

Procedure semiautomatiche in ambiente GIS per analisi di supporto alle verifiche di conformità di dati LiDAR aviotrasportati

Maurizio De Gennaro (1), Alessandra Amoroso (1), Mauro Bettella (1), Delio Brentan (1), Monica Cestaro (1), Christian Peloso (2), Guglielmo Pristeri (1), Umberto Trivelloni (1)

(1) Regione del Veneto – Area Tutela e Sviluppo del Territorio, Tel. 0412792577 Fax 0412792108

(2) Helica srl - info@helica.it Tel 0433 94286 Fax 0433 469348

Riassunto

Il territorio della Regione del Veneto è per oltre l'80% interessato da rilievi LiDAR aviotrasportati eseguiti nel corso degli ultimi 10 anni da diversi soggetti pubblici; si tratta di una mole rilevante di dati che presentano un elevato grado di compatibilità pur essendo stati acquisiti in tempi e con sensori diversi. Le attività di produzione sono tuttora in corso con l'obiettivo di completare il rilievo con una densità media non inferiore a 1,5 punti per m².

Come noto i modelli altimetrici derivati da rilievi LiDAR sono molto complessi da collaudare, soprattutto a causa dell'impossibilità di localizzare con precisione il punto al suolo da cui si registra il segnale di ritorno; emerge quindi la necessità di individuare soluzioni utili sia per l'armonizzazione di dati parzialmente disomogenei sia per supportare le verifiche di conformità.

Per superare le difficoltà prima evidenziate si sono elaborate alcune metodologie di controllo semiautomatiche basate su diversi sw GIS, in questo specifico caso QGIS, che sfruttano la possibilità di eseguire verifiche comparative su vaste scale; in altre parole si procede al confronto tra modelli altimetrici diversi, derivati da rilievi LiDAR o da produzioni cartografiche aerofotogrammetriche. Naturalmente le metodologie in questione non prescindono mai da tarature e verifiche ottenute mediante il riscontro fornito da campagne di misure topografiche.

La condivisione delle procedure attuate con l'Impresa Helica s.r.l. di Amaro (UD), che ha realizzato parte dei più recenti rilievi nel Veneto, ha consentito di capitalizzare anche l'esperienza operativa del produttore, specialmente per quanto concerne gli aspetti legati ai controlli di qualità tanto per le fasi di acquisizione dei dati grezzi quanto per le successive elaborazioni per la produzione di DSM e DTM.

I risultati ottenuti evidenziano buone corrispondenze tra i dati generati da due diversi rilievi LiDAR; si sono inoltre evidenziate informazioni molto utili al fine di valutare l'eventuale presenza di distribuzioni sistematiche di errore anche su aree vaste con la possibilità di stabilire correlazioni ben definite tra classi discrete di precisioni dei DTM e le diverse tipologie di copertura del suolo ricavate dalle relative carte tematiche.

Abstract

Digital elevation models from LiDAR observations are very complex to be tested. This is principally due to the impossibility to accurately position the ground point from which the signal is reflected back. For this it is necessary to find solutions for data harmonization and compliance checks.

Some semi-automatic control methods based on different GIS software, in this case QGIS, were processed in order to overcome the difficulties above mentioned. GIS software allow to make comparative tests on large scales. In other words, different elevation models derived from LIDAR

observations or production of digital cartography based on aerophotogrammetric data. Evidently the methods here considered need to be calibrated and proved against topographic surveys.

The results obtained from two different LIDAR datasets are comparable, showing a good correspondence. They are very useful in order to assess if systematic errors are present on large areas. Moreover, it is possible to define clear correlations between DTM discrete precision classes and different land cover categories derived from the related thematic maps.

Il rilievo LiDAR aviotrasportato, stato di fatto nel Veneto

Il territorio della Regione del Veneto è in gran parte interessato da rilievi LiDAR che raggiungono una copertura di circa 1.500.000 ha per una percentuale che supera l'80% del totale; una parte dei dati disponibili sono stati prodotti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nel quadro del Piano Straordinario di Telerilevamento, mentre altri dati sono stati rilevati dalla Regione del Veneto spesso in collaborazione con altre realtà del territorio.

