

IL RILEVAMENTO AEREO DELLE VOLUMETRIE EDILIZIE: LASER VS FOTOGRAMMETRIA

Domenico VISINTINI, Barbara FICO

Dipartimento di Georisorse e Territorio, Università di Udine, via Cottonificio 114 - 33100 UDINE
tel. 0432 558716-558719, fax 0432 558700, e-mail: domenico.visintini@uniud.it, barbara-fico@libero.it

Riassunto

In questo articolo si confrontano le volumetrie edilizie derivanti da rilevamenti aerei laser e fotogrammetrico, quest'ultimo metodo standard per la produzione di cartografia numerica.

Nel test è stato considerato un campione di 25 edifici di Gorizia i cui volumi sono stati ottenuti a partire rispettivamente da due scansioni laser (densità 2 p.ti/mq e 15 p.ti/mq), dalla Cartografia Tecnica Regionale Numerica (CTRN) fotogrammetrica in scala 1:5.000 (precisione 1:2.000) e da un rilievo topografico di precisione. Per entrambi i *dataset* laser, le volumetrie sono date dapprima dalla differenza tra DEM e DTM ed in seguito direttamente dai modelli solidi poliedrici degli edifici ricostruiti. Nei volumi calcolati dalle informazioni della carta fotogrammetrica non è invece compreso il volume del tetto ("volumi troncati") che è quindi fornito solo dal rilievo laser. L'ultimo campione è ottenuto dal rilievo topografico dei vertici delle linee di colmo e di gronda e dei vertici a terra degli edifici ed è assunto come valore di riferimento per gli altri volumi calcolati.

Considerando i volumi completi ed i volumi troncati, i campioni di dati sono stati sottoposti a test statistici inferenziali non parametrici per verificare la significatività delle mutue differenze. Il risultato più interessante è la sostanziale equivalenza fra i modelli derivati da dati laser a 15 p.ti/mq e da rilievo topografico: il laser garantisce quindi volumetrie complete e di elevata precisione.

Abstract

This paper presents a comparison between building volumes derived from different aerial surveying techniques: laserscanning and photogrammetry. The test regards a sample of 25 buildings, belonging to the Gorizia (Italy) downtown and reconstructed each one from two laser scan datasets (2 p.ts/m² and 15 p.ts/m² mean density), from a photogrammetric digital technical map, and from an accurate topographic terrestrial survey. Furthermore, laser datasets allow to compute building volumes either approximately as simple difference between DTM and DEM or more properly as 3D polyhedral models. By inferentially evaluating the mutual differences among volume values using nonparametric statistical tests, most interesting result is that models extracted from scans with 15 p.ts/m² are significantly equivalent to the real (topographic) ones and complete of the roof part yet.

1. Introduzione

La volumetria degli edifici può essere calcolata grazie a diverse tipologie di rilevamento, ognuna con peculiarità specifiche che andrebbero esaurientemente descritte da un'analisi costi/benefici.

Il rilevamento topografico terrestre è senza dubbio la tecnica che permette di ottenere la maggiore accuratezza nella valutazione dei volumi di edifici, ma anche con le recentissime strumentazioni integrate EDM/GPS è impensabile un suo impiego per vasti ambiti territoriali. Il rilevamento

La ricerca rientra nell'ambito delle attività previste dal progetto INTERREG IIIA Phare/CBC Italia-Slovenia "Ricomposizione della cartografia catastale e integrazione della cartografia tecnica regionale numerica per i sistemi informativi territoriali degli enti locali mediante sperimentazione di nuove tecnologie di rilevamento" svolto dall'Università di Udine in collaborazione con il Geodetski Inštitut Slovenije di Lubiana.

estensivo di volumetrie può quindi essere effettuato solo attraverso un metodo aereo, sia esso fotogrammetrico che laser, le cui caratteristiche generali sono ben note: in seguito si riportano soltanto alcuni aspetti specifici e determinanti per il rilevamento volumetrico ottenibile.

