

## La valorizzazione della componente altimetrica del DB geotopografico del Comune di Torino: metodologie e nuove frontiere di utilizzo

Laura Annibaletto, Luca Chiapale, Mattia De Agostino, Salvatore Manera, Marzio Pipino

CSI-Piemonte, Corso Unione Sovietica 216 - 10134 Torino,  
e-mail: (laura.annibaletto, luca.chiapale, mattia.deagostino, salvatore.manera, marzio.pipino)@csi.it

### Riassunto

Il presente lavoro descrive le attività condotte dal CSI-Piemonte per il popolamento delle informazioni altimetriche e volumetriche del Comune di Torino, avvalendosi principalmente di un recente volo LiDAR ad elevata densità condotto sull'intero territorio comunale. L'utilizzo combinato delle informazioni estratte dalla nuvola di punti LiDAR e dalle tradizionali tecniche fotogrammetriche e topografiche ha consentito di popolare la maggior parte degli attributi altimetrici prescritti all'interno delle specifiche di contenuto nazionali, oltre che la realizzazione di una serie di mappe tematiche relative alla volumetria e al soleggiamento degli edifici, e rendendo quindi il DB geotopografico potenzialmente strategico in diversi settori, quali la valorizzazione delle fonti di energia rinnovabile e la valutazione di impatto ambientale.

### Abstract

This paper describes the activities conducted by the CSI-Piemonte to calculate the elevation and volumetric information for the Municipality of Turin, primarily using a recent high-density LiDAR flight conducted throughout the city. The integration of information extracted from the LiDAR point cloud and from the traditional topographic and photogrammetric techniques made it possible to calculate most of the elevation attributes prescribed in the national content specifications, but also to realize a series of thematic maps relating to the volumetric changes and to the shadow analyses of buildings, making the geotopographic DB strategic for a large number of fields, such as the enhancement of renewable energy sources and the environmental impact assessment.

### Introduzione

Nell'ultimo decennio la cartografia ha conosciuto una notevole evoluzione grazie soprattutto allo sviluppo di *software* sempre più completi, anche *open-source*, per la gestione dei Sistemi Informativi Territoriali (SIT), e di nuove tecnologie di rilevamento del territorio, quali ad esempio *laser-scanner* terrestri (TLS, *Terrestrial Laser Scanning*) o aviotrasportati (LiDAR, *Light Detection And Ranging*), stazioni totali motorizzate e automatizzate, strumenti GNSS RTK (*Global Navigation Satellite System Real Time Kinematic*), che hanno permesso di ottenere un numero sempre maggiore di informazioni a fronte di tempi di acquisizione molto rapidi. Tale evoluzione ha nel contempo portato alla realizzazione di *database* (DB) geotopografici in sostituzione o in complemento ai classici elaborati bidimensionali prodotti in ambiente CAD, e parallelamente allo sviluppo a livello nazionale ed internazionale di specifiche di contenuto sempre più ricche di informazioni da popolare (Attias et al., 2011; De Gennaro e Pelagatti, 2008). Tra le molte informazioni aggiunte, un interesse particolare è stato posto nel valorizzare anche la componente tridimensionale di molti oggetti cartografici, quali ad esempio unità volumetriche, elementi di copertura, manufatti industriali, monumentali e di arredo urbano e opere di infrastrutture e di trasporto.

La Città di Torino dispone a partire dal 1998 di un DB geotopografico, il cui aggiornamento della parte cartografica avviene con una cadenza trimestrale secondo quanto previsto all'interno delle

attività oggetto della convenzione stipulata dalla Città di Torino con il CSI-Piemonte per l'outsourcing della gestione e dello sviluppo del Sistema Informativo della Città. Nel corso del 2011 sono inoltre state attivate le attività volte ad aggiornare la struttura del DB geotopografico comunale agli attuali standard prescritti dal Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 10 novembre 2011 "Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei *database* geotopografici" e dai relativi allegati tecnici.

