

Ambienti GIS per le Applicazioni Radio Elettriche

Qualche osservazione preliminare

Tradizionalmente la principale fonte di dati territoriali era, e ancora rimane, la cartografia, che è però una rappresentazione a scala ridotta di zone generalmente limitate della superficie terrestre. Questa situazione è rimasta praticamente immutata per secoli, finché sono stati sviluppati i modelli computerizzati tridimensionali, figli della diffusione degli elaboratori elettronici. Ma la presentazione finale dei dati è pur sempre piana.

Anche ai "non addetti ai lavori" sorge spontanea la domanda: come diavolo può essere rappresentata in piano una superficie sferica? Ovviamente è impossibile. Le superfici sviluppabili analiticamente in piano sono pochissime: a parte il piano stesso, solo due solidi semplici lo sono: il cono e il cilindro. Entrambi possono essere tagliati lungo una retta generatrice e quindi *srotolati* sul piano. In realtà il cilindro può essere pensato come un cono degenero (con angolo nullo di apertura) e anche il piano è un cono doppiamente degenere, in quanto cilindro con raggio di curvatura infinito. Quindi, in definitiva, tra i solidi elementari (escludendo ovviamente i poliedri a facce piane), solo il cono è sviluppabile, ma non certo la sfera.

Ne consegue che solo introducendo distorsioni è possibile servirsi di rappresentazioni piane. In pratica, le uniche due vie finora seguite sono:

- utilizzare una trasformazione analitica. È la base del metodo di Gauss e di molti altri da questo derivati. Esistono anche ben noti algoritmi per il calcolo pratico, come le formule di Hirvonen, etc.;

- applicare una trasformazione geometrica a due stadi. Nel primo la superficie terrestre viene proiettata su un solido sviluppabile. Come detto, i solidi di immediato utilizzo sono il piano, il cilindro, il cono. Quindi, il solido sviluppabile viene srotolato sul piano (operazione naturalmente non richiesta nel primo dei tre casi). Questo metodo dà origine alle proiezioni piane, a quelle cilindriche (note come proiezioni di Mercatore) e a quelle coniche (o di Lambert).

Ogni metodo di proiezione richiede poi che vengano specificati alcuni parametri: dove è localizzato il centro di proiezione, dov'è (se esiste) il punto di contatto tra superficie proiettata e sfera terrestre e così via. Finché la rappresentazione riguarda zone di limitata estensione è possibile assicurare una ridotta distorsione e, comunque, conoscerne l'entità. Ma questo non avviene per lunghe distanze oppure se è richiesta una elevata accuratezza locale.

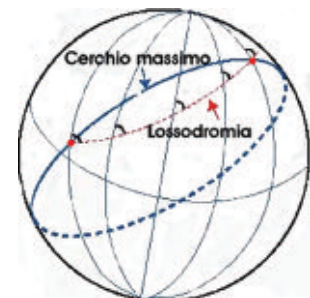
Lo scenario che si evince da queste considerazioni elementari ha un impatto drammatico quando si fa riferimento alla navigazione navale o aerea, che implica generalmente grandi distanze percorse. La rotta più semplice ed intuitiva da seguire (mantenendo costante l'angolo di prua) *non è la più breve*. Su una sfera, tale rotta è un arco di cerchio massimo, che per la sfera è appunto una linea geodetica (ossia a minima lunghezza). Invece la rotta a prua costante genera di fatto una curva spirale, nota con il nome di *lossodromia*. Su lunghe tratte, di qualche migliaio di km, la differenza può essere impressionante.

Ma la questione ha un impatto



Qualsiasi applicazione tecnologica riferita all'ambiente richiede – prima o poi – la definizione di un modello dell'ambiente stesso. Questo vale naturalmente anche per le applicazioni Radio elettriche. La Vector ha fatto del problema della rappresentazione del modello territoriale non solo il punto di partenza per lo sviluppo delle sue applicazioni software, ma un continuo motivo di crescita durante gli ormai 20 anni di attività nel settore. La scelta all'epoca effettuata, di seguito descritta, dettata dalla volontà di ottenere obiettivi di qualità particolarmente elevati si è rilevata vincente, ed oggi la Vector occupa un posto di primo piano nel settore delle applicazioni software di ausilio alla pianificazione e progettazione di reti Radio elettriche.

egualmente drammatico sulle applicazioni radioelettriche. Anche le radiazioni elettromagnetiche si propagano lungo geodetiche ed è facile calcolare che su un tratto di 80 Kilometri, tipico per un ponte radio di trasporto, lo scostamento può essere di oltre 120 metri. Tra l'altro, questo implica che l'azimut di puntamento delle due antenne del ponte radio non è lo stesso (tenendo ovviamente conto del fattore di compensazione di 180 gradi), perché tale azimut varia continuamente lungo la linea di vista.



Rappresentazione di lossodromia

Ma torniamo alla rappresentazione cartografica. Tutta la documentazione esistente a scala medio-piccola, generalmente basata su proiezioni cilindriche (ad esempio U.T.M.), rappresenta le lossodromie con rette. Quindi, quando si esegue la progettazione di un ponte radio utilizzando la metodologia tradizionale, basata sul ricorso alla cartografia, si introduce fatalmente un errore sistematico: *il puntamento delle antenne è sbagliato*.

Ma non basta. Per progettare effettivamente un ponte radio, occorre riferirsi al modello solido, tenendo conto anche della quota. Questo tipo di informazione è deducibile dalla cartografia (e non sempre...) con una certa difficoltà. Ma su questo punto torneremo tra poco.

Il modello tridimensionale del terreno

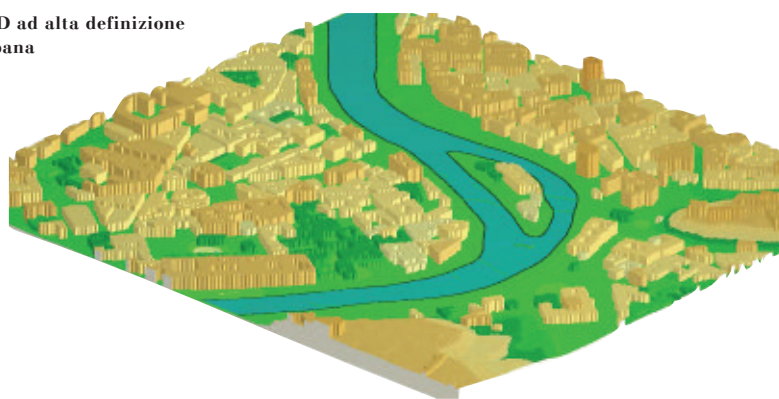
In genere, la cartografia fornisce indicazioni sulla quota del terreno in due modi:

- mediante punti isolati, presentati con simboli diversi a seconda della loro natura e corredati dalla indicazione della quota (in genere riferita al livello del mare);
- con curve di livello, che indicano le sezioni del terreno a quota costante. La spaziatura tra tali linee dà anche una idea visiva della pendenza del terreno (maggiore quando le linee si infittiscono).

È facile immaginare che l'acquisizione e la valorizzazione delle informazioni occorrenti a produrre punti di quota e curve di livello sia complessa e costosa: ma anche soggetta a errori spesso clamorosi. Inoltre, vi sono limitazioni pratiche a rappresentare le curve di livello nelle zone montuose, sulle rocce e sugli strapiombi. Per non parlare delle rientranze del terreno, che non sono chiaramente visualizzabili: ma nemmeno sono rilevabili dalle foto aeree o satellitari. Infine, in presenza di vegetazione folta, la posizione reale del terreno non è deducibile direttamente da tali immagini.

Disgraziatamente, molte applicazioni radio elettriche prevedono l'impianto di ripetitori proprio in zone montuose che, come si è visto, sono quelle meno facilmente rappresentabili con la cartografia tradizionale.

Modello 3D ad alta definizione in area urbana



L'applicazione acritica dei metodi informatici

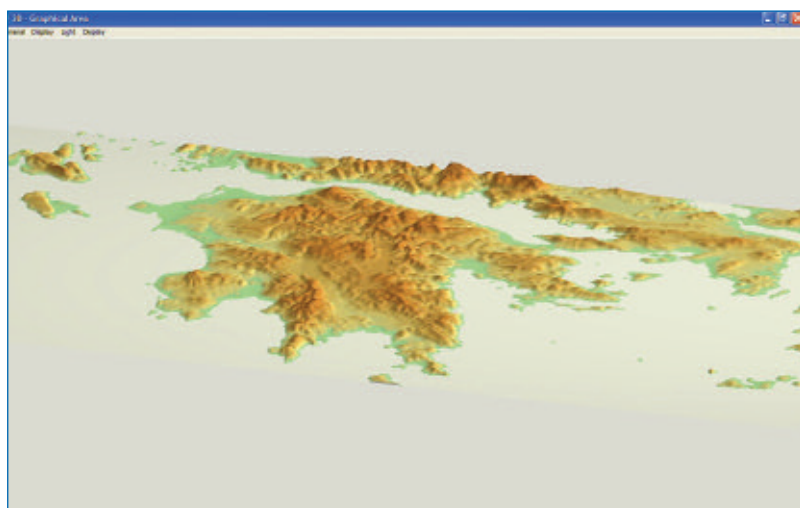
Quando, nei primi anni '80, i calcolatori elettronici sono stati applicati alla modellazione del terreno, l'obiettivo primario era centrato sulla produzione dei documenti cartografici in alternativa ai metodi manuali che, all'epoca, erano lenti e costosi, costituendo di fatto il principale ostacolo alla diffusione della cartografia tecnica.

Così l'idea di base fu di concentrarsi sull'aspetto grafico, trascurando completamente la concezione di un modello computerizzato del terreno. I metodi di produzione delle carte furono trasferiti acriticamente nei calcolatori, con il solo evidente vantaggio della facilità con cui questi potevano gestire lunghe serie di calcoli ripetitivi e complessi. Anche la tecnologia della macchina per il tracciamento delle carte (*plotter*) ricevette un grande impulso, rendendo rapidamente obsoleta la figura del disegnatore cartografo. Poi, all'improvviso, si fece strada l'idea che un approccio completamente nuovo al

problema della rappresentazione cartografica poteva essere tentato con la tecnologia informatica. Era cominciata l'epoca dei GIS, ossia dei Sistemi Informativi Geografici.

Parlando all'ingrosso, un GIS è un modello computerizzato del Pianeta. Nulla viene detto a proposito dei dati che ne fanno parte, delle tecniche di modellazione, né sulla precisione e l'accuratezza. Tuttavia, è ben noto dalla teoria dei modelli che queste caratteristiche devono essere definite senza alcuna ambiguità per produrre modelli praticamente utilizzabili.

Modellare la Terra, però, è un compito complicato per almeno due ragioni principali. La prima, che i dettagli che la descrivono sono innumerevoli, per cui una loro rappresentazione estensiva è impensabile. La risposta sta nelle rappresentazioni specializzate (una evoluzione delle mappe tematiche, per così dire...) che si limitano ad alcuni attributi soltanto. La seconda, ma non meno critica, dipende dal continuo evolversi della realtà. Si può pensare ad un GIS come ad una foto, magari anche un po' sfocata, di alcuni aspetti



Modello 3D a bassa definizione

del Pianeta, ma non certo ad una sua ripresa cinematografica. Per trasferire nel modello l'evoluzione del reale, bisogna attivare un processo continuo e inarrestabile di acquisizione di dati, dal costo e dalla complessità crescente all'aumentare della quantità dei dati coinvolti e della frequenza di aggiornamento.

C'è del resto un limite fisico alle metodologie di aggiornamento, legato alla larghezza di banda (in senso lato) dei canali di acquisizione. Quando questo limite viene oltrepassato, la realtà e il modello GIS cominciano a divergere: rendendo quest'ultimo inutile presto o tardi (in genere presto...).

Per ovvie ragioni di disponibilità degli originali cartografici e convenienza economica, la maggior parte degli ambienti GIS disponibili commercialmente è basata quasi esclusivamente su dati proiettati. Le quote sono in genere aggiunte, quando fanno parte del modello, mediante una semina di punti a passo costante, a costituire una matrice ortogonale, nota come DEM (Digital Elevation Model). Maggiore è il passo del DEM, minore la qualità del modello. Va però osservato che la dimensione del DEM aumenta con il quadrato della risoluzione lineare, raggiungendo facilmente entità che sono difficilmente gestibili anche con i calcolatori di ultima generazione.

In ogni caso, i DEM commercialmente disponibili proprio perché prodotti in un modello proiettato, inducono alcuni effetti collaterali estremamente negativi nelle applicazioni radioelettriche.

Prima di tutto, come è già stato osservato, la struttura di appoggio dei dati è basata su lossodromie, anziché su geodetiche: quindi *i collegamenti radio non sono rappresentabili con linee rette*. Inoltre, poiché il DEM riporta generalmente le quote riferite al livello del mare, non viene tenuto conto della curvatura terrestre. Questa introduce una variazione di circa due metri a cinque chilometri di distanza. Per dirla in breve, *un collegamento radio progettato su un modello proiettato in piano semplicemente non funziona*: non importa quale sia la precisione o la risoluzione del GIS che realizza il modello.

I prodotti commerciali destinati alla progettazione radio elettrica cercano di alleviare i problemi indicati introducendo dei correttivi che sono solo cure palliative ad un male ben

noto: *i modelli proiettati NON sono adatti alla progettazione radio elettrica.*

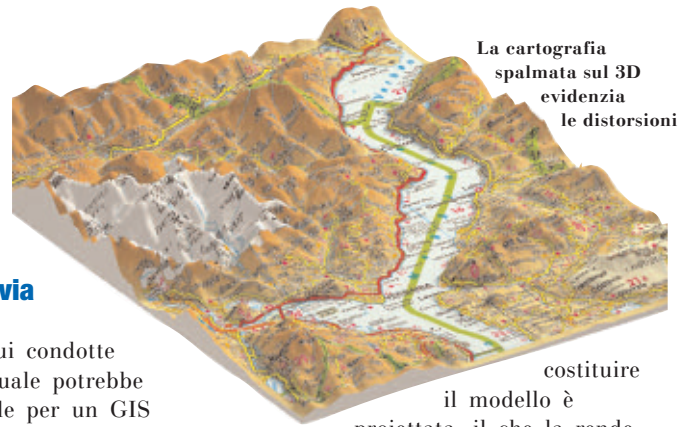
La strada più impervia

Le osservazioni fin qui condotte indicano chiaramente quale potrebbe essere la soluzione finale per un GIS orientato alle applicazioni radio elettriche: non sarebbe il caso di utilizzare dati non proiettati, trattando direttamente coordinate espresse da latitudine e longitudine, con tutte le implicazioni che ne derivano? Una eventuale rappresentazione del Pianeta in scala reale (1:1!) risolverebbe automaticamente tutti i problemi geometrici connessi con i percorsi radio elettrici, la curvatura terrestre e tutto il resto, semplicemente perché i relativi algoritmi potrebbero essere sviluppati in un ambiente geometricamente consistente con la realtà. Non solo: l'approccio tridimensionale intrinseco fornirebbe una serie di indicazioni di vitale importanza per il progettista: una per tutti, l'ellissoide di Fresnel verrebbe analizzato in tre dimensioni, anziché soltanto nella sezione verticale, come comunemente si fa.

Inutile dire che generare un modello solido e non proiettato del Pianeta significa davvero percorrere una strada impervia. I dettagli di implementazione si complicano orrendamente, come è facile immaginare: anche le prestazioni degli algoritmi di calcolo, che sono adesso in tre dimensioni e non più in due, sono piuttosto rallentate e richiedono maggiori risorse computazionali, non solo di tempo ma di memoria. Per fortuna, il livello ormai raggiunto dai sistemi di calcolo rende questi aspetti relativamente meno importanti.

Lo sviluppo di una libreria di funzioni geodetiche e geometriche completamente basata su modelli vettoriali è stata il fondamento su cui la società Vector (facile arguire la ragione del suo nome...) ha basato la concezione di un ambiente GIS non proiettato. Questo accadeva quasi venti anni fa: ma è stato solo il primo passo.

Il problema più serio è stato ovviamente un altro, una volta intrapresa questa strada: virtualmente tutta la documentazione disponibile per



costituire il modello è proiettato, il che la rende automaticamente inutile per generare un modello solido (sferico o ellissoidale non importa). Se ne rende pertanto necessaria la *de-proiezione*, per così dire.

Accanto alle funzionalità vettoriali già ricordate, Vector ha dunque sviluppato nel tempo degli strumenti sufficientemente potenti per superare il problema della de-proiezione. Attualmente, si può ritenere con sollievo che non rimangano difficoltà pratiche e l'integrazione nel GIS 3D di dati cartografici convenzionali, o DEM matriciali in forma proiettata, non rappresenta più alcun problema.

Dopo aver parlato dei problemi è ora il caso di accennare ai considerevoli vantaggi che l'impiego di un GIS 3D comporta, liberando dai classici vincoli dei sistemi 2D:

- nessun problema di scala. Tutti i dati convergono in un modello unico a scala unitaria. Ovviamente i dati in ingresso hanno una scala e questa informazione viene conservata. Questo evita che, ad esempio, si ecceda nel fattore di zoom durante la loro presentazione o vengano mescolati a dati più risolvibili in una procedura di calcolo. Quando questo avviene, vengono date indicazioni all'utente. Il fenomeno viene poi drasticamente impedito a livello di calcolo per evitare di produrre risultati scorretti, limitando la loro risoluzione in funzione dei dati meno risolvibili che siano stati eventualmente coinvolti nel calcolo stesso;
- la curvatura terrestre viene intrinsecamente considerata. Perfino il fatto che due tralicci delle estremità di un ponte radio non hanno asse verticale parallelo, così come la diversa lunghezza del percorso in aria e a terra (ossia della sua proiezione sul terreno) sono automaticamente gestiti;
- non ci sono problemi di fuso di

rappresentazione. Nell'approccio tradizionale con carte basate sulla proiezione U.T.M., elementi appartenenti a fusi adiacenti hanno una diversa proiezione locale e manca consistenza lungo le zone di confine tra fusi. La principale conseguenza è che (per un ponte radio avente estremi giacenti in fusi diversi) diventa maledettamente complicata la gestione progettuale. Per non parlare della definizione delle aree di copertura per le trasmissioni in diffusione, se queste richiedono di considerare zone in fusi diversi. L'approccio praticamente seguito per la regione italiana, prevalentemente descritta da due fusi (ma già all'estremo limite orientale si esegue una forzatura sul fuso 34 fantasma...), consiste nel realizzare la proiezione su un unico fuso allargato. Questo però aumenta fortemente la distorsione e richiede comunque una ulteriore elaborazione dei dati disponibili, proiettati su fusi distinti. A questo punto, l'operazione di de-proiezione richiesta per produrre il GIS 3D ha lo stesso (limitato, in realtà) impatto economico ma effetti ben più convenienti;

- implicito ricorso al modello unico. Operando con cartografia tradizionale questo non è possibile per via di differenti proiezioni, orientamenti, scale;
- utilizzo del DEM. Come già ricordato, se un DEM è basato su una spaziatura in coordinate ortogonali proiettate, il suo utilizzo radio elettrico diviene estremamente complesso, perché il percorso dei raggi non è rettilineo nello spazio della matrice proiettata. Naturalmente, allorché un DEM proiettato viene trasferito nel GIS 3D, viene anche convertito in una struttura a passo angolare costante in termini di latitudine e longitudine. A questo punto una geodetica attraversa linearmente la matrice delle quote e non sussiste alcuna difficoltà. In questo caso il modello solido semplifica addirittura l'algoritmo di accesso, il che non guasta affatto.

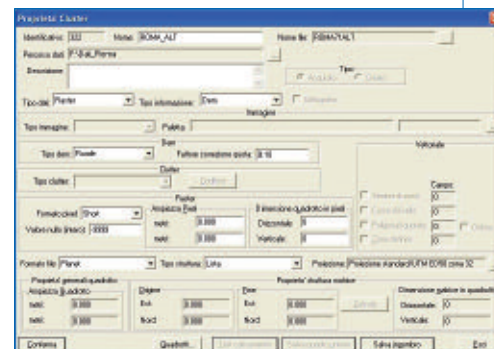
Su queste basi la Vector ha costruito una *suite* di prodotti specializzati per l'analisi e la soluzione delle problematiche legate alle varie tecnologie oggi in uso o solo in studio. Tecnologie diverse possono richiedere la necessità di utilizzare dati

territoriali a scala, risoluzione e definizione differenti: questo non presenta alcun problema per il modello descritto.

Un unico ambiente di simulazione, eventualmente modulare – più che altro per esigenze commerciali – consente di gestire reti radio Punto-Punto sia alle alte frequenze (brevi distanze) che alle basse frequenze (grandi distanze). Si può anche simulare la copertura di impianti Radio/TV analogici e digitali (DVB-T) su aree molto estese, come un'intera nazione, o molto limitate, come una micro-cella (poche centinaia di metri) per i sistemi 3G di telefonia mobile.

La flessibilità nella gestione dei parametri del modello territoriale consente alla Vector di affrontare facilmente e velocemente, senza cioè dover stravolgere l'impianto di base dei suoi strumenti di simulazione, lo studio di nuove tecnologie come sta accadendo per il Wi-Max e il DVB-H.

Uno speciale strumento di conversione software (denominato WinCEM) è stato già da tempo sviluppato da Vector per assistere nella conversione dei DEM e nella de-proiezione dei dati cartografici, sia vettoriali che matriciali (riprese da scanner, ortofoto, ecc.). Speciale attenzione è stata posta nell'alleviare i problemi che nascono dagli artefatti (alias) da doppia scansione, dato che le informazioni originali di tipo matriciale hanno già subito un processo di quantizzazione (questo fortunatamente non vale per le informazioni vettoriali). Ad esempio, quando un DEM proiettato viene riportato a 3D, è stato constatato che l'applicazione di un filtro LCM (Linear Correction Method) consente un buon risultato. Lo stesso vale, con poche ulteriori complicazioni, per convertire documenti cartacei



Pannello di conversioni di WinCem

passati a scanner e foto aeree o satellitari.

È esperienza comune che documenti cartografici stampati o ripresi da scanner spesso non forniscono informazioni adeguate circa il metodo e i parametri di proiezione. In questo caso la de-proiezione si deve basare su informazioni di tipo sperimentale, ottenute dalla conoscenza, diretta o indiretta, delle coordinate geografiche di un conveniente numero di punti (detti punti di passaggio o *fix points*). Lo stesso vale per le quote.

Come ultima osservazione, si assiste fortunatamente ad una tendenza unificante per quanto riguarda gli strumenti di acquisizione dati, sempre più basati su tecnologia GPS ed utilizzando dati tridimensionali NON proiettati riferiti a WGS84. Questa tendenza potrebbe in breve portare a soppiantare completamente i modelli GIS 2D a favore di quelli 3D e costituire la base del futuro. In Vector, questo è già il presente.

VECTOR s.r.l. - Gruppo Citec

Via di Saponara, 650 – 00125 Acilia (Roma)

tel. +39.06.523021 – Fax +39.06.52302256

WEB: www.vectorweb.it

E-Mail: info@vectorweb.it