

Tecniche di generalizzazione cartografica dalla grande alla media scala

Sandro Savino, Massimo Rumor, Sergio Congiu

sandro.savino@dei.unipd.it, rumor@unipd.it, congiu@unipd.it
Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Via Gradenigo 6/B, 35131 Padova, Italy

Abstract

Dal 2006 il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova è coinvolto in un progetto di ricerca, chiamato CARGEN, per lo sviluppo e la sperimentazione di metodi automatici per la generalizzazione cartografica dalla grande alla media scala. In questo articolo, di seguito ad una breve introduzione sulla generalizzazione cartografica e sul progetto CARGEN, verranno presentate alcune delle tecniche di generalizzazione automatica che si stanno sperimentando all'interno del progetto per la derivazione delle scale 1:25000 e 1:50000 a partire dai dati della Regione Veneto in scala 1:5000. Le conclusioni aiuteranno a tracciare la linea di sviluppo futura del progetto e i riferimenti permetteranno al lettore interessato di approfondire gli argomenti affrontati.

Introduzione

La generalizzazione cartografica è il processo che permette la creazione di una cartografia a partire da una cartografia esistente a scala più alta. In conseguenza dei vantaggi economici e temporali che il riutilizzo di dati esistenti permette, la generalizzazione, intesa come processo manuale, è da sempre una opzione vantaggiosa nella produzione cartografica ed in quanto tale è utilizzata nei processi produttivi di varie *mapping agencies*; con la transizione ai dati cartografici digitali si è aperta la possibilità di una automazione del processo di generalizzazione, obiettivo che alimenta una intensa attività di ricerca in ambito internazionale. Il conseguimento della generalizzazione automatica porterebbe ricadute importanti nel modo e nei tempi di produzione cartografica, permettendo di realizzare, con costi e tempi ridotti, prodotti cartografici più consistenti nelle varie scale, di rendere più facile l'aggiornamento della cartografia ed eventualmente la sua personalizzazione (ad esempio scale o tematismi diversi a seconda dei bisogni dell'utente o del mezzo di presentazione).

Molti anni di ricerca nel campo della generalizzazione stanno portando a risultati sempre più importanti e non solo legati ad un aspetto di pura ricerca: recentemente si è assistito ad un sempre maggiore interesse verso tecniche di generalizzazione automatica presso vari organi cartografici e l'effettivo utilizzo di software di generalizzazione all'interno di processi produttivi

In Italia questo interesse ha portato ad alcune sperimentazioni di generalizzazione automatica e ad alcuni progetti di ricerca, il più recente dei quali è il progetto CARGEN, attualmente in corso presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Padova.

La generalizzazione cartografica e il progetto CARGEN

Nel 2006 la Regione Veneto sigla un accordo di ricerca con l'Università degli Studi di Padova per lo sviluppo e sperimentazione di tecniche di generalizzazione automatica per la derivazione del DB25 IGM in scala 1:25000 a partire dai dati regionali in scala 1:5000. Questo progetto di ricerca,

denominato CARGEN (CARTografia GENERALizzata), coinvolge più precisamente l'Unità di Progetto per il Sistema Informativo Territoriale e la Cartografia e il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e vede la partecipazione dell'Istituto Geografico Militare. Dopo 3 anni di ricerca, nel 2009, i primi risultati del progetto vengono presentati ad un convegno tenutosi a Padova; nello stesso anno il progetto viene esteso, con lo scopo di continuare la ricerca, migliorando le tecniche sviluppate, ed investigare il tema della generalizzazione di dati alla scala 1:50000.

Il processo di generalizzazione cartografica, inteso come rappresentazione di dati ad una scala minore, si può identificare come un problema di selezione dell'informazione, di astrazione e di rappresentazione della stessa alla scala generalizzata; inteso come derivazione da una cartografia differente si può intendere invece come un problema di modellazione dell'informazione presente nella cartografia originale nel modello proprio della cartografia di destinazione. Questi due aspetti, quello di rappresentazione e quello di modellazione, sono le due facce della generalizzazione con cui ogni progetto di generalizzazione si deve confrontare.