Le attività di revisione si sono concretizzate sui dati già presenti nella banca dati territoriale originaria della Città di Torino, convertendone l'identificazione ed incrementandone la complessità con l'introduzione degli attributi previsti dalla nuova specifica. Si sono altresì introdotti alcuni importanti oggetti territoriali che nella struttura originaria erano identificabili solo a livello grafico. Ogni singolo dato territoriale è stato analizzato, valutato ed organizzato secondo lo schema in Strati, Temi e Classi proprio della specifica nazionale, sfruttando la professionalità del gruppo di lavoro del CSI-Piemonte che negli anni ha mantenuto aggiornato il SIT comunale, e le esperienze di realizzazione e gestione di DB geotopografici già condotta dallo stesso gruppo di lavoro per Regione Piemonte (Campus et al., 2013; Vasone et al., 2007) e per altri comuni (Ardito et al., 2013).

L'arricchimento delle informazioni e la standardizzazione della struttura dei DB geotopografici, ed in particolare di quello della Città di Torino, unita allo sviluppo di strumenti web per la pubblicazione e fruizione delle informazioni georiferite (visualizzatori SIT) ha portato come conseguenza un maggiore impiego della cartografia ufficiale come strumento di indagine e amministrazione del territorio e delle attività antropiche che insistono su di esso, oltre che come supporto alle politiche decisionali ed alla pianificazione territoriale (Costamagna e Spanò, 2012; Pacchiana et al., 2011). L'introduzione della componente tridimensionale non più solamente come informazione accessoria, ma come parte integrante della geometria del dato cartografico, ha ulteriormente ampliato l'utilizzo dello stesso nei più disparati settori d'impiego, quali ad esempio la valorizzazione delle fonti di energia rinnovabile e la valutazione di impatto ambientale (Garnero e Fabrizio, 2014). Tale ammontare di informazioni deve portare inevitabilmente a riconsiderare l'iter di produzione e aggiornamento del contenuto del DB geotopografico: questo non può più essere derivato esclusivamente dai tradizionali metodi quali il rilievo topografico a terra o la restituzione per via fotogrammetrica, ma deve essere supportato dall'integrazione delle suddette metodologie con le moderne tecniche di rilievo della Geomatica, quali ad esempio la pianificazione, ad intervalli di tempo regolari, di voli di tipo LiDAR.

Nel seguito vengono descritte le attività compiute da CSI-Piemonte che hanno portato, partendo da un volo LiDAR ad elevata densità condotto sulla Città di Torino, alla valorizzazione della componente altimetrica del Sistema Informativo del Comune, attraverso procedure automatiche di estrazione e trattamento dei dati.

### **Il volo LiDAR 2013 sulla Città di Torino**

Nel 2013 la Città di Torino ha commissionato, col supporto tecnico di CSI-Piemonte, un volo LiDAR ad elevata densità (circa 5 pti/m<sup>2</sup>) condotto sull'intero territorio comunale, che ha contribuito ad aumentare il patrimonio di informazioni altimetriche e volumetriche del Sistema Informativo cartografico comunale, aggiornando o addirittura popolando *ex-novo* alcune classi del DB geotopografico, e nel contempo consentendo la realizzazione di mappe tematiche (es. variazioni volumetriche, superficie utile delle coperture).

Il volo, effettuato nelle giornate del 10 e del 12 aprile 2013 in condizioni di ridotta vegetazione, ha coperto un'area di circa 15000 ettari, per un totale di oltre 900 milioni di punti acquisiti. L'acquisizione dei punti è avvenuta attraverso un *laser scanner* Optech 3100 EA, installato su elicottero, ad una quota relativa di volo compresa tra 800 e 1000 m.

Parallelamente all'acquisizione LiDAR è stata condotta anche una ripresa fotografica con una camera semimetrica, con ricoprimenti longitudinali tra le immagini pari a circa 60% e con ricoprimenti trasversali di circa il 40%. A partire da tali immagini è stato possibile produrre

un'ortofoto ordinaria (tipologia A1, in accordo con Garretti et al., 2012) di tutto il territorio comunale, con risoluzione geometrica a terra di 20 cm e precisione propria della scala 1:2000.

