

METODI AVANZATI DI PREDIZIONE DI CAMPO PER IL SISTEMA DAB-T

P. FORNI*

SOMMARIO — Sono esposti i concetti di base dei metodi predittivi di campo e.m., allo studio presso il Centro Ricerche RAI, per i sistemi numerici, che operano su rete isofrequenziale (SFN: Single Frequency Network). Tali metodi sono basati su tecniche di ray-tracing e sulla applicazione della teoria geometrica della diffrazione (GTD = Geometrical Theory of Diffraction) per tener conto anche del contributo dei cammini multipli e superare i limiti dei metodi attualmente in uso per i sistemi analogici. È descritto un ambiente informatico integrato che consente di simulare il comportamento di reti di singola frequenza e di rappresentare i risultati di simulazione su di una base georiferita mediante l'impiego di un sistema informativo geografico. L'ambiente è stato specificatamente studiato per facilitare lo sviluppo di modelli predittivi di campo elettromagnetico atti alla simulazione di reti con modulazione numerica. L'architettura adottata consente sia di utilizzare modelli predittivi preesistenti, sia di svilupparne altri via via più precisi. È altresì previsto di analizzare e rappresentare nel dettaglio le modalità di propagazione direttamente sul territorio, al fine di consentire la messa a punto dei modelli predittivi stessi. Viene presentata una simulazione della rete isofrequenza DAB della Valle d'Aosta con rappresentazione grafica della copertura mediante curve isolivello su cartografia digitalizzata

SUMMARY — *Advanced field strength prediction methods for T-DAB system.* The basic concepts of electromagnetic prediction methods, currently studied at RAI Research Centre, suitable for being used in simulation of digital systems working in SFN (SFN: Single Frequency Network) are presented. These methods rely on ray-tracing techniques and GTD (GTD = Geometrical Theory of Diffraction) allowing to also consider multipath and overcoming limitations typical of analogue system prediction methods. Here an integrated informatic environment is described. The environment allows for the simulation of SFN and the representation of simulation results in a georeferenced basis by means of a GIS (GIS = Geographic Informative System). The environment was purposely designed in order to ease the development of electromagnetic field prediction models suitable for the performance analysis of digital modulation networks. The software architecture allows the use of existing prediction procedures and the development of more and precise ones. The capability to analyze and represent in details propagation phenomena on the territory allows the debugging of prediction procedures.

1. Introduzione

Il crescente interesse per le reti di radiodiffusione a singola frequenza impieganti modulazioni numeriche, richiede la disponibilità di strumenti adeguati a studiarne il comportamento in condizioni operative e determinare le aree di copertura del servizio effettuato è necessario disporre di modelli predittivi di campo elettromagnetico e.m. adeguati alle caratteristiche del nuovo sistema digitale e di metodologie rappresentative basate sull'impiego di cartografie informatiche che rendano immediata ed evidente la valutazione tenendo conto della orografia del territorio. Tali metodi devono considerare i contributi al campo e.m. ricevuti provenienti da cammini multipli e soggetti a ritardi differenti e fornire per ogni tratto sul territorio la distribuzione in ampiezza e ritardo dei vari contributi. I metodi esistenti attualmente in uso per i sistemi analogici hanno grossi limiti di valida applicazione per i sistemi numerici.

Presso diverse organizzazioni (ITU, UER) sono allo studio *metodi predittivi avanzati* basati sull'impiego di accurati modelli digitali del terreno (DTM) con sviluppo di adeguati modelli rappresentativi delle diverse fenomenologie della propagazione, anche mediante l'impiego della teoria geometrica della diffrazione (GTD: Geometrical Theory of Diffraction) e di tecniche di ray-tracing.

In tale contesto il Centro Ricerche RAI ha avviato lo studio di metodi predittivi evoluti, adeguati ai sistemi di radiodiffusione digitale che operano in reti isofrequenziali, con trasmettitori sintonizzati sulla stessa frequenza, che consentono elevati risparmi di risorse spettrali.

Lo studio, pur avendo carattere generale è diretto al momento al sistema per la radiofonia digitale DAB-T, nella applicazione del servizio preoperativo sulla rete isofrequenziale della Valle d'Aosta (Bibl. 1).

Per valutare le prestazioni delle reti SFN e contemporaneamente consentire lo sviluppo di procedure predittive adeguate, è stata riconosciuta la necessità di disporre di uno strumento in grado di rendere evidente il confronto di risultati di predizione e dati misurati, tenendo conto della orografia del territorio e delle diverse modalità propagative.

È stato pertanto avviato lo sviluppo di un complesso ambiente software basato su di un GIS (Bibl. 2), che integra diverse metodologie predittive con modelli digitali del

* Ing. Paolo Forni del Centro Ricerche RAI — Torino.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 28 Giugno 1996.

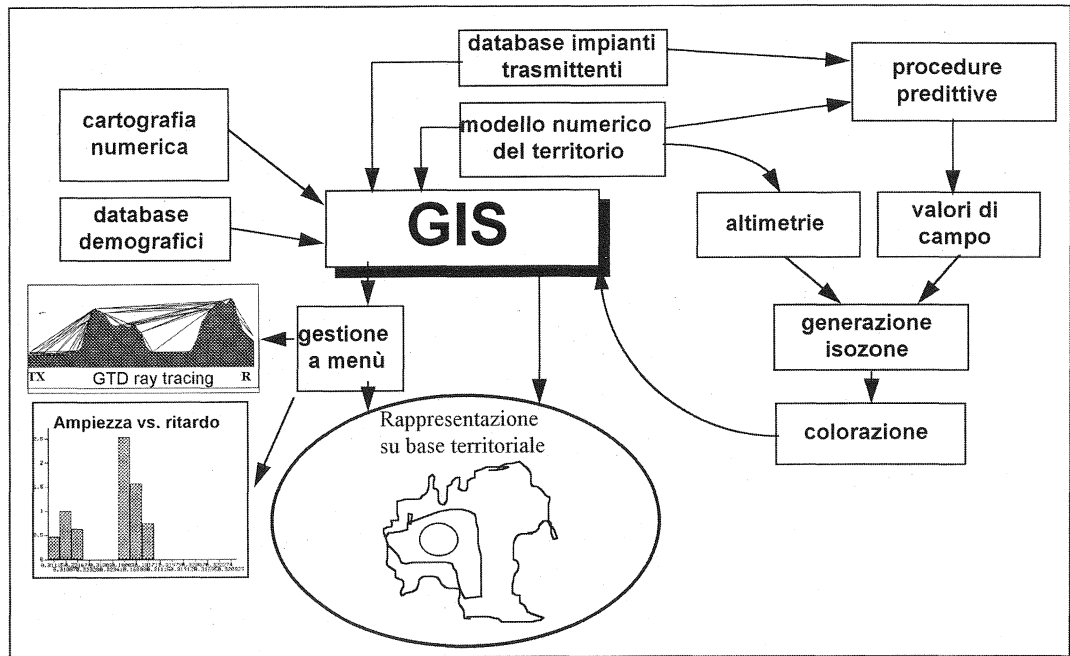


Fig. 1 — Ambiente GIS integrato per la predizione di coperture di reti SFN.