In aggiunta agli aspetti citati sopra, lo sviluppo di un software di generalizzazione deve anche confrontarsi con ulteriori problematiche come gli aspetti di usabilità e di interazione con l'utente (ad esempio configurazione del sistema, verifica e validazione dei risultati) e aspetti più eminentemente informatici, come problemi di performance e complessità computazionale o di accesso e manipolazione dei dati (ad esempio il problema del partizionamento del dataset).

La comprensione delle problematiche legate a questi aspetti permette di apprezzare la complessità legate allo sviluppo di un software di generalizzazione.

Il progetto CARGEN, nei vari anni di sviluppo, si è trovato ad affrontare tutti gli aspetti legati alla generalizzazione. Il punto di partenza del lavoro di ricerca è stato lo studio attento dei modelli dati della Regione Veneto per i dati sorgenti e IGM per i dati di destinazione (o generalizzati). Lo studio di modelli e specifiche ha permesso di valutare la compatibilità tra i modelli, sia dal punto di vista semantico che geometrico, individuando le *feature class* completamente derivabili, quelle non derivabili e quelle parzialmente derivabili, e portando alla realizzazione di uno schema di derivazione tra le *feature class* del primo e del secondo modello.

Dal punto di vista semantico, *feature class* parzialmente derivabili hanno richiesto la messa a punto di tecniche di generalizzazione per estrarre dal dato originale le informazioni necessarie per la loro derivazione; *feature class* non derivabili hanno richiesto invece una revisione dei modelli, modificando le specifiche di uno o dell'altro modello al fine di migliorare la loro compatibilità, rimuovendo dal modello dati di destinazione le informazioni (*feature class* o attributi) non derivabili o aggiungendo nel modello dati di partenza le informazioni necessarie per derivarle.

Il lavoro di analisi dei modelli ha richiesto varie revisioni successive, per aggiornare gli schemi di derivazione tra le *feature class* dei modelli dati man mano che il modello dati della Regione Veneto veniva aggiornato alle ultime specifiche decise in ambito nazionale.

La derivazione alla scala 1:50000 ha richiesto inoltre la definizione di un modello dati a tale scala: questo modello è stato realizzato basandosi sulle specifiche IGM per la realizzazione dei fogli della serie 50 in scala 1:50000 e sul modello dati DB25.

Dal punto di vista geometrico, il compito di individuare ed implementare tecniche di generalizzazione per la derivazione delle *feature class* parzialmente derivabili è, dal punto di vista della ricerca e sviluppo, il più affascinante e complesso. Il passaggio dalla scala 1:5000 alle scale 1:25000 e 1:50000 richiede che la maggior parte delle *feature class* subiscano una qualche trasformazione, trasformazioni che possono essere semplici come il collassamento di un area in un punto, o più complesse come lo sfoltimento di un gruppo di edifici ed in molti casi richiedono lo sviluppo di tecniche ad hoc per la risoluzione di un singolo specifico problema. Ad esclusione delle *feature class* più semplici, direttamente derivabili, la totalità delle *feature class* risulta parzialmente derivabile, ovvero richiede un qualche tipo di intervento sulle sue geometrie; le *feature class* non derivabili, in un contesto di ricerca sulla generalizzazione automatica, indicano problemi per i quali non è stata ancora individuata una soluzione, fornendo stimoli nuovi alla ricerca.

La generalizzazione semantica richiede lo studio, la comprensione e il confronto di due modelli dati

al fine di individuare le relazioni tra le loro feature class, un lavoro complesso e delicato che anche a causa del suo carattere di unicità (le relazioni sono caratteristiche dei due modelli e non applicabili ad altri) male si presta ad essere automatizzato e delegato ad un computer.

La generalizzazione delle geometrie, d'altro canto, ben si presta ad essere automatizzata: una volta definita una strategia di generalizzazione infatti questa può essere applicata per risolvere automaticamente tutti i problemi simili ripetuti all'interno di interi dataset; in taluni casi le problematiche di generalizzazione geometrica possono essere sufficientemente generali da consentire che le soluzioni sviluppate possano essere usate su scale, *feature class* o modelli dati differenti, rendendo di fatto possibile la creazione di tecniche di generalizzazione da usare in contesti diversi. Per questi motivi, mentre per la definizione della generalizzazione semantica si è proceduto manualmente, per la definizione delle tecniche di generalizzazione geometrica ci si è basati sullo stato della ricerca, utilizzando, adattando o migliorando tecniche esistenti oppure, in mancanza di soluzioni adeguate, sviluppando tecniche nuove.