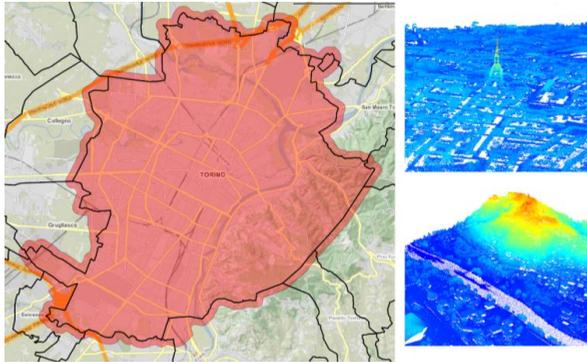


Figura 1 – Copertura del volo LiDAR 2013 su Torino (a sinistra) ed esempi della nuvola di punti acquisita nella fascia urbana (in alto a destra) e in quella collinare (in basso a destra).

Nei paragrafi seguenti sono descritte le informazioni altimetriche finora derivate dal volo LiDAR, a partire dal popolamento degli attributi di alcune delle classi del DB geotopografico comunale e proseguendo poi con la realizzazione di mappe tematiche relative alle variazioni volumetriche all'interno dei confini comunali. L'ingegnerizzazione e l'automazione delle procedure adottate permettono di ridurre i tempi di produzione rispetto alle più tradizionali tecniche di rilievo e nello stesso tempo di consentire l'analisi di estese porzioni di territorio. Per ultimo, vengono presentate alcune attività relative alla modellazione della copertura degli edifici per applicazioni legate allo studio sul potenziale solare.

### Il popolamento altimetrico del DB geotopografico comunale

In linea con le specifiche nazionali previste dal già citato DPCM 10 novembre 2011, l'aggiornamento o la generazione ex-novo delle informazioni di natura altimetrica all'interno del DB geotopografico comunale è avvenuta attraverso l'elaborazione del dato LiDAR.

La natura morfologica del territorio comunale, per buona parte collinare, ha reso necessario l'inserimento all'interno del DB delle classi appartenenti al tema dell'altimetria (curve di livello e punti quotati) per una affidabile descrizione e rappresentazione del territorio.

L'aggiornamento delle curve di livello, limitato alla sola parte collinare del territorio comunale per salvaguardarne la significatività, è avvenuto attraverso procedure GIS automatizzate di estrazione delle isoipse (con equidistanza pari ad 1 metro) a partire dal Modello Digitale del Terreno (DTM) generato dalla nuvola di punti LiDAR opportunamente classificata.

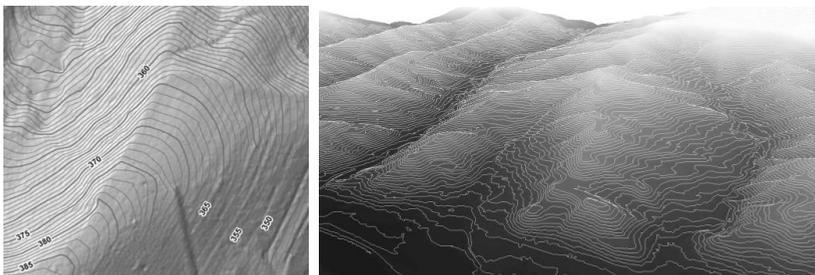


Figura 2 – Visualizzazione delle curve di livello sovrapposte al DTM generato dal dato LiDAR

I punti quotati sono estratti dalla nuvola LiDAR su tutto il territorio comunale, in corrispondenza degli incroci, delle estremità e delle mezzerie dei tronchi stradali: questa selezione di quote consente di ottenere una buona descrizione dell'andamento altimetrico del terreno a partire da informazioni puntuali garantendo nel contempo una agevole lettura e gestione del dato.

