienza della scelta dipende da: disponibilità di allacciamento alla rete fissa; disponibilità di copertura radio; distanza fra gli estremi del collegamento; caratteristiche del traffico generato; costo di attivazione e costo di utilizzazione. La scelta iniziale prevede: un modem GSM/GPRS ed eventuali collegamenti Ethernet (locale o su WLAN). Il protocollo di comunicazione è comunque il TCP/IP.

#### *Integrazione e assemblaggio della stazione di misura [9]*

I vari componenti della stazione (dispositivi di misura ELF e RF-MO; schede dell'UGL; l'unità di telecomunicazione) vengono montati all'interno di una struttura meccanica robusta, resistente agli agenti atmosferici e di facile trasportabilità. I sensori sono posti all'esterno della struttura meccanica. È inoltre richiesta la presenza di alcuni componenti ancillari: un'*unità di alimentazione*, con tensioni e potenza adatte per le esigenze dei vari componenti; le *linee di interconnessione*, che consentono lo scambio delle informazioni fra i vari sub-assiemi.

Il sistema di alimentazione prevede l'erogazione di corrente continua a 12V. La stazione è equipaggiata di una batteria e di un caricabatteria, da utilizzare quando è disponibile la rete elettrica (220V, 50Hz). Il dimensionamento dell'unità di alimentazione prende in considerazione questi fattori: il massimo consumo della stazione; l'autonomia di funzionamento richiesta (massimo un mese); il peso dell'unità di alimentazione. Sono previste strategie di accensione e spegnimento dei vari sub-assiemi – programmate sull'UGL – per ridurre i consumi e aumentare l'autonomia.

#### *La Centrale di Controllo [7], [10]*

L'unità Centrale di Controllo (CC), oltre a consentire di impostare e controllare da remoto i parametri di funzionamento e di operatività delle stazioni di misura, assolve al compito di scaricare periodicamente i dati dalle stazioni di misura ed archivarli, sia in forma grezza che dopo le previste elaborazioni. Inoltre la CC è dotata di strumenti per la presentazione e la rappresentazione grafica dei dati elaborati. Senza entrare in dettaglio, diciamo che i dati elaborati sono disponibili in diversi formati: tabelle, file, grafici, rappresentazione su mappe georeferenziate [10].

#### *Apparecchiatura per la valutazione delle prestazioni della stazione di misura [11]*

In attesa che il prototipo di rete sia completato e che la stazione di misura possa essere collaudata in un sito reale, è stata studiata una procedura che permetta di valutare in laboratorio le prestazioni dei suoi componenti più critici. In particolare è stata progettata ed è in via di realizzazione un'apparecchiatura dotata di un generatore che produce segnali nella gamma delle frequenze della stazione e con modulazione in grado di simulare quella dei segnali che si incontrano nelle situazioni reali. Il generatore ha due uscite uguali una delle quali si connette all'ingresso del blocco "ricevitore/UGL" e l'altra viene inviata ad un

*bolometro*, che costituisce il misuratore di riferimento (in vero valore efficace) con cui confrontare il valore fornito dalla stazione di misura.

### **Misura di correnti indotte nel corpo umano da campi EM a radiofrequenza [12]**

In sintesi, l'oggetto della ricerca, che viene portata avanti dall'UO ARPA Piemonte, riguarda la corrente che si scarica a terra attraverso i piedi di un individuo esposto a campi elettromagnetici a RF. Questa è strettamente correlata con l'intensità della corrente nelle caviglie la quale è in alcuni standard (es. linee guida ICNIRP 1998) una delle grandezze primarie (insieme alla densità di corrente e il SAR) per la definizione dei limiti di sicurezza.

È stato realizzato un misuratore del tipo *stand-on* e le sue prestazioni sono state confrontate con un misuratore commerciale di tipo *clamp-on*. Con questi due misuratori è stata condotta una campagna di misura in ambiente di lavoro (saldatrici a 27 MHz) e in ambiente esterno in prossimità di ripetitori radio FM e TV. Per valutare in maniera significativa le prestazioni dello strumento *stand-on* e rendere significativo il confronto con il misuratore *clamp-on*, le misure sono state effettuate al variare di molte delle condizioni che possono influenzare i risultati. In particolare è stato valutato l'effetto del tipo di terreno (erba granito, ghiaia, asfalto, ecc.), dell'impedenza del soggetto verso terra (a piedi nudi, con scarpe di gomma ecc.) e delle sue caratteristiche morfologiche (altezza).

L'esame dei risultati dimostra che i valori delle correnti misurati con i due misuratori in diverse condizioni di esposizione sono ripetibili e confrontabili fra loro, purché lo strumento *clamp-on* sia tenuto perpendicolare alla caviglia e quello *stand-on* sia usato a piedi nudi e con l'aggiunta di una piastra di rame fra il terreno e lo strumento.

### **Riferimenti**

- [1] M. Bini: "La linea di ricerca 2: Misura dei livelli di campo elettromagnetico nell'ambiente", Convegno Nazionale su *Predizione dell'impatto dei sistemi elettromagnetici e valutazione dell'esposizione umana*"; Roma, 22 e 23 aprile, 2002
- [2] *Rete di monitoraggio di campi elettromagnetici dispersi nell'ambiente: specifiche tecniche*, IROE Technical Report RR/ICEMM/02.02, Febbraio 2002
- [3] V. Pozzolo, A. Santarelli, A. Casciano: "Elettronica dei sensori a larga banda", questi Atti, Sessione 1
- [4] M. Orefice: "Studio di sensori isotropici a larga banda", questi Atti, Sessione 1
- [5] A. Casciano, M. Dealesi: "Sviluppo e realizzazione di un sensore isotropico per misure di campo elettrico ad alta frequenza", questi Atti, Sessione 1
- [6] D. Festa, A. Gandolfo, A. Torrini : "L'iter di sviluppo di un modulo ricevitore per stazione di misura selettiva"; questi Atti, Sessione 2
- [7] M. Bergonzoni, R. Capannini, A. Piazza: "Realizzazione delle funzioni di telecomunicazione e del sistema di trasmissione dati fra stazioni di misura remote e centrale di controllo", questi Atti, Sessione 3
- [8] D. Andreuccetti, "Procedure standardizzate per la raccolta dei dati nella stazione di misura", questi Atti, Sessione 2
- [9] A. Pincetti, C. Radogna: "Progetto e realizzazione di stazione di misura per la valutazione dell'esposizione ai campi EM", questi Atti, Sessione 3
- [10] M. Boumis, C. Carciofi, M. Frullone: "Sviluppo dell'architettura di sistema per l'analisi dei dati di campo magnetico sul territorio", questi Atti, Sessione 3
- [11] M. Bini, D. Andreuccetti, A. Ignesti, L. Pieri, S. Priori: "Apparecchiature e procedure per la valutazione delle prestazioni della stazione di misura multibanda", questi Atti, Sessione 2
- [12] S. Adda, L. Anglesio, G. d'Amore: "Sensori e sistemi per misure di corrente fra corpo umano e terra", questi Atti, Sessione 1