Tecniche di generalizzazione

La generalizzazione è un tema molto complesso, oggetto di una intensa ricerca e sperimentazione. Negli anni sono stati sviluppati diversi modelli e approcci a questo problema (si veda ad esempio (Harrie e Weibel, 2007)), a partire da singoli algoritmi per scopi ben determinati (es. la riduzione dei vertici di una linea (Douglas, Peucker 1973)) a complessi sistemi condizionali (CA, *condition-action*), passando per sistemi esperti e sistemi interattivi. Un grande impulso alla ricerca è stato dato dall'introduzione dei sistemi ad agenti, evoluzione di un approccio che modella la generalizzazione in base a vincoli (CB, *constraint-based*) ed incarnato principalmente nel progetto di ricerca europeo Agent (Agent, 2000). L'approccio ad agenti, benchè sia al centro di uno dei maggiori software di generalizzazione e sia utilizzato in produzione da alcuni organi cartografici ufficiali, non rappresenta tuttavia il punto di arrivo della ricerca nel campo della generalizzazione, ancora lontano dal trovare una soluzione completa a questo problema (si veda il risultato del recente progetto EuroSDR (Stoter, 2010)). L'attuale trend di ricerca e sviluppo è rappresentato dall'integrazione di diversi sistemi ed approcci, con i sistemi condizionali ed i sistemi basati su vincoli come principale alternativa ai sistemi ad agenti. All'interno del progetto CARGEN si è optato, sin dall'inizio, per un approccio pragmatico al problema, mirato più al conseguimento di risultati che allo studio di modelli teorici. Le tecniche di generalizzazione sviluppate derivano da uno studio dello stato dell'arte nel campo, adattando soluzioni esistenti al nostro specifico problema di generalizzazione ed in altri casi sviluppando soluzioni innovative.

La scelta di operare utilizzando software *open source*, rimanendo fuori dalle funzionalità offerte dai prodotti commerciali, se da un lato ha reso lo sviluppo del software più laborioso, dall'altro ha permesso di integrare soluzioni diverse in un unico prodotto.

Il risultato di queste scelte è un software scritto interamente in Java, capace di interfacciarsi con il software GIS OpenJump, basato su alcune librerie condivise ed algoritmi mirati alla soluzione di alcuni specifici problemi della generalizzazione dalla grande alla media scala. Gli algoritmi di generalizzazione sono basati principalmente su modelli condizionali o a vincoli e producono un risultato in maniera completamente automatica.

Le tecniche di generalizzazione sono state sviluppate a partire dallo studio delle specifiche sui modelli dati, dalla letteratura in materia e dalla documentazione IGM per la derivazione del DB25 a partire dalle CTR; in particolare la lettura di questa ultima ha fornito degli utili suggerimenti su quali trasformazioni eseguire per produrre dati in scala 1:25000. Lo sviluppo si è quindi concentrato sul produrre algoritmi che in qualche modo mimassero il modus operandi del cartografo. Gli algoritmi sviluppati rispondono ognuno ad un particolare problema di generalizzazione ma possono essere raggruppati a seconda del tipo di trasformazione che effettuano (operatore di generalizzazione, vedi (Shea, McMaster, 1989)); per la generalizzazione di una *feature class* può essere necessario adoperare più operatori di generalizzazione, applicati in sequenza oppure in maniera condizionale.

La generalizzazione dei boschi, ad esempio, viene effettuata applicando algoritmi sequenziali: adottando una tecnica descritta in (Mackaness et al., 2008) le aree boschive vengono unite ad aree boschive limitrofe, successivamente eventuali radure di dimensioni inferiori ad una certa soglia all'interno dei boschi vengono eliminate e il bordo dei boschi viene smussato (operatore di *smoothing*) e semplificato. Nel caso in cui il bosco sia cinto su uno o più lati da una via d'acqua o di comunicazione, il bordo del bosco viene esteso fino a congiungersi con questo elemento; lo spazio vuoto viene colmato utilizzando un algoritmo basato sulla triangolazione, in maniera similare a quanto descritto in (Jones et al., 1995).