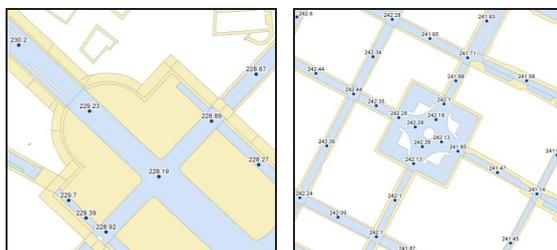


Figura 3 - Esempi di punti quotati estratti dal DB geotopografico comunale

Altro tipo di informazione altimetrica presente nel DB geotopografico comunale è quella relativa alle altezze in gronda e al suolo per ciascuna unità volumetrica costituente la corrispondente classe del tema edificato. L'estrazione di queste quote è avvenuta con procedure automatiche di incrocio tra il dato relativo agli ingombri planimetrici delle unità volumetriche ed il dato LiDAR, e con un opportuno filtraggio e calcolo statistico dei valori di quota ottenuti. Essendo il risultato frutto di una procedura totalmente automatica, prima del caricamento a DB è stata condotta un'attività di validazione con l'obiettivo di escludere errori grossolani nell'assegnazione delle quote ricercate.

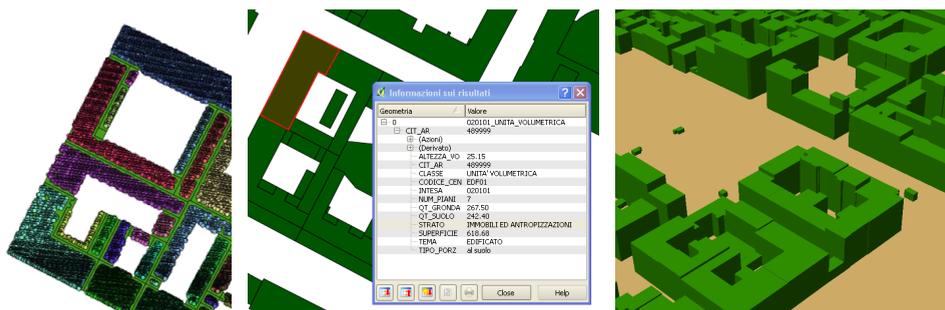


Figura 4 - Quota in gronda e al suolo dei fabbricati: filtraggio della nuvola LiDAR (a sinistra), visualizzazione dei dati altimetrici di un fabbricato (al centro), esempio di modellazione dell'edificato a partire da queste quote (a destra).

Il dato LiDAR ha consentito inoltre di classificare la tipologia di coperture degli edifici, così come richiesto dalle specifiche nazionali per il tema dell'edificato. L'elaborazione per l'estrazione di questo tipo di attributo ha richiesto la generazione delle mappe di pendenza, l'incrocio con gli ingombri planimetrici delle unità volumetriche e un calcolo statistico per ciascuna di queste del valore predominante, seguito da una classificazione della tipologia di copertura in funzione del valore risultante di pendenza.

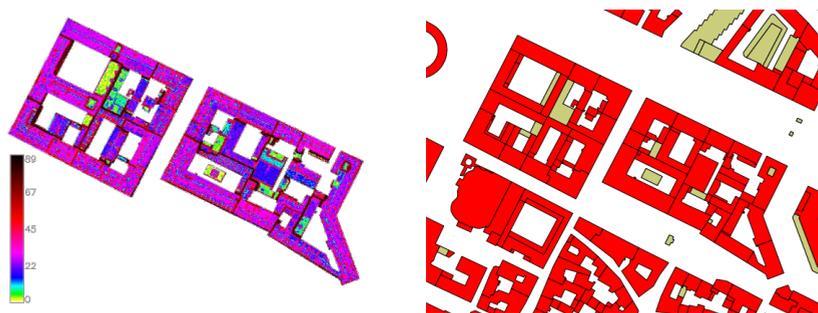


Figura 5 - Classificazione delle coperture: mappa delle pendenze risultante dal DSM (a sinistra) ed esempio di visualizzazione delle coperture in funzione della loro tipologia (a destra, in rosso i tetti a falde e in verde quelli piani)