I rilievi hanno caratteristiche del tutto compatibili nella maggior parte dei casi. Si tratta infatti di dataset che hanno frequenza non inferiore a 1,5 punti per metro quadrato e si appoggiano al modello di geoida rilasciato dall'Istituto Geografico Militare e denominato ITALGEO 2005; anche le metodologie di rilievo rispondono a quanto stabilito dal Capitolo del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e da quelli elaborati dalla Regione del Veneto.

Nel corso degli anni sono poi aumentati i casi di rilievi eseguiti su piccole aree di particolare interesse perché colpite da fenomeni gravitativi pericolosi o da eventi alluvionali; in queste situazioni è spesso più elevata la frequenza di punti rilevati per metro quadrato arrivando in taluni casi ad un valore medio pari a 10.

Collaudo dei rilievi LiDAR, metodi e problematiche

Da tempo è nota la problematica del collaudo dei dati LiDAR che risulta complesso a causa non soltanto dell'elevatissima quantità di valori altimetrici e planimetrici che i modelli digitali del terreno contengono, ma anche per l'impossibilità di trovare un elemento sicuro e materializzato al suolo da utilizzare come riferimento oggettivo inquadrato nelle reti geodetiche ufficiali. In altre parole non è sufficiente ricorrere ad esempio ad una comparazione altimetrica con punti noti (vertici GNSS, capisaldi etc) poiché la dispersione del raggio laser al suolo da luogo ad un margine di indeterminatezza del dato restituito rispetto alla corrispondente posizione del marker. Ciò è aggravato dal fatto che sovente i punti noti sono collocati in posizioni sfavorevoli allo scopo, seminasconditi da costruzioni nel caso dei capisaldi oppure collocati su pilastri o altri manufatti nel caso dei vertici misurati con tecniche di posizionamento satellitare.

La situazione si presenta ancora più ostile nel caso delle aree densamente boscate dove di fatto è impossibile procedere a misure di controllo a terra con ricevitori GNSS.

Il ricorso a campagne di misura eseguite dopo il volo risulta in tutti i casi assolutamente necessario, tuttavia, pur essendo possibile eseguire rilievi di carattere speditivo in considerazione delle tolleranze in gioco, si possono comunque verificare quantità percentualmente molto modeste rispetto all'intero set di dati. Si rende dunque necessario procedere all'integrazione tra metodologie differenti, anche ricorrendo a procedure di comparazione tra dati con origini diverse e ad analisi statistiche che consentano valutazioni di merito relative ad aree vaste.

Dati utilizzati per lo studio

Al fine di valutare la conformità dei dati e di evidenziare elementi metodologici per l'armonizzazione di dataset diversi, è stato eseguito un confronto altimetrico tra i DTM che interessano una parte della Valle del Bòite in Provincia di Belluno. I DTM derivano dal rilievo eseguito nel 2015 dalla Regione Veneto e dal volo del 2010 realizzato dal MATTM. Il rilievo più recente è stato eseguito con 10 punti per metro quadrato mentre il precedente con 1,5 punti per metro quadrato.

Il collaudo del rilievo del 2010 è stato eseguito dall'Istituto Geografico Militare, mentre quello del 2015 da un gruppo di lavoro composto da tecnici della Regione del Veneto che ha eseguito i controlli indicati dal Capitolato Tecnico Prestazionale relativamente alle fasi di acquisizione (GNSS, sensore etc) e produzione del dato (elaborazione e produzione di modelli digitali) oltre al rilievo speditivo in campagna con ricevitori GNSS ed elaborazioni in post processing basate sui dati rilasciati dalla Rete di Stazioni GPS Veneto.