Questa stessa tecnica viene impiegata anche nella generalizzazione di aree di colture, per eliminare eventuali spazi vuoti tra i confini di queste ed eventuali strade limitrofe.

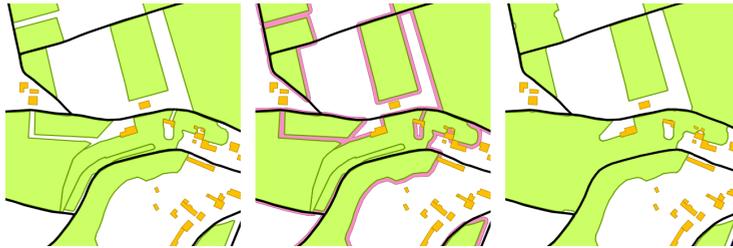


Figura 1 – Generalizzazione dei boschi, con estensione a strade limitrofe.

La generalizzazione dell'edificato invece viene effettuata applicando una tecnica più complessa, che impiega sia algoritmi sequenziali che condizionali. La generalizzazione di un edificio singolo viene effettuata applicando in sequenza operatori che effettuano la riduzione del numero di vertici (il celebre (Douglas, Peucker, 1973)), l'eliminazione dei lati troppo corti (una versione modificata di quanto descritto in (Sester, 2000)) e la rettificazione degli angoli (operatore di *squaring*), operazione eseguita solamente su edifici che superano un test di regolarità di forma. Nel caso in cui l'edificio non sia isolato, la procedura include la fusione con edifici adiacenti o limitrofi (entro una certa soglia) e, a posteriori, un controllo topologico per verificare l'assenza o correggere gli eventuali errori introdotti dalle operazioni effettuate. Nel caso in cui la densità dell'edificato sia eccessiva (ossia superiore ad una soglia, dipendente dalla scala), la generalizzazione viene effettuata tramite una diversa tecnica, in parte derivata dal lavoro di (Regnaud, 2001) che utilizza l'operatore di tipificazione per ridurre il numero di edifici rappresentati.

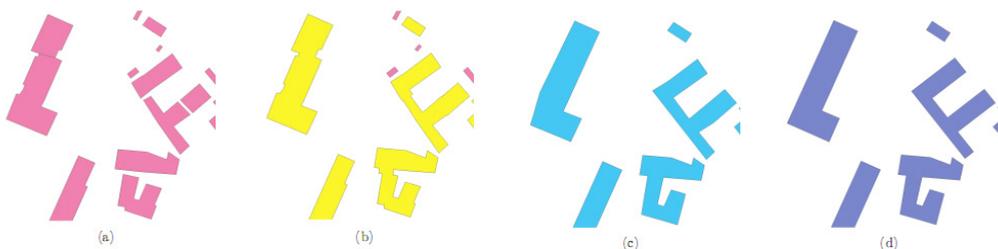


Figura 2 – Generalizzazione dell'edificato non denso con fusione di elementi vicini, semplificazione e squaring.

E' interessante notare che se da un punto di vista teorico e di analisi di modelli e specifiche è possibile distinguere la generalizzazione semantica da quella geometrica, dal punto di vista delle tecniche di generalizzazione non è possibile dividere in maniera netta la generalizzazione dell'informazione semantica dalla generalizzazione dell'informazione geometrica.

Se la trasformazione delle geometrie infatti deve essere guidata dal dato semantico (una geometria

rappresentante una casa viene trasformata in modo diverso da una geometria rappresentante un lago), è altresì vero che anche la generalizzazione del dato semantico può essere guidata dall'informazione contenuta nel dato geometrico, estratta ad esempio tramite tecniche di analisi morfologica.

Un semplice esempio in cui la generalizzazione del modello è guidata dall'informazione geometrica lo si trova nel processo di generalizzazione della rete idrica. Il modello dati IGM prevede tre classi di rappresentazione per i corsi d'acqua, classificandoli a seconda della larghezza; poiché la larghezza non è un attributo presente nel modello dati della Regione Veneto, questa viene calcolata basandosi sulla geometria areale che descrive il corso d'acqua: la derivazione delle feature class è ottenuta estraendo l'informazione direttamente dalle geometrie originali, calcolando per ogni tratto di fiume la media delle distanze tra i punti di intersezione tra l'area fluviale e delle linee normali all'asse del fiume disegnate ad intervalli regolari su di esso. L'informazione sulla larghezza di ogni tratto di fiume viene usata per classificare gli elementi della rete idrica secondo il modello dati IGM.