### Analisi delle variazioni volumetriche tra il 2009 ed il 2013

La possibilità di disporre di voli LiDAR realizzati con una certa regolarità temporale su una medesima porzione di territorio consente di effettuare una serie di analisi sulla variabilità di fenomeni soggetti a trasformazioni nel tempo. Considerando che una scansione LiDAR fotografa principalmente l'aspetto altimetrico di una porzione di territorio, l'utilizzo che se ne può fare in ambito urbano è la valutazione della variazione delle volumetrie intercorse fra due periodi, per quanto riguarda sia il suolo che l'antropizzato.

In quest'ottica, la Città di Torino dispone, oltre che del già presentato volo LiDAR del 2013, anche di un precedente volo realizzato nel 2009 con una densità inferiore (circa 1 pto/m<sup>2</sup>). Partendo dalle informazioni acquisite in questi due voli, è stata realizzata una serie di mappe che consentissero di evidenziare le aree che, in questo lasso temporale, hanno subito significative variazioni volumetriche, dovute principalmente ad interventi di carattere antropico (fabbricati, scavi, attività di manutenzione del verde pubblico).

La mappa delle variazioni volumetriche è stata ottenuta partendo dalla differenza dei modelli digitali di superficie (DSM, *Digital Surface Model*) ottenuti dalle nuvole LiDAR del 2009 e del 2013. Con l'obiettivo di generalizzare il più possibile la procedura, queste ultime non sono state oggetto di alcun tipo di classificazione e/o filtraggio, nella cui scelta dei parametri ottimali sarebbe intervenuta la soggettività dell'operatore; per tale motivo, i DSM risultanti contengono anche informazioni altimetriche legate ad esempio alla presenza di veicoli lungo le arterie urbane, che ai fini di suddetto lavoro possono degradare la qualità del risultato finale. Per tale motivo, nella generazione della mappa delle volumetrie non sono state considerate le informazioni altimetriche dovute ad elementi che si trovavano, al momento dell'acquisizione del dato, in una fascia di 2 metri dalla superficie del suolo.

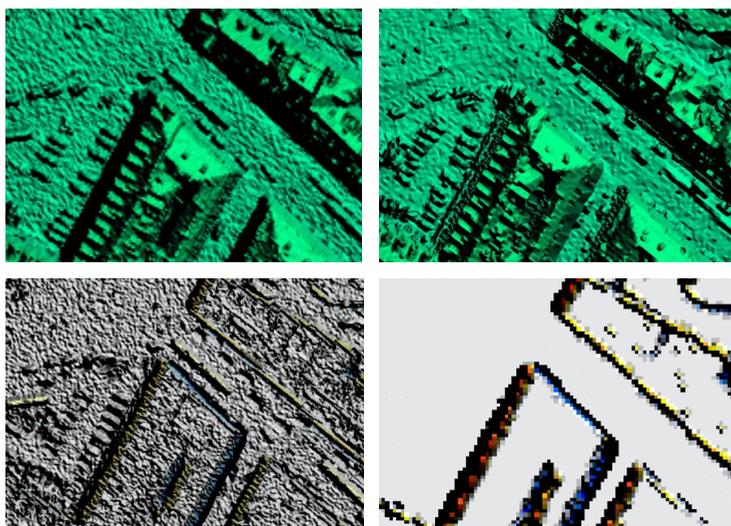


Figura 6 – Presenza dei veicoli lungo le arterie urbane e nei parcheggi nei DSM del 2013 (in alto a sinistra) e del 2009 (in alto a destra). Differenze volumetriche considerando tutte le informazioni (in basso a sinistra) e filtrandole in una fascia di 2 metri dal suolo (in basso a destra).