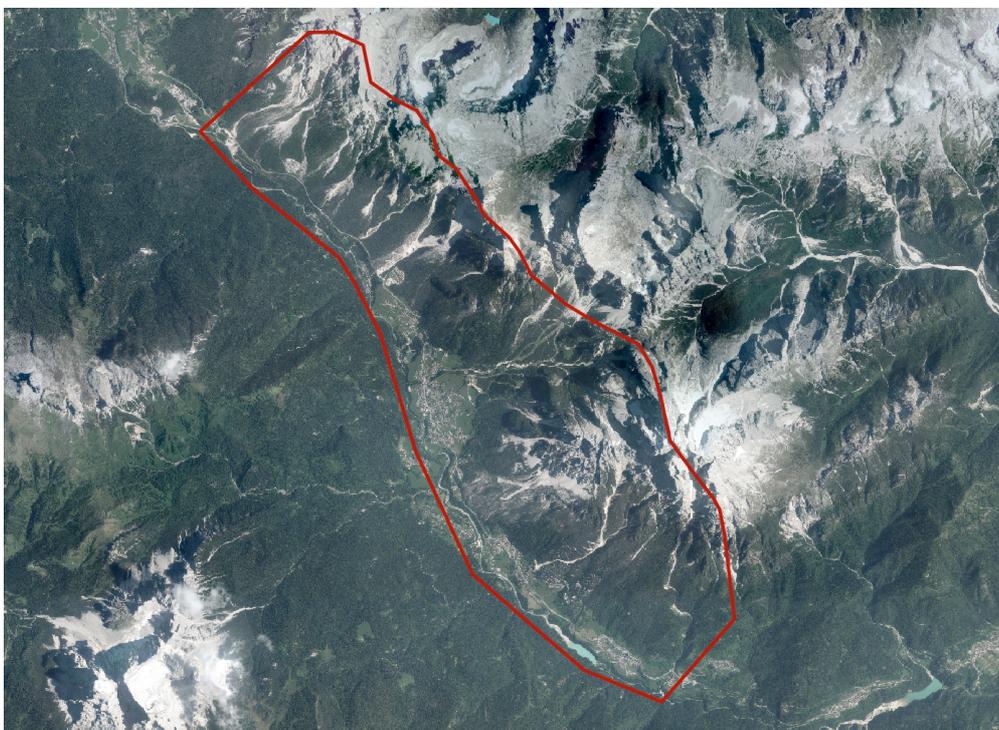


Figura 1 – Area di studio con superficie pari a 4.284 ha (Ortofoto Agea 2012)

Il collaudo in campagna del rilievo del 2015

La campagna di misure per la verifica di conformità dei modelli altimetrici prodotti dal rilievo LiDAR si è sviluppata in diverse aree di indagine opportunamente distribuite sul territorio interessato dal rilievo.

Complessivamente sono stati misurati 131 punti in 7 diverse zone nelle quali si è proceduto all'individuazione preventiva e alla misurazione GNSS di punti geodetici di riferimento preesistenti costituiti prevalentemente da vertici della rete planimetrica di raffittimento della Regione del Veneto (VTR) e, in seconda battuta, da capisaldi della Rete Altimetrica Nazionale o da capisaldi prodotti da raffittimenti della medesima.

Le misure sono state eseguite prevalentemente su superfici stradali non solo per testare la validità del rilievo nelle condizioni di minor disturbo, ma anche a causa della difficoltà di disporre di un'efficace ricezione satellitare nelle zone boschive che rappresentano la copertura prevalente del suolo; va aggiunto che anche lungo la SS 51, principale asse viario sviluppato lungo il fondovalle, si presentano numerosi tratti nei quali non risulta possibile eseguire misure di adeguata precisione, sempre in virtù della scarsa qualità del segnale dovuta alla conformazione orografica della valle del Bòite o alla presenza di aree ad elevata densità edificatoria.

Nelle diverse zone l'andamento delle differenze riscontrate tra i valori di quota rilevati con misure di campagna e quelli derivati dal DTM LiDAR si rivela ampiamente soddisfacente; in particolare si evidenziano scarti quasi sempre inferiori ai 10 cm in valore assoluto e nell'80% dei casi addirittura inferiori ai 5 cm. Soltanto nella zona n° 6 emergono differenze più marcate, mediamente intorno ai 15 cm, da cui risulta che il modello derivato dal LiDAR presenta quote leggermente più elevate di quelle misurate; si tratta di un riscontro atteso in ragione della presenza

di copertura vegetale e dell'acclività sostenuta che presenta la superficie utilizzata come campione (si tratta del tratto finale di una pista da sci).

Infine si sottolinea l'assenza di qualunque evidenza di variazioni con tendenze sistematiche che induce ad escludere la presenza di discontinuità tra strisciate dovute a disturbi nel corso del rilievo da aeromobile o ad anomalie nel trattamento dei dati.

L'analisi complessiva rivela quindi una sostanziale aderenza tra l'andamento del terreno descritto dal DTM del LiDAR e quello che le misure di campagna hanno complessivamente restituito, con una media delle differenze tra le quote del DTM e quelle misurate a terra pari a 0,02 m.

Confronto tra DTM del 2015 e DTM del 2010

Dopo le operazioni di collaudo in campagna si è proceduto ad eseguire un confronto tra i valori altimetrici dei due modelli presi in esame; tutte le procedure si sono svolte interamente in ambiente QGIS - versione 2.14.4 - nel sistema di riferimento RDN2008/TM32 (EPSG 6707).

Il processo si è articolato nelle seguenti fasi:

Mosaicatura: le porzioni di DTM del rilievo 2015 corrispondenti all'area prescelta sono state accostate e unite tra di loro in un unico file raster; lo stesso è stato fatto per le loro analoghe prodotte dal rilievo 2010 del MATTM. I raster sono poi stati ritagliati su un poligono corrispondente al territorio interessato dal rilievo più recente.

Calcolo differenze di quota: i due DTM, ora entrambi consistenti in file raster con passo di 1 m/pixel, sono stati processati con il calcolatore raster di QGIS; in particolare è stata calcolata la differenza tra il DTM 2015 e quello 2010. Il risultato è stato un raster di area uguale ai primi due avente come valori nelle celle le differenze di quota tra i DTM.

Appare evidente come, in un'analisi di questo tipo, il risultato sia tanto più apprezzabile quanto, a meno di movimenti del terreno intercorsi nell'intervallo tra i due rilievi, i valori si avvicinano allo zero: ciò è indice di buona coincidenza tra le misure.

Classi di frequenza: la mappa delle differenze non filtrata è stata suddivisa in classi delimitate da valori interi, positivi e negativi, e sono state riportate le relative frequenze; avendo riscontrato un'altissima concentrazione di punti in un intervallo prossimo allo zero, si sono calcolate le frequenze dei valori entro i primi cinque metri a destra e a sinistra dello zero, a intervalli di un metro.

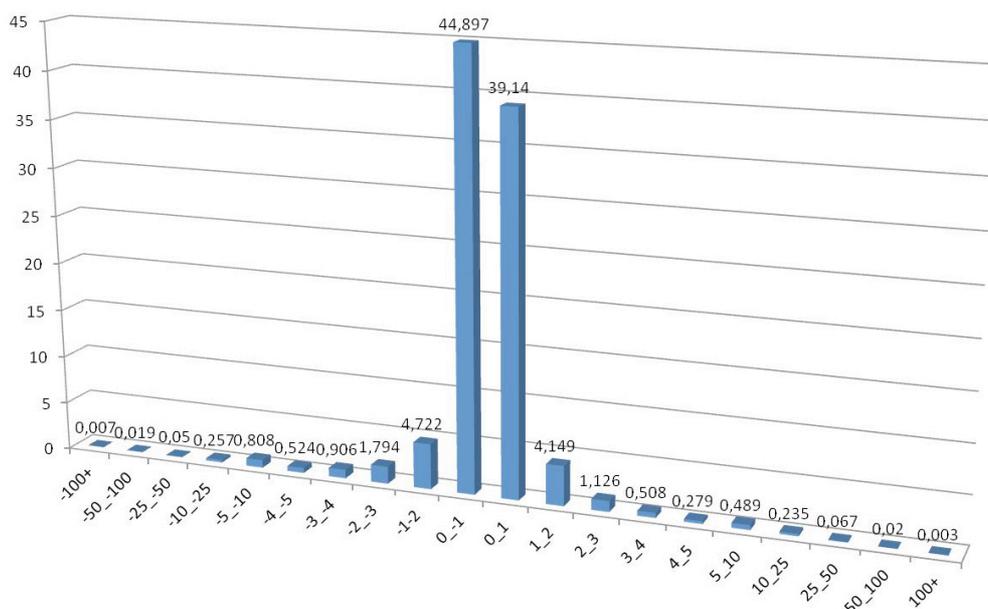


Figura 2 – Distribuzione delle differenze di quota calcolate

Dalle distribuzioni di frequenza del grafico si nota che le differenze si concentrano nel range tra -1 metro e +1 metro (l'84%). La percentuale più alta di tutte le frequenze riguarda la fascia tra 0 e -1 metro. Qui sono state prese in considerazione tutti i valori del DTM, senza classificare il territorio per classi di pendenza o in base alla copertura del suolo.

Complessivamente gli esiti del calcolo *quota DTM 2015 – quota DTM 2010* sono i seguenti:

media	mediana	dev. std	n. punti
-0,081	-0,043	1,691	51.826.782

Esclusione di aree non adatte: in via preliminare alle elaborazioni statistiche si sono individuate alcune aree da escludere dai calcoli o da elaborare a parte. Sono stati esclusi i corsi d'acqua in quanto i rilievi LiDAR sono notoriamente inaffidabili su queste superfici che, peraltro, possono facilmente variare di quota tra un rilievo e l'altro. Allo stesso modo le aree di scivolamento e di accumulo del terreno, conseguenza dei fenomeni franosi degli ultimi anni, sono state preventivamente selezionate in modo da escluderle dal calcolo delle statistiche globali ed elaborate separatamente, per distinguere concettualmente le differenze dovute a difformità tra i due rilievi e quelle causate da spostamenti del terreno.

Statistiche copertura suolo: sono state calcolate in base alla carta della copertura del suolo prodotta dalla Regione del Veneto dalle ortofoto del 2012.

Dal calcolo sono state escluse le aree urbane e affini, poiché il processo di estrazione di un DTM da un DSM comporta un'interpolazione di dati sul terreno ricoperto dagli edifici e quindi non fornisce un valore affidabile nelle aree costruite. Sono inoltre state accorpate alcune categorie che prese a sé stanti avrebbero avuto un'estensione e dunque un numero di punti da computare poco significativo. Nello specifico sono state unite in una classe strade e aree sportive e in un'altra pascoli, lande, ghiaioni e rocce.

Le medie sono prossime allo zero eccetto che per l'area accorpata in alta quota, pascoli, lande, ghiaioni e rocce, sia perché potenzialmente interessati a loro volta da perdite di terreno a causa dell'instabilità del versante sia per problemi di affidabilità del rilievo a quote e pendenze elevate.

classe suolo	media	mediana	dev. std	n. punti
strade e sport	-0,027	-0,094	0,449	486097
prati	-0,036	-0,069	0,283	3442645
conifere	0,050	0,007	0,708	24425376
p/l/g/r	-0,254	-0,096	2,505	19931072



Figura 3 – Carta di copertura suolo e classi di pendenza

Classi di pendenza e statistiche relative: avendo ipotizzato una correlazione tra pendenza del terreno e ridotta accuratezza delle misure, la mappatura delle differenze di quota è stata divisa mediante il calcolatore raster in sei classi di pendenza tra 0° e 90°.

Questo processo si è articolato in tre fasi: prima dal DTM del 2015 è stato prodotto il raster con i valori delle pendenze; poi da quest'ultimo sono stati creati sei raster binari corrispondenti alle classi di pendenza scelte (0°-15°, 15°-30°...). Infine il raster delle differenze è stato diviso per ognuna di queste classi, ottenendo come risultato sei aree con i valori della differenza di quota per ogni intervallo di pendenza.

