

# Pianificazione Ottima di Reti di Stazioni Radiobase mediante Algoritmi Genetici a Codifica Binaria

F.Mori\*, R.Sorrentino\*, M. Strappini\*, L.Tarricone  
Dip. Ingegneria dell'Innovazione, Università di Lecce, Via Monteroni, 73100, Lecce, Italia  
\*D.I.E.I. - Via Duranti 93, 06125, Perugia, Italia  
E-mail: tarricone@diei.unipg.it,  
telefono: +39-075-5853663,  
fax: +39-075-5853654

## Abstract

The sudden growth of mobile communications, and more specifically the forthcoming new generations of mobile systems (such as UMTS) require the development of sophisticated tools for automatic and optimum planning and network design. Such systems must include accurate radiopropagation models, as well as efficient global optimizers. Due to the huge complexity of the task, the combined use of more than one radiopropagation model is needed, as well as their integrated use inside an optimization framework.

An environment is proposed, based on a Geographical Information System (GIS) framework, inside which a wide variety of radiopropagation models can dynamically interact with a novel binary-coded genetic optimizer using multiple cost functions, so that the positioning, power sizing and tilting of radiobase antennas is optimized.

Results on real cases, such as real GSM/DCS subnetworks, demonstrate the affordability and reliability of the system. The use of multiple cost functions, as well as the use of rigorous radiowave models, render the environment appropriate to achieve both radioprotection purposes (controlling the exposure of citizens to electromagnetic fields) and radiocommunication goals (for instance improving network coverage and quality-of-service).

## I. INTRODUZIONE

La crescente diffusione delle tecnologie di telecomunicazione ha prodotto un notevole incremento nel numero delle stazioni radio base (SRB) sul territorio. Il progresso nella ricerca scientifica sui possibili effetti biologici dei campi elettromagnetici (EM) ha d'altra parte focalizzato l'attenzione sull'aspetto dell'esposizione umana e della minimizzazione del rischio.

Allo stesso tempo la sempre più consistente domanda di servizi richiede che i sistemi radiomobili diventino sempre più complessi e sofisticati, a fronte di una frequente necessità di ridurre al minimo i tempi di progettazione.

Ne consegue che il dimensionamento (definizione della potenza emessa dalle antenne), il posizionamento ed il tilting delle stazioni radio base (SRB) possono rendersi più efficaci mediante l'applicazione di opportune strategie di ottimizzazione. Tali algoritmi costituiscono infatti un approccio efficiente alle strategie sia di controllo del livello di campo EM, sia di miglioramento degli standard di qualità del servizio radiomobile. Ciò risulta evidente soprattutto nel caso dei futuri sistemi di Terza Generazione (ad esempio UMTS) per cui il rapporto segnale/rumore è un parametro critico e il controllo di potenza è dinamico.

L'assenza di una strategia di pianificazione potrebbe condizionare pesantemente la qualità della connessione e produrre effetti negativi sull'opinione pubblica a causa dell'enorme numero di antenne che dovrebbero talvolta essere installate.

In un tale contesto lo sviluppo di un sistema di pianificazione ottima della potenza e della posizione delle SRB in una rete radiomobile basato su

- modelli EM accurati
- una definizione rigorosa dei parametri geo-topologici dell'area di studio
- metodologie di ottimizzazione altamente flessibili

è un obiettivo di primaria importanza. Saranno qui tralasciati i particolari di implementazione nel Sistema Informativo Geografico (GIS) utilizzato per l'integrazione cartografica dei risultati e saranno descritti principalmente i radiomodelli e le strategie di ottimizzazione.

Pertanto, nella sezione II sarà fornita una breve descrizione dei modelli adottati. Nel paragrafo III saranno analizzate le peculiarità degli algoritmi genetici come metodo di ottimizzazione prescelto. Nel paragrafo IV saranno discussi i risultati e di seguito verranno tracciate le conclusioni.

## II. MODELLI DI RADIOPROPAGAZIONE

L'efficienza della valutazione predittiva di campo elettromagnetico risiede nell'accuratezza del modello impiegato.

Un approccio di semplice implementazione, caratterizzato però da un notevole grado di approssimazione, è quello che discende dalla ben nota formula di Friis.

In letteratura [1]–[7], il problema della propagazione in spazio *non* libero è stato ampiamente affrontato e risolto. Sono infatti numerosi i modelli in cui è fornita la stima delle attenuazioni causate dalle interazioni con l'ambiente secondo gli approcci empirico, semiempirico o deterministico e ciascuno consta di uno studio delle molteplici sfaccettature della dinamica elettromagnetica.