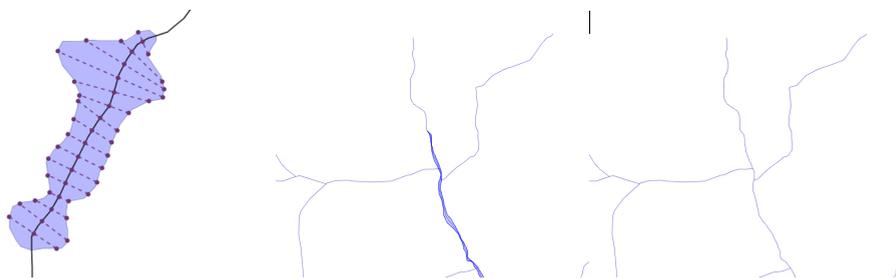


Figura 3 –A sinistra calcolo della larghezza media su una sezione di fiume tramite le normali all'asse; a destra il risultato della generalizzazione: il fiume viene collassato da area a linea perché troppo stretto.

La generalizzazione della rete stradale contiene esempi più complessi dell'utilizzo dell'analisi morfologica per estrarre dalle geometrie informazioni non esplicitamente presenti nel modello dati di origine, ma necessarie alla fine del processo di generalizzazione. Ad esempio la generalizzazione della rete autostradale ha richiesto di sviluppare un algoritmo in grado di identificare, all'interno dell'autostrada, le diverse componenti di carreggiata, svincolo, casello e area di sosta, rappresentati da IGM in maniera differente ma non distinti nel modello dati della Regione Veneto. Questo algoritmo si basa su una tecnica, descritta in (Savino et al., 2010), che a partire dalla forma degli elementi stradali che compongono la rete autostradale distingue le carreggiate come i più rettilinei, i caselli come le sezioni connesse alla rete stradale ordinaria, le aree di sosta come sezioni connesse alla stessa carreggiata e gli svincoli come sezioni congiungenti due diverse carreggiate.

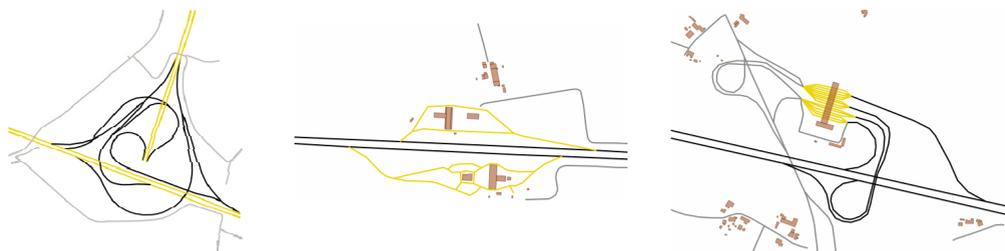


Figura 4 – Da sinistra a destra in giallo: carreggiate, aree di sosta e caselli identificati dall'algoritmo di classificazione; gli svincoli sono in nero nella prima figura a sinistra.

Gli esempi citati evidenziano bene come in alcuni casi l'analisi delle geometrie sia indispensabile ai fini della generalizzazione semantica, risultando essere l'unico strumento per estrarre dai dati originali le informazioni necessarie per derivare alcune *feature class* o alcuni attributi del modello di destinazione. In generale l'analisi delle geometrie risulta essere una parte fondamentale dell'intero processo di derivazione, proprio perché queste contengono informazioni che devono essere esplicitate per poter operare una buona generalizzazione. La generalizzazione delle giunzioni stradali (incroci, rotonde, immissioni) viene effettuata sia utilizzando tecniche di analisi morfologica, sia tecniche di analisi del grafo, descritte in (Savino et al., 2009), che permettono l'identificazione, la classificazione e successivamente la generalizzazione di questi oggetti che, seppur non presenti nei modelli dati né di Regione Veneto né di IGM, richiedono di essere trattati in maniera separata dal resto del grafo stradale. L'analisi del grafo viene usata anche per effettuare lo sfoltimento del reticolo stradale, necessario in aree ad alta urbanizzazione o a scale basse per eliminare gli elementi meno rilevanti. Per effettuare questa operazione di selezione il solo dato semantico può non essere sufficientemente dettagliato: è quindi necessario ricorrere a tecniche di analisi del grafo per poter arricchire la classificazione originale e individuare le strade meno importanti. La tecnica di generalizzazione sviluppata utilizza il calcolo dei cammini minimi, su ispirazione di quanto suggerito in (Jiang, Claramunt, 2002), per creare una tassonomia delle strade sufficientemente definita da individuare, anche tra strade che nel modello dati hanno pari classe, quelle meno importanti.