Sulle aree così ricavate si sono calcolate le statistiche base che confermano l'ipotesi di un'accuratezza del dato inversamente proporzionale alla pendenza come testimoniato dall'aumento della deviazione standard per classi di pendenza crescenti.

pendenza (°)	media	mediana	dev. std	n. punti
0-15	-0,079	-0,085	0,422	9969874
15-30	-0,062	0,003	0,790	15399970
30-45	-0,153	-0,014	1,226	15852344
45-60	-0,100	-0,022	1,770	5158320
60-75	0,176	0,177	2,944	2995373
75-90	0,748	0,573	6,877	1077862

Considerazioni statistiche

La consistenza del metodo è stata rafforzata da alcune considerazioni statistiche in particolare in riferimento all'indice di variabilità che garantisce il livello di affidabilità dei valori di media e mediana calcolati per l'intera area o per le diverse classi di copertura suolo o di pendenza.

Come indice di variabilità è stato considerato il campo di variazione, la differenza tra il valore massimo e il valore minimo rilevato di ciascun raggruppamento di dati. Ad esempio se consideriamo le classi di copertura suolo riscontriamo un valore che si aggira mediamente intorno ai 20 metri, mentre per la classe comprendente pascoli, lande, ghiaioni e rocce il dato presenta valori molto elevati, segno che molti outlier sono presenti in queste classi. In questi casi si è quindi deciso di prendere in considerazione solo differenze con valore assoluto entro i 25 metri considerando i valori più elevati come meri errori di misurazione.

Un altro indice di variabilità rilevato è la deviazione standard, più alto è il valore e più grande è la dispersione dei dati. Le classi con maggiore variabilità, come previsto, sono in primis la classe pascoli/lande/ghiaioni/rocce, questo per la naturale conformazione del terreno e quindi la difficoltà a rilevare correttamente la quota. Una deviazione standard bassa, come quella rilevata per le classi strade e prati, significa una vicinanza dei dati al valore medio rilevato e ciò è confermato anche dalla morfologia del territorio e dalla più efficace rilevazione dell'altezza.

In riferimento alla distribuzione dei dati delle categorie si può ritenere che tale distribuzione non è simmetrica per nessuna delle classi considerate. Infatti per ciascuna moda, media e mediana non coincidono. Per rilevare se l'asimmetria è di tipo negativo o positivo è stato calcolato il secondo coefficiente di asimmetria di Pearson.

Confronto DTM 2015 - DTM da CTRN

Al fine di approfondire la questione e valutare la corrispondenza tra DTM eseguiti in epoche diverse e con processi di produzione molto differenti, si è operato anche un confronto tra il DTM del 2015 e l'analogo prodotto realizzato nel 2004 partendo dai dati altimetrici della Carta Tecnica Regionale Numerica alle scale 1:5000 e 1:10000.

Si sono nuovamente applicate quindi le procedure di mosaicatura, riproiezione e ritaglio già descritte in precedenza. La differenza sostanziale, in termini di calcolo, è stata la diversa dimensione del pixel dei DTM da CTRN che presentano un lato pari a 5 metri: questo ha

comportato il ricampionamento del DTM 2015 per uniformarlo all'altro, introducendo perciò un'ulteriore interpolazione dei dati.

Le statistiche calcolate a livello globale sulla nuova distribuzione delle differenze di quota presentano una media significativamente scostata rispetto allo zero (40 cm circa) e una deviazione standard decisamente elevata, 5 volte più alta di quella registrata nel confronto tra modelli derivati da LiDAR.

Ulteriori elaborazioni: a corredo dello studio

Sono state prodotte alcune altre elaborazioni, principalmente a livello grafico, per evidenziare i tratti fisici dell'area e i cambiamenti che li hanno interessati:

