

Mappatura dell'inquinamento elettromagnetico con GIS e GPS

Un approccio innovativo per la mappatura mediante georeferenziazione GPS e trattamento dati in ambiente GIS

Il contesto

Il problema dei rischi derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici prodotti dall'uomo è sempre di maggiore attualità e i possibili danni alla salute, accertati in modo inequivocabile solo nel caso delle radiazioni ionizzanti, originano un certo allarme sociale.

Tuttavia, pur nel clima di crescente preoccupazione e mobilitazione delle popolazioni direttamente esposte, la proliferazione delle sorgenti inquinanti non accenna a ridursi. E' vero che la maggiore densità di antenne e stazioni radio base, almeno nel caso degli impianti per la telefonia mobile, va di pari passo con la riduzione dell'intensità dei campi elettromagnetici generati, ma rimane sempre il problema di una diffusione del fenomeno preoccupante, dovuta anche alle altre tipologie di sorgenti (ripetitori radio-televisivi, elettrodotti, impianti radar, etc.). In questo quadro appare evidente la necessità di una verifica costante e altrettanto "diffusa" sul territorio dei valori di campo al suolo.

La normativa italiana, simile a quella degli altri Paesi industrializzati, prevede, per i campi elettromagnetici connessi al funzionamento ed all'esercizio dei sistemi fissi nell'intervallo di frequenza tra 100 kHz e 300 GHz, che i valori di campo elettromagnetico vengano rilevati stazionando sul posto con strumentazione certificata e mediando su di un'area pari alla sezione verticale del corpo umano per un tempo pari a sei minuti.

Il lavoro presentato pone il problema della ottimizzazione delle procedure e della riduzione dei costi, finalizzando le attività ad un maggior controllo ambientale su aree significative del territorio.

Il progetto nasce dalla collaborazione scientifica tra il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e il Laboratorio di misure sui campi Elettromagnetici (LEM) dell'Università di Catania. L'Unità Operativa di Catania opera nell'ambito del progetto COFIN2000, coordinato dal Prof. G. Manzoni dell'Università di Trieste, relativamente alla "INTEGRAZIONE DI SISTEMI DI RILEVAMENTO AD ALTO RENDIMENTO PER IL RI-

CONOSCIMENTO DELLA GEOMETRIA STRADALE E LA GEOREFERENCEAZIONE DI INFORMAZIONI AMBIENTALI". E' stata programmata una significativa estensione della ricerca nell'ambito del progetto FIRB2000 "MONITORAGGIO AREALE E IN TEMPO REALE DI ELETTROSMOG E DI INQUINAMENTI DELL'ARIA", in corso di valutazione e coordinato sempre dal Prof. G. Manzoni. In tale progetto vengono proposte alcune metodologie di monitoraggio dinamico finalizzate alla mappatura dei livelli di inquinamento elettromagnetico al suolo, integrando le tecnologie GPS e quelle dei sensori, e al contempo sviluppando le metodologie, gli algoritmi di analisi, la modellistica e gli strumenti GIS per il management dei dati territoriali e geospaziali.

Il GPS cinematico nel rilievo dei campi elettromagnetici

La procedura di rilevamento cinematico si basa sull'impiego sincronizzato di un ricevitore GPS e di un rilevatore di campo elettrico installati su un veicolo in movimento. Più in particolare, le esperienze sono state condotte mediante una coppia di ricevitori GPS Trimble 4000SSi utilizzati in modalità cinematico-differenziale e due misuratori integrali di campo elettrico nel range compreso tra 100 kHz e 3 GHz (sonda W&G tipo 8 con misuratore EMR 300 e sonda Holaday HI6005).

Ai fini della messa a punto e validazione della procedura di rilevamento cinematico dei valori di campo e.m. sono state condotte numerose esperienze con uno dei due sensori installato sul tetto del veicolo, mediante supporto dielettrico, ad

una distanza di 60 cm dal tetto stesso, e l'altro collocato su un cavalletto dielettrico in postazione fissa.

Preliminarmente, una serie di test sperimentali hanno consentito di valutare l'influenza del veicolo (masse metalliche e sue componenti elettroniche) e del ricevitore GPS sui valori di campo misurati. Ulteriori test specifici sono stati effettuati per valutare la dipendenza delle misure stesse dalla non convenzionale modalità cinematica di utilizzazione dei sensori.