1.1 Laser aereo

La tecnica laserscanning aerea risulta particolarmente utile nel rilevamento delle volumetrie edilizie in ambito urbano, in quanto fornisce immediato riscontro di quello che è l'ingombro spaziale di ogni singolo edificio, attraverso la nube di punti laser che ne descrive la superficie. I volumi degli edifici possono essere ricostruiti eseguendo le operazioni di *filtraggio* automatico, di *classificazione* semi-automatica e di *modellazione 3D* assistita (vedi, ad esempio, Crosilla, Visintini, Prearo e Fico, 2005). La precisione del rilevamento tridimensionale ottenibile dipende da molti parametri geometrici della scansione, quali la frequenza e la direzione di acquisizione, il numero di echi memorizzati, l'altezza di volo e l'apertura massima di scansione. La combinazione di questi valori determina la "densità di campionamento a terra" che risulta un fattore fondamentale per la precisione del rilievo, come emerge da un recente articolo (Crosilla, Beinat, Visintini, Fico e Sossai, 2005) del Gruppo di ricerca presso l'Università di Udine, del quale il presente lavoro rappresenta uno sviluppo. I dati laser qui considerati sono relativi alla città di Gorizia e sono stati acquisiti in due modalità diverse per direzione di acquisizione, per estensione e per densità di campionamento:

- scansione a bassa densità: 5,66 kmq, 11 strisciate parallele, 2 p.ti/mq;
- scansione ad alta densità: 1,67 kmq (solo centro storico), 14 strisciate incrociate, 7 p.ti/mq.

Nel secondo caso, l'incrocio fra le strisciate ha permesso di ridurre le occlusioni dovute ad edifici particolarmente alti o molto vicini tra loro e di ottenere un elevato valore di densità, mediamente pari a 15 p.ti/mq. Grazie alle eccellenti caratteristiche di questa scansione, è stato possibile modellizzare tutti i 355 edifici del centro storico di Gorizia (vedi Crosilla, Visintini e Fico, 2004).

1.2 Fotogrammetria aerea

Come ben noto, ogni cartografia numerica prodotta mediante rilievo fotogrammetrico aereo contiene le coordinate 3D dei diversi elementi cartografici restituiti, la cui precisione dipende principalmente dalla scala media dei fotogrammi acquisiti. Nel caso specifico delle volumetrie edilizie, oggi ogni carta tecnica a media-grande scala contiene tutti i dati necessari al loro dimensionamento, ovvero il poligono del tetto, la quota al piede e la quota di gronda. In particolare, la Cartografia Tecnica Regionale Numerica del Friuli Venezia Giulia utilizzata in questo studio è caratterizzata da un'elevata precisione, equivalente alla scala 1:2.000, che permette di ottenere una buona informazione volumetrica, pur mantenendo i contenuti cartografici della scala 1:5.000.

1.3 Topografia terrestre

Come già detto, la ricostruzione dei modelli 3D degli edifici mediante rilievo topografico è improponibile su vasta scala, richiedendo la misura di tutti i vertici del tetto e di almeno un punto di quota al piede dell'edificio stesso. In generale, questo non presenta particolari difficoltà, a parte il dispendio di tempo proporzionale al numero di edifici; tuttavia la misura dei vertici di colmo è l'operazione più critica, che per edifici alti e/o addossati e in spazi ristretti può diventare impossibile. La tecnica topografica terrestre va allora utilizzata come strumento di collaudo dei rilievi aerei, secondo una prassi ben conosciuta nel settore geo-topo-cartografico.

Le modalità di misura dei vertici di gronda e di colmo degli edifici test, effettuate in una precedente campagna topografica, sono descritte in Crosilla, Beinat, Visintini, Fico e Sossai (2005). A completamento di tali misure, che consentivano di ricostruire la sola forma del tetto, mediante la stessa strumentazione integrata EDM/GPS si sono rilevate le quote al piede dei singoli edifici.

2. Calcolo del volume intero degli edifici

2.1 A partire dal rilievo laser

Dalla nube di punti laser è possibile ricavare, mediante il filtraggio, la superficie che definisce il terreno (DTM), e successivamente, con la classificazione dei punti che non appartengono al terreno,