- **Modelli Empirici:** tra i modelli empirici è stato scelto il modello di Okumura-Hata trattato e ampliato nel progetto COST 231 [1], [4]. Tale tipo di approccio fornisce stime di campo elettromagnetico sufficientemente realistiche, pur rimanendo valido sotto ipotesi restrittive sulla sorgente.

- **Approccio semi-deterministico:** è stato adottato il modello di Walfisch-Ikegami presentato nel progetto COST 231 [4], [6], [7] nel quale sono presi in considerazione sia l'effetto guidante causato dalla presenza delle vie tra gli edifici, sia le diffrazioni multiple prodotte dagli edifici stessi.

In entrambi i casi si ricava la potenza  $P_{r[dBW]}$  al ricevitore da cui è possibile risalire al valore di campo elettrico.

- **Modelli Deterministici:** tipico di tale approccio è la mole computazionale richiesta, dovuta alla complessità delle condizioni al contorno, seppur a fronte di un'accuratezza elevata; l'applicazione del modello di ray-tracing implementato è tanto più immediata quanto più l'area geografica è piccola. In questo modello si è tenuto conto del contributo della prima riflessione e sono stati dedotti gli effetti correlati alla caratterizzazione dielettrica (quali la composizione e l'umidità) del terreno.

### III. ALGORITMI GENETICI PER L'OTTIMIZZAZIONE

La pianificazione ottimale di una rete radio mobile e, in particolare la definizione dei suoi parametri fondamentali, quali la posizione delle SRB, il dimensionamento della potenza in uscita così come il *tilting* delle antenne installande, è un problema complicato a causa sia della intrinseca complessità numerica, sia dei vincoli topologici. Il problema è stato descritto e affrontato secondo numerose e interessanti metodologie [8], [9], [11].

L'approccio combinatorio all'ottimizzazione, mediante gli algoritmi di *Tabu Search*, di *Simulated Annealing* e gli *Algoritmi Genetici (GA)*, è stato sperimentato con successo in molteplici campi di applicazione. Tra tutti i possibili approcci, i GA costituiscono la soluzione più consona [10] al problema in esame grazie alla elevata flessibilità e semplicità della teoria dell'evoluzione combinatoria nonché alla naturale semplicità con cui l'implementazione può estendersi al supercalcolo; quest'ultima proprietà costituisce infatti la maggiore attrattiva nell'utilizzo delle suddette tecniche in ragione dell'elevata complessità computazionale dell'applicazione su larga scala geografica ovvero ad un elevato numero di installazioni.

Sono di seguito riportate le principali caratteristiche del GA implementato, rimandando il lettore interessato a [12] per i particolari inerenti i GA.

#### A. Cromosomi

Ciascun cromosoma è codificato da una stringa binaria in cui

- a ciascuna cella è associata una terna di bit corrispondente ad un fattore di correzione della potenza  $\phi_j$ ;
- l'informazione sul posizionamento della SRB, memorizzata in coda al cromosoma, è associata ad una coppia di bit la cui decodifica individua un punto nel piano di Gauss-Boaga.

I fattori calcolati sono poi decodificati effettuando la conversione binario-decimale.

#### B. Funzioni Costo: MMaF, MMiF, MDF, MRF.

La qualità della soluzione ottenuta ad ogni iterazione è valutata secondo funzioni costo coerenti con differenti obiettivi di ottimizzazione. Tra le stime di campo, effettuate su un certo numero  $n_P$  di punti ed ottenute dal modulo di radiopropagazione, si seleziona un insieme di  $n_C$  punti tale che sia verificata la condizione  $n_C \leq (0.3 \cdot n_P)$ . I punti sono selezionati secondo uno dei seguenti criteri, corrispondenti a diverse politiche di ottimizzazione:

(a) minimizzazione della somma dei valori di campo E di massima intensità (MMaF); (b) minimizzazione della somma dei valori di campo E di minima intensità (MMiF); (c) minimizzazione della somma delle differenze tra i valori di campo E massimi e minimi nei punti selezionati (MDF); (d) minimizzazione della somma dei valori di campo E scelti in modo casuale (MRF).

### IV. RISULTATI

L'implementazione di un'ampia gamma di modelli radiopropagativi consente di ottenere il giusto compromesso tra accuratezza e bontà della soluzione. Il confronto fra i risultati ottenuti utilizzando il modello di spazio libero e i modelli di Okumura-Hata e di Walfisch-Ikegami (la cui descrizione, per brevità, è qui tralasciata), mette in risalto una discrepanza massima di  $65 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ; da quest'ultima considerazione risulta dunque evidente quanto sia importante effettuare accuratamente la scelta dei modelli.