L'acquisizione dati con sensori mobili

Preliminarmente alla sperimentazione della procedura sono state effettuate una serie di prove finalizzate a comparare e tarare i due sensori di campo elettrico utilizzati per le esperienze. Le prove, finalizzate a definire il rapporto di confidenza dei valori rilevati con la sonda statica e quella mobile installata sul veicolo, sono state effettuate sia in campo, ponendo i due sensori in una regione di campo elettrico uniforme, che in laboratorio, ponendo i due sensori in un campo elettrico di frequenza e intensità nota, ottenuto tramite un generatore di funzioni collegato ad un'antenna a trombino. La strumentazione disponibile ha consentito di effettuare il confronto in laboratorio per una intensità del campo pari a 1 V/m e per la frequenza di 1 GHz, mentre il confronto in campo è stato effettuato in una regione dove erano presenti campi e.m. in massima parte dovuti a SRB (Stazioni Radio Base) e antenne TV. In tabella 1 sono riportati i valori misurati e il fattore di taratura relativo F_r dello strumento posto sul cavalletto riferito a quello installato sul veicolo. Il fattore F_r è stato determi-

	Laboratorio [V/m]	Campo [V/m]
Strumento fisso (Holaday)	1.06 ± 0.03	0.83 ± 0.02
Strumento sul veicolo (EMR)	1.14 ± 0.02	0.91 ± 0.02
Fattore di taratura relativa F_r	0.93 ± 0.03	0.91 ± 0.03

Tabella 1 - Taratura relativa degli strumenti di misura utilizzati. F_r indica il rapporto tra il valore misurato con la sonda Holaday e quello fornito dallo strumento EMR

nato, sia in laboratorio che sul campo, come rapporto dei valori medi registrati dai due sensori in un intervallo di sei minuti ed è risultato mediamente pari a 0.92.

La messa a punto della procedura ha richiesto la determinazione dei fattori di taratura che consentono di riportare il valore rilevato cinematicamente, con sonda installata sul veicolo, a quello rilevabile in modalità statica con sonda posta su cavalletto. Il problema è stato affrontato determinando in due fasi successive la variazione che subisce la misura di campo e.m. per effetto

- della presenza del veicolo;
- della modalità cinematica di acquisizione.

Per quanto riguarda il primo punto, sono state confrontate serie di misure dello stesso campo elettrico effettuate dalla stessa sonda prima installata sul veicolo (fermo) e poi, nella stessa posizione, ma collocata sul cavalletto. In generale, l'influenza del veicolo sul valore di campo misurato dalla sonda installata sullo stesso dipende da diversi fattori quali il tipo di veicolo, la posizione della sonda e la frequenza del campo misurato. In questa fase si è analizzato come la misura effettuata dalla sonda collocata sul veicolo dipenda dalla frequenza dei campi elettromagnetici e dalla distanza dalle diverse sorgenti presenti (condizione di campo vicino e campo lontano). Sono state dunque confrontate le serie di misure effettuate a veicolo fermo dalla sonda posta ad un'altezza di 60 cm dal tetto dello stesso con i valori rilevati dalla stessa sonda collocata nella stessa posizione precedentemente



Figura 1 – Circuito sperimentale interno alla città di Catania in prossimità della sede RAI

	Campo vicino (Onde Medie)	Campo lontano (Fm-Tv-SRB)
EMR - Cavalletto	4.51 ± 0.03	3.34 ± 0.08
EMR - Veicolo	6.55 ± 0.05	3.08 ± 0.10
F _M	0.69 ± 0.01	1.08 ± 0.04

Tabella 2 – Taratura dello strumento posto sul veicolo

occupata dal veicolo su un cavalletto dielettrico regolato ad un'altezza corrispondente (1.90 m rispetto al suolo). Durante le suddette indagini, una ulteriore sonda di controllo verificava che il campo si mantenesse costante durante il periodo di osservazione e di misura.

In tabella 2 sono riportati i valori di campo registrati dallo strumento e mediati su un intervallo di 6 minuti per la sonda posta sul veicolo e per la stessa posta sul cavalletto. In condizioni di campo vicino il campo era dovuto prevalentemente ad una sorgente ad onde medie, in condizioni di campo lontano vi erano sorgenti di vario tipo quali radio FM, TV e SRB.

È da sottolineare che i valori riportati in tabella hanno rilevanza solo per la particolare geometria utilizzata e per le particolari condizioni di campo in cui sono state effettuate le misure. Infatti la posizione relativa dello strumento rispetto al tetto del veicolo influisce in maniera critica sul fattore di taratura F_M in quanto tale distanza è paragonabile alla lunghezza d'onda delle sorgenti di campo elettromagnetico operanti alle alte frequenze.

Riguardo a questi ultimi aspetti, presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale sta per essere completata la messa a punto di un mezzo furgonato specificamente progettato ed equipaggiato per rilevamenti stradali e si stanno sperimentando e via via approntando dispositivi e accorgimenti metodologici atti a minimizzare, o comunque mantenere costante nelle diverse condizioni operative, l'influenza della struttura del veicolo e del suo stesso equipaggiamento sulle misure di campo.