la superficie che delimita gli oggetti che stanno al di sopra di esso (DSM). Per semplice differenza tra queste due superfici è quindi possibile ricavare immediatamente una prima stima del volume degli “oggetti fuori dal terreno”, come gli edifici, gli alberi, le automobili, ecc.. Volendo calcolare approssimativamente le sole volumetrie edilizie, si sottrae il DTM al DEM (quest’ultima superficie interpola i soli punti classificati come punti-terreno e punti-edificio). In questo modo, si isolano le sole nubi di punti-edificio e il loro volume, seppur grossolano, risulta completo comprendendo anche il tetto. Questi volumi, in seguito saranno indicati con la sigla **S.i.** (Superficie interpolante, vedi Figure 1 a diversa densità), sono quindi ottenibili a classificazione ultimata, senza necessità di procedere alla modellazione 3D. Uno degli scopi di questo lavoro è verificare l’affidabilità della volumetria di un edificio ottenuta in questa modalità semi-automatica, a prescindere dalle difficoltà operative nel distinguere edifici tra loro vicini. Si ricorda come la successiva fase di modellazione è invece di gran lunga la più onerosa in termini di tempo e di intervento dell’operatore (esperto!) rispetto alle fasi di filtraggio&classificazione. Nel nostro caso specifico, tutte le elaborazioni sono state eseguite con i software dedicati TerraScan® e TerraModeler® (Terrasolid).

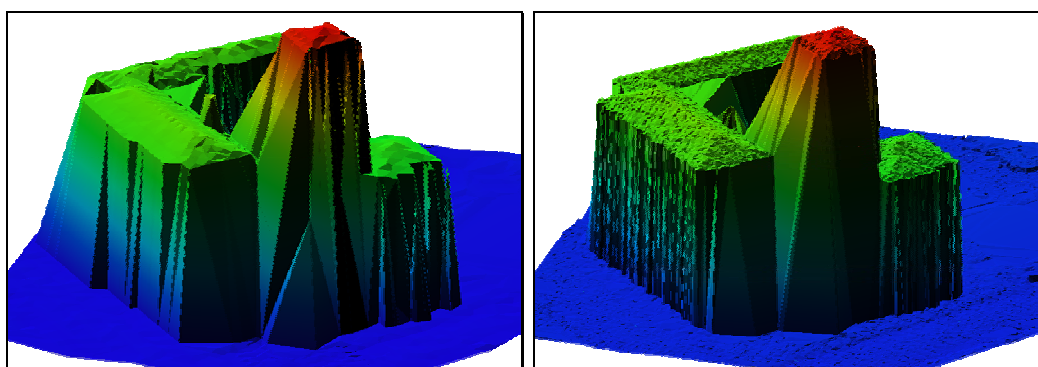


Figura 1 – Edificio modellizzato come differenza DEM-DTM: a sinistra S.i.2, a destra S.i.15.

Procedendo allora con la modellazione 3D dei punti-edificio, a partire dai dati laser filtrati e classificati, si costruiscono interattivamente i modelli solidi poliedrici, dei è immediato conoscere il loro volume essendo memorizzati in forma vettoriale. Nella ricostruzione di edifici, il software TerraScan adotta un approccio non parametrico, ovvero non legato a specifiche tipologie di edifici né a vincoli geometrici, basandosi sul soddisfacimento delle topologie esistenti tra le falde e le pareti dell’edificio che vengono quindi individuati ed estratti automaticamente. I volumi dei modelli così ricostruiti (indicati con **Mod2** e **Mod15** rispettivamente se ricostruiti da dati a bassa o ad alta densità, vedi Figure 2) sono ovviamente più precisi di quelli precedentemente calcolati come **S.i.**.

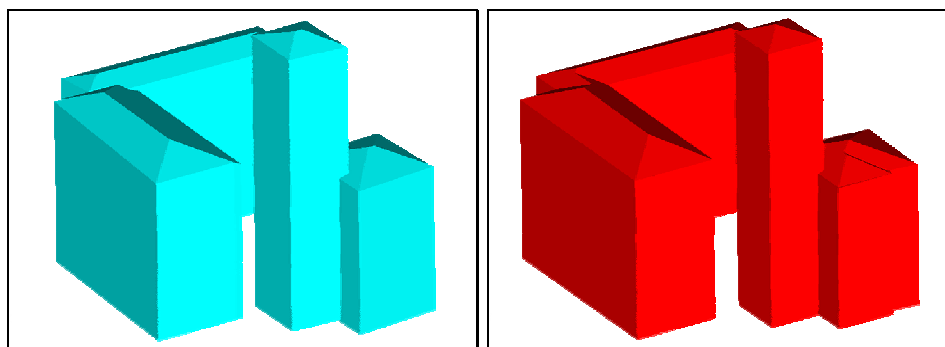


Figura 2 – Stesso edificio modellizzato con procedura dedicata: a sinistra Mod2, a destra Mod15.