Come detto, avere a disposizione mappe di questo genere consente di valutare quanto una porzione di territorio sia stata oggetto di trasformazioni in un determinato lasso di tempo. Ma tali mappe possono ad esempio essere di supporto per l'aggiornamento cartografico, nell'individuazione delle modifiche intervenute in ambito urbano, o per la gestione del verde urbano, soprattutto nella valutazione dell'accrescimento delle piante e nell'individuazione di aree interessate da nuove piantumazioni o da disboscamento.



Figura 7 – Esempi di variazioni volumetriche individuate: abbattimento di fabbricati industriali (a sinistra), costruzione di nuovi edifici con conseguente trasformazione dell'area (al centro) e accrescimento della vegetazione lungo i viali alberati (a destra).

### DB geotopografici e informazione 3D: nuove frontiere di utilizzo

La conoscenza dettagliata del tessuto urbano di una città, e soprattutto del suo aspetto edificatorio, risulta particolarmente strategica in tutte le attività di governo del territorio comunale. Fino a pochi anni fa, l'interesse maggiore era volto alle informazioni fiscali e catastali, quali la proprietà, la tipologia edilizia o la destinazione d'uso. Oggigiorno, vista la sempre crescente importanza che rivestono le energie rinnovabili, ed in particolare quelle legate all'energia solare e termica, alle tematiche sopra esposte si è aggiunta una particolare attenzione verso il reperimento delle informazioni riguardanti le coperture degli edifici. Il poter individuare, all'interno di una

cartografia, quali edifici presentano coperture con pendenze, esposizioni e superfici utili tali da renderle potenzialmente utili ai fini della produzione di energia da fonti rinnovabili risulta senza dubbio commercialmente strategico per tutti i fornitori di tecnologie volte all'utilizzo di tali energie. Ma poter disporre di un'informazione di questo tipo potrebbe risultare particolarmente interessante anche per un Comune, sia nell'ottica di sfruttamento degli edifici di propria proprietà in ottica di un risparmio dei costi energetici, sia per poter offrire un servizio pubblico di informazione ai propri cittadini, eventualmente interessati a conoscere quanto l'edificio di loro proprietà si predisponga a sfruttare pienamente queste nuove opportunità in ambito energetico.

A tal proposito, si è cercato di utilizzare i dati altimetrici in possesso con l'obiettivo di estrarre, per ciascun elemento di falda di una copertura, tutte le informazioni di potenziale interesse per i fini sopra elencati. La qualità del risultato è strettamente correlata alla disponibilità di un modello tridimensionale delle coperture degli edifici di adeguata precisione: tale modello è stato realizzato attraverso una procedura di integrazione tra la tecnica fotogrammetrica, per la restituzione della componente planimetrica della falda, e la tecnica LiDAR per la registrazione della componente altimetrica. L'interazione tra le due tecniche ha permesso di ridurre le incertezze che potevano esserci soprattutto nella coordinata altimetrica, e dovute alla collimazione fotogrammetrica, uniformandole alla precisione del dato LiDAR.

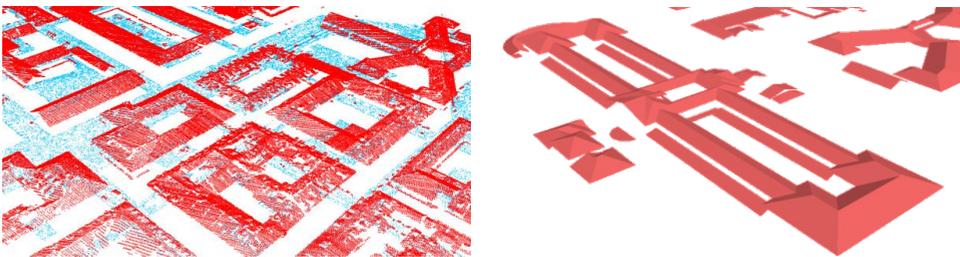


Figura 8 – Nuvola di punti LiDAR ad elevata densità in ambiente urbano (a sinistra) e modello tridimensionale delle coperture degli edifici risultante dall'integrazione tra fotogrammetria e LiDAR (a destra)

Dal risultante modello tridimensionale delle coperture sono state estratte per ciascuna falda, attraverso procedure automatizzate, le quote di colmo e di gronda, oltre alla pendenza e all'esposizione del piano medio. Se da un lato tali informazioni possono essere esaustive per tutta una serie di analisi di carattere geometrico, è pur vero che una valutazione della superficie potenziale di copertura che si presta ad ospitare per esempio impianti finalizzati alla produzione di energia solare necessita di conoscenze più dettagliate, che si è cercato di ricavare partendo dalle informazioni altimetriche in possesso.