- si è determinata la localizzazione delle aree soggette a fenomeni di scorrimento detritico con la chiara distinzione delle zone con perdita di materiale e quelle con accumulo;
- si è eseguito un confronto tra il DTM del 2015 e il DSM first pulse dallo stesso volo, in corrispondenza dell'abitato di San Vito di Cadore, per mettere in risalto gli edifici e la vegetazione, successivamente si è sovrapposta la classe degli edifici ricavata dalla CTRN vettoriale con ottimi risultati di coincidenza in termini di accuratezza e con la chiara evidenziazione delle variazioni nell'edificato;
- si sono estratte le curve di livello dal DTM del 2015 per poi confrontarle con quelle della CTRN: le isoipse riferite al dato del 2015 risultano più dettagliate, soprattutto presso le aree vegetate.
-

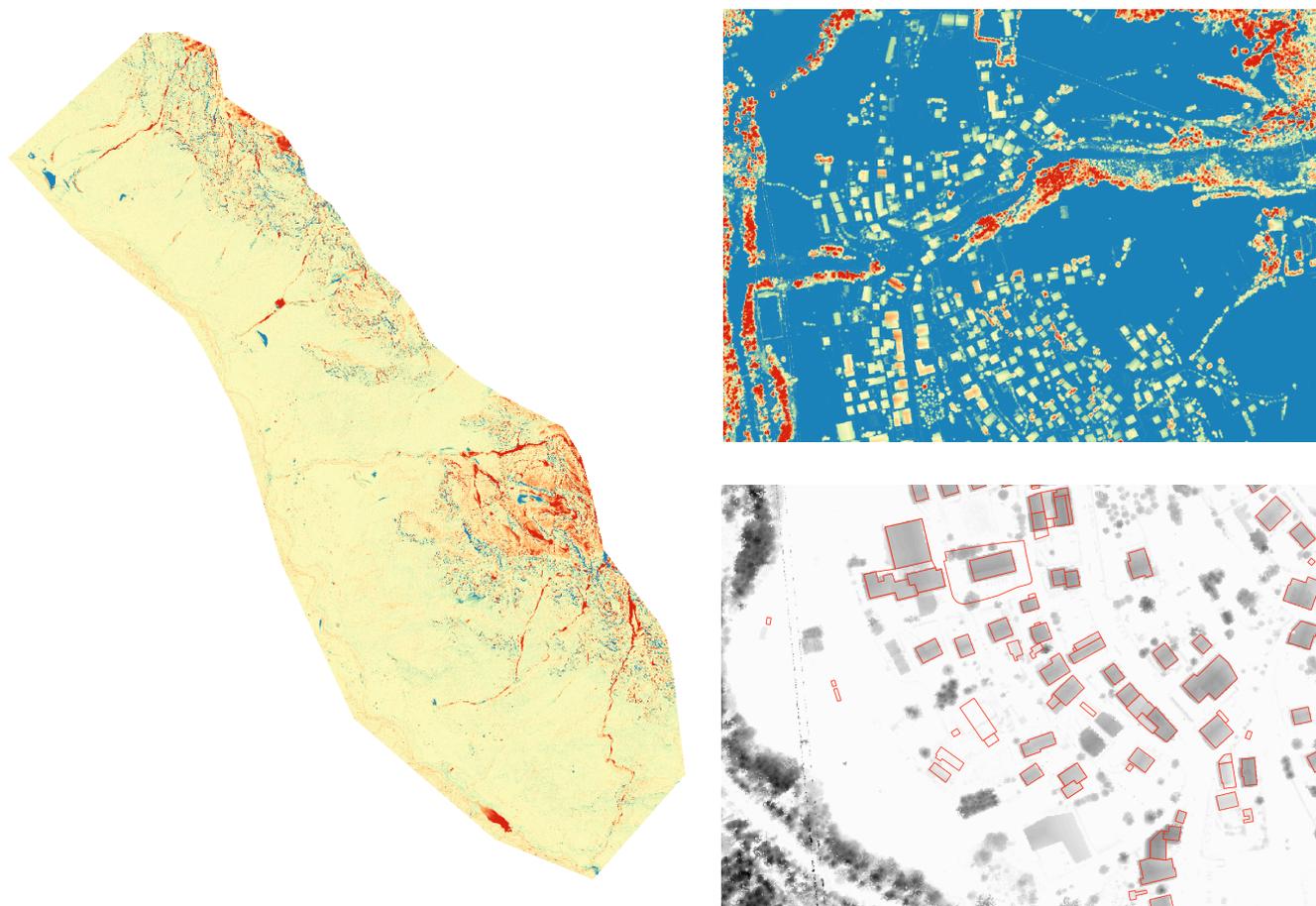


Figura 4 – Esempi di elaborazioni eseguite

Conclusioni

Le elaborazioni e le analisi eseguite hanno fornito risultati interessanti nella prospettiva di replicare procedure simili in altre situazioni, tenendo anche presente che in caso di territori pianeggianti la metodologia può senz'altro fornire esiti ancora più soddisfacenti.

In ogni caso l'integrazione delle misure rilevate in campagna con l'analisi delle differenze di quota tra i due modelli costituisce una strada facilmente percorribile, sia per la valutazione di nuovi rilievi sia per la verifica di coerenza al riattacco tra lotti diversi. Le analisi evidenziano come alcune classi di copertura del suolo, come ad esempio le strade, siano preferibili per la maggior consistenza nella distribuzione dei valori e quindi possano essere utilizzate in prima battuta per operazioni di collaudo e verifica.

Sono tuttavia emerse altre interessanti informazioni non completamente prevedibili a priori; se infatti da un lato è facilmente spiegabile la maggior dispersione dei valori ad alte quote ed elevate pendenze, per note ragioni legate alla direzione del laser e alla creazione di coni d'ombra, sorprende in una certa misura la coerenza registrata tra i due modelli nelle zone coperte da conifere. Dal dato in questione si deduce una buona capacità di penetrazione del LiDAR al di sotto delle chiome degli alberi, altrimenti non si spiegherebbero valori di differenza e di deviazione così modesti in presenza di due rilievi eseguiti con strumentazioni distinte e, soprattutto, con frequenze di rilievo diverse tra loro quasi per un ordine di grandezza.