2.2 A partire dal rilievo topografico

La ricostruzione dei volumi da misure topografiche (indicati come **Top**) si effettua semplicemente importando i punti rilevati in ambiente CAD e costruendo opportunamente dei solidi a partire da tali vertici (vedi Figura 3 a sinistra). Il valore numerico del volume è anche qui di immediata disponibilità e, come già detto, costituisce il valore di riferimento per il collaudo delle volumetrie **S.i.2**, **S.i.15**, **Mod2** e **Mod15** derivate dalle elaborazioni dei rilievi laser aerei

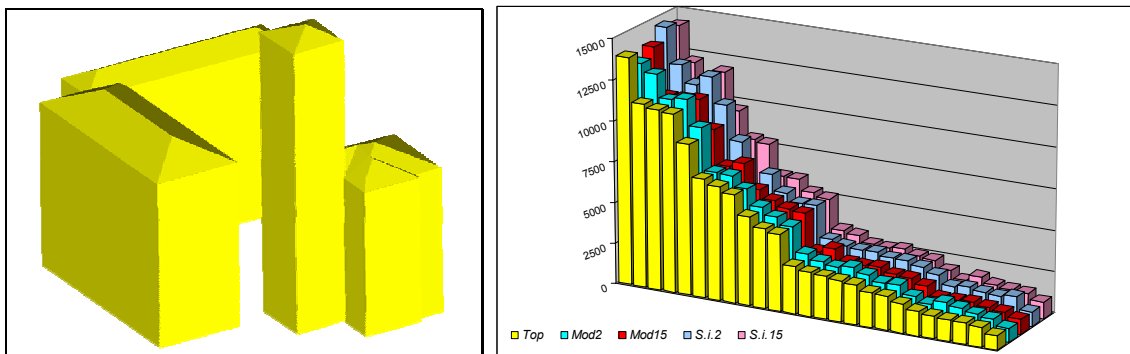


Figura 3 – A sinistra, stesso edificio da topografia (Top); a destra, istogrammi dei volumi interi.

3. Calcolo del volume troncato degli edifici

Il confronto fra le volumetrie edilizie ricavate da rilevamento laser con quelle ricavate da rilevamento fotogrammetrico è giocoforza limitato dalle diverse caratteristiche delle due basi di dati. Affinché le entità edificio comparate siano coerenti tra loro, si deve procedere a due distinte analisi: la carta fotogrammetrica utilizzata, non consente di ricostruire la forma completa del tetto, non avendo a disposizione alcuna informazione né metrica né qualitativa sull'andamento delle falde (pendenza, linee di divisione fra le falde stesse). Tale valore va allora eliminato nel confronto con i modelli ricavati dai rilievi laser. Quindi, oltre al precedente mutuo confronto fra i quattro campioni di volumi interi da dati laser con il volume intero da dati topografici, si rapportano gli stessi ai volumi ottenuti dalla carta fotogrammetrica, che verranno di seguito denominati "volumi troncati". Si riportano ora le metodologie di calcolo dei volumi dei parallelepipedi relativi agli edifici in analisi, i quali conservano solo la forma in pianta, essendo privi del tetto (vedi Figura 4 a sinistra).

3.1 A partire da rilievo fotogrammetrico (cartografia numerica)

Come già accennato, per ogni edificio memorizzato in una cartografia numerica sono a disposizione: il poligono di contorno del tetto, rilevato alla linea di gronda, le eventuali divisioni architettoniche con la rispettiva quota; due punti interni riportante le quota al piede e di gronda.

In particolare, nella CTRN si considera come area di base di ciascun edificio l'area del poligono del contorno della copertura (congruente con i modelli laser e con quello topografico, tutti non sono sgrondati), e come altezza la differenza tra la quota minima di gronda e la quota al piede, secondo quanto disposto nei "Criteri generali di restituzione" (Regione Friuli Venezia Giulia, 1994).

Il modello dell'edificio (indicato come *Ctrn*, vedi Figura 4 a sinistra) è allora costituito semplicemente da uno o più parallelepipedi: per un numero limitato di edifici si potrebbe calcolare il loro volume semplicemente moltiplicando l'area di base per l'altezza. Tuttavia, ponendosi nei panni di un urbanista/pianificatore che richiede per analisi/interrogazioni i volumi di un numero qualsiasi di edifici, si è realizzata un'apposita *routine* in ambiente GIS Geomedia® (Intergraph).