Nelle condizioni di campo vicino in cui si è operato (lunghezze d'onda dell'ordine del km) i risultati hanno eviden-

ziato un contributo rilevante alle misure dovuto alla parte del campo riflesso dal veicolo. Naturalmente in condizioni operative normali, quando cioè non si conosce la natura delle sorgenti del campo elettromagnetico, la scelta del fattore di taratura, sulla base delle considerazioni appena esposte, appare di una certa difficoltà e solo un'analisi spettrale risolta in tempo reale permetterebbe di determinare il peso delle varie sorgenti e quindi calcolare un fattore di taratura dinamico. Non si è invece rilevata una significativa influenza sulle misure dovuta alla vicinanza del ricevitore e dell'antenna GPS.

Per quanto riguarda la seconda fase della procedura di taratura e validazione del metodo, sono state effettuate estese campagne di rilevamento per meglio definire l'influenza della modalità cinematica sulla misura dei valori di campo elettrico e magnetico. A tal fine sono stati effettuati rilevamenti simultanei mediante un sensore di campo e.m. installato sul veicolo in movimento ed un sensore fisso sul cavalletto. Eseguendo le prove su un circuito sperimentale che è stato percorso più volte (fig. 1), sono state acquisite numerose coppie di valori di confronto, per ognuna delle quali (corrispondente ad un giro) un valore è stato misurato dalla sonda in movimento sul veicolo e l'altro dalla sonda in posizione fissa sul cavalletto in prossimità della strada (a circa 2 m di distanza dal punto di transito della vettura) all'istante del passaggio del veicolo stesso.

Il confronto tra le coppie di valori rilevati ha mostrato un rapporto pressoché costante e pari a F_M = 0,82 tra i valori rilevati staticamente e quelli misurati nelle stesse sezioni dalla sonda installata sul veicolo in movimento (Tabella 3).

Anche in questo caso, è stata utilizzata una ulteriore sonda di controllo per verificare che il campo si mantenesse costante nel periodo della misura e uniforme nell'area in prossimità della sonda fissa sul cavalletto, in modo da garantire pari condizioni sia per il punto di passaggio del veicolo che per il punto di rilevamento statico. È stato inoltre verificato che il passaggio della vettura non influenzava le misure della sonda in posizione fissa sul cavalletto.

Rendimento della procedura, ripetibilità delle misure e valutazione dell'andamento temporale del fenomeno

Dai test condotti sul circuito sperimentale è emerso un ulteriore importante risultato: la *ripetibilità* della misura.

Analizzando infatti i valori numerici rilevati in ciascuna sezione nei diversi test effettuati (fig. 3), e considerando che i nove test sul circuito sono stati eseguiti in successione, in una finestra temporale di circa 40 minuti, quindi in condizioni di carico del servizio che sono rimaste presumibilmente invariate, emerge come i valori misurati in ciascuna sezione si mantengano pressoché costanti.

L'affidabilità del metodo e la sua alta produttività consentono quindi di effettuare in tempi brevi estesi rilevamenti, e, soprattutto, di ripetere più volte nell'arco della giornata lo stesso percorso, in modo da avere utili informazioni anche sull'andamento temporale del fenomeno.

Il GIS per la mappatura e l'analisi dei dati

L'approccio metodologico si è mostrato molto efficace per rilevare l'entità del fenomeno lungo gli assi stradali percorsi e individuare le sezioni più prossime a sorgenti inquinanti. L'approccio cinematico proposto, tuttavia, non intende essere alternativo alla misura statica, che rimane certamente valida per indagare, secondo normativa, in aree in cui si sospetti l'esistenza di campi elettromagnetici elevati.

Il limite emerso è relativo alle inevitabili perdite di segnale GPS in ambito ur-



Figura 2 - Rappresentazione lineare dei campi e.m. in un'area edificata di Catania

bano, ma sono di imminente sperimentazione anche presso il Dipartimento di Ingegneria di Catania due diversi sistemi inerziali (INS) da accoppiare al GPS per garantire continuità nell'acquisizione del dato di posizione. Sono stati infatti recentemente acquistati un odometro ottico accoppiato ad un giroscopio (Correvit) ed il sistema integrato GPS-INS di basso costo commercializzato da Trimble (PLACER), con i quali si dovrebbero ottenere errori di deriva compatibili con la scala di indagine ($\pm 5\text{m/km}$).