Figura 5 – A sinistra identificazione di un incrocio e generalizzazione, a destra arricchimento del modello dati originale.

L'analisi del grafo è una tecnica utilizzata anche nella generalizzazione del reticolo idrografico. In modo analogo a quanto detto per il reticolo stradale, anche la generalizzazione dell'idrografia richiede la costruzione di una tassonomia sufficientemente ricca da poter distinguere i corsi d'acqua meno rilevanti (in relazione alla scala di rappresentazione) per effettuare uno sfoltimento della rete. La tecnica di generalizzazione sviluppata, descritta in (Savino et al., 2011), utilizza l'analisi delle connessioni tra elementi idrici, in congiunzione all'analisi delle quote Z, per ricostruire i corsi dei fiumi ed attribuire loro una importanza relativa utilizzando diversi indicatori (si veda ad esempio (Strahler, 1963)); sulla base di questi indicatori e vincoli sulla lunghezza dei corsi d'acqua e la loro prossimità viene effettuato lo sfoltimento del reticolo idrografico.

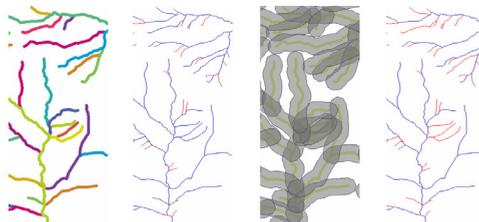


Figura 6 – Da sinistra a destra le fasi dello sfoltimento del reticolo idrografico: arricchimento del modello, selezione sulla base della lunghezza, calcolo delle prossimità e sfoltimento sulla base della densità.

Un processo di generalizzazione dalla grande alla media scala, soprattutto se basato su modelli dati ricchi come quelli della Regione Veneto e di IGM, richiede lo sviluppo di moltissime tecniche di generalizzazione. In questo articolo sono state illustrate solo alcune delle tecniche in uso all'interno del progetto CARGEN: molte altre sono state sviluppate, o sono in corso di sviluppo, e qui per brevità non sono esposte (ad esempio quelle per la generalizzazione del grafo ferroviario o delle scoline). Il grande numero di tecniche necessarie al conseguimento della generalizzazione rende bene merito della complessità insita in questo affascinante tema di ricerca.

Conclusioni

La generalizzazione cartografica automatica è un tema molto complesso e lo sviluppo di tecniche di generalizzazione si deve confrontare con aspetti legati sia alla semantica che alle geometrie dei dati da generalizzare. Gli esempi e le tecniche illustrate in questo articolo mettono bene in evidenza come parte dell'informazione necessaria per effettuare una buona generalizzazione sia contenuta in maniera implicita nelle geometrie dei dati da generalizzare. Disegnare algoritmi in grado di estrarre questa informazione implicita ed interpretarla, in maniera analoga a quanto fa inconsciamente il cervello di chi realizza o utilizza una mappa, rappresenta la sfida più grande della generalizzazione automatica, una sfida che nonostante i continui progressi non è ancora vicina dall'essere vinta.

Le potenziali ricadute della generalizzazione cartografica automatica però offrono tali indiscutibili vantaggi, sia nella produzione che nel mantenimento di prodotti cartografici, da giustificare una continua ricerca in questo campo.