La procedura adottata è la seguente: si selezionano i poligoni di contorno degli edifici interessati e si imposta a ciascuno di essi un codice ID numerico con un'operazione di assegnazione effettuata mediante il software. Con una successiva *query* di inclusione si attribuisce il medesimo ID ai punti contenuti all'interno dell'elemento areale precedentemente codificato.

In questo modo, ad un unico ID corrispondono sia un elemento areale (pianta dell'edificio) sia due punti recanti ciascuno un'informazione di quota (al piede e di gronda). Successivamente si costruisce un *database* in Access che contenga i soli campi che interessano il calcolo del volume, ovvero l'area della pianta e la differenza di quota tra piede e gronda. Moltiplicando i valori contenuti nei due campi per ogni edificio, sono stati così ottenuti automaticamente i volumi dei parallelepipedi corrispondenti agli edifici in istudio. Tuttavia, si possono avere delle difficoltà dovute ad una moltitudine di casi particolari: ad esempio, edifici identificati da un unico elemento areale ma che, presentando divisioni architettoniche, contengono più punti di quota, edifici individuati sulla CTRN da un solo elemento areale e da un'unica quota ma che nel rilievo laser sono stati modellizzati come costituiti da più tronconi aventi diversa quota, ecc.

3.2. A partire da rilievo laser e topografico

Come detto in precedenza, per rendere coerenti le volumetrie a confronto è necessario eliminare dai modelli ricostruiti da dati laser e da misure topografiche la struttura del tetto non ricavabile dalla cartografia numerica. Come regola generale si è scelto di troncare tali modelli in corrispondenza del piano orizzontale passante per il vertice di gronda di quota minima, coerentemente alla definizione di altezza del generico edificio per la CTRN nei “Criteri generali di restituzione” (Reg. FVG, 1994). In base a questa scelta, si è proceduto a calcolare i volumi troncati soltanto dagli effettivi modelli solidi da dati laser (*Mod2* e *Mod15*) e non da quelli tipo superficie interpolante (*S.i.2* e *S.i.15*) per i quali non è ovviamente definibile a priori alcun vertice di gronda.

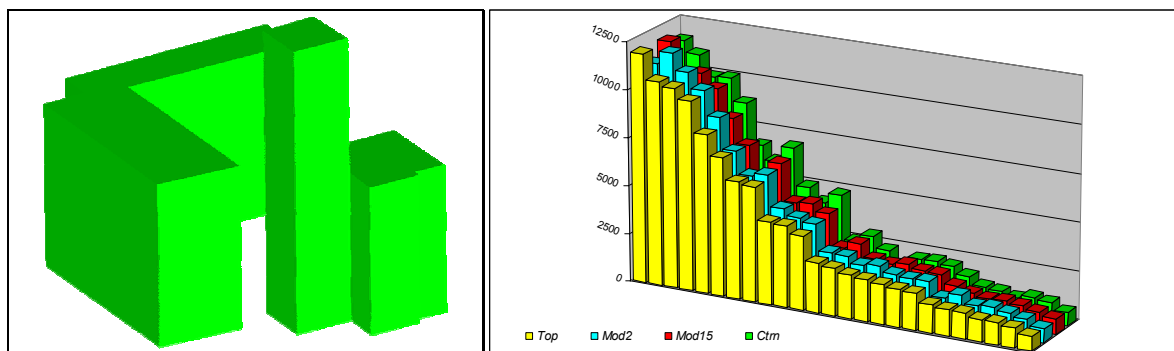


Figura 4 - A sinistra, stesso edificio da fotogrammetria (*Ctrn*); a destra, istogrammi dei volumi troncati.

4. Test statistici di confronto fra i diversi volumi

Per confrontare i risultati ottenuti dal rilievo aereo di volumetrie edilizie, si sono considerati gli stessi 25 edifici analizzati in Crosilla, Beinart, Visintini, Fico e Sossai (2005) e scelti tra i 355 edifici del centro storico di Gorizia. La loro tipologia risulta piuttosto varia e complessa da modellizzare, trattandosi di edifici appartenenti ad un centro storico: spesso infatti le singole costruzioni sono addossate le une alle altre senza soluzioni di continuità o presentano grandi variazioni in altezza che creano zone d’occlusione per il rilievo laser.