Sono di seguito riportati i risultati ottenuti dal posizionamento e dimensionamento ottimi di una porzione di rete *wireless* costituita da 3 SRB (sia TACS che GSM e DCS) sita in Umbria e valutata su un territorio circostante di  $5\text{km} \times 5\text{km}$  con un passo di stima pari a 250 m (il numero totale dei punti riceventi considerati risulta dunque 400).

L'area in questione contiene anche SRB di altri gestori; la simulazione tiene pertanto conto dei segnali corrispondenti come rumore EM mentre la ricerca della soluzione ottima soltanto del segnale del gestore della rete in esame.

In Fig.1 si è riportato il valore efficace di campo elettrico E in ciascuno dei 400 punti di stima. Sono evidenziati i risultati ottenuti con ciascuno dei criteri di ottimizzazione implementati, i valori di progetto di potenza e posizione del sito dichiarati dal gestore della sottorete (indicati come 'Actual values for the single provider' in figura) e le stime del campo risultante dall'interazione di tutti i gestori ('Actual values for all the providers'). Si osserva una lieve variazione dei punti di massimo e di minimo nelle figure dovuto al differente posizionamento delle tre SRB della sottorete.

In Fig.2 sono riportati i risultati del dimensionamento ottimo della rete; in ordinata sono visualizzati i fattori di amplificazione o riduzione di potenza applicati a ciascuna cella di ciascuna SRB e confrontate rispetto alle specifiche di installazione (fattore moltiplicativo 1). Dalla figura si evince chiaramente il differente andamento delle diverse funzioni costo utilizzate.

In Fig.3 sono infine riportate le distribuzioni di campo elettrico sul piano nelle differenti situazioni studiate. Si osserva facilmente la riduzione complessiva dei livelli di campo pur avendo garantita la qualità della copertura e in alcuni casi migliorata.

La possibilità di delegare all'utente la scelta fra differenti criteri di verifica della qualità della soluzione, conferisce al sistema una elevata flessibilità nell'applicazione di diverse politiche di ottimizzazione. La potenza è stata ridotta sino ad un massimo del 50%, corrispondente ad una riduzione totale di 25,02 W per le celle GSM e 6 W per quelle DCS.

#### REFERENCES

- [1] Y. Okumura et al., Field strength and Its Variability in VHF and UHF Land Mobile Service, in *Review of the electrical Communication Laboratory*, vol. 16 N. 9-10, Sept-Oct. 1968.
- [2] M. Hata, Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services, in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-29, N. 3 Aug. 1980.
- [3] E. Damosso, Digital Mobile Radio: COST 231 View on the evolution towards 3rd Generation Systems. Bruxelles: Final Report of the COST 231 Project, European Commission, 1998.
- [4] <http://www.lx.it.pt/cost231>
- [5] M.Barbioli, C.Carciofi, G.Falciasacca et a., A Measurement based methodology for the determination of validity domains of prediction models in urban environment, in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-49, N. 4 Sept. 2000.
- [6] J. Walfisch, H.L. Bertoni, A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments, in *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 36, N. 12 Dec.1988.
- [7] F.Igekami, S.Yoshida, T.Takeuchi, M.Umeira, Propagation factors controlling mean Field Strength on Urban Streets, in *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. AP-26 N. 8, Aug. 1984.
- [8] E. Amaldi, A. Capone, F.Malucelli, Discrete models and algorithms for the capacited location problems arising in UMTS network planning , in *Technical Report, D.I.I., Politecnico di Milano*.
- [9] E. Amaldi, A. Capone, F.Malucelli, Base station configuration and location problems in UMTS networks, in *Proceedings of the 9th International Conference on Telecommunication Systems, Modeling and Analysis 2001*, 2001.
- [10] J. Zimmermann, R. Höns, H. Mühlenbein, The Antenna placement problem for mobile radio networks: an evolutionary approach., in *Proceedings of the 8th Conference on Telecommunications Systems*, pp 358-366, 2000.
- [11] A.M. Vernon, M.A. Beach, J.P. McGeehan, Planning and Optimization of Third Generation Mobile Networks with Smart Antenna Base Stations, in *Proceedings of AP2000, 9-11 April, 2000, Davos*.
- [12] D.E. Goldberg, Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning, Addison-Wesley 1992.
- [13] F.M Landstorfer, Wave Propagation Models for the Planning of Mobile Communication Networks, in *Proceedings of the 29th European Microwave Conference*, Munich, vol.1, pp. 1-6, Oct.1999.
- [14] A. Neskovic, N. Neskovic, G.Paunovic, Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment, in *IEEE communication Surveys*,
- [15] R. Hoppe, P. Wertz, G Wölfe, F.M. Landstorfer (IHF Stuttgart) Consideration of Topography for wave Propagation Modeling, in <http://www.ihf.uni-stuttgart.de>
- [16] C.E. Dadson, J. Durkin, R.E. Martin, Computer Prediction of Field Strength in the Planning of radio Systems in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-24 N. 1, Feb. 1975.