Uno degli aspetti più critici nello sviluppo di un software di generalizzazione automatica è l'integrazione del know-how cartografico con quello informatico: in questa ottica è importante, ai fini della buona riuscita di un progetto di ricerca come CARGEN o nello sviluppo di software di generalizzazione, che la ricerca veda una costante collaborazione tra i diversi soggetti che detengono queste due competenze, per la definizione di obiettivi e la revisione dei metodi per ottenerli. Una soluzione completa ed interamente automatica al processo di generalizzazione è un risultato ancora ben lungi dall'essere raggiunto, ciononostante la ricerca ha dimostrato di essere giunta ad un punto sufficientemente maturo per essere impiegata fruttuosamente nella produzione di cartografia se applicata a temi ben specifici. In questa ottica, per cogliere al meglio il potenziale di un progetto di ricerca come CARGEN, è possibile ed utile incanalare gli sforzi di ricerca verso alcuni obiettivi ben definiti, in maniera tale da ottenere soluzioni, a questi problemi circoscritti, sufficientemente robuste da essere applicabili al di fuori del puro contesto di ricerca.

Lo sviluppo di tecniche di generalizzazione cartografica automatica, benché sia una attività molto complessa, risulta una importantissima opportunità e per certi versi una necessità per velocizzare ed ammodernare il sistema di produzione di cartografia, nazionale e non, in Italia; una opportunità sulla quale è importante continuare ad investire e collaborare per poter cogliere al meglio i vantaggi che questa tecnica può offrire.

Ringraziamenti

Si ringraziano Maurizio De Gennaro, Antonio Zampieri, Pierpaolo Milan presso la Regione Veneto e il Ten. Col. Gennaro Afeltra, Cinzia Taffi, Claudio Rocchini, Geremia Giovanale presso IGM per il continuo supporto, passato e presente, durante tutte le fasi del progetto.

Bibliografia

AGENT (2000) Project ESPRIT AGENT Map Generalisation by Multi-Agent Technology online: <http://agent.ign.fr>

Douglas D., Peucker T. (1973) "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature", in *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 10, 112-122

Jiang B., Claramunt C. (2002) "A Structural Approach to Model Generalisation of an Urban Street Network", 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma, Spain, 25-27 April

- Harrie L., Weibel R. (2007) “Modelling the overall process of generalization” in: Mackaness W. A., Anne Ruas A., Sarjakoski L. T. (Editors), *Generalisation of geographic information: Cartographic modelling and applications*, Elsevier Science, 67-87
- Jones C., Bundy G., Ware M. (1995) “Map generalisation with a triangulated data structure”, *Cartography and Geographic Information Systems*, 22 (1), 55-69
- Mackaness W. A., Perikleous S., Chaudhry O. Z. (2008) “Representing Forested Regions at Small Scales: Automatic Derivation from Very Large Scale Data”, *The Cartographic Journal*, 45 (1), 6-17
- Regnauld N. (2001) “Contextual Building Typification” In *Automated Map Generalization in Algorithmica*, 30, 312-333
- Savino S., Rumor M., Lissandron I. (2009), “Road junction generalization in large scale geodatabases”. In A. Krek, M. Rumor, S. Zlatanova, E. M. Fendel (Eds), *UDMS Annual 2009*, Taylor & Francis
- Savino S., Rumor M., Zanon M., Lissandron I. (2010), “Data enrichment for road generalization through analysis of morphology in the CARGEN project”, 13th ICA Workshop, 2010, Zurich
- Savino S., Rumor M., Canton F., Langiù G., Raineri M. (2011), “Model and cartographic generalization of the hydrography network in the CARGEN project”. In A. Ruas (Ed), *Advances in Cartography and GIScience*. Vol 1, Springer, 439-457
- Sester M. (2000) *Generalization Based on Least Squares Adjustment* In: ISPRS (ed.) *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*
- Shea K. S., McMaster R. B. (1989) “Cartographic generalization in a Digital Environment: when and how to generalize” *AUTO-CARTO*, 9th International Symposium on Computer Assisted Cartography, Baltimore, Maryland, April 2-7, 56-67
- Stoter J. (2010) “State-of-the-Art of Automated Generalisation in Commercial Software”, Report of EuroSDR projects, online: <http://www.eurocdr.net/publications/58.pdf>
- Strahler A. N. (1952) “Hypsometric (Area-altitude) Analysis Of Erosional Topography”, in *Geological Society Of America Bulletin*, 63 (11), 1117-1142