La tecnica adottata per la restituzione delle geometrie tridimensionali ha inevitabilmente introdotto delle semplificazioni nella modellazione delle falde dovute essenzialmente per motivi di scala di rappresentazione: le specifiche del volo fotogrammetrico e LiDAR utilizzati in questo lavoro non consentivano la restituzione tridimensionale con adeguata affidabilità di elementi di ridotte dimensioni quali comignoli, vani tecnici e abbaini di limitata estensione e che quindi non sono stati considerati nella modellazione. Ma in un'ottica di sfruttamento della falda per finalità energetiche occorre considerare che gli elementi sopra citati riducono la superficie utile utilizzabile. Per tenere conto di questo aspetto si è generata la mappa delle esposizioni a partire dal DSM ottenuto dalla nuvola LiDAR e si è confrontata con quella ottenuta analiticamente dal modello tridimensionale delle coperture: in questo modo, è stato possibile definire per ciascuna falda un parametro chiamato *indice di rumore* ( $I_R$ ) che dia una misura di quanto la geometria semplificata della falda del modello tridimensionale si discosti da quella reale, e che quindi individui la presenza o meno di elementi che riducono la superficie utile per l'installazione di eventuali impianti fotovoltaici.

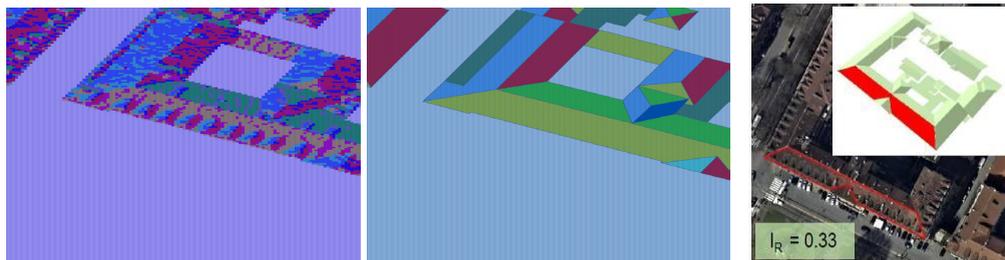


Figura 9 - Porzione di mappa delle esposizioni calcolata a partire dal DSM LiDAR (a sinistra), porzione di mappa delle esposizioni generata a partire dai valori calcolati analiticamente (al centro) ed esempio di Indice di Rumore

Tuttavia, l'indice di rumore consente di avere un'indicazione solamente di quanto la falda sia disturbata rispetto alla sua geometria semplificata, ma non dell'effettiva posizione degli elementi di disturbo, né della presenza di ostacoli e disturbi nell'ambiente circostante la falda stessa. Per ovviare alla mancanza di questo tipo di informazione si è proceduto, a partire dal DSM LiDAR, alla generazione delle mappe di soleggiamento che consentano di individuare la superficie soleggiata di ciascuna falda risultante dalla presenza di elementi che insistono sulle coperture e dall'interazione con le strutture e la vegetazione circostante.