I confronti tra dati LiDAR e dati altimetrici da CTRN non consentono invece conclusioni altrettanto lusinghiere e si possono prendere in considerazione soltanto in assenza di dati migliori e per valutazioni di carattere qualitativo.

In generale la metodologia si presta all'applicazione anche in aree molto più vaste dove si enfatizza l'intrinseca proprietà di poter valutare per intero i modelli digitali che si compongono di milioni di dati e che, di conseguenza, non possono essere validati dalle sole misure in campo.

Bibliografia

AA.VV. - Progetto HELI-DEM, Work Package 6: validazione esterna e georeferenziazione del DEM. Relazione tecnico-scientifica conclusiva, 2013

Biagi L., Carcano L., De Agostino M. - DTM cross-validation and merging: problems and solutions for a case study within the HELI-DEM project, XXII ISPRS Congress, 2012

Cima V., Fondelli M., Rumor M., De Gennaro M., Zampieri A., Trivelloni U. - La redazione di un capitolato speciale d'appalto per le riprese LiDAR, XVI Conferenza Nazionale ASITA, 2012

Dequal S., Cilloccu F., Brovelli M., Crespi M., Lingua A. - Ortoimmagini 1:10.000 e modelli altimetrici. Linee Guida. C.I.S.I.S. - Centro Interregionale per i Sistemi informatici, geografici e statistici. Roma, 2009

Fondelli M., Gasperi M., Floris A. - Analisi qualitativa del dato LiDAR nell'informazione territoriale ad alta risoluzione, XIV Conferenza Nazionale ASITA, 2010

Shan J., Toth C. K. - Topographic Laser Ranging and Scanning. Principles and Processing. CRC Press. London, 2009

Surace L., Camiciottoli F., Redini M. - Tecnologia laser - scanning e rischio idraulico. Provincia di Arezzo - Servizio Difesa del Suolo. Pacini Editore Spa, 2005

U.S.G.S. - Lidar Base Specification, 2014

Zampieri A., Trivelloni U., Truco D. - La conoscenza plano altimetrica del territorio attraverso il LiDAR per l'implementazione dei DB geotopografici e il monitoraggio del territorio, XVII Conferenza Nazionale ASITA, 2013