terreno DTM, procedure di simulazione dei diagrammi d'antenna, database demografici (vedi figura 1). Più specificatamente saranno presi in esame ed integrati nel GIS:

- metodi predittivi attualmente in uso per i sistemi analogici radiotelevisivi (Racc.370-5 ITU-R) introducendo opportuni fattori di correzione e sviluppando, in prospettiva, metodi più adeguati ai sistemi numerici;
- modelli numerici del territorio Digital Terrain Model (DTM), con risoluzione di poche decine di metri al fine di tenere in conto le differenze nella orografia;
- modelli dei sistemi radianti, località e caratteristiche degli impianti trasmettenti;
- basi dati geografiche-demografiche.

Il collegamento delle predette procedure nell'ambiente software GIS, che opera la gestione d'informazioni georiferite, consente di rappresentare le previsioni calcolate su cartine digitalizzate mediante scale colorimetriche dell'intensità di campo.

Il sistema attualmente utilizzato è il GIS (MAPINFO) con riferimento specifico al territorio della Valle d'Aosta ed alla integrazione di metodi predittivi esistenti allo scopo di avere una prima immediata indicazione, sia pure approssimativa, della copertura dei quattro impianti della rete sperimentale SFN DAB.

Come esempio di applicazione sono riportate le previsioni di copertura dei quattro impianti di St.Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil con le caratteristiche (sistema radiante, potenza apparati, ecc.) definite per il servizio sperimentale DAB-T. È stato inoltre previsto l'interfacciamento delle procedure predittive evolute in corso di sviluppo.

2. Generalità sui metodi predittivi

La predizione dell'intensità di campo elettromagnetico ricevuto da una postazione situata ad una certa distanza da

un centro trasmettente, può avvenire mediante l'impiego di metodi diversi, basati su tecniche deterministiche e/o probabilistiche, la cui complessità di implementazione è essenzialmente legata al grado di precisione richiesto.

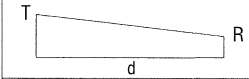
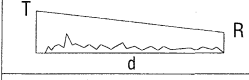
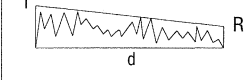
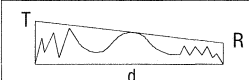
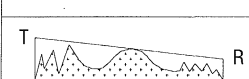
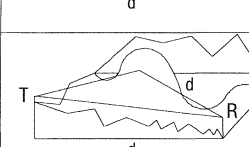
Si può partire da una semplice ipotesi di propagazione in spazio libero, per passare a modelli che tengano in conto il profilo del territorio e siano in grado di determinare le attenuazioni aggiuntive dovute alla presenza di ostacoli lungo il collegamento, ostacoli che possono o meno intercettare la congiungente trasmettitore — ricevitore.

L'indubbio vantaggio dei metodi che operano sulla base della descrizione statistica delle irregolarità del terreno (Es. Racc. 370-5 ITU-R) è costituita dai ridotti tempi di calcolo richiesti; d'altra parte le predizioni che comunque ne conseguono possono discostarsi non poco dalla situazione reale. Si ricorda che nel caso in cui si desideri effettuare predizioni di campo in area su sistemi influenzati da percorsi multipli (multipath), oltre ai dati *sull'attenuazione*, è necessario avere una predizione sul *ritardo* introdotto. Questo tipo di informazione molto importante per la pianificazione DAB-T, è difficile da ottenere e da tempo sono allo studio metodi specifici per il multipath, che attraverso l'integrazione di tecniche deterministiche e probabilistiche, forniscano informazioni adeguate al problema posto.

La necessità di ricorrere a tecniche di tipo misto è giustificata dall'estrema diversità di superfici territoriali da descrivere; laddove è noto il profilo del territorio, e possibilmente anche la copertura del terreno (alberi, ecc.) è consigliabile l'impiego di metodi deterministici, mentre qualora si operi su terreno edificato, semi edificato o su foreste il metodo probabilistico è favorito. Occorre comunque porre qualche cautela: infatti l'applicabilità delle PDF (funzioni di densità di probabilità) più usate p.e. Rayleigh, Normal, Log-Normal, Nakagami è fortemente dipendente dalle caratteristiche del terreno.

In tabella 1 sono riassunti i vari tipi di tecniche predittive impiegabili.

TABELLA 1
 QUADRO RIASSUNTIVO DEI VARI METODI PER PREDIZIONE DI CAMPO
 IN VHF ED UHF

	1	Collegamento in vista: sola attenuazione spaziale ed eventualmente attenuazione troposferica
	2	Metodi predittivi operanti sulla base della descrizione statistica del terreno
	3	Metodi predittivi di tipo deterministico con uso di teoria geometrica della diffrazione da ostacoli supposti a lama di coltello
	4	Metodi predittivi di tipo deterministico con uso di teoria geometrica della diffrazione da ostacoli a lama di coltello oppure a sezione non acuta
	5	I metodi 3 e 4 con descrizione anche solo parziale del tipo di terreno
	6	Metodi 3D adatti alla predizione di multipath su terreno irregolare, in presenza di riflessioni multiple, possono anche tenere conto di distribuzioni probabilistiche per caratterizzare particolari tipi di terreno

2.1 MODERNE TECNICHE DI PREVISIONE

Da qualche anno presso varie amministrazioni, laboratori ed industrie private sono in fase di studio sofisticati metodi numerici per la predizione del campo elettromagnetico nella propagazione su terreno irregolare.

A titolo di esempio si può citare il metodo GEC Marconi Research Centre che si basa su di un modello territoriale con risoluzione di 0.5 Km e modellizzazione di tipo misto GTD-probabilistico mediante le distribuzioni suggerite in ambito CCIR, attualmente in fase di revisione e di trasferimento su database più dettagliati. Il laboratorio tedesco della IRT dispone invece di mappe su computer con dettagli dell'ordine di 100 m ove applica due metodi: un Deygout modificato ed un metodo proprietario punto-punto. Su un database di analoga risoluzione la società radiotelevisiva Südwestfunk di Baden-Baden (SWF) in collaborazione con l'Institut für Höchsthfrequenztechnik dell'Università di Karlsruhe, ha realizzato un metodo predittivo molto completo del tipo 3D misto, specifico per la propagazione a cammini multipli.

Lo studio condotto presso il Centro Ricerche RAI è rivolto ad un modello bidimensionale di propagazione terrestre, di tipo (5) in tabella 1, basato su di una modellizzazione di tipo elettromagnetico.

Il modello che è in grado di trattare il problema del multipath in ambienti orograficamente complessi prevede una successiva estensione al caso 3D, rappresentato dalla classe (6) di tabella 1.

Il modello basato su ray-tracing e sulla successiva applicazione della teoria uniforme della diffrazione ad oggetti diffrangenti conduttori e dielettrici di cui siano note proprietà elettriche quali la permeabilità e la conducibilità, inizialmente sviluppato come risulta dal testo indicato in bibliografia 3, è stato successivamente rivisto ed esteso alla luce delle esigenze specifiche. Risulta pertanto adeguato a

trattare il problema della propagazione su terreno descritto numericamente ed è in grado di operare direttamente sulla polarizzazione, perché di tipo deterministico.

L'approssimazione che ne deriva dipende dal dettaglio di definizione del territorio e dalla validità delle approssimazioni assunte nell'applicazione della teoria elettromagnetica.

Come ben noto, la presenza di oggetti opachi alla radiazione elettromagnetica tra le due estremità di un collegamento radio può provocare vari fenomeni: le due antenne trasmittente e ricevente possono essere o meno in vista, vi possono essere raggi riflessi lungo il percorso, ma soprattutto vi possono essere situazioni in cui pur non risultando in vista le due antenne, vi è propagazione per diffrazione.

Può inoltre succedere più in generale che in una tratta di collegamento (figura 2) vi sia la presenza contemporanea di:

- raggio diretto
- raggi riflessi
- raggi diffratti
- raggi riflessi e successivamente diffratti

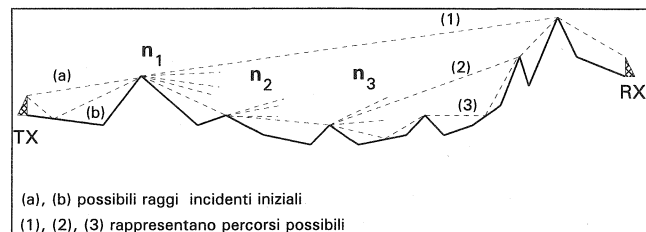


Fig. 2 — Rappresentazione grafica di una tratta di collegamento con la presenza contemporanea di raggio diretto, raggi riflessi, raggi diffratti, raggi riflessi e successivamente diffratti.

La presenza contemporanea di più raggi su di un percorso comporta la descrizione di cammini di diversa lunghezza da parte di uno stesso segnale: al ricevitore giunge pertanto una sequenza di segnali di differente ampiezza e con ritardo variabile. La modulazione multiportante COFDM adottata nel DAB-T consente di operare efficacemente in condizione di propagazione affetta da cammini multipli, a condizione che i ritardi delle varie componenti siano contenuti all'interno dell'intervallo di guardia ($\tau_g=256 \mu s$).

Il modello bidimensionale (caso 5 di tabella 1), in fase di sviluppo, considera la propagazione di onde elettromagnetiche lungo un piano verticale Tx-Rx definito dalla sezione verticale risultante dal percorso tra le posizioni del trasmettitore e del ricevitore.

Con riferimento alla figura. 3 in cui sono indicati possibili percorsi alternativi del segnale in planimetria, viene qui considerato il solo collegamento bidimensionale evidenziato. I collegamenti al di fuori della congiungente i due punti trasmittente e ricevente possono tuttavia essere trattati analogamente al percorso bidimensionale, pur di impiegare più complesse tecniche di ray-tracing e valutando opportunamente i termini di diffrazione (caso 6 di tabel-

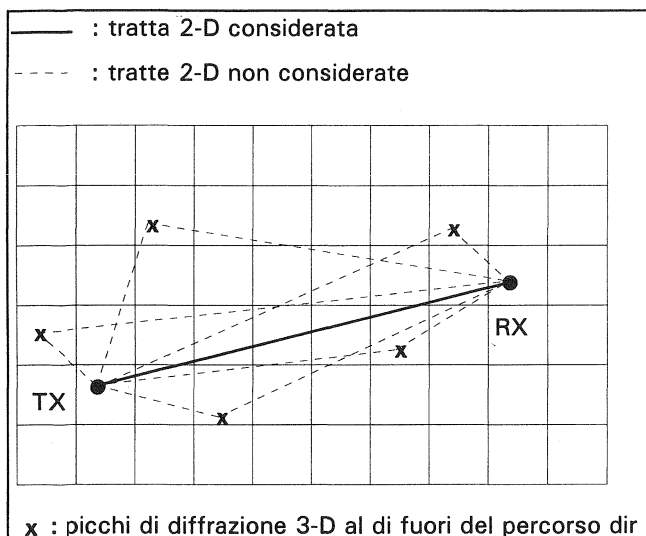


Fig. 3 — Indicazione dei possibili percorsi alternativi del segnale in planimetria; è evidenziato il collegamento bidimensionale.

la1). La teoria alla base del metodo presentato è comunque valida indipendentemente dall'approccio bidimensionale affrontato.

Dal database del territorio, viene dapprima estratto il profilo sulla congiungente Tx-Rx, successivamente il profilo estratto viene suddiviso in semplici elementi diffrangenti e/o riflettenti di cui sia possibile calcolare le proprietà diffrangenti/riflettenti. Mediante l'applicazione di com-

plesse procedure di ray-tracing vengono poi individuati i percorsi dei vari raggi afferenti alla postazione ricevente lungo il cammino che la separa dal trasmettitore (v. figura 4).

Successivamente si procede alla valutazione dei contributi di campo lungo i singoli raggi dovuti alle sorgenti secondarie, valutandone i contributi sulle due polarizzazioni ortogonali ed al calcolo dei ritardi introdotti. Il risultato è una descrizione in termini di ampiezze e ritardi del segnale ricevuto per le due polarizzazioni ortogonali considerate, del tipo illustrato in figura 5.

3. L'ambiente integrato per l'analisi di reti SFN

L'ambiente software attualmente sviluppato presso il Centro Ricerche si riferisce al territorio della Valle d'Aosta e specificatamente agli impianti della rete SFN per la Sperimentazione DAB-T per i quali sono stati integrati i dati delle località, del sistema radiante, delle potenze impiegate come risultano dal progetto effettuato dalle strutture tecniche della Sede Regionale di Aosta.

Le campagne di misure effettuate nell'area di servizio della rete sperimentale DAB-T consentiranno una verifica dei risultati ottenuti con il modello predittivo in studio.

Come già anticipato nella introduzione, al momento sono stati integrati i metodi predittivi esistenti e sono stati studiati principalmente i moduli relativi al metodo rappresentativo mediante GIS ed alla gestione complessiva.

Lo studio delle reti in singola frequenza richiede il calcolo per ogni trasmettitore della rete della copertura, la rap-

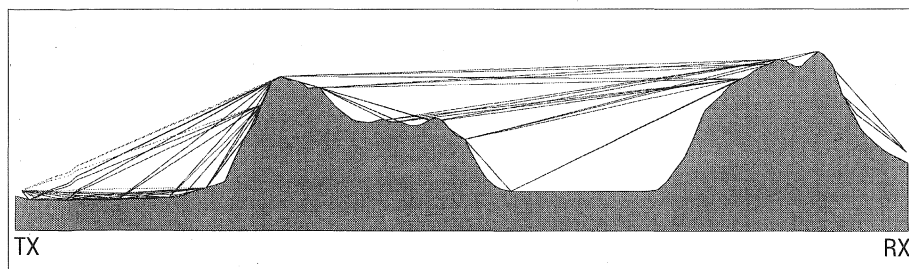


Fig. 4 — Ray-tracing su profilo bidimensionale: sono rappresentati i cammini multipli dovuti a riflessione e diffrazione da parte del terreno.

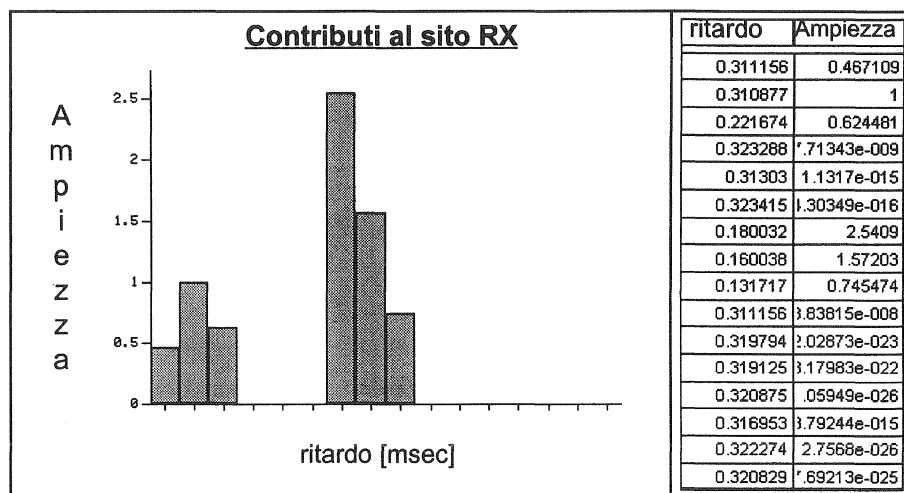


Fig. 5 — Rappresentazione grafica e numerica dei contributi di campo afferenti al ricevitore.

presentazione dei risultati nonché la valutazione in termini di popolazione servita. I GIS sono ambienti specifici per la rappresentazione su base geografica di dati di varia natura, quali coperture, altimetria, popolazione, per mezzo di tavole, simboli grafici, curve, ecc. La programmabilità dei GIS consente lo sviluppo di applicazioni personalizzate. Nel caso esaminato sono state sviluppate procedure specifiche per la rappresentazione della copertura mediante colorazioni ad isolivelli. È possibile modificare la configurazione della rete e procedere rapidamente alla valutazione della copertura.

A causa degli elevati tempi di calcolo delle procedure predittive, queste ultime sono state implementate su di una macchina UNIX, controllata via rete dal GIS sul PC

3.1 PREVISIONE DI CAMPO IN AREA DI SERVIZIO

È stato sviluppato un programma in grado di calcolare il campo elettromagnetico irradiato da un trasmettitore, su di un'area geografica predeterminata. Il programma opera mediante un modello digitale del territorio (DTM) con dettaglio di circa 250m. I metodi di calcolo del campo elettromagnetico attualmente disponibili ed utilizzati nel programma sono:

- spazio libero
- CCIR 370
- CCIR 370 + TCA (Terrain Clearance Angle)
- metodo punto-punto Deygout modificato

L'area geografica è delimitata da un rettangolo in coordinate longitudine, latitudine. Il programma calcola il campo irradiato dalla postazione trasmittente su ogni punto dell'area estraendo dal database territoriale il profilo altimetrico tra il punto trasmittente ed il punto ricevente. È possibile scegliere una posizione trasmittente al di fuori dell'area di servizio considerata. La configurazione del sistema trasmittente è nota dal relativo database.

I tralicci d'antenna utilizzati in radiodiffusione, supportano spesso sistemi radianti composti da molti pannelli radianti normalmente orientati in direzioni diverse. Nella procedura di calcolo d'antenna adottata il diagramma complessivo del sistema radiante, viene calcolato mediante somma vettoriale dei contributi provenienti da ogni singolo pannello considerandone l'orientazione e le perdite della rete formatrice di fascio (l'insieme di linee di alimentazione delle antenne che portano ai vari pannelli il segnale da trasmettere, con le alimentazioni in ampiezza e fase adeguate alla realizzazione del diagramma complessivo d'antenna).

Per consentire al meglio l'impiego dell'ambiente integrato nello sviluppo di metodi predittivi, è stato scelto di orientarsi verso una architettura aperta, che permetta di includere qualsivoglia procedura di campo e database di territorio dettagliati, ove se ne presenti la necessità. Il software è stato sviluppato con la capacità di cambiare le interfacce verso le basi dati. Nel caso delle basi dati geografiche è il GIS stesso che include diverse interfacce, mentre le interfacce relative alle basi dati proprie delle procedure predittive sono condivise col GIS.

A proposito della scelta del metodo occorre tenere presente l'importanza delle riflessioni e dei fenomeni di retropropagazione. Si prevede la necessità di:

- operare su database più dettagliati

- far ricorso ai metodi avanzati in corso di sviluppo già citati.

3.2 PREVISIONE DELLA COPERTURA DELLA RETE SFN

Per consentire la valutazione della copertura della rete SFN è stato implementato un modello (Bibl. 4) di combinazione di contributi DAB afferenti ad un sito ricevente. In questa prima fase è stato considerato un solo raggio per ogni trasmettitore.

I vari contributi afferenti al ricevitore, allo stesso istante, con ritardo generalmente diverso a causa della differenza tra i percorsi, sono combinati mediante i coefficienti di potenza δ_i dati dalla:

$$\delta_i = \begin{cases} 0 & \delta_i < -t_s \\ \left[1 - \left(\frac{-\delta_i}{t_s}\right)\right]^2 & -t_s \leq \delta_i < 0 \\ 1 & 0 \leq \delta_i \leq \Delta \\ \left[1 - \left(\frac{\delta_i - \Delta}{t_s}\right)\right]^2 & \Delta < \delta_i < t_s + \Delta \\ 0 & \delta_i \geq t_s + \Delta \end{cases}$$

dove:

- δ_i = ritardo relativo per l'i-esimo trasmettitore
- Δ = intervallo di guardia
- t_s = periodo di simbolo

Nel caso del DAB-T in presenza di più contributi caratterizzati da ritardi diversi, identificato il contributo principale, i restanti contributi costituiscono il segnale interferente qualora la differenza di cammino rispetto al contributo principale superi l'intervallo di guardia. Ovviamente nel caso sia attivato un solo trasmettitore non esiste interferente.

Il calcolo del fattore $C/(N+I)$ è effettuato mediante la espressione seguente:

$$\frac{C}{N+I} = 10 \text{Log} \left(\sum \delta_i 10^{\frac{f_i}{10}} \right) - 10 \text{Log} \left(10^{\frac{f_N}{10}} + \sum_i (1 - \delta_i) 10^{\frac{f_i}{10}} \right)$$

dove:

- f_i = intensità di campo per il trasmettitore i-esimo in dB(mV/m)
- f_N = intensità di campo equivalente di rumore in dB(mV/m)

È stato considerato un livello di rumore pari ad un flusso equivalente di -125.8 dBW/m² quale flusso di potenza risultante dal contributo di rumore impulsivo e di rumore proprio del ricevitore (Bibl. 5).

Allo scopo di confrontare la copertura della rete a singola frequenza con la copertura di un singolo trasmettitore, è possibile depurare il rapporto $C/(N+I)$ dal rumore e valutare il campo elettromagnetico equivalente. In assenza di fenomeni di interferenza il campo elettromagnetico equivalente è pari al campo elettromagnetico reale.

La procedura implementata identifica il contributo principale, calcola i ritardi dei contributi restanti, valuta il $C/(N+I)$ e calcola il campo elettromagnetico equivalente.

3.3 PROGRAMMI DI RAPPRESENTAZIONE SU CARTOGRAFIA NUMERICA MEDIANTE GIS

Le procedure sviluppate per la rappresentazione grafica di previsioni in area di servizio su cartografia numerica mediante Sistemi Informativi Geografici (GIS) sono in grado di rappresentare dati georiferiti, su cartografia vettoriale e raster. Sono state sviluppate procedure automatiche per la colorazione e la rappresentazione di una scala colorimetrica. È stata organizzata una gestione a menù sia per agevolare il più possibile l'introduzione dei dati operativi, che per rendere la rappresentazione dei risultati facilmente interpretabile.

È possibile scegliere una regione geografica su cui valutare la copertura, configurare i parametri dei trasmettitori e della rete, utilizzare il GIS quale ambiente di sviluppo per modelli propagativi evoluti ed ottenere varie rappresentazioni grafiche su mappe digitali (sia raster che vettoriali) di dati georiferiti.

In sintesi, scelto il trasmettitore e l'area di servizio è possibile valutare la copertura in termini grafici, o procedere allo sviluppo del modello. È stata inoltre sviluppata una procedura per l'ottimizzazione della configurazione di ritardo dei trasmettitori nella rete.

Poiché l'ambiente è in sviluppo, è previsto di introdurre a breve le possibilità di:

- rappresentazione del profilo altimetrico tra due punti scelti e tracciamento raggi ed ellissoidi
- rappresentazione diversificata di temi differenti (campi, ritardi e designazione di provenienza dai diversi trasmettitori)

A regime sarà possibile ottenere rappresentazioni tridimensionali e grafici dei vari contributi in ampiezza afferenti al sito ricevente in termini di ritardo di propagazione. Quest'ultima caratteristica, agevolerà lo sviluppo di mo-

delli predittivi avanzati, per il servizio DAB-T di alta precisione, anche attraverso il confronto con dati di misura.

3.3.1 Lo sviluppo di modelli avanzati di propagazione nell'ambiente GIS

I metodi predittivi moderni utilizzano diverse procedure: di estrazione del profilo del territorio, di filtraggio del profilo, inoltre nel caso di approccio deterministico si deve ricorrere a procedure di ray tracing, identificazione degli ostacoli in termini di modello elettromagnetico, calcolo delle componenti di campo, ecc.

Pertanto, dopo che il modello è stato sviluppato ed implementato in termini di programma, è necessario verificare le procedure componenti su profili reali prima di procedere alla verifica sperimentale.

Un ambiente software per la rappresentazione di coperture diviene ambiente di sviluppo di metodologie predittive quando permette un agevole confronto tra misure e risultati di simulazione, e quando è possibile identificare gli effetti dei vari fenomeni propagativi. In questo senso è stato scelto di sviluppare una interfaccia grafica evoluta, in grado di rappresentare il profilo altimetrico lungo il collegamento tra trasmettitore e ricevitore. Per quel che riguarda i modelli avanzati di propagazione viene inoltre rappresentata la sequenza di raggi lungo il percorso, con la possibilità di identificare i singoli contributi (diretto, riflesso, diffratto) dovuti a sorgenti secondarie lungo il percorso (vedi figura 4).

Per i vari contributi afferenti al ricevitore l'interfaccia grafica dell'ambiente di sviluppo permette di correlare i raggi ottenuti dalla procedura di ray-tracing con le rispettive ampiezze ricevute in funzione del ritardo.

4. Primi risultati di simulazione

Nel seguito sono riportate alcune simulazioni, relative alla rete sperimentale DAB della Valle d'Aosta. La rete è

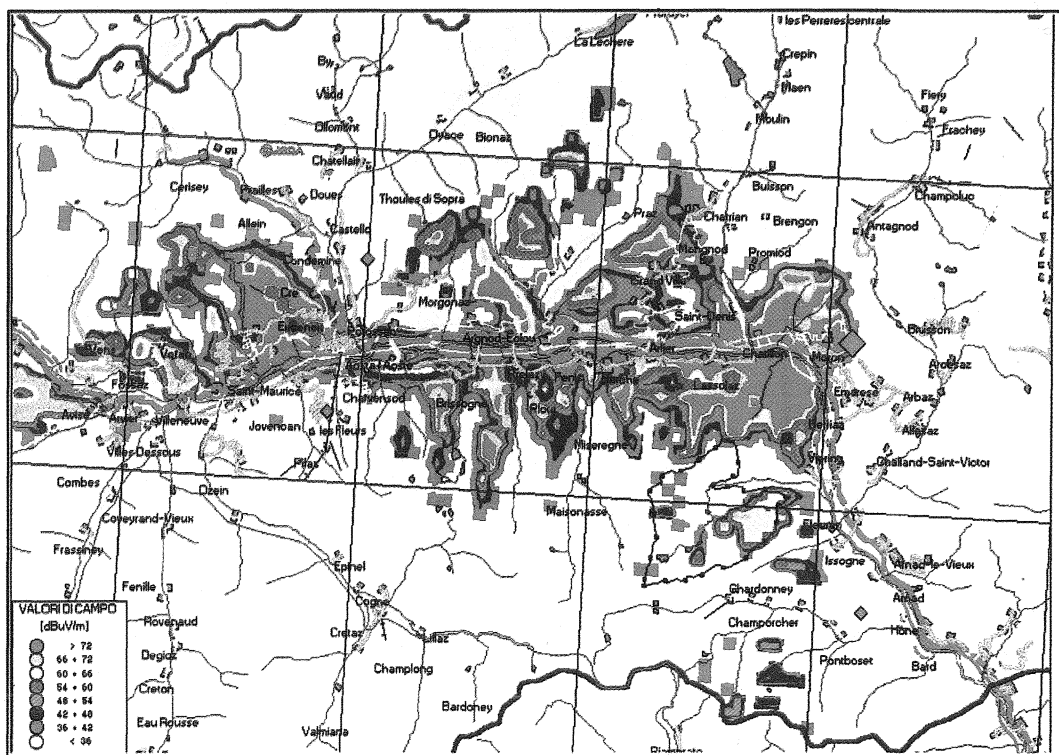


Fig. 6 — La figura illustra la copertura stimata, per quanto concerne il campo elettromagnetico, del trasmettitore di St. Vincent, tenendo conto del diagramma d'antenna.

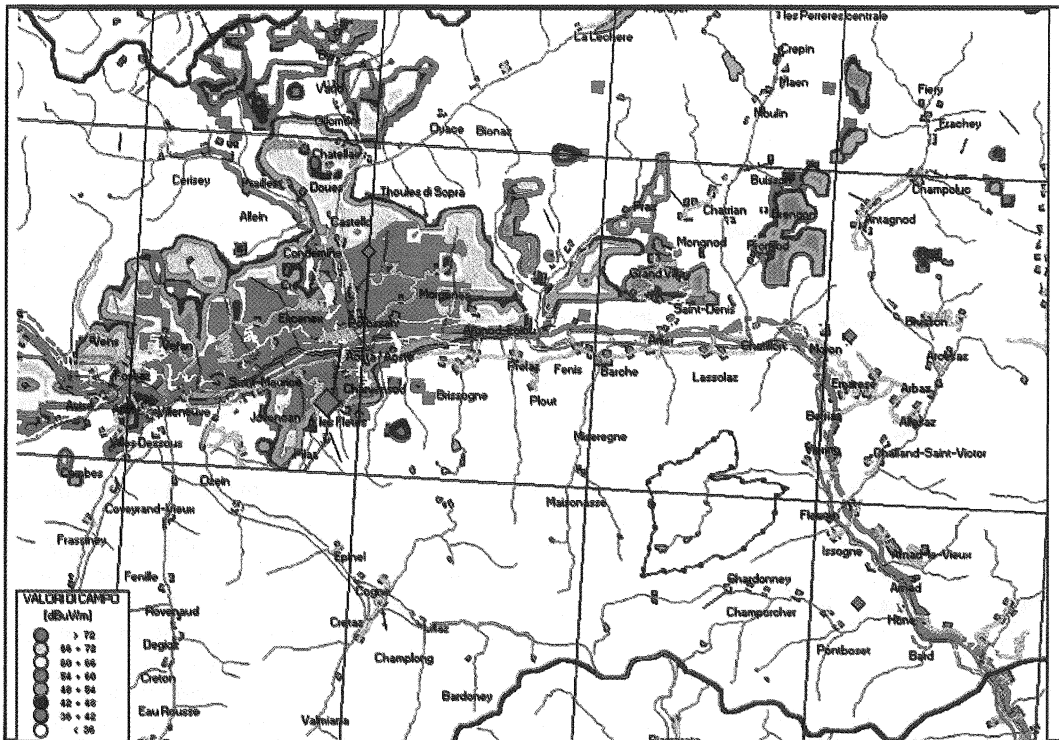


Fig. 7 — La figura illustra la copertura stimata, per quanto concerne il campo elettro magnetico, del trasmettitore di Gerdaz, tenendo conto del diagramma d'antenna.

costituita da 4 trasmettitori: St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil.

Nelle figure 6, 7, 8 e 9 è riportata la copertura stimata (campo e.m.) dei quattro trasmettitori di St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil considerati singolarmente, tenendo conto dei rispettivi diagrammi d'antenna. Per la simulazione è stato utilizzato un metodo Deygout modificato, i dati altimetrici utilizzati possiedono un dettaglio di

circa 250m. Nelle simulazioni non si è tenuto conto in alcun modo delle condizioni di utilizzo del territorio, per cui il campo risulta certamente «sovrastimato» nelle aree urbane. La propagazione di tipo radiomobile è infatti caratterizzata da sistemi riceventi poco sollevati rispetto al suolo (tipicamente 1,5 m). Di conseguenza il segnale ricevuto, tenendo conto degli effetti di riflessione, diffrazione e diffusione, risulta di livello inferiore al livello

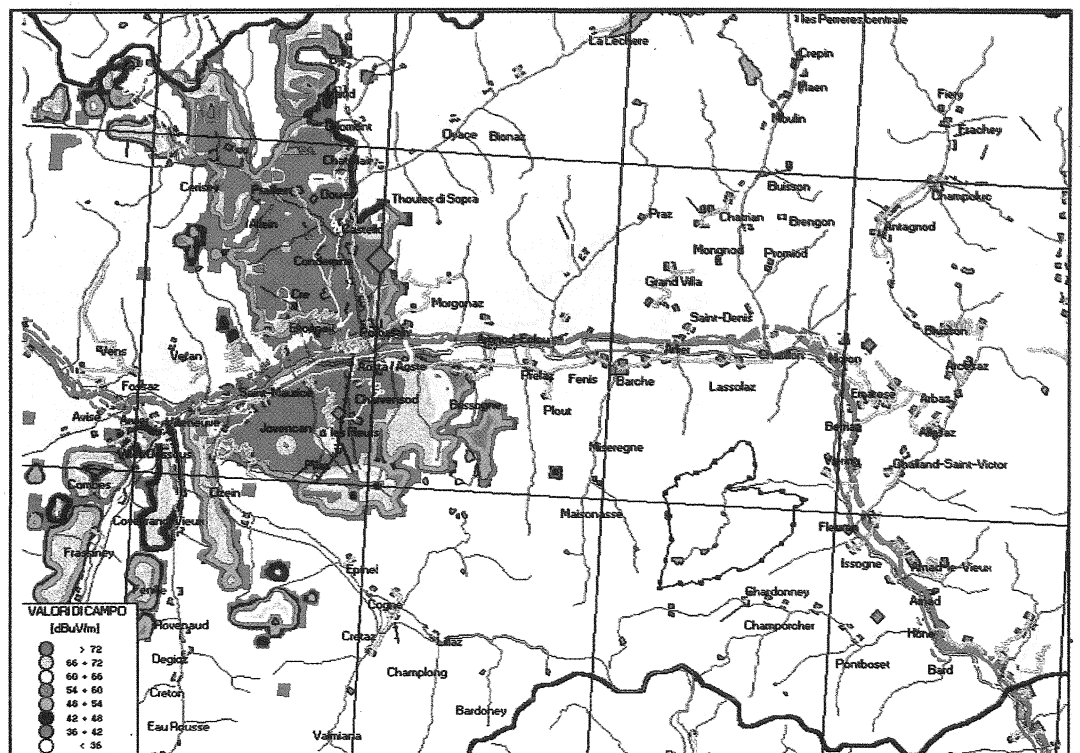


Fig. 8 — La figura illustra la copertura stimata, per quanto concerne il campo elettro magnetico, del trasmettitore di Blavy, tenendo conto del diagramma d'antenna.

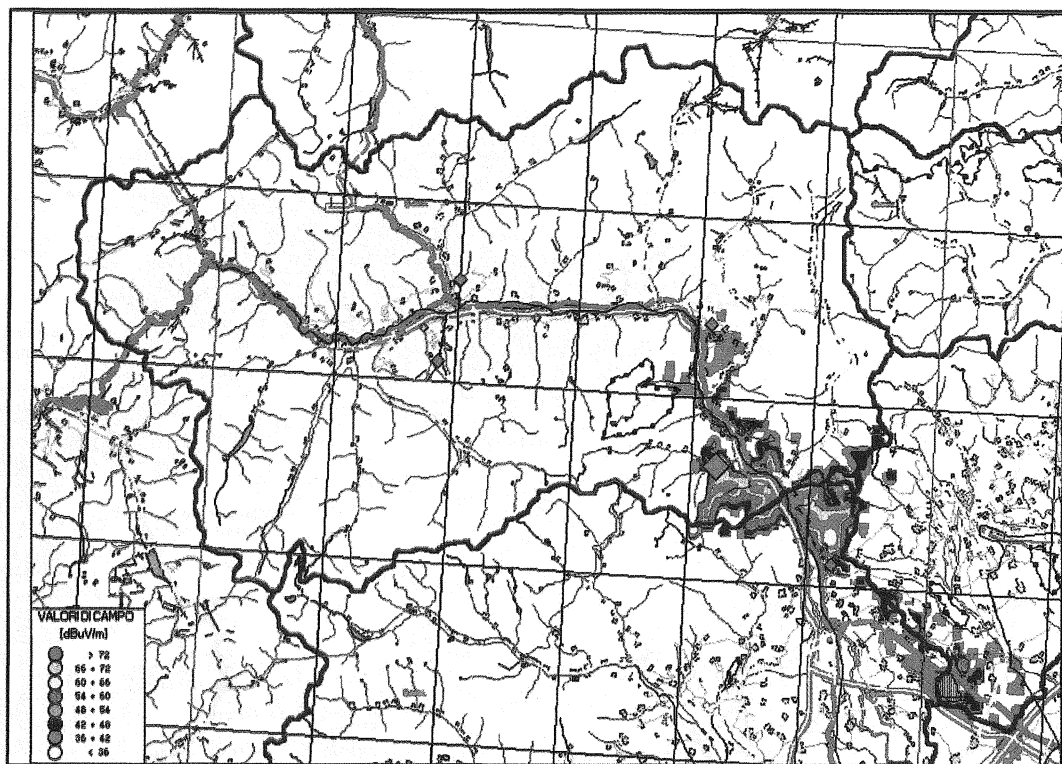


Fig. 9— La figura illustra la copertura stimata, per quanto concerne il campo elettro magnetico, del trasmettitore di Col de Courtil, tenendo conto del diagramma d'antenna.

ottenibile dalla propagazione in spazio libero. Sovente sono inoltre presenti effetti di distorsione. Il modello impiegato per la simulazione di propagazione tiene conto dell'altimetria del territorio dal trasmettitore al ricevitore, ma non della natura del terreno (presenza di edifici o foreste, ecc.) nelle vicinanze del ricevitore mobile, nè attualmente sono considerate le caratteristiche di propagazione multipercorso.

Stanti i limiti esposti, è possibile comunque valutare la copertura dei tre trasmettitori in prima approssimazione; mediante lo sviluppo o l'integrazione di modelli più sofisticati, potrà in seguito essere migliorata la approssimazione di simulazione.

Viene utilizzata una metodologia di *rappresentazione ad isolivelli* che consente una elevata precisione rappresentativa ed una agevole valutazione della copertura, riferibile

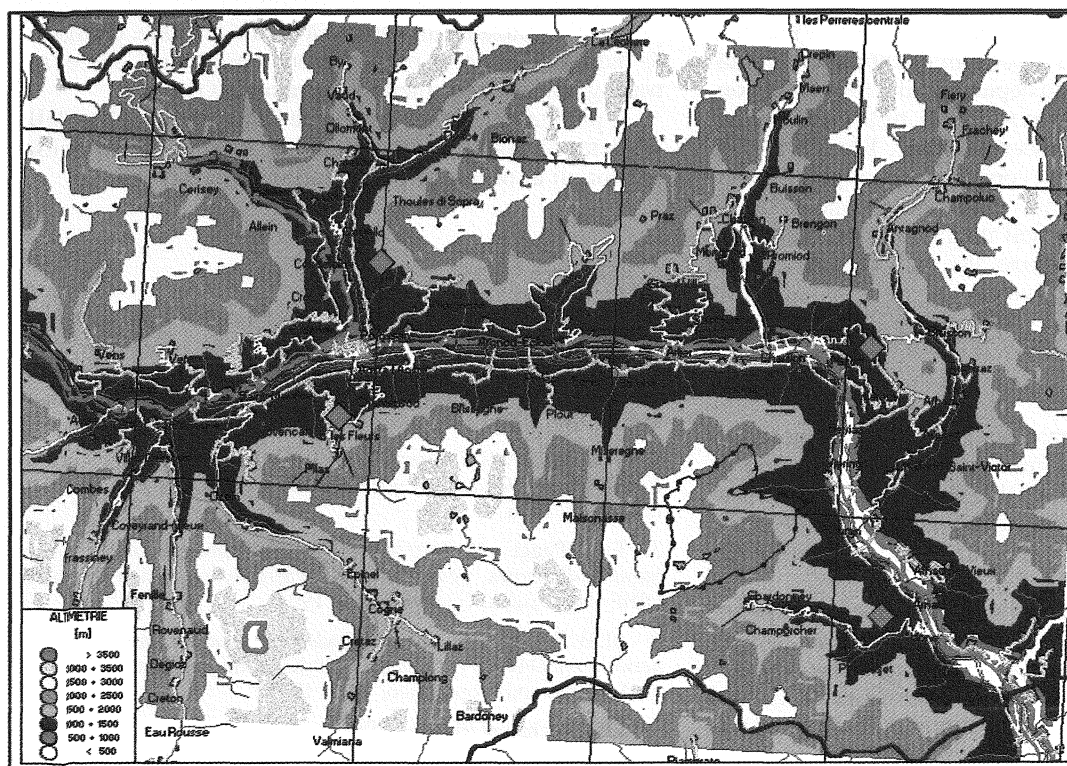


Fig. 10 — Profili altimetrici della Valle d'Aosta.

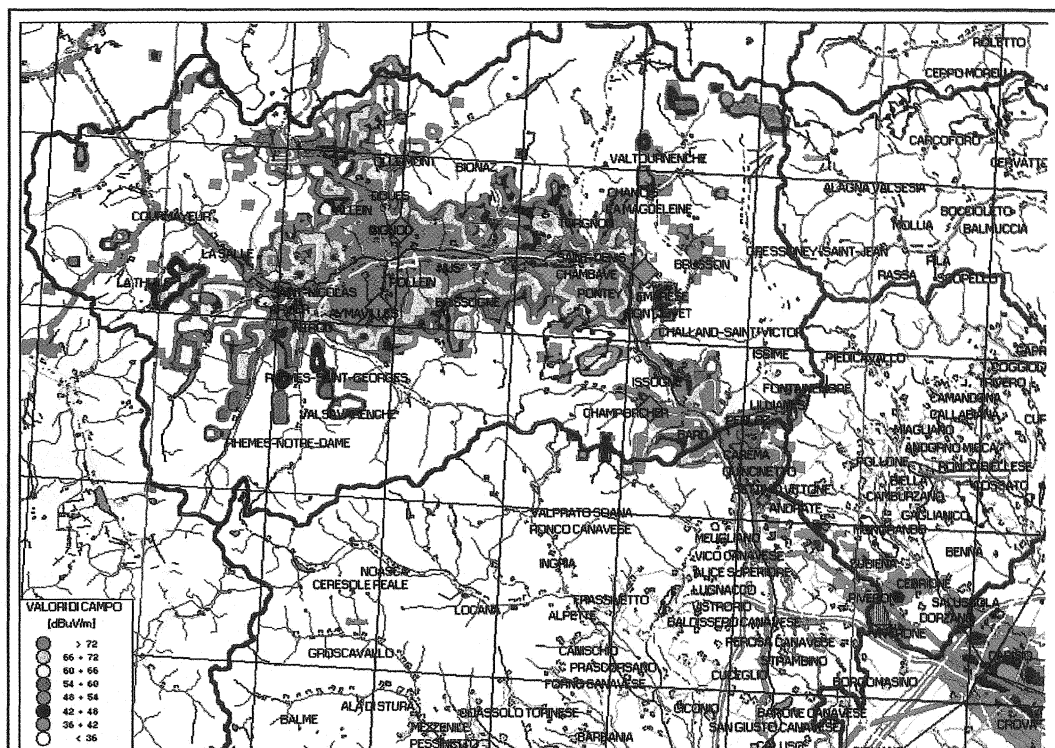


Fig. 11 — Stima della copertura della rete SFN a quattro trasmettitori in termini di campo elettromagnetico equivalente.

eventualmente anche alla percentuale di popolazione servita grazie alle capacità intrinseche del GIS. Questo tipo di rappresentazione prevede il calcolo delle linee ad isolivello di campo, la successiva colorazione delle aree geografiche delimitate da curve ad isolivello conseguente.

In figura 10 sono riportate le curve altimetriche del DTM utilizzato. Per confronto con la copertura ad isolivelli di figura 8, si possono notare come zone distanti dall'area di servizio del trasmettitore risultino illuminate per effetto dell'elevata quota del sito ricevente, che risulta così in vista del trasmettitore.

In figura 11 è riportata la copertura stimata della rete SFN a quattro trasmettitori in termini di campo elettromagnetico equivalente, ottenuto depurando il $C/(N+I)$ del contributo di rumore: sono supposti attivi tutti e quattro gli impianti trasmettenti: St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil. Dal confronto con la copertura dei singoli impianti (figure 6, 7, 8 e 9) è evidente come l'attivazione della rete SFN consenta la copertura dell'intera zona centrale della Valle principale, con estensione alle valli laterali e, nella parte sud, fino al Piemonte (Ivrea).

5. Conclusioni

I metodi predittivi utilizzati per i sistemi analogici risultano inadeguati per i sistemi numerici che operano in modulazione multiportante, COFDM su reti isofrequenziali, in quanto non tengono conto del contributo dei cammini multipli che, per tali sistemi, concorrono positivamente alla costruzione del segnale utile.

Perciò è stato avviato lo studio di nuovi metodi di previsione di campo e.m. che impiegano tecniche avanzate per la modellizzazione dei fenomeni di propagazione con riferimento alle tipologie dell'ambiente e alla orografia del territorio, derivate da database dettagliati per pervenire ad una ottimizzazione delle previsioni.

L'attività svolta nella prima fase è stata delicata allo sviluppo applicativo di un ambiente software GIS, nel quale sono stati integrati un metodo predittivo punto-punto ed i dati territoriali (attualmente disponibili con risoluzione di ~250 m) della Valle d'Aosta, con cui sono state tracciate su cartine digitalizzate le previsioni di copertura del servizio DAB-T sia in termini di singolo impianto, sia combinando i segnali dei tre trasmettitori in rete isofrequenziale SFN.

L'evoluzione dello studio prevede l'acquisizione del database dettagliato (~20 m) del territorio della Valle d'Aosta e la sua integrazione nel GIS. Per quanto riguarda i metodi predittivi avanzati è allo studio a medio termine, un modello bidimensionale di propagazione basato su GTD e ray-tracing, che sarà parimenti integrato nel GIS.

A più lungo termine si prevede l'estensione del modello suddetto al caso tre dimensioni per impiego in situazioni territoriali di orografia particolarmente complessa.

BIBLIOGRAFIA

1. - RAI Centro Ricerche: «Sperimentazione DAB-T in rete isofrequenziale (SFN) su canale H2 in Valle d'Aosta», Rapporto Tecnico. Torino, Apr. 1996.
2. - P. Forni: «A GIS Based Flexible Environment for the Coverage Prediction and Evaluation of SFN», XXV URSI General Assembly, Lille, Sept. 1996.
3. - F. M. Poggi «Modello bidimensionale di propagazione terrestre basato sulla teoria geometrica della diffrazione», Tesi di Laurea clo DIBE Università di Genova, Aprile 1994.
4. - M. B. R. Lee: «Planning methods for a national single frequency network for DAB», Proceedings of 8th ICAP. International Conference on Antennas and Propagation, York, 1993.
5. - EBU Technical Review: «Service Planning for terrestrial Digital Audio Broadcasting», EBU Technical Review n. 252, Summer 1992.