L'analisi e la rappresentazione del fenomeno avviene mediante un software GIS in cui si importano le acquisizioni puntuali effettuate mediante il GPS ed i database prodotti dagli strumenti rilevatori del campo e.m.. Eseguendo un accoppiamento dei suddetti database attraverso il campo comune del tempo di ac-

quisizione (opportunamente sincronizzato all'inizio delle operazioni) è possibile collegare i dati rilevati dalle sonde di campo e.m. alla rispettiva posizione cartografica del veicolo all'istante della misura.

In tal modo, utilizzando l'ampia gamma di strumenti di analisi tipici dell'ambiente GIS, è possibile ottenere carte tematiche di rappresentazione lineare del fenomeno lungo gli assi stradali percorsi durante le prove. Evidentemente, per una maggiore precisione del rilievo GPS è necessario operare in modalità cinematico-differenziale mediante una coppia di ricevitori.

Nelle figure seguenti si riportano, a titolo di esempio, due rappresentazioni dell'andamento dei valori di campo e.m. ottenute in base alle esperienze di rilevamento effettuate nella zona nord del centro urbano della città di Catania (fig. 2) e in un'area del Comune di Valverde (CT) in cui sono presenti numerosi ripetitori radio televisivi e si sono registrati valori di campo molto elevati (fig. 3).

Rappresentazione areale del fenomeno dell'elettrosmog

E' recentemente stata avviata una seconda fase della ricerca che mira alla rappresentazione areale del fenomeno mediante l'estensione dei rilevamenti all'intero reticolo viario. Nell'attesa di disporre del veicolo equipaggiato con il sistema inerziale, essenziale per far fronte alle frequenti inevitabili perdite di segnale GPS in ambito urbano, sono state effet-

Sezioni di rilievo	Valori rilevati cinematicamente in corrispondenza di alcune sezioni lungo il circuito percorso										
	Giro-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8	G-9	Media	dev.st
Segnale stradale(prima di angolo1)	4,22	4,2	4,18	4,23	4,32	4,19	4,09	4,3	4,29	4,22	0,07
Cartello TM	3,03	2,92	2,69	2,83	3,07	2,97	2,9	3	3,02	2,94	0,12
Cartello F2F Computer	2,05	1,94	1,91	1,84	1,96	2	1,9	1,92	1,87	1,93	0,06
Dopo angolo2	1,5	1,36	1,42	1,34	1,37	1,39	1,33	1,28	1,33	1,37	0,06
Perpend. Rai-sx	3,05	3,15	3,13	3,14	3,11	3,17	3,1	3,13	3,21	3,13	0,04
Incrocio	1,82	1,81	1,36	1,82	1,98	1,86	1,98	1,97	2,06	1,85	0,20
Perpend Rai-dietro(dopo-reticolo)	1,97	1,72	2,12	2,19	2,11	2,07	2,07	2,16	2,09	2,06	0,14
Incrocio(sotto alberello)	2,25	1,96	2,02	1,69	1,88	1,91	1,81	1,91	1,83	1,92	0,16
Perpend. Rai-dx	5,39	5,34	5,55	5,42	5,35	5,37	5,5	5,54	5,36	5,42	0,08
Cancello ingresso RAI (cinematica)	6,39	6,23	6,22	6,32	6,42	6,36	6,26	6,62	6,29	6,35	0,12
	Valori rilevati staticamente in corrispondenza del cancello di ingresso alla RAI										
Cancello ingresso RAI (statica)	5,34	5,41	5,14	4,99	5,08	5,23	5,19	5,29	5,07	5,19	0,14
	Rapporto tra il valore rilevato staticamente e quello misurato in modalità cinematica										
	0,8357	0,868	0,826	0,79	0,791	0,8223	0,829	0,799	0,806	0,82	0,03

Tabella 3 - Valori rilevati sul circuito sperimentale in prossimità dell'antenna RAI

tuate alcune campagne preliminari finalizzate a verificare l'idoneità della metodologia ai fini della mappatura territoriale del fenomeno. A tal fine, dopo avere individuato sperimentalmente alcune maglie del reticolo stradale caratterizzate da una ricezione GPS sufficientemente continua, sono stati eseguiti rilevamenti di campo elettrico che hanno consentito di pervenire a prime forme di rappresentazione areale del fenomeno.

Dal punto di vista operativo, l'elaborazione di una mappatura areale dei campi e.m. sulla base dei rilevamenti eseguiti in modalità cinematica si configura come una procedura simile a quella che si esegue per la realizzazione di un DEM da un piano quotato. Si tratta infatti di applicare opportuni algoritmi di interpolazione tra le acquisizioni puntuali eseguite in modo da produrre in ambiente GIS un tematismo GRID in cui il valore delle singole celle rappresenti l'intensità del campo e.m. in quell'area.

