

Implementazione di servizi web per la valorizzazione della cartografia storica di Como: il progetto Web C.A.R.T.E.

Marco Minghini

Politecnico di Milano, DIAR, Polo Territoriale di Como, Via Valleggio 11, 22100 Como, Italy,
marco.minghini@mail.polimi.it

Riassunto

L'utilizzazione in un contesto digitale e GIS della cartografia storica, che ne amplia sia le possibilità di fruizione che la classe dei potenziali utenti destinatari, ha recentemente conosciuto un notevole incremento di interesse. Il progetto di ricerca Web C.A.R.T.E. (Web Catalogo e Archivio delle Rappresentazioni del Territorio e delle sue Evoluzioni), presentato nella comunicazione, ha affrontato il problema in relazione al patrimonio cartografico attualmente conservato presso l'Archivio di Stato di Como e consistente in circa 15000 mappe storiche catastali. Scopo del progetto è la valorizzazione di questa preziosa raccolta cartografica mediante l'impiego dei più recenti strumenti GIS free e open source per il processamento, la catalogazione e la pubblicazione web. Una volta digitalizzate, le mappe sono state georeferenziate attraverso l'applicazione di un modello polinomiale, il cui grado ottimale è stato determinato tramite apposita procedura statistica. Un geocatalogo web di metadati conformi agli standard italiani è stato successivamente realizzato mediante il software GeoNetwork Opensource. Le mappe sono state quindi pubblicate attraverso un WebGIS dedicato, corredato anche da una versione ottimizzata per piattaforme mobili, che ne garantisca la navigazione 2D ed il confronto con la cartografia attuale. È stato inoltre implementato un modulo che, utilizzando il globo virtuale NASA World Wind, offra una visualizzazione delle mappe storiche non solo 3D ma, grazie all'inclusione di una barra temporale, anche 4D. Il sistema, recentemente ultimato e sperimentato su un numero esemplificativo di mappe, permette una navigazione immediata ed interattiva, prefigurandosi come strumento potenzialmente avveniristico per la consultazione delle cartografie storiche presso l'Archivio di Stato di Como. La garanzia di preservazione degli originali cartacei sarà infatti accoppiata con quella, altrettanto importante, di semplificazione e modernizzazione delle modalità di consultazione. L'utilizzo di Internet dovrebbe infine assicurare un accrescimento senza precedenti della visibilità ed accessibilità del patrimonio cartografico medesimo.

Abstract

Interest in the exploitation of ancient cartography in digital format has recently increased. The Web C.A.R.T.E. project (*Web Catalog and Archive of the Territory and its Evolutions Representations*), presented in the paper, addressed this issue with regard to the huge cartographic heritage consisting in about 15000 historical cadastral maps which are nowadays preserved at the State Archive of Como. The project aims to valorize this precious collection through the use of the latest free and open source GIS tools for maps processing, cataloguing and web publishing. After the digitization step, maps were georeferenced with a polynomial model, whose optimal order was determined each time using an ad hoc statistical procedure. Next, a web geocatalog of standards-compliant metadata was built with the GeoNetwork Opensource software. Maps were then published into a dedicated webGIS providing their navigation and comparison in a 2D environment. An optimized version for mobile devices was also created. Finally, the NASA World Wind Virtual Globe allowed to build a module for 3D (and, thanks to a temporal slidebar, also 4D) visualization of historical maps. The

system provides a modern and interactive consultation of the State Archive of Como cartographic heritage, allowing not only to keep the original paper maps safe from deterioration, but also to simplify their accessibility and to widen their range of users.

Introduzione

Le moderne evoluzioni delle tecnologie digitali hanno promosso un utilizzo senza precedenti della cartografia storica, patrimonio oggi prezioso non solo come documentazione antica, ma anche come fonte di informazione geografica. Oltre alla preservazione degli originali cartacei, infatti, l'utilizzo in forma digitale consente la fruizione delle mappe antiche in ambienti GIS e WebGIS (Gatta, 2010) con molteplici finalità quali la pianificazione territoriale, le ricerche sull'evoluzione paesaggistica e urbana, l'archeologia e la demografia.

L'impiego di cartografia storica in ambiente digitale si articola su un ben definito insieme di stadi (Minghini, 2010). Dopo una preliminare contestualizzazione storico-culturale di ciascuna mappa (in termini di contenuto, scopo della rappresentazione e tecniche di rilievo), la digitalizzazione ad alta risoluzione è necessaria per trasformare il supporto da analogico a digitale. La georeferenziazione assegna quindi un sistema di riferimento a ciascuna cartografia e consente di valutarne l'accuratezza posizionale. Altrettanto importante è la documentazione delle cartografie georeferenziate mediante metadati che siano conformi agli standard esistenti. Esaurite le fasi di pre-processamento, le mappe possono essere incluse in sistemi web per la loro visualizzazione 2D e, recentemente, anche 3D: in entrambi i casi, la loro consultazione può essere integrata da dati geografici di differente origine (cartografia numerica attuale, ortofoto, modelli digitali del terreno) per sfruttare al massimo le loro proprietà metriche derivate dalla georeferenziazione. La realizzazione di ognuna delle fasi descritte può avvenire mediante l'uso di software sia proprietario, sia open source.

Scopo della presente ricerca, eseguita nell'ambito del progetto Web C.A.R.T.E. (Web Catalogo e Archivio delle Rappresentazioni del Territorio e delle sue Evoluzioni), è l'utilizzo di software free e open source per l'implementazione di un sistema web in grado di visualizzare le mappe storiche e fornire le relative informazioni. Più nel dettaglio, si intende innanzitutto creare un geocatalogo web per la gestione dei metadati associati alle cartografie antiche. Si vuole inoltre realizzare un WebGIS, sia per PC che per dispositivi mobili, che consenta la visualizzazione bidimensionale delle mappe e sia direttamente collegato al geocatalogo; infine, si intende utilizzare un globo virtuale per ottenere una navigazione delle mappe in 3D e, considerando anche la variabile temporale, in 4D.

Stato dell'arte

In questa sezione verrà brevemente esaminata la letteratura esistente relativa all'utilizzo sul web di mappe storiche, in riferimento sia alla loro catalogazione tramite metadati, sia alla loro navigazione in 2D e 3D. Essendo il presente lavoro inquadrato nel contesto amministrativo e normativo italiano, l'attenzione sarà rivolta soprattutto a studi di carattere simile realizzati nel medesimo contesto.

I metadati (letteralmente *dati sui dati*) sono una documentazione dei dati che ne supporta ricerca, acquisizione, gestione e diffusione (CNIPA, 2006). Secondo l'ICCU (2006b), i metadati sono parte costituente della definizione stessa di un qualsiasi oggetto digitale. Un'effettiva interoperabilità tra sistemi di dati (e tra gli utenti che ne fanno uso) può naturalmente essere ottenuta solo se i relativi metadati sono conformi a standard predefiniti. A livello italiano, in particolare, la documentazione di cartografia storica è disciplinata da due standard di metadati: il primo considera le mappe come veri e propri dati geografici (CNIPA, 2006), il secondo invece come semplici immagini digitali (ICCU, 2006a). I sistemi utilizzati per la gestione online delle mappe sono definiti geocataloghi web (Minghini, 2010). La letteratura presenta pochi esempi di geocataloghi web con metadati conformi agli standard italiani: fra questi il progetto 'Creare e divulgare cultura attraverso gli archivi storici' (Gatta, 2010).

Più popolari, invece, risultano i sistemi web per la visualizzazione 2D di cartografia storica, spesso prodotti dalla collaborazione tra università e Archivi di Stato italiani. Esempi sono un WebGIS sul Catasto Gregoriano (Buonora, 2009; <http://www.dipsuwebgis.uniroma3.it>), una raccolta di mappe

catastali della provincia di Venezia (Contò et al., 2009; http://157.138.209.20/catasti_storici.html), CARSTOS (<http://www.archivioistatocagliari.it>), CASTORE (<http://web.rete.toscana.it/castoreapp>) e Atl@nte dei Catasti Storici e delle Carte Topografiche della Lombardia (Oreni et al., 2010; <http://www.atlantestoricolombardia.it>). Questi progetti attestano il maturo livello di sviluppo delle tecnologie open source per la pubblicazione web di cartografia storica.

Contrariamente al caso 2D, la visualizzazione web tridimensionale di mappe storiche ha guadagnato interesse solo di recente grazie ai globi virtuali, software che consentono di esplorare la Terra in tre dimensioni mediante la sovrapposizione di ortofoto, immagini satellitari ed altri dati bidimensionali a modelli digitali del terreno. Anche in questo caso, le tecnologie esistenti sono sia open source che proprietarie. I più popolari globi virtuali di tipo open source sono gvSIG3D, Norkart Virtual Globe, ossimPlanet, osgEarth e NASA World Wind (Walker, Kalberer, 2010). Tra le soluzioni proprietarie, invece, le più note sono Google Earth, Bing Maps 3D e Ovi Maps 3D. Ad oggi, nessun Archivio di Stato italiano ha implementato una visualizzazione 3D del suo intero patrimonio cartografico. L'uso di globi virtuali nella letteratura sulla cartografia storica risulta infatti limitato a mappe specifiche o finalità di analisi specifiche: alcuni esempi sono Bitelli, Gatta (2011) e Brovelli et al. (2011), che adottano rispettivamente il software proprietario Google Earth e quello open source NASA World Wind.

Dati e pre-processamento geometrico

Nell'Archivio di Stato di Como sono conservate circa 15000 mappe storiche relative a 246 comuni attuali delle province di Como e Lecco. Tali mappe appartengono a quattro differenti serie catastali: il Catasto Teresiano (XVIII secolo), il Catasto Lombardo-Veneto (metà del XIX secolo), la serie di aggiornamenti del 1898 ed il Nuovo Catasto Terreni del 1905 (disponibile solo per alcune località). Nel 2010, in accordo con i comuni interessati, l'Archivio di Stato ha rinnovato la propria collezione digitale promuovendo una campagna di digitalizzazione ad alta risoluzione delle proprie mappe, che ha di fatto inaugurato il progetto Web C.A.R.T.E..

Le mappe di ciascuna serie furono originariamente rilevate e disegnate in modo indipendente per i singoli comuni censuari. Esse sono inoltre costituite da più fogli componibili, il cui numero risulta naturalmente funzione della dimensione di ogni comune. Le mappe digitalizzate hanno subito una duplice fase di pre-processamento geometrico. Per ciascun comune censuario e per ciascuna serie catastale, i fogli di mappa sono stati anzitutto mosaicati in un'unica immagine. Le mappe mosaicate così ottenute sono state quindi georeferenziate mediante l'applicazione di un modello polinomiale, il cui ordine ottimale è stato di volta in volta determinato mediante procedure statistiche (Brovelli et al., 2012). La valutazione dei risultati della georeferenziazione ha permesso inoltre di determinare quantitativamente l'accuratezza di ogni mappa, necessaria per le fasi successive di documentazione mediante metadati ed inserimento in sistemi GIS.

Geocatalogo di metadati

Entrambe le tipologie di dati disponibili, vale a dire i singoli fogli di mappa digitalizzati e le mappe mosaicate georeferenziate, richiedono una catalogazione in termini di metadati. Come già anticipato in precedenza, attualmente esistono due standard italiani attinenti al contesto di cartografia storica.

Il primo, che rappresenta una personalizzazione italiana dello standard ISO 19115:2003 *Geographic Information - Metadata*, è stato definito nel 2006 dal CNIPA (Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione), oggi divenuto DigitPA (Ente nazionale per la digitalizzazione della Pubblica Amministrazione). Viene in particolare fissato un insieme minimo di metadati (*Core Metadata*) da utilizzare per la documentazione dei dati territoriali (tra cui anche le mappe storiche) nel Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali (RNDT). I *Core Metadata* sono raggruppati in campi, che forniscono informazioni su: metadati, identificazione dei dati, vincoli dei dati, qualità dei dati (cioè l'accuratezza posizionale della mappa), sistema di riferimento dei dati, provenienza e processo di produzione dei dati, distribuzione dei dati (CNIPA, 2006). Secondo lo standard CNIPA, inoltre, ciascun insieme di dati è concepito in maniera gerarchica ed i metadati sono applicabili a tre livelli:

dataset, serie (cioè aggregazioni di dataset con caratteristiche comuni) e sezioni (cioè sottoinsiemi di dataset che a loro volta condividono qualche proprietà). Le serie si riferiscono perciò a prodotti completi, i dataset a unità distinte che formano le serie e le sezioni alle unità minime di fornitura del prodotto. Tale schema, del tutto generale, va personalizzato in funzione della tipologia di dati da documentare. Nel caso in esame, ciascuna produzione catastale (Teresiano, Lombardo-Veneto, ecc.) è stata catalogata come serie, mentre le mappe mosaiccate e georeferenziate di ciascun comune sono state documentate come dataset (facenti capo alla serie che ne definisce il catasto di appartenenza). Per quanto concerne invece i singoli fogli di mappa (digitalizzati ma non georeferenzati), la scelta non è stata di considerarli come sezioni (il cui dataset condiviso fosse il comune di appartenenza). Tale tipologia di dati, consistendo in immagini digitali, rientra infatti nel contesto di applicazione del secondo standard italiano, definito dall'ICCU (Istituto Centrale per il Catalogo Unico delle biblioteche italiane e per le informazioni bibliografiche) allo scopo di uniformare le modalità di preservazione e gestione dei documenti antichi custoditi nelle istituzioni culturali italiane (ICCU, 2006a). Lo standard, denominato MAG (Metadati Amministrativi e Gestionali), definisce un set di metadati nella sintassi XML; è uno standard aperto, liberamente disponibile ed indipendente dalla piattaforma hardware e software (ICCU, 2006b). Lo schema MAG è formato da tre diverse sezioni, la più importante delle quali comprende i metadati descrittivi e fa uso dello standard internazionale Dublin Core. Questo, composto da soli 15 elementi, risulta oggi lo standard di metadati più diffuso a livello mondiale grazie alla sua semplicità e flessibilità.

Per realizzare il geocatalogo web dell'Archivio di Stato di Como, si è fatto ricorso a GeoNetwork Opensource. Si tratta di uno strumento free e open source che implementa un numero notevole di standard di metadati, protocolli e servizi web. In particolare, GeoNetwork supporta sia lo standard ISO 19115 che lo standard Dublin Core. Supporta inoltre il protocollo CSW (*Catalog Service for the Web*) dell'OGC (Open Geospatial Consortium), utile per poter accedere ai metadati delle mappe storiche direttamente dal WebGIS realizzato, come sarà mostrato nel seguito. Sfruttando la natura a codice aperto del software, i profili di metadati ISO e Dublin Core sono stati inizialmente tradotti in italiano e personalizzati secondo le indicazioni, rispettivamente, del CNIPA e dell'ICCU. Mediante un'interfaccia semplice ed intuitiva, il geocatalogo realizzato permette così agli utenti di ricercare, accedere e gestire i metadati delle mappe storiche in maniera pratica ed immediata.

Visualizzazione web 2D

La visualizzazione bidimensionale delle cartografie storiche georeferenziate è stata ottenuta grazie all'implementazione di due WebGIS: il primo, tradizionale, per PC, ed il secondo per piattaforme mobili (tablet, smartphone, ecc.). In entrambi i casi, le mappe sono state pubblicate sul web tramite il servizio WMS (*Web Map Service*) dell'OGC facendo ricorso lato-server al software MapServer, anch'esso free e open source.

Il client per computer è stato realizzato allo scopo di consentire un agevole confronto sia tra mappe storiche appartenenti a serie catastali diverse, sia tra una mappa storica e la cartografia moderna. Si è scelto in questo caso l'utilizzo di MapFish, applicazione JavaScript che combina OpenLayers per la gestione dei dati geografici, ExtJS per la personalizzazione delle pagine web e GeoExt per lo sviluppo di applicazioni *web mapping* avanzate. Il client così costruito si compone di due finestre per la visualizzazione dei dati geografici e di un menu, sulla sinistra, per la gestione dei layer delle finestre stesse (Figura 1). Più nel dettaglio, tale menu contiene una lista dei comuni con le rispettive mappe catastali, che l'utente è libero di accendere, spegnere e visualizzare al livello desiderato di trasparenza. Nei due pannelli, le mappe catastali selezionate vengono sovrapposte alla cartografia di base di OpenStreetMap. Il confronto tra dati geografici differenti visualizzati nelle due finestre è agevolato dalle loro barre degli strumenti. Agendo sulla barra del primo pannello, in particolare, si navigano simultaneamente i contenuti delle due finestre: in altre parole, una richiesta di zoom o pan produce il medesimo risultato su entrambi i pannelli. Viceversa, la barra degli strumenti del secondo pannello permette di navigare esclusivamente la mappa rappresentata in esso. Un apposito comando consente inoltre, come mostra nuovamente la Figura 1, di allineare esattamente i due pannelli sulla

stessa area geografica. Dal menu dei layer è inoltre possibile, mediante una richiesta CSW, accedere direttamente ai metadati delle mappe storiche, visualizzati in una finestra pop-up che contiene anche il link alla corrispondente pagina del geocatalogo.



Figura 1. Visualizzazione di una mappa del Catasto Teresiano (a sinistra) e del Catasto Lombardo-Veneto (a destra) nel client per PC.

Tramite un link interno al client è possibile accedere ad una seconda applicazione, che visualizza le mappe storiche sovrapposte al panorama di Google Street View. Questa pagina, sviluppata con le librerie GeoExt, consiste nuovamente in un menu per la gestione dei layer e in due pannelli per la visualizzazione dei contenuti geografici (Figura 2). La mappa selezionata nel menu è rappresentata nel primo pannello, con un livello prefissato di trasparenza e sovrapposta alla cartografia stradale di Google di cui sia disponibile il panorama. Cliccando su una di queste strade, il relativo panorama viene visualizzato nel secondo pannello e la sua navigazione (intesa sia come moto planimetrico lungo una strada, sia come cambio di orientamento) si attiva. L'utilità dell'applicazione risiede nella possibilità di confrontare direttamente e realisticamente lo stato di preservazione nel tempo degli edifici storici rappresentati nelle mappe.

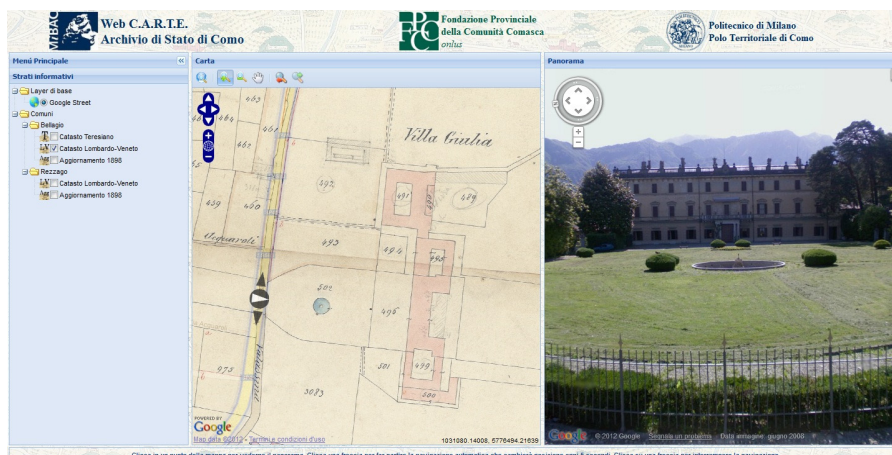


Figura 2. Mappa del Catasto Lombardo-Veneto e relativo panorama di Google Street View.

Il secondo client, come detto, è stato specificamente sviluppato per dispositivi mobili (quali tablet, smartphone, ecc.). Per la sua realizzazione è stato nuovamente impiegato OpenLayers (le cui ultime versioni rendono disponibili nuovi comandi di navigazione corrispondenti a eventi *touch*) insieme alle librerie jQuery per la costruzione grafica delle pagine web. Il client si compone in questo caso di un singolo pannello con un menu nella parte sottostante (Figura 3).

Il comando *Localizza* permette di visualizzare sulla mappa la posizione stimata del dispositivo. Con il comando *Layer* si accede all'usuale lista delle mappe storiche disponibili, servite di nuovo come WMS da MapServer; la richiesta dei metadati (sempre tramite il protocollo CSW), la selezione del livello di trasparenza e lo zoom all'estensione del layer sono invece accessibili dal menu *Proprietà Layer*. Il comando *Cerca* esegue la ricerca di una data località sulla mappa, mentre *Info* fornisce una serie di informazioni sull'applicazione. Il client, che rappresenta un prototipo di applicazione *web mapping* per dispositivi mobili, è stato testato con successo su dispositivi Android ed Apple iOS (iPhone e iPad).



Figura 3. Visualizzazione di una mappa del Catasto Teresiano nel client per dispositivi mobili.

Visualizzazione web 3D

La visualizzazione in tre dimensioni delle mappe catastali è stata ottenuta mediante l'utilizzo del già citato globo virtuale open source NASA World Wind, inserendo in modo particolare un Applet Java all'interno di una pagina html accessibile dal precedente client 2D. Il software rende disponibile di default un insieme predefinito di layer, che includono immagini satellitari (Landsat 7, Blue Marble, ecc.) e modelli digitali del terreno (SRTM, ASTER, USGS NED, ecc.), serviti dinamicamente come WMS dalla NASA e dall'USGS (*United States Geological Survey*). Il World Wind Java Software Development Kit (WWJ SDK) fornisce inoltre la possibilità di integrare la tecnologia World Wind all'interno di qualunque applicazione Java, personalizzando così il sistema in funzione delle proprie esigenze.

Nel caso in esame, le mappe storiche sono prelevate nuovamente come layer WMS dal medesimo server già utilizzato nel caso 2D. Esse vengono quindi sovrapposte, sul globo virtuale, all'ortofoto nazionale (con risoluzione del pixel di 0.5 m) e al DTM della Regione Lombardia (con risoluzione a terra di 20x20 m). Come mostrato in Figura 4, gli utenti possono navigare tridimensionalmente le mappe e visualizzare in modo dinamico l'informazione posizionale, ovvero l'altitudine del punto di osservazione e la latitudine, longitudine e altezza del corrispondente punto sul globo. Al fine inoltre di semplificare l'analisi delle mappe catastali oggetto del lavoro, si è scelto di introdurre una barra temporale che, garantendo la possibilità di una navigazione nel tempo delle cartografie disponibili, rende di fatto il sistema 4-dimensionale. Premesso infatti che ad ogni mappa sia associata la relativa datazione, il software è in grado di sincronizzare la loro visualizzazione con l'istante temporale che

un apposito cursore specifica sulla barra. Selezionando cioè una certa epoca storica sulla barra, tutte le mappe di produzione antecedente a quell'epoca vengono automaticamente rappresentate; l'ordine di visualizzazione prevede che ciascuna mappa giaccia al di sopra di quelle ad essa anteriori. Questa navigazione "temporale" (basata cioè sull'epoca storica in cui ciascuna mappa è nata) integra quella semplicemente spaziale (basata cioè sul comune di appartenenza) descritta nel caso 2D. Grazie ad una seconda barra, inoltre, gli utenti possono nuovamente regolare il livello di trasparenza delle cartografie visualizzate: ciò assicura la possibilità di un confronto diretto, anche in ambiente 3D, sia tra mappe catastali diverse che tra una mappa catastale e l'ortofoto attuale.

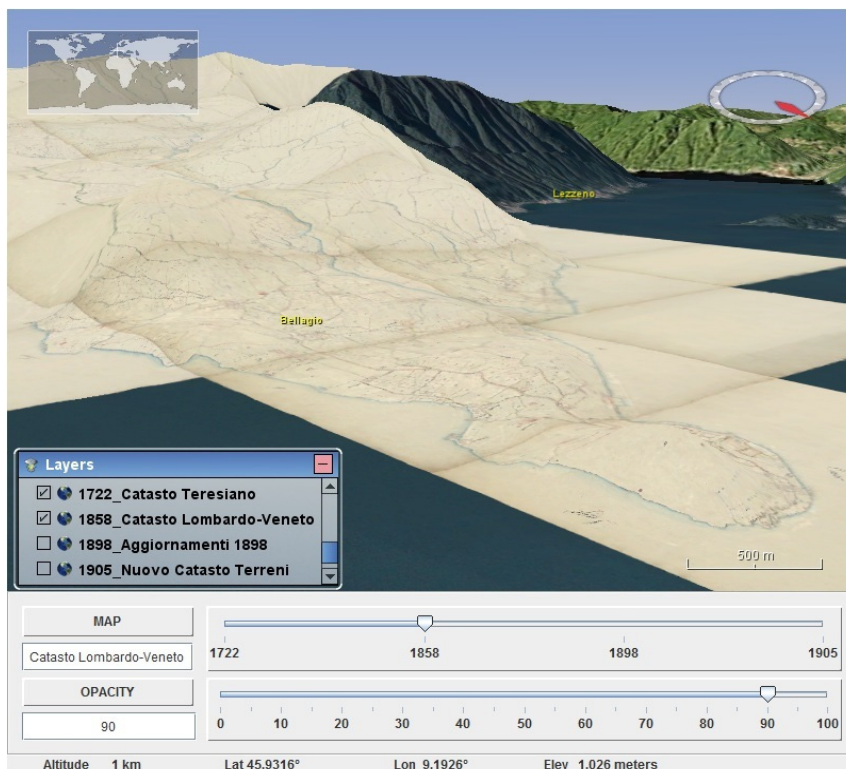


Figura 4. Visualizzazione 3D di una mappa del Catasto Lombardo-Veneto.

Conclusioni

Lo studio ha sperimentato l'utilizzo di software free e open source nel contesto della pubblicazione online di cartografia storica. Nell'ambito del progetto Web C.A.R.T.E. (Web Catalogo e Archivio delle Rappresentazioni del Territorio e delle sue Evoluzioni), l'implementazione di tali tecnologie è stata finalizzata alla realizzazione di un sistema completo per valorizzare il patrimonio cartografico conservato presso l'Archivio di Stato di Como.

Dapprima è stato realizzato un WebGIS per la visualizzazione bidimensionale delle mappe storiche. Rispetto alle molteplici applicazioni simili esistenti in letteratura, la differenza più considerevole è data dalla presenza di un geocatalogo web dedicato, che raccoglie i metadati delle mappe catastali e ne offre un'agevole consultazione. I metadati sono conformi agli attuali standard italiani relativi alla cartografia storica (CNIPA, 2006; ICCU, 2006b): in modo particolare, l'applicazione dello standard CNIPA rappresenta una novità rispetto alla letteratura, che spesso considera le mappe antiche come mera documentazione archivistica e non, invece, come veri e propri dati geografici. L'impiego del protocollo CSW, che fornisce agli utenti un accesso ai metadati contestuale alla navigazione delle

mappe, connette direttamente il WebGIS al geocatalogo conferendo al sistema un grado elevato di interattività. Una seconda applicazione, sfruttando il panorama di Google Street View, offre invece la possibilità di analizzare lo stato di preservazione nel tempo degli edifici storici.

La visualizzazione 2D delle mappe catastali è stata quindi estesa ai dispositivi mobili, mantenendo invariata la parte server del sistema e realizzando un'applicazione ad hoc in grado di navigare i dati cartografici anche con comandi *touch*.

Il sistema è stato infine completato con l'integrazione di un modulo per la visualizzazione 3D delle mappe storiche. Il ricorso ad un globo virtuale open source, che supera le tradizionali soluzioni di natura proprietaria (specialmente Google Earth) ha consentito una personalizzazione integrale del visualizzatore, divenuto perfino 4D grazie all'aggiunta di una barra temporale.

Il sistema realizzato, che attesta la possibilità di utilizzo di software free e open source nel contesto della cartografia storica, offre agli utenti dell'Archivio di Stato di Como modalità di consultazione delle mappe senza precedenti. Gli strumenti interattivi sviluppati, infatti, non solo semplificheranno l'attività degli utenti tradizionali, ma, grazie alla pubblicazione sul web, dovrebbero anche favorire un incremento cruciale della visibilità ed accessibilità del patrimonio cartografico esistente.

Riferimenti bibliografici

Bitelli G., Gatta G. (2011), "Digital Processing and 3D Modelling of an 18th Century Scenographic Map of Bologna", *Advances in Cartography and GIScience. Volume 2*, Springer Berlin Heidelberg, 129-146

Brovelli M. A., Valentini L., Zamboni G. (2011), "Multi-dimensional and multi-frame web visualization of historical maps", *Proceedings of the 2nd ISPRS workshop on Pervasive Web Mapping, Geoprocessing and Services*, Burnaby, British Columbia, Canada

Brovelli M. A., Minghini M., Giori G., Beretta M. (2012), "Web geoservices and ancient cadastral maps: the Web C.A.R.T.E. project", *Transactions in GIS*, 16 (2): 125-142

Buonora P. (2009), "Digitization, online utilization and preservation of cadastral very large format cartography", *e-Perimetron*, 4(3): 192-198

CNIPA (2006), "Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali - Linee Guida per l'applicazione dello standard ISO 19115 *Geographic Information - Metadata*, v. 0.3", Roma, Italia

Contò F., Fanello G., Pillon M. (2009), "An information system for historical Cadastre of Venice", *e-Perimetron*, 4(4): 240-246

Gatta G. (2010), *Valorizzazione di cartografia storica attraverso moderne tecniche geomatiche: recupero metrico, elaborazione e consultazione in ambiente digitale*, tesi di dottorato, Università di Bologna, Italia

ICCU (2006a), *Linee guida per la digitalizzazione del materiale cartografico*, Roma, Italia

ICCU (2006b), *MAG Metadati Amministrativi e Gestionali - Manuale Utente*, Roma, Italia

Minghini M. (2010), *Trasformazioni cartografiche, geocatalogo e servizio web di visualizzazione dei catasti storici di Como*, tesi di laurea, Politecnico di Milano, Italia

Oreni D., Brumana R., Scaioni M., Prandi F. (2010), "Navigating on the past, as a bird flight, in the territorial scale of historical topographic maps. WMS on the "Corografie delle Province del Regno Lombardo-Veneto", for accessing cadastral map catalogue", *e-Perimetron*, 5(4): 194-211

Walker M., Kalberer P. (2010), *Comparison of open source virtual globes*, presentation in FOSS4G 2010, Barcellona, Spagna

Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare la Prof.ssa Maria Antonia Brovelli, il Dott. Giorgio Zamboni, l'Ing. Michele Beretta e l'Ing. Gianluca Giori per il significativo contributo nella realizzazione del lavoro. Un ringraziamento particolare va inoltre all'Archivio di Stato di Como, e in particolare alla Dott.ssa Lucia Ronchetti, per la fornitura delle mappe utilizzate nello studio. Il lavoro è stato finanziato dalla Fondazione Provinciale della Comunità Comasca Onlus nell'ambito del progetto Web C.A.R.T.E. (Web Catalogo e Archivio delle Rappresentazioni del Territorio e delle sue Evoluzioni).