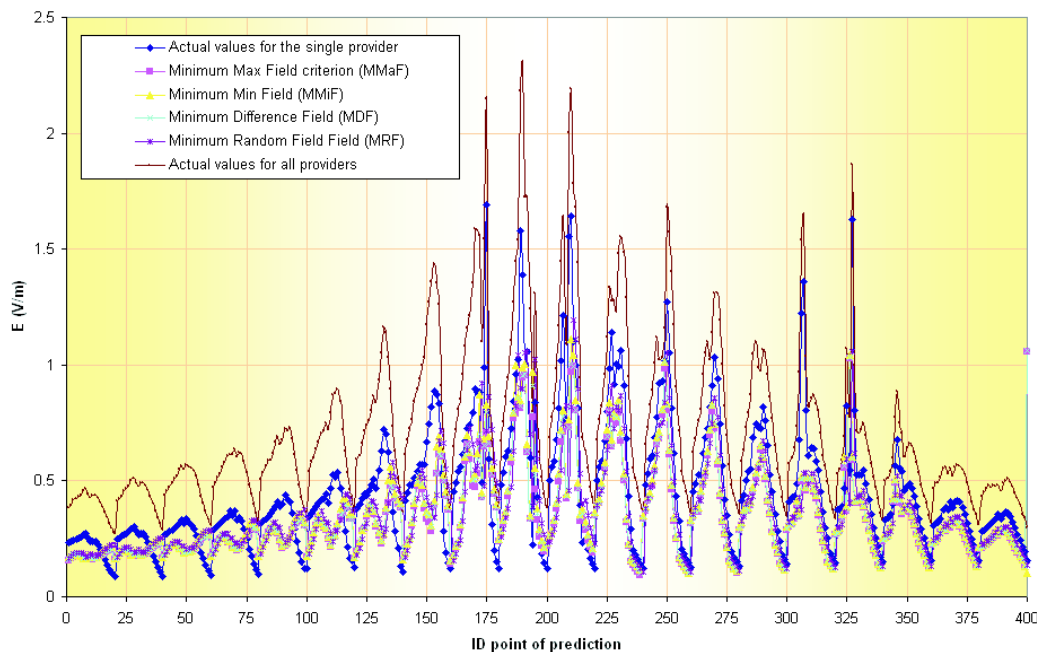


Fig. 1. Livelli di campo EM risultanti dal differente posizionamento e dimensionamento delle SRB.

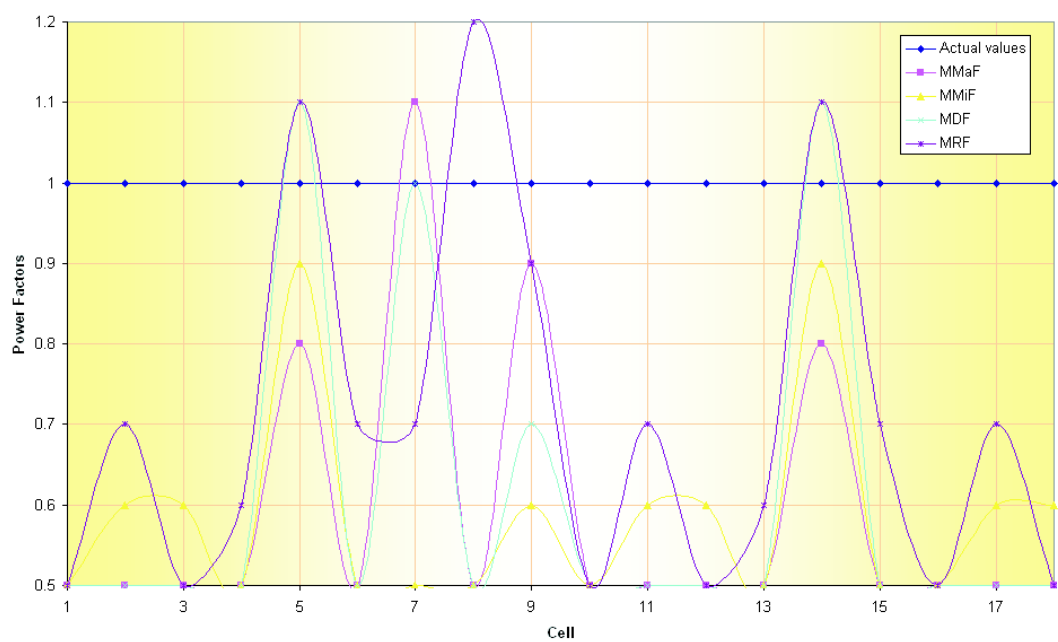


Fig. 2. Dimensionamento della potenza per le celle nella rete di SRB.