Evidentemente i parametri di controllo della suddetta procedura sono molteplici ed hanno tutti una notevole influenza sui risultati che si ottengono dalle elaborazioni. È dunque fondamentale adottare algoritmi e criteri adeguati al fenomeno trattato ed alla tipologia di rilievo eseguita.

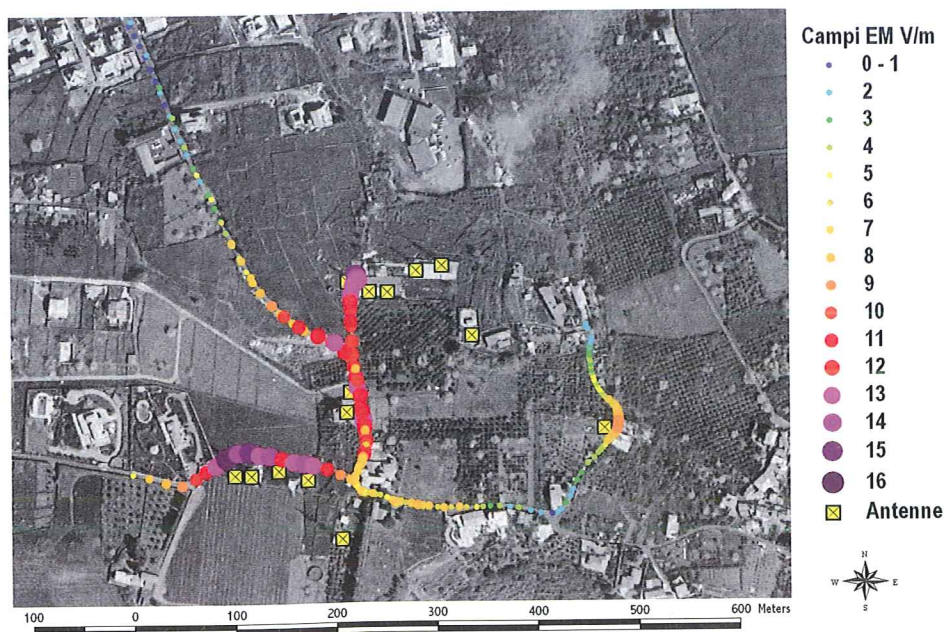


Figura 3 - Rappresentazione dei valori rilevati lungo alcune strade dell'area metropolitana di Catania (Comune di Valverde) in relazione alle sorgenti inquinanti presenti

Uno dei primi parametri che è necessario fissare per l'elaborazione del tematismo GRID è la dimensione della cella di riferimento. Questo valore, evidentemente, deve essere riferito in primo luogo al-

la "densità" delle misure eseguite secondo la procedura cinematica, ovvero alla distanza media delle acquisizioni contemporanee di campo e di posizione. Questa distanza, una volta configurati gli

GEO
M E D I A

Piano Editoriale 2002

**IL VOSTRO CONTRIBUTO
EDITORIALE È BENVENUTO!**

La newsletter italiana di geomatica

GEOmedia è la prima pubblicazione che viene incontro alle esigenze informative di chi si occupa di cartografia, fotogrammetria, catasto, ingegneria del territorio, e di tutto ciò che riguarda l'automazione delle scienze della terra. Per fornire ai nostri lettori le ultime notizie e sviluppi in materia, vi invitiamo a cogliere l'opportunità di contribuire. Di seguito riportiamo le linee editoriali e le informazioni essenziali.

- **Articoli** - Esperienze su applicazioni tecniche e commerciali. Massimo 14.000 battute e 2-3 illustrazioni
- **Rassegna dei prodotti** - Contattateci se i vostri prodotti rientrano nelle categorie sotto menzionate. Vi spediremo il relativo questionario per la compilazione della rassegna
- **Il Mercato** - Risorse Informative e Le Aziende Informano, due rubriche con le news del settore. Massimo 500 battute, 1 illustrazione
- **Nuovi prodotti** - Annunci riguardanti nuovi prodotti o nuove versioni. Massimo 500 battute, 1 illustrazione
- **Agenda** - Calendario degli eventi internazionali e nazionali. Il calendario deve essere corredato da: nome dell'evento, telefono, fax ed e-mail del responsabile dell'organizzazione
- **La Vetrina sulle aziende** - Descrizione dell'azienda, la sua storia, i prodotti, le strategie e le aspettative. Massimo 6000 battute, 2-3 illustrazioni
- **Inseriti GIS e GPS** - Due rubriche sullo stato dell'arte delle tecnologie di punta.