A destra in Figura 3 (volumi interi) e in Figura 4 (volumi troncati) sono riportati gli istogrammi dei diversi volumi dei 25 edifici del test (opportunamente riordinati). Di ognuno di essi si hanno a disposizione nove valori: cinque confrontati come volumi interi (*Top* vs *Mod15* vs *Mod2* vs *S.i.15* vs *S.i.2*) e quattro confrontati come volumi troncati (*Top* vs *Mod15* vs *Mod2* vs *Ctrn*). Si noti come, in generale, per ogni edificio il volume ottenuto aumenti da un campione all’altro nello stesso ordine con il quale sono elencati e raffigurati, ovvero per i volumi interi: $Top < Mod15 < Mod2 < S.i.15 < S.i.2$ e, seppur meno evidentemente, per i volumi troncati $Top < Mod15 < Mod2 < Ctrn$.

Per poter valutare adeguatamente la precisione dei volumi ottenuti dai diversi rilievi aerei sono stati eseguiti dei test statistici non parametrici, in modo da verificare l’esistenza o meno di differenze significative tra i campioni dei suddetti volumi e quelli ottenuti dal rilievo topografico di collaudo.

Con un livello di significatività $\alpha = 5\%$, sono stati eseguiti sia il test di Friedman per il confronto tra due o più campioni di volumi, sia il test “del segno” per verificare i risultati ottenuti col test precedente nel confronto a due a due tra i campioni.

Per entrambi i test, il soddisfacimento dell’ipotesi nulla (H_0) equivale all’affermazione di “equivalenza tra le popolazioni di variabili”, mentre il suo rifiuto conduce all’ipotesi alternativa (H_1) di “differenza significativa tra le popolazioni di variabili”. Osservando la Tabella 5 (volumi interi) e la Tabella 6 (volumi troncati), si nota come i test di Friedman condotti su tutti i campioni danno sempre esito negativo (H_1): esiste quindi un campione di volumi significativamente diverso da tutti gli altri e, realisticamente, si tratta del volume topografico più preciso di tutti gli altri. Tolto questo campione dal confronto, si procede in questo modo fino a rimanere con due soli campioni ai quali si applica anche il test del segno. Si noti come in tutti i confronti fra due campioni il test di Friedman dia sempre lo stesso esito del test del segno.

VOLUMI INTERI	TEST	RISULTATO
<i>Top-Mod2-Mod15-S.i.2-S.i.15</i>	FRIEDMAN: H1	Esistono diff.significative tra i volumi ottenuti da laser e i volumi <i>Top</i>
<i>Mod2 v Mod15 v S.i.2 v S.i.15</i>	FRIEDMAN: H1	Esistono diff.significative tra i volumi <i>Mod2</i> , <i>Mod15</i> , <i>S.i.2</i> ed <i>S.i.15</i>
<i>Mod2 vs S.i.2 vs S.i.15</i>	FRIEDMAN: H1	Esistono diff. significative tra il volume <i>Mod2</i> e il volume <i>S.i.2</i> ed <i>S.i.15</i>
<i>S.i.2 vs S.i.15</i>	FRIEDMAN: H0	I volumi <i>S.i.2</i> e <i>S.i.15</i> sono equivalenti
	T. del SEGNO: H0	I volumi <i>S.i.2</i> e <i>S.i.15</i> sono equivalenti
<i>S.i.15 vs Mod15</i>	FRIEDMAN: H1	I volumi <i>S.i.15</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Mod15</i>
	T. del SEGNO: H1	I volumi <i>S.i.15</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Mod15</i>
<i>S.i.2 vs Mod2</i>	FRIEDMAN: H1	I volumi <i>S.i.2</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Mod2</i>
	T. del SEGNO: H1	I volumi <i>S.i.2</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Mod2</i>
<i>S.i.2 vs Top</i>	FRIEDMAN: H1	I volumi <i>S.i.2</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Top</i>
	T. del SEGNO: H1	I volumi <i>S.i.2</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Top</i>
<i>S.i.15 vs Top</i>	FRIEDMAN: H1	I volumi <i>S.i.15</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Top</i>
	T. del SEGNO: H1	I volumi <i>S.i.15</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Top</i>
<i>Mod15 vs Top</i>	FRIEDMAN: H0	I volumi <i>Mod15</i> sono equivalenti ai volumi <i>Top</i>
	T. del SEGNO: H0	I volumi <i>Mod15</i> sono equivalenti ai volumi <i>Top</i>
<i>Mod2 vs Top</i>	FRIEDMAN: H1	I volumi <i>Mod2</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Top</i>
	T. del SEGNO: H1	I volumi <i>Mod2</i> sono significativamente diversi rispetto ai volumi <i>Top</i>

Tabella 5 - Risultati dei test eseguiti sui volumi interi.