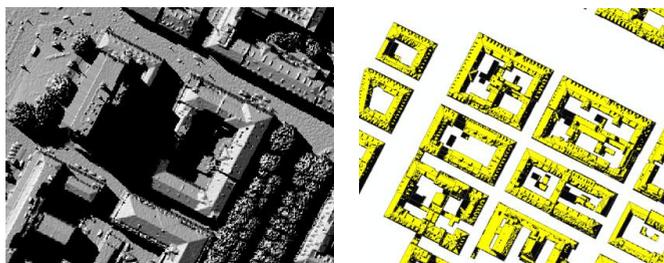


Figura 10 – Esempi di mappe di soleggiamento ricavate dal DSM LiDAR e filtraggio delle informazioni ai soli edifici

Dall'elaborazione con procedure GIS della mappa di soleggiamento con quella delle esposizioni, è possibile definire oltre che la superficie soleggiata di ciascuna falda, anche un relativo indice di rumore, analogamente a quanto fatto precedentemente. Si viene in questo modo a individuare, per ciascun elemento di falda, quale sia la superficie effettivamente utilizzabile a fini energetici, oltre ad un indicatore relativo alla presenza su questa porzione della falda di elementi che potrebbero essere di intralcio all'installazione della relativa impiantistica.

In conclusione, generato il modello tridimensionale delle coperture secondo la modalità manuale descritta nel paragrafo, la creazione di tutte le informazioni alfanumeriche e in formato raster sono demandate a procedure GIS totalmente automatiche che richiedono unicamente come dati di input lo shapefile tridimensionale degli elementi di falda e il relativo DSM. A valle delle suddette elaborazioni, l'utente avrà a disposizione nuovamente lo shapefile di input ma integrato delle seguenti informazioni alfanumeriche per ciascun elemento di copertura e registrate direttamente nella sua tabella dbf: superficie, quota in gronda, quota al colmo, pendenza, esposizione, indice di rumore, superficie soleggiata e indice di rumore della superficie soleggiata. Vengono inoltre prodotte le immagini raster delle esposizioni e del soleggiamento.



Figura 11 - Sintesi delle informazioni disponibili per ciascun elemento di falda delle coperture degli edifici

## Bibliografia

- Garnero G., Fabrizio E. (2014), "Visibility Maps of Turin", *GIM International*, vol. 28(4): 27-29.
- Campus S., Gambero A., Griffa S., Siletto G.B., Vasone M., Viano M. (2013), "Governo collaborativo del territorio", *Atti 17a Conferenza Nazionale ASITA*, Riva del Garda.
- Ardito A., Siletto G.B., Vasone M., Pipino M., Chiapale L., De Agostino M. (2013), "Il database geotopografico del Comune di Vercelli", *Atti 17a Conferenza Nazionale ASITA*, Riva del Garda.
- Costamagna E., Spanò A. (2012), "Integrazione di database spaziali multiscala in ambito urbano", *Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA*, Vicenza.
- Garretti L., Brovelli M., Cina A., Crespi M., Lingua A., Manzino A. (2012), *Ortoimmagini e modelli altimetrici a grande scala. Linee guida.*, a cura del Centro Interregionale di Coordinamento e documentazione per le informazioni territoriali del CISIS.
- A.A.V.V. (2011), *Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici*, DPCM 10 Novembre 2011, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27/02/2012 – Supplemento Ordinario n. 37.
- Attias M., Donnalioia L., Mazzi C., Milan P. (2011), "Primi risultati delle sperimentazioni del CISIS-CPSG volte alla realizzazione dei DBT Regionali secondo le Specifiche di Contenuto per i DB Geotopografici: utilizzo degli strumenti GeoUML per la realizzazione ex-novo e per l'adeguamento dei DBT esistenti", *Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA*, Colorno.
- Pacchiana S., Castoldi S., Monti G., Viskanac P. (2011), "La gestione e l'aggiornamento del DBT in relazione alle procedure tributarie in un Comune", *Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA*, Colorno.
- De Gennaro M., Pelagatti G. (2008), "Le attività interregionali per le specifiche tecniche per i DB topografici", *Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA*, L'Aquila.
- Vasone M., Garretti L., Boggio D., Manca G., Barbero G., Pirrello G., Annibaletto L., Bernabino F., Bucciantini R., Gambero A., Picco I. (2007), "La base dati territoriale di riferimento per gli enti", *Atti 11a Conferenza Nazionale ASITA*, Torino.