Numero	Tema Editoriale	Distribuzione a Eventi e Fiere	Data di Pubblicazione
Gennaio/Febbraio	Geomatica, GIS e Web	Eventi Maggioli	Febbraio
Marzo/Aprile	Informazioni catastali e Tributi	MondoGIS, Euro PA, HydroGEO	Aprile
Maggio/Giugno	GIS & Cartografia	Eventi Maggioli	Giugno
Luglio/Agosto	Sistemi di rilievo e posizionamento	ASITA e SAIE	Settembre
Settembre/Ottobre	Territorio e Ambiente	Eventi Maggioli	Novembre
Novembre/Dicembre	Trattamento di immagini per le informazioni territoriali	Eventi Maggioli	Dicembre

strumenti (si è operato con una frequenza di un punto al secondo) è direttamente legata alla velocità di avanzamento del veicolo. Nella fattispecie, dato che nella fase di rilievo si è fatto in modo di mantenere la velocità per quanto possibile prossima ai 20 Km/h (corrispondenti a circa 5,5 m/sec), è certamente necessario ricorrere a celle di dimensioni di qualche metro per evitare di perdere parte delle misurazioni eseguite. Considerando tuttavia la possibilità che si verificano delle anomalie o dei rallentamenti nel moto normale del veicolo a causa del traffico o, ad esempio, di una intersezione stradale, sembra corretto, in base alle esperienze eseguite, ridurre ulteriormente la dimensione della cella sino ad 1m x 1m o, addirittura, 0.5m x 0.5m. Spingere invece oltre questi limiti la riduzione delle celle non comporterebbe alcun vantaggio operativo, a fronte di un notevole "appesantimento" del modello.

Per quanto riguarda gli algoritmi di interpolazione, sono disponibili diversi modelli (Spline, IDW, Kriging, Trend) tra i quali il più adeguato alle caratteristiche del fenomeno descritto sembra essere l'IDW (Inverse Distance Weighted), che, in sostanza, assume che ogni punto abbia una influenza che decresce con la distanza nell'interpolazione del tematismo GRID. I valori assegnati alle celle, dunque, sono maggiormente influenzati dalle misure eseguite nei punti di rilevamento più vicini. L'algoritmo IDW può essere calibrato attraverso due differenti tipologie di parametri di controllo: il numero di punti da prendere in considerazione contemporaneamente per l'interpolazione, oppure la lunghezza di un raggio di influenza all'interno del quale selezionare, di volta in volta, i punti stessi ai fini dell'elaborazione del tematismo GRID. Per definire quale possa essere la configurazione ottimale è necessario in primo luogo individuare ed esaminare alcune problematiche che sussistono nella fase di interpolazione.

L'anomalia fondamentale che caratterizza la presente procedura rispetto alle normali operazioni che si eseguono per la realizzazione dei DEM è dovuta alla distribuzione non uniforme nello spazio delle acquisizioni effettuate. Più in particolare, nell'area di indagine, sussistono strisce pseudo-lineari ad elevatissima densità di acquisizioni (le strade percorse) a fronte di zone anche piuttosto estese (gli isolati occupati dagli edifici) ove non è possibile effettuare alcun campionamento, almeno secondo la metodologia cinematica sin qui descritta. Questa

particolare distribuzione spaziale delle acquisizioni nell'area interessata dalle indagini provoca, evidentemente, una certa difficoltà di applicazione dei normali algoritmi di elaborazione dei DEM, che invece necessitano di una configurazione dei punti di rilievo più uniforme.

Per testare comunque le potenzialità della rappresentazione areale e garantire nel contempo un corretto funzionamento dei suddetti algoritmi, in modo da fornire elaborazioni significative ed affidabili, si è dunque deciso di operare un raffittimento delle acquisizioni all'interno di un'area interna ad alcune delle strade percorse non occupata da edifici. Più in particolare, si è utilizzata un'area destinata a parcheggio all'interno della quale sono state eseguite diverse misure di campo sempre mediante il veicolo rilevatore, utilizzando questa volta il GPS in modalità "Stop and Go" piuttosto che in modalità cinematica continua. L'ipotesi di prendere in considerazione lungo le strade di contorno un numero minore di punti rispetto alle acquisizioni effettuate non è stata applicata per via delle caratteristiche fisiche del fenomeno indagato che, presentando notevoli variazioni (incrementi/decrementi dei valori di campo e.m.) in spazi ristretti, verrebbe in tal modo descritto con livello di dettaglio insufficiente.

Grazie a queste integrazioni è stato possibile applicare nell'area suddetta l'algoritmo di interpolazione IDW, che ha

fornito risultati (cfr. fig. 4) che si possono ritenere, quantomeno in prima approssimazione, validi e di cui si riporta una rappresentazione (cfr. fig. 5) anche mediante curve di livello del tipo "iso-campo" elaborate nel GIS in base ai valori assunti dalle celle.

Mediante ulteriori elaborazioni sul tematismo GRID prodotto si è realizzata anche una rappresentazione tridimensionale del fenomeno, attraverso un modello TIN a sua volta interpolato in base ai valori di campo associati alle celle (cfr. fig. 6).

Le rappresentazioni areali (piane o tridimensionali) sin qui elaborate non tengono evidentemente conto della presenza degli edifici, che certamente hanno un effetto sulla reale distribuzione dei campi e.m. nello spazio: gli sviluppi futuri della ricerca prevedono, a tal fine, di utilizzare anche dei DEM dell'area edificata urbana da mettere in relazione con le misure di campo effettuate. In ogni caso, anche senza tenere conto degli effetti degli edifici, le rappresentazioni areali elaborate consentono certamente di individuare le sorgenti che forniscono un maggiore contributo ai campi e.m. rilevati a quota stradale: infatti, nell'ipotesi di realizzare un vero e proprio reticolo di rilevamenti attorno agli isolati, l'eventualità che una costruzione possa "schermare" il campo in una direzione viene ampiamente compensata dall'elevata quantità di acquisizioni che tendono a circondare i punti di emissione.

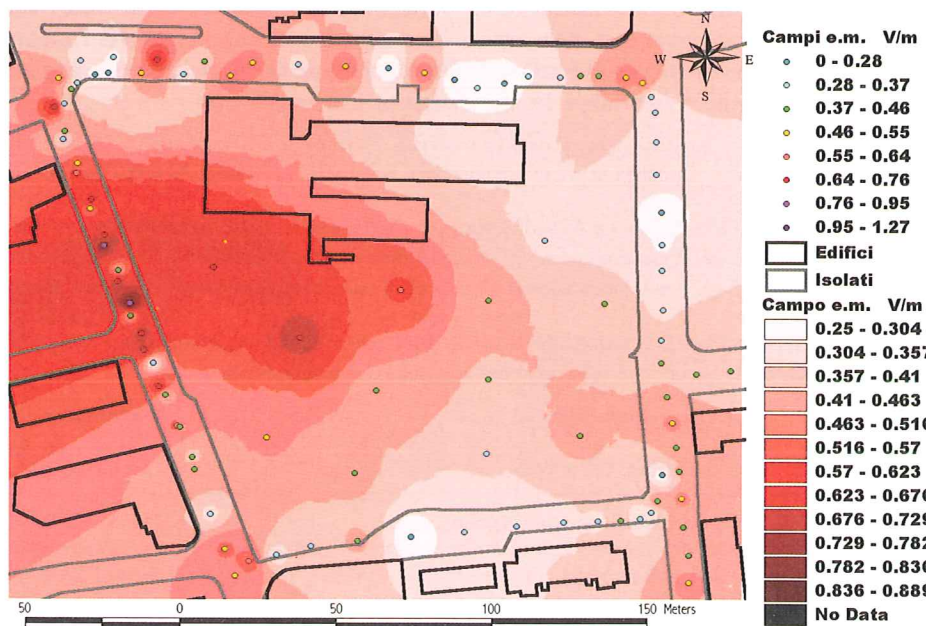


Figura 4 - Rappresentazione areale dei campi e.m. ottenuta interpolando un tematismo GRID dalle acquisizioni puntuali mediante algoritmo IDW.

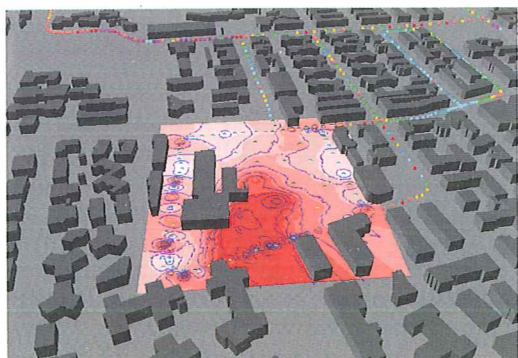


Figura 5 - Rappresentazione areale del tematismo GRID dei campi e.m. visualizzata in 3D con curve di iso-campo.

Conclusioni

Si propone una metodologia innovativa per il rilevamento dei valori di campo elettromagnetico ad alte frequenze in modalità cinematica. Sono state condotte esperienze significative di rilevamento mediante veicolo in movimento equipaggiato con sensore di campo elettrico a banda larga e ricevitore GPS. Esperienze ripetute hanno consentito di stabilire relazioni tra i valori di campo rilevati in modalità statica e cinematica, nonché l'influenza del veicolo stesso (masse metalliche e componenti elettroniche) sui valori rilevati. Riguardo a quest'ultimo aspetto, si attende che venga completato l'allestimento di un veicolo rilevatore acquistato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, per sperimentare accorgimenti metodologici e dispositivi atti a minimizzare, o comunque mantenere costanti nelle possibili diverse condizioni operative, l'influenza che ha sulla misura la forma del veicolo e il suo stesso equipaggiamento.

L'approccio metodologico si è rivelato molto efficace per rappresentare l'entità del fenomeno lungo gli assi stradali percorsi e individuare le sezioni più prossime a sorgenti inquinanti. L'alta produttività del metodo consente di monitorare in tempi brevi estese porzioni del territorio urbano e di ripercorrere gli stessi circuiti periodicamente, in modo da rilevare anche la variazione temporale del fenomeno, che, com'è noto, dipende dalle condizioni "di carico" del servizio.

Sono incoraggianti anche i primi tentativi di pervenire ad una rappresentazione areale del fenomeno dell'elettrosmog. A tal fine sono stati effettuati alcuni rilevamenti estesi dalla singola strada a porzioni significative del reticolo viario, in modo da acquisire dati sufficienti per

un'analisi di tipo areale in ambiente GIS e alla conseguente mappatura tematica del territorio. Questa fase della ricerca sarà compiutamente condotta non appena sarà disponibile il veicolo di cui si è detto, che, equipaggiato con sistemi inerziali, consentirà di risolvere il problema delle frequenti perdite di segnale e garantire la corretta ed automatica georeferenziazione delle misure fisiche.

GIUSEPPE MUSSUMECI
gmussume@dica.unict.it

ANTONIO CONDORELLI
acondor@dica.unict.it

FRANCESCO MUSUMECI
lem@dmfci.unict.it

SIMONA CARRUBBA
lem@dmfci.unict.it

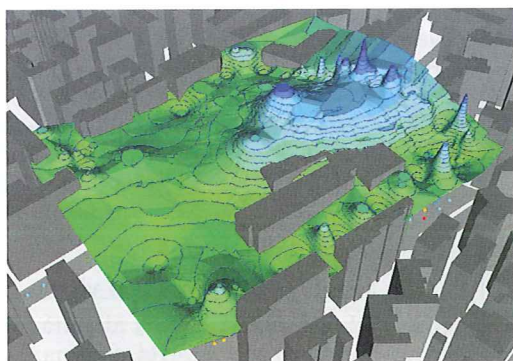


Figura 6 - Rappresentazione areale 3D dei campi e.m. ottenuta mediante interpolazione di un modello TIN.

Giuseppe Mussumeci, ingegnere, è ricercatore confermato di Topografia e Cartografia presso l'Università degli Studi di Catania. Insegna Topografia al Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio (sede di Enna). È autore di oltre 40 memorie scientifiche.

Antonio Condorelli, ingegnere, ha completato il dottorato di ricerca in Ingegneria delle Infrastrutture Viarie presso la Facoltà di Ingegneria di Catania. Collabora da anni all'attività di ricerca nel settore della Topografia e Cartografia ed è autore di 10 memorie scientifiche.

Francesco Musumeci, fisico, è professore associato di Fisica Generale presso l'Università degli Studi di Catania, ove svolge attività scientifica anche presso il LEM - Laboratorio di misure sui campi Elettromagnetici della Facoltà di Ingegneria. È autore di circa 50 pubblicazioni scientifiche.

Simona Carrubba, fisico, borsista presso il Centro Regionale di Fisica Nucleare e di Struttura della Materia.

Bibliografia

- Manzoni G. et alii (2001), "Il progetto COFIN2000 per il rilevamento DGPS/INS di strade con alta precisione e produttività", V^a Conferenza ASITA, Rimini, 9-12 ottobre 2001
- Mussumeci G., Musumeci F., Triglia A., Condorelli A., Privitera G. (2000): "Rilevamento cinematico e georeferenziazione mediante DGPS di campi elettromagnetici" - 4^a Conferenza Nazionale A.S.I.T.A., Genova 2000
- Mussumeci G. (2000): "GPS and GIS for realization and government of Road Cadastre", International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) WG VI/3 - IV/3, Lubiana (Slovenia), 2-5 febbraio 2000.
- Mussumeci G. (2000): "Sul riconoscimento della geometria dell'asse stradale in base a rilevamenti GPS cinematici", 4^a Conferenza Nazionale A.S.I.T.A., Genova, 3-6 ottobre 2000.
- Barbarella M., Manzoni G. (1999): "Metodi geodetici e topografici per il rilevamento e il monitoraggio delle emergenze ambientali", 3^a Conferenza Nazionale A.S.I.T.A., 1999
- Ministero dell'Ambiente (1998): Decreto n. 381 del 10 settembre 1998, G.U. n° 257 del 03/11/98
- IROE (1988), "Protezione dai campi elettromagnetici non ionizzanti", Firenze 1988