VOLUMI TRONCATI	TEST	RISULTATO
<i>Top v Mod2 v Mod15 v Ctrn</i>	FRIEDMAN: H1	Esistono diff.significative tra i volumi ottenuti da dati laser, <i>Ctrn</i> e <i>Top</i>
<i>Mod2 vs Mod15 vs Ctrn</i>	FRIEDMAN: H0	I volumi <i>Mod2</i> e <i>Mod15</i> sono equivalenti ai volumi <i>Ctrn</i>
<i>Top vs Mod15 vs Ctrn</i>	FRIEDMAN: H0	I volumi <i>Ctrn</i> e <i>Mod15</i> sono equivalenti ai volumi <i>Top</i>
<i>Ctrn vs Mod15</i>	FRIEDMAN: H0	I volumi <i>Ctrn</i> e <i>Mod15</i> sono equivalenti tra loro
	T. del SEGNO: H0	I volumi <i>Ctrn</i> e <i>Mod15</i> sono equivalenti tra loro
<i>Ctrn vs Top</i>	FRIEDMAN: H0	I volumi <i>Ctrn</i> sono equivalenti ai volumi <i>Top</i>
	T. del SEGNO: H0	I volumi <i>Ctrn</i> sono equivalenti ai volumi <i>Top</i>
<i>Mod2 vs Ctrn</i>	FRIEDMAN: H0	I volumi <i>Mod2</i> sono equivalenti ai volumi <i>Ctrn</i>
	T. del SEGNO: H0	I volumi <i>Mod2</i> sono equivalenti ai volumi <i>Ctrn</i>
<i>Mod15 vs Top</i>	FRIEDMAN: H0	I volumi <i>Mod15</i> e volumi <i>Top</i> sono equivalenti ai volumi <i>Ctrn</i>
	T. del SEGNO: H0	I volumi <i>Mod15</i> e volumi <i>Top</i> sono equivalenti ai volumi <i>Ctrn</i>
<i>Mod2 vs Top</i>	FRIEDMAN: H1	Esistono diff. significative tra i volumi <i>Mod2</i> e volumi <i>Top</i>
	T. del SEGNO: H1	Esistono diff. significative tra i volumi <i>Mod2</i> e volumi <i>Top</i>

Tabella 6 - Risultati dei test eseguiti sui volumi troncati.

5. Conclusioni

Il risultato più significativo che emerge dal confronto fra le diverse volumetrie edilizie rilevabili è senza dubbio l'equivalenza che sussiste tra i volumi *Mod15* e *Top*. La tecnica laserscanning aerea, quindi permette di raggiungere un livello di precisione confrontabile con quello topografico se la densità di acquisizione è elevata. I volumi *S.i.15* e *S.i.2* calcolati come differenza DEM-DTM invece risultano significativamente diversi sia rispetto ai volumi ricavati da modellazione laser che dai dati topografici, quindi non possono essere usati ricavare volumetrie precise. Nel caso in cui però la precisione volumetrica non sia l'obiettivo finale e si voglia conoscere la volumetria dell'edificio solo approssimativamente, allora un rilievo laser ad alta densità risulta superfluo, dal momento che dà risultati volumetrici equivalenti a quelli che forniti da un rilievo a bassa densità.

Bibliografia

- Crosilla F., Beinat A., Visintini D., Fico B., Sossai E. (2005), "Likelihood and accuracy analyses of 3D building models from airborne laser data", *Proceedings of the Italy-Canada Workshop 2005*".
- Crosilla F., Visintini D., Fico B. (2004), "Classificazione e modellazione solida dell'edificio urbano da rilievo laser aereo: prime applicazioni alla città di Gorizia", *Atti dell'VIII Conferenza Nazionale ASITA*, Roma, 1, 931-936
- Crosilla F., Visintini D., Prearo G., Fico B. (2005), "Esperienze di filtraggio, classificazione, segmentazione e modellazione di dati spaziali da rilievo laser aereo", *Bollettino della SIFET*, 1, 13-51.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione regionale della Pianificazione Territoriale (1994), *Carta Tecnica Regionale Numerica, Allegato 3: Criteri generali di restituzione*, Trieste.