

## **Metodologia operativa per l'analisi della densità dei segnali di un rilievo LiDAR aviotrasportato**

Mauro Bettella <sup>(a)</sup>, Alessandra Amoroso <sup>(a)</sup>, Umberto Trivelloni <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Regione del Veneto – Area Tutela e Sviluppo del Territorio tel 0412792483  
fax 0412792108 mail umberto.trivelloni@regione.veneto.it

### **Riassunto**

Nel corso degli ultimi dieci anni diverse strutture della Regione del Veneto hanno commissionato numerosi rilievi con sensori LiDAR aviotrasportati che, se eseguiti su aree ridotte per particolari approfondimenti, presentano elevate densità di punti al suolo. In generale si tratta di situazioni territoriali soggette a fenomeni di dissesto, come nel caso del bacino del torrente Bigontina nei pressi di Cortina d'Ampezzo (BL) che costituisce l'oggetto del rilievo utilizzato in questo studio.

La Regione ha già sviluppato e testato negli ultimi anni diverse metodologie per rendere più completo e affidabile il collaudo dei modelli altimetrici derivati da rilievi LiDAR, integrando le classiche operazioni di misura in campagna con ricevitore GNSS; nel caso in oggetto si pone particolare attenzione alla determinazione precisa della reale distribuzione della densità di impulsi per m<sup>2</sup> per verificare la sussistenza della condizione prevista dal capitolato che pone un valore pari a 10 punti per m<sup>2</sup>.

I risultati dello studio forniscono interessanti spunti per successivi approfondimenti, ma consegnano immediati riscontri oggettivi da cui trarre indicazioni per integrazioni e modifiche nei capitolati tecnici relativi ai rilievi LiDAR eseguiti in territorio montano.

### **Area del rilievo**

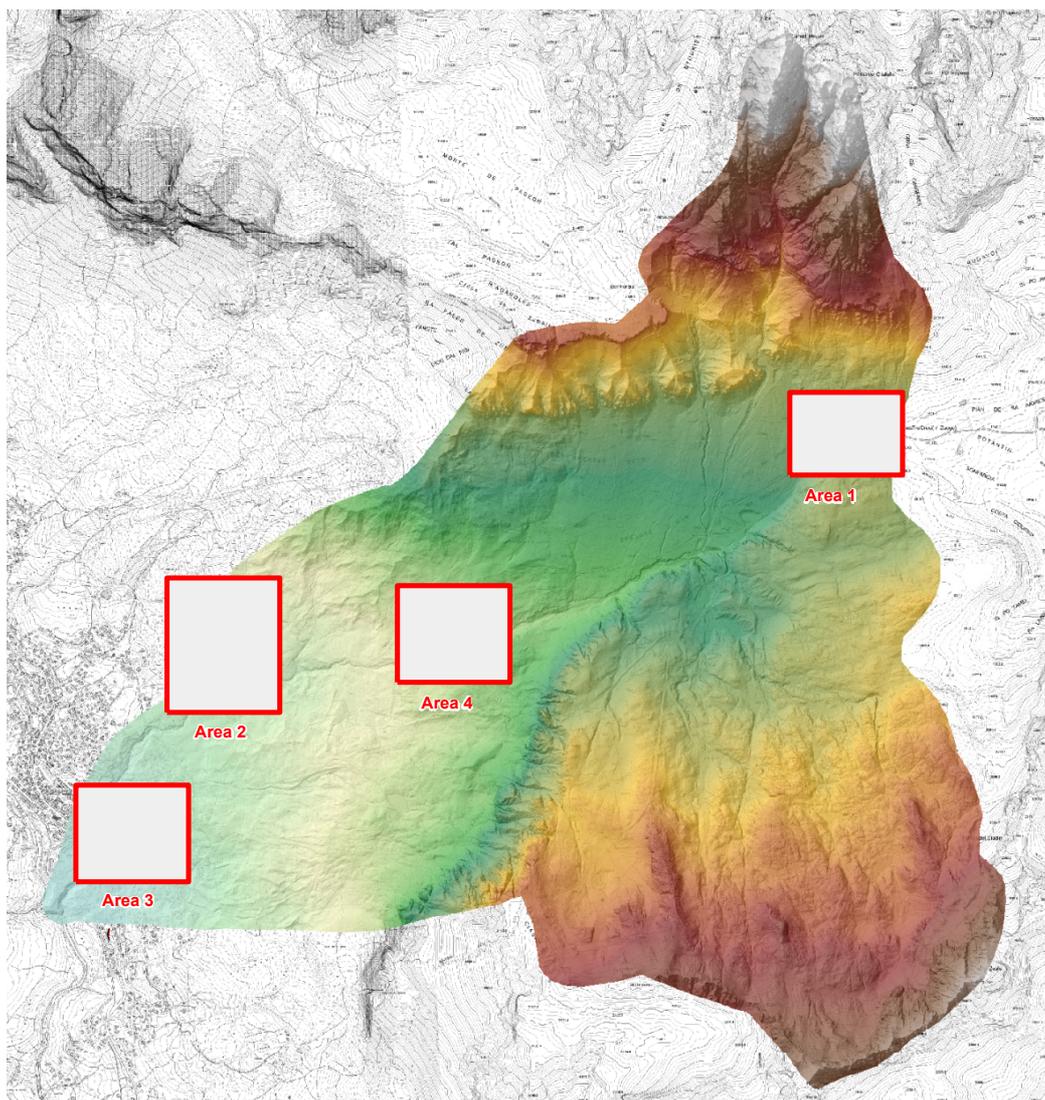
Nell'agosto del 2017 si è verificato nel territorio del Comune di Cortina d'Ampezzo (Belluno) un evento alluvionale dovuto ad intense e localizzate precipitazioni; l'episodio ha colpito in particolare la località Alverà e si è manifestato attraverso fenomeni di violento trasporto solido anche di massi di considerevoli dimensioni. Oltre ai danni materiali agli edifici e al sistema viario l'evento alluvionale ha causato una vittima.

A seguito della calamità sono state attivate diverse misure di intervento comprese azioni di studio del territorio; tra queste l'esecuzione di un rilievo LiDAR aviotrasportato con densità di impulsi al suolo pari a 10 punti per m<sup>2</sup>. Il servizio è stato progettato e appaltato dalla Unità Organizzativa Genio Civile di Belluno della Regione del Veneto ed è stato eseguito dall'Impresa Helica s.r.l. di Amaro (Udine).

Il rilievo ha interessato un'area di 1.600 ettari corrispondente al bacino del torrente Bigontina che confluisce da sinistra nel fiume Bòite in corrispondenza dell'abitato di Cortina d'Ampezzo; le quote variano dai 1.190 metri nel fondovalle ai 3.272 metri del M.Cristallo.

### Misure di collaudo in campagna

Successivamente alla conclusione del servizio e alla consegna degli elaborati, è stata eseguita una verifica di conformità in osservanza a quanto prescritto dal Capitolato Tecnico Prestazionale; in particolare i tecnici della Regione hanno eseguito alcune misure con strumentazione GNSS al fine di comparare in altimetria e planimetria i valori misurati con quelli derivati dai modelli digitali del terreno e della superficie ricavati dal LiDAR.



*Fig. 1 Area oggetto del rilievo e distribuzione delle zone di misura*

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.

Le misure eseguite hanno complessivamente riguardato 103 punti di stazionamento, si deve però osservare che si tratta in tutti i casi di rilievi speditivi, sia per la durata della misura sia per la presenza di elementi

morfologici del suolo che recano disturbo all'accuratezza del confronto tra dato misurato e dato prodotto dal modello; basti pensare a questo proposito alla presenza di marciapiedi o muretti in prossimità al ciglio delle strade.

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 sempre inferiori ai 10 cm in valore assoluto e nell'81% dei casi addirittura inferiori ai 5 cm.

Infine si sottolinea l'assenza di qualunque evidenza di variazioni 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; in conclusione si può senz'altro affermare che la qualità del dato consegnato è pienamente congruente a quanto prescritto dal Capitolato Tecnico Prestazionale in termini di accuratezze accettabili tanto in altimetria quanto in planimetria.

### **Analisi della densità dei segnali**

Come ampiamente noto, le misure puntuali ottenute speditivamente in campagna non sono sufficienti a determinare l'effettiva qualità dei DTM e dei DSM in ragione dell'elevatissimo numero di segnali che questo tipo di rilievi forniscono; in questo frangente si è perciò ritenuto opportuno esplorare, in modalità semiautomatica, la distribuzione dei segnali al suolo.

Un'analisi di questo tipo consente da un lato di valutare in modo del tutto oggettivo l'accettabilità dei prodotti rispetto a quanto prescritto nel Capitolato Tecnico Prestazionale e dall'altro di trarre importanti informazioni sulla qualità della modellazione altimetrica di un territorio orograficamente molto articolato.

### **Procedure eseguite**

Nella prima fase sono stati elaborati e mosaicati i file .LAS derivanti dalle 20 strisciate di cui si compone il volo; più precisamente il dato originariamente fornito nell'equivalente formato compresso .LAZ (5,5 GB) è stato suddiviso in 651 tile con lato di 200 metri (31 GB) per consentirne una agevole lettura con software open ed in virtù delle particolarità del file LAZ prodotto con LasTools.

Il successivo trattamento, eseguito con software ArcGIS della ESRI, ha prodotto un set di dati in continuo, formato da 1.173.638.736 punti classificati in Ground e Overground.

La funzione LAS Dataset Statistics è uno strumento di geoprocessing di ArcGIS che fornisce come risultato un'analisi numerica dei contenuti delle singole tile caricate nel dataset quali: numero di punti, percentuale, Z\_Min, Z\_Max per ciascuna classe di ritorno.

File_Name	Item	Category	Pt_Cnt	Percent	Z_Min	Z_Max	Intensity_Min	Intensity_Max	Synthetic_Pt_Cnt	Range_Min	Range_Max
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	First	Returns	698804	79,37	1220,71	1333,46					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Second	Returns	104665	11,89	1220,75	1329,47					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Third	Returns	47527	5,4	1221,01	1318					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Fourth	Returns	20738	2,36	1222,79	1317,05					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Fifth	Returns	6739	0,77	1222,85	1272,56					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Sixth	Returns	1606	0,18	1223,17	1270,62					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Seventh	Returns	365	0,04	1223,39	1268,67					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Last	Returns	698367	79,32	1220,71	1331,92					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Single	Returns	593717	67,43	1220,71	1331,92					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	First_of_Many	Returns	105087	11,94	1221,86	1333,46					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Last_of_Many	Returns	104650	11,89	1220,75	1329,47					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	All	Returns	880444	100	1220,71	1333,46					
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	1_Unclassified	ClassCodes	760620	86,39	1220,71	1333,46	1	65532	0		
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	2_Ground	ClassCodes	119824	13,61	1220,73	1269,76	6	1023	0		
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Return_No	Attributes								1	7
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Intensity	Attributes								1	65532
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Class_Code	Attributes								1	2
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Scan_Angle	Attributes								7	27
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	User_Data	Attributes								0	0
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Point_Source	Attributes								10	11
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Model_Key	ClassFlags	0	0							
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Synthetic	ClassFlags	0	0							
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	WithHeld	ClassFlags	0	0							
D:\tiles\RC_740400_5158400.las	Overlap	ClassFlags	0	0							

Fig. 2 Esempio del risultato statistico di una tile

Infine, tramite la funzione LAS Point Statistic as Raster, sono stati realizzati i raster delle densità dei punti LiDAR secondo una maglia quadrata con lato di 10 metri.

### Risultati quantitativi

La valutazione quantitativa dei valori di singoli segnali riflessi riscontrati in ogni cella quadrata con lato di 10 m è sintetizzata nella tabella che segue in cui si evidenzia la distribuzione secondo una suddivisione in classi discrete.

Numero di punti per cella	< 500	tra 500 e 1000	tra 1000 e 2000	tra 2000 e 3000	tra 3000 e 4000	tra 4000 e 5000	> 5000
Numero celle 10 x 10	101	2206	19414	29569	26184	21683	64857
valore %	0.06%	1.35%	11.84%	18.03%	15.96%	13.22%	39.54%

Fig. 3 Distribuzione delle densità per classi

Risulta immediatamente chiaro come analizzando la densità di tutte le 164.014 celle 10x10 che compongono il rilievo emerge come residuale la percentuale di territorio in cui il valore di densità previsto da Capitolato non è rispettato. Si tratta infatti soltanto dell'1,41%, pari a 23,07 ettari, dove peraltro non si scende quasi mai sotto ai 5 punti per m<sup>2</sup>.

Al contempo vale la pena di sottolineare come la densità di punti sia molto più alta del valore di riferimento per una larga parte dell'area di rilievo come si evince dalla tabella seguente.

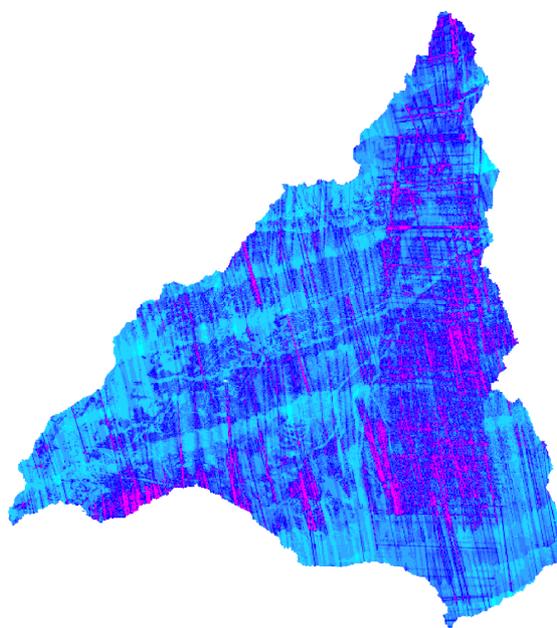
Densità per m <sup>2</sup>	Percentuale sul totale %
> 50 punti/m <sup>2</sup>	39.54
> 40 punti/m <sup>2</sup>	52.76
> 30 punti/m <sup>2</sup>	68.73
> 20 punti/m <sup>2</sup>	86.76
<b>&gt; 10 punti/m<sup>2</sup></b>	<b>98.59</b>
> 5 punti/m <sup>2</sup>	99.94

*Fig. 4 Percentuali di territorio in classi di densità*

### **Analisi della distribuzione geografica**

L'analisi della distribuzione geografica delle diverse classi di densità ha evidenziato la presenza di rilevanze sistematiche legate ai fattori orografici, ma anche alle caratteristiche del volo eseguito.

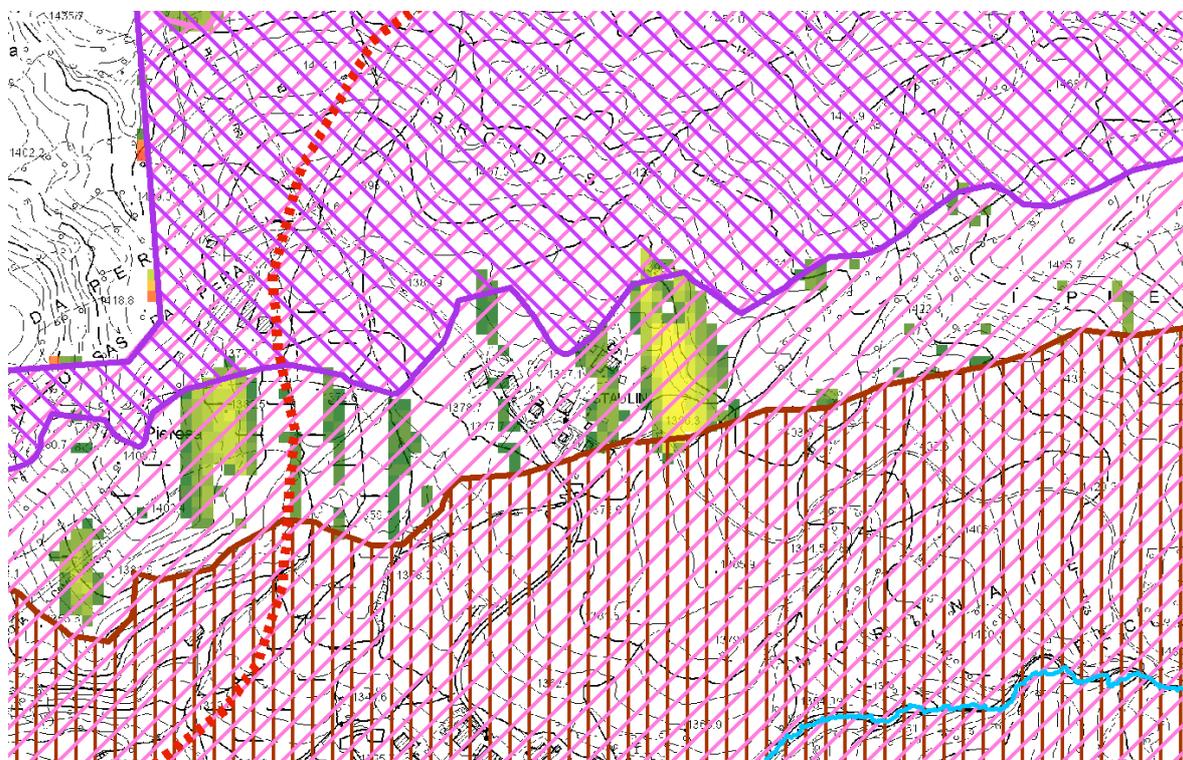
Si notano infatