

Ottimizzazione della georeferenziazione dei dati ambientali toscani per la visualizzazione su piattaforma Google Earth

Andrea Adinolfi(*), Daniele Andreuccetti(**), Claudia Chiari(***), Moreno Comelli(**),
Andrea Iacononi(***), Gaetano Licitra(***), Beatrice Siervo(**) e Nicola Zoppetti(**)

(*)IPCF-CNR (Istituto per i Processi Chimico Fisici del Consiglio Nazionale delle Ricerche),
Via G. Moruzzi, 1 - 56124 Pisa, acusticacnr.pi@arpatoscana.it

(**)IFAC-CNR (Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" del Consiglio Nazionale delle Ricerche),
via Madonna del Piano, 10 - 50019 Sesto Fiorentino (FI), tel. 055/3206375,

d.andreuccetti@ifac.cnr.it, comelli@ifac.cnr.it, b.siervo@ifac.cnr.it, n.zoppetti@ifac.cnr.it

(***)ARPAT (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana), Via Porpora, 22 - 50144 Firenze,
tel. 055 32061, c.chiari@arpat.toscana.it, a.iacononi@arpat.toscana.it, g.licitra@arpat.toscana.it

Riassunto

Nell'ambito delle attività istituzionali di ARPAT di diffusione delle informazioni ambientali, è emersa l'esigenza di mettere a disposizione della popolazione una modalità di fruizione basata su strumenti di visualizzazione cartografica di largo utilizzo, semplici e gratuiti, quali Google Earth (GE) e Google Maps.

Tra le informazioni che possono avvalersi di questa modalità rientrano, per esempio, sia gli indicatori relativi all'impatto ambientale degli elettrodomesti – oggetto della collaborazione con IFAC-CNR – sia le classificazioni Acustiche comunali, sia i risultati delle misurazioni di parametri ambientali.

Una delle difficoltà incontrate nel perseguire questo obiettivo ha avuto origine dal fatto che i riferimenti topografici, in origine accuratamente georiferiti, perdono molto del loro valore quando vengono visualizzati nei prodotti Google, a causa dell'imperfetto allineamento delle foto aeree, tale da generare imprecisioni anche di decine di metri.

Per ovviare a questo problema, è stata ideata una procedura di correzione per ottimizzare l'accuratezza con cui gli oggetti georiferiti in base alla cartografia tecnica regionale toscana (CTRT) vengono riprodotti in ambiente Google.

La procedura prevede innanzitutto una conversione dal sistema di coordinate della CTRT (piane Gauss-Boaga) a quello proprio di GE (geografiche WGS84). L'algoritmo utilizzato a tale scopo è stato validato per mezzo di un campione di punti scelti sul territorio regionale e l'errore di conversione è stato verificato anche attraverso un GPS differenziale.

Si è resa poi necessaria un'ulteriore correzione per migliorare l'accordo dei dati così ottenuti con la disposizione delle immagini di GE. L'algoritmo usato interpola i valori ottenuti empiricamente a partire dalle immagini GE e riduce l'errore di posizionamento, in modo particolare nelle situazioni critiche che si vengono a creare intorno alle zone di congiunzione delle immagini.

Sono state infine implementate procedure per la produzione di layer tematici nel formato nativo dei prodotti Google (KML, KMZ), ottenendo una restituzione accurata e facilmente fruibile delle informazioni ambientali, talvolta anche in modalità 3D.

Abstract

As part of the institutional activities of the Environmental Protection Agency of Tuscany (ARPAT), the need emerged to provide the population an access to the environmental information through free and friendly tools for geographic visualization, such as the widely used Google Earth (GE) and Google Maps.

Many environmental information may take advantage of this approach including, for example, impact of long infrastructures (electrical power lines, streets, etc.), land environmental classification and measurements results.

One of the main difficulties to be faced pursuing this issue, is that even carefully geo-referenced elements lose much of their value when displayed into Google products, because of the imperfect alignment of aerial photographs, which may generate displacement errors up to some tens of meters.

To overcome this problem, we developed a correction procedure able to maximize the local accuracy, using the official Tuscany cartography (CTRT) to calibrate the procedure itself and test the final results in GE. The procedure involved a conversion from the CTRT coordinate system (planar Gauss-Boaga) into the one used by GE (geographic WGS84). The algorithm adopted at this purpose was validated in a few selected points, also by means of differential GPS measurements. A further correction was then applied to improve the agreement of the converted data with the images shown in GE. An interpolation method, based on empirical correction factors, reduced the displacement errors, especially in the critical situations arising in the proximity of borders between different Google photos.

Software instruments for the rendering of thematic layers in the native format of Google products (KML, KMZ) were finally implemented, thus originating an accurate and handy 3D enabled environmental information tool.

Introduzione

La visualizzazione in ambito Google Earth o Google Maps di elementi cartografici originariamente riferiti alla Carta Tecnica Regionale (CTR) Toscana richiede necessariamente che si operi una trasformazione di coordinate dal sistema Gauss-Boaga (ellissoide Roma-40) su cui si basa la CTR, al riferimento adottato da Google, derivato dal sistema WGS-84. Questa trasformazione implica tre passi concettualmente distinti:

1. il cambio di ellissoide da Roma-40 a WGS-84;
2. la trasformazione da coordinate piane rettangolari a coordinate geografiche angolari (latitudine e longitudine);
3. la correzione per le deformazioni insite nelle foto impiegate da Google e per il loro imperfetto allineamento.

I primi due passi riguardano ovviamente problemi ben noti a chi si occupa di geodesia e cartografia. Il terzo punto è invece legato ad una risorsa relativamente recente e quindi costituisce un problema più originale; per di più, si è constatato di avere a che fare con una situazione in continua evoluzione, dato che le ortofoto di Google sono aggiornate con una certa frequenza.

Per le esigenze del lavoro qui descritto, ci si è posti l'obiettivo di mettere a punto procedure software per l'esecuzione dei passi sopra descritti, possibilmente con le seguenti caratteristiche:

- codificabili nei linguaggi PHP, C/C++ e Javascript;
- applicabili nel modo più flessibile e generale possibile;
- ottimizzate per il territorio della Toscana.

Trasformazione di coordinate da piane Gauss-Boaga a geografiche WGS-84

La trasformazione in questione prevede, come si è detto, due passi distinti.

Il cambio di ellissoide viene effettuato trasformando le coordinate piane Gauss-Boaga riferite all'ellissoide Roma-40 in coordinate piane UTM riferite all'ellissoide WGS-84. In primissima approssimazione, le seconde si ottengono dalle prime semplicemente sottraendo 1000000 metri alla coordinata X (Easting) e lasciando inalterata la coordinata Y (Northing). In questo modo, si ottiene però una conversione affetta da un errore che può arrivare ad alcune decine di metri. Per ottenere risultati più accurati ed ottimizzati per la Toscana, il territorio della regione è stato suddiviso in una griglia regolare di 25x25 settori quadrati di 10 km di lato, ed è stata determinata una coppia di parametri di correzione nel punto centrale di ciascun settore (per mezzo di un applicativo software

di riferimento (Trevisani, 2002)). Questi parametri sono stati infine utilizzati in tutti i punti del settore stesso.

Per la trasformazione delle coordinate piane UTM in coordinate geografiche (latitudine e longitudine), rimanendo all'interno del sistema WGS84, sono invece disponibili numerosi, consolidati e ben documentati algoritmi a base analitica (Hofmann-Wellenhof et al., 1996).

L'accuratezza complessiva che si è ottenuta combinando i due passi è minore di 2" d'arco sia sulla longitudine, sia sulla latitudine.

Prime verifiche sull'accuratezza dei risultati

Le prime verifiche condotte hanno riguardato la trasformazione delle coordinate da Gauss Boaga a geografiche WGS84 e hanno previsto la conversione di punti noti, opportunamente scelti sulla cartografia regionale (CTR 1:2000) e distribuiti sul territorio. Come base di riferimento nella verifica della conversione sono state utilizzate le ortofoto del 2006 disponibili sul sito del portale cartografico nazionale (PCN) con servizi WMS (*Web Mapping Service*). In *Figura 1* (a sinistra) sono riportati i risultati ottenuti, che indicano un errore relativo alle ortofoto di riferimento dell'ordine dei 2 metri.



Figura 1 - Conversioni puntuali e poligonali: verifica degli errori rispetto alle ortofoto del portale cartografico nazionale (a sinistra) ed esempio di correzione (contorni chiari) rispetto all'originale (contorni scuri) in prossimità di un cambio di immagine (linea bianca) nella cartografia di Google Earth (a destra).

Successivamente sono stati scelti alcuni punti di facile individuazione sul territorio in cui sono state effettuate delle misure con GPS differenziale, ottenendo errori massimi assoluti di 0.8 - 1 m. Le coordinate degli stessi punti, individuate sulla CTR e poi convertite con alcuni degli applicativi disponibili, sono state confrontate con le letture GPS. I risultati così ottenuti hanno costituito la base per la verifica dell'accuratezza della procedura ottimizzata di cui sopra rispetto a quella delle altre metodologie già disponibili.

Sono stati eseguiti test di verifica sui seguenti algoritmi di conversione:

- ESRI ArcGIS gestisce diversi sistemi di trasformazione; quello che ottimizza i risultati relativi all'Italia peninsulare è *Monte_Mario_To_WGS_1984_4*. L'errore commesso, documentato anche dalla EPSG Geodetic Parameter Registry, è dell'ordine di 4 m.
- Il software *Traspunto* è un programma di conversione tra sistemi di coordinate di interesse nazionale sviluppato dal Ministero dell'Ambiente, e garantisce un errore medio di 1 m.
- Infine l'algoritmo *CART* (Trevisani, 2002) presenta un errore medio di 0.29 m, ed uno massimo di 0.91 m: è quello prescelto in base alle analisi effettuate.

Correzione dovuta al disallineamento delle foto impiegate da Google

Per quanto riguarda il problema del disallineamento spaziale e temporale delle foto utilizzate in Google, è opportuno osservare che il ricorso all'ortoproiezione delle foto comporta errori dovuti alla visualizzazione con immagini piane di una realtà sferoidale. La precisione di un'ortofoto di per sé dipende da diversi fattori:

- precisione dell'orientamento;
- caratteristiche del DTM utilizzato;
- qualità dell'immagine originaria.

Generalmente, gli errori di posizione dei punti sulle ortofoto dipendono anche dalla distanza rispetto al centro del fotogramma e, di conseguenza, quelli più consistenti si verificano nelle zone corrispondenti al bordo dello stesso.

Inoltre, l'uso di tali immagini in un sistema di proiezioni geografiche come Google Earth fa sì che l'errore, soprattutto nei punti di adiacenza tra le immagini, e comunque in generale tra un'immagine e l'altra, sia assolutamente variabile ed incostante da una foto all'altra. (vedi *Figura 2*, a sinistra).

Trattandosi di un errore che non ha uno schema preciso, l'unico sistema disponibile per effettuare tale conversione consiste nel verificarne l'entità su punti di fiducia. In tal senso vale il caso di affidarsi ad elementi estratti dalla cartografia ufficiale, la cui accuratezza è quanto di meglio disponibile, nonché alla posizione di elementi di particolare rilievo acquisiti mediante strumentazione GPS di precisione. Oltre a questi punti di riferimento, per tenere conto di eventuali disallineamenti tra ortofoto adiacenti, per ciascuna provincia sono state individuate le zone di discontinuità tra tali immagini. La presenza di queste zone implica una scelta dei cosiddetti "punti di calibrazione" che tenga conto della differente posizione di due ortofoto limitrofe. Le coppie di coordinate (punto di partenza e di arrivo del vettore di correzione) sono state individuate omogeneamente lungo la linea di passaggio tra i due fotogrammi.

Una volta convertite le coordinate nel sistema geografico utilizzato da GE ed inserite nello stesso, è possibile ricercare tali elementi all'interno delle fotografie e valutarne la differenza. In questo caso, la possibilità di inserire segnaposto direttamente in GE si rivela particolarmente utile: una volta codificati adeguatamente i nomi assegnati ai segnalibri è possibile disporre di un elenco di coppie di punti che rappresentano lo stesso punto nelle due rappresentazioni – in quella ottenuta dalla conversione matematica delle coordinate del punto di riferimento, ed in quella corrispondente alla sua reale posizione nella fotografia usata in GE. In altri termini, questo elenco di coppie descrive un campo di vettori che rappresenta la correzione da applicare alle coordinate.

D'altronde, questo campo vettoriale non è descritto in maniera continua, ma per mezzo di punti discreti: per tale motivo l'algoritmo di correzione deve estrapolare il valore del vettore di correzione per qualsiasi punto del piano.

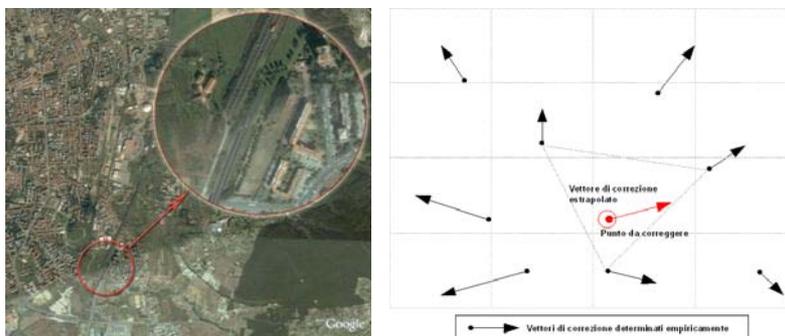


Figura 2 – Localizzazione di un errore evidente (a sinistra) e determinazione del vettore di correzione (a destra).

Esistono molteplici modi per effettuare tale estrapolazione; all'atto pratico, dopo la sperimentazione di numerose varianti, il sistema più efficace dal punto di vista dell'implementazione e dei risultati ottenuti è quello di effettuare una media pesata dei vettori di correzione, questi ultimi scelti tra i più vicini al punto da correggere. Il peso da applicare nell'operazione di media varia secondo l'inverso del quadrato della distanza tra il punto da correggere ed il relativo vettore di correzione. I vettori di correzione utilizzati per tale media possono variare da un minimo di uno ad un massimo di tre; in quest'ultimo caso, le origini dei tre vettori descrivono un triangolo al cui interno è contenuto il punto da correggere.

Le applicazioni realizzate

Gli algoritmi descritti in precedenza sono stati implementati in librerie (chiamate *coordlib*) sia per C/C++, e quindi mirate ad un utilizzo in applicazioni client, sia per PHP e Javascript, per un utilizzo web oriented.

Per quanto riguarda le applicazioni in C/C++, si è deciso di utilizzare le librerie *open-source* OGR (<http://www.gdal.org/ogr/>), che di fatto costituiscono uno standard. Tali librerie supportano i principali formati vettoriali per dati geografici, tra i quali anche il *KML* ed *ESRI Shapefile*, ai quale ci riferiremo nel seguito. L'applicazione C++ (GB2WGS84-GE.exe), sviluppata su piattaforma WIN32, prende spunto dallo strumento ogr2ogr (<http://www.gdal.org/ogr2ogr.html>), messo a disposizione insieme alle librerie OGR. Questo strumento permette la trasformazione di layer vettoriali da e in uno qualsiasi dei formati supportati. Il supporto OGR è stato utilizzato per tutto ciò che concerne le trasformazioni da formato SHP, utilizzato per gran parte dei dati geografici disponibili in ARPAT, a KML. Le OGR supportano anche la riproiezione tra diversi sistemi di coordinate; in questo caso, tale supporto non è stato utilizzato, ma si è fatto riferimento alle già citate librerie *coordlib*.

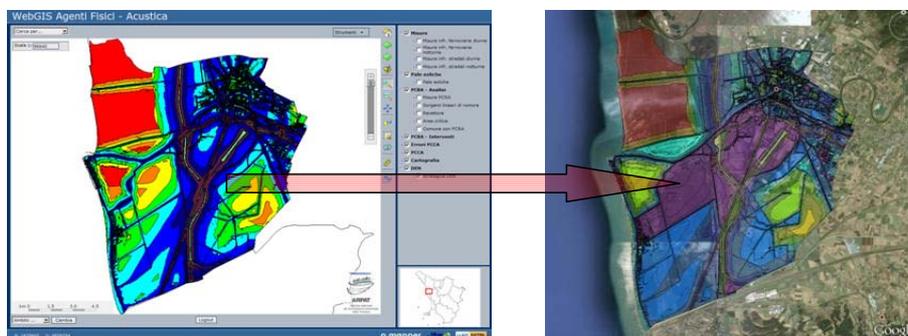


Figura 3 – Esportazione del dato lato server: da p.mapper a Google Earth.

Per quanto riguarda le applicazioni lato server, è stata elaborata una serie di procedure che consentono l'esportazione in formato KML e KMZ delle geometrie memorizzate in archivio, successivamente alle trasformazioni operate dalle *coordlib*.

Questo può avvenire attraverso l'utilizzo di 3 possibili interfacce:

- webGIS: l'interrogazione di un layer in ambiente p.mapper (come in *Figura 3*, a sinistra) consente di lanciare la procedura passando un parametro corrispondente all'elemento desiderato, che quindi è l'unico ad essere convertito;
- web per gli elementi di CERT: gli elementi del Catasto degli Elettrodotti della Regione Toscana (Andreuccetti et al., 2009) vengono esportati singolarmente accedendo alla scheda tecnica relativa a ciascuno di essi;
- web per tutti i database dell'archivio.

L'ultima procedura è la più complessa e generica, in quanto consente di attingere i dati da più archivi (relativi a cartografia, acustica, basse e radio frequenze) contenenti dati memorizzati in layer PostGIS e di esportarli permettendo all'utente di personalizzare l'output.

Una volta selezionata la colonna di cui si vuole esportare la geometria, all'utente è offerta la possibilità di filtrare i dati a seconda di quanto presente in ciascuna delle colonne della tabella di interesse, di determinare secondo quale campo classificare graficamente l'output e, nel caso questo sia relativo ad una colonna di tipo numerico, di impostare il numero di classificazioni.

A questo punto un'interfaccia grafica permette di definire nei dettagli gli aspetti grafici essenziali: la denominazione del file di output e, a seconda della tipologia della geometria, la dimensione e il colore del punto, oppure spessore e colore del bordo e colore ed opacità del riempimento del poligono. Al termine della creazione del KML, il file viene compresso lato server e salvato con estensione KMZ, in modo da minimizzare i tempi di download per l'utente.

Ottimizzazione della procedura e verifiche

Nel caso specifico, per ottimizzare la procedura approntata la cartografia della Regione Toscana (CTR 1:10.000) è stata suddivisa in dieci parti relative alle sue province. Gli shapefile relativi all'edificato di ogni provincia sono stati convertiti in formato KML mediante l'applicativo GB2WGS84-GE, senza applicare l'algoritmo per la correzione per i disallineamenti delle foto ma semplicemente applicando la conversione da coordinate piane a coordinate geografiche (*Figura 1*, a destra, edifici rappresentati da poligoni con contorno più scuro).

Per ciascuna provincia sono state individuate le zone di discontinuità tra ortofoto di GE adiacenti (*Figura 1*, a destra, linea bianca). I punti di calibrazione sono stati individuati come descritto in precedenza; inoltre, la copertura del territorio è stata completata con ulteriori punti distribuiti all'interno della stessa provincia.

A questo punto gli stessi shapefile sono stati nuovamente convertiti in formato KML utilizzando GB2WGS84-GE, applicando l'algoritmo correttivo. La verifica del corretto posizionamento dei poligoni rispetto alle ortofoto di base ha costituito verifica del corretto funzionamento della procedura (*Figura 1*, a destra, edifici rappresentati da poligoni con contorno più chiaro).

Conclusioni

Gli strumenti di visualizzazione geografica sviluppati da Google si stanno affermando sempre più come valide alternative ai sistemi professionali per la diffusione di informazioni di vario genere ad una vasta platea. In questo senso costituiscono un valido supporto per quanto concerne l'accesso dei cittadini alle informazioni ambientali.

Per conservare la rigosità della georeferenziazione dei dati, consentendo al contempo una corretta visualizzazione degli stessi in tali applicativi, è però necessario adottare tecniche di correzione che completano le normali procedure di conversione di coordinate geografiche. In questo lavoro si è mostrato come questo possa essere possibile con un ridotto impiego di risorse, consentendo alla fine di disporre di strumenti adatti sia all'utilizzo on-line che off-line per la generazione di file KML a partire da dati o database georeferenziati.

Riferimenti bibliografici

- Trevisani M., "CART: Programma di conversione coordinate", versione del 15 ottobre 2002.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. (1996), *Global Positioning System: Theory and Practice*, Springer-Verlag New York, LLC.
- Andreuccetti D., Comelli M., Colonna N., Licitra G., Poggi A., Trevisani M., Zoppetti N.: "Domande e risposte sul sistema integrato di valutazione preventiva dell'inquinamento elettromagnetico ambientale a bassissima frequenza PLEIA-CERT", *Report CNR-IFAC-TR-07-2/009; IFAC-CNR Technical, Scientific And Research Reports, Vol.1, N.64-6* (2009), ISSN 2035-5831.