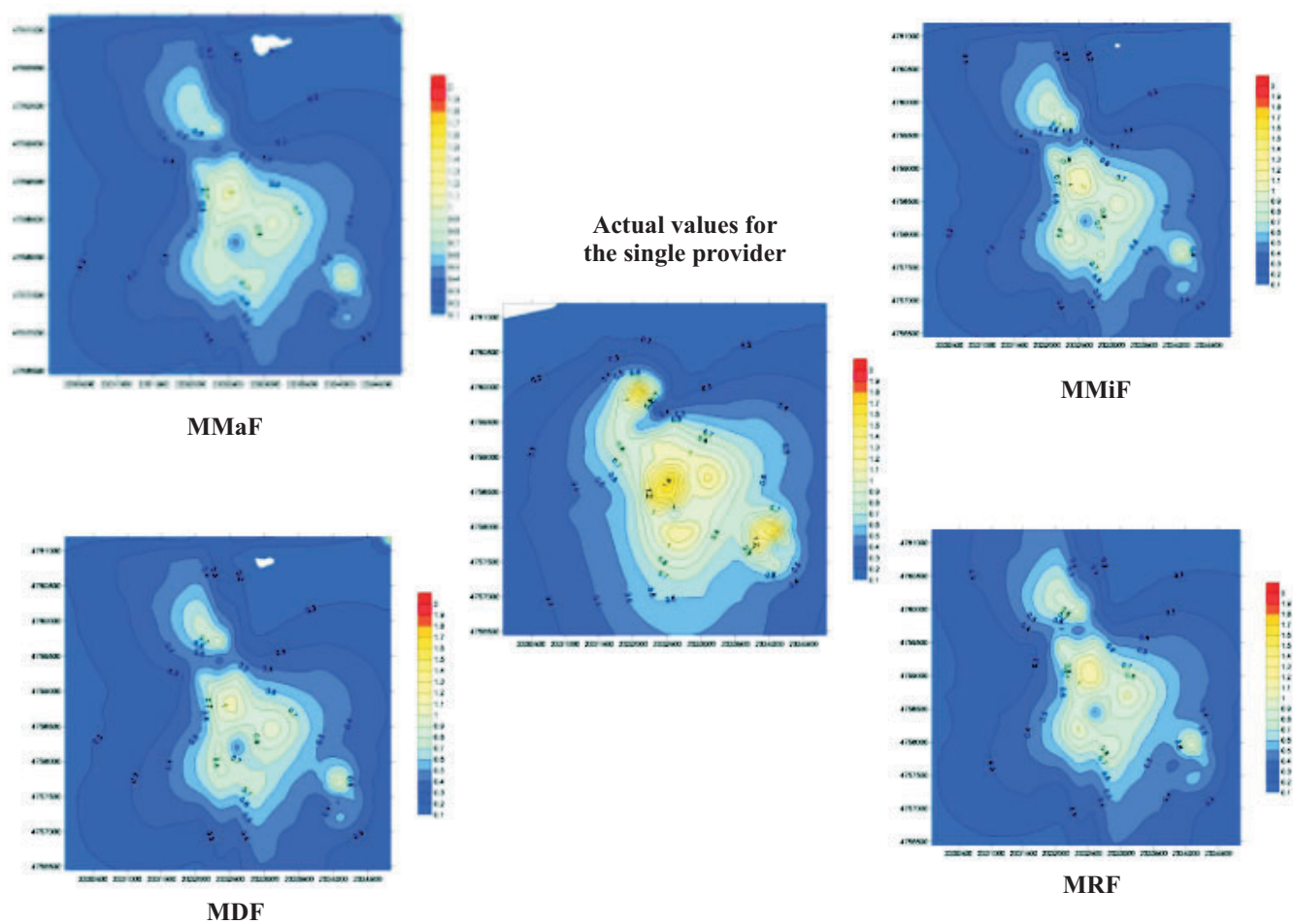


Fig. 3. Livelli di campo EM per le differenti metodologie di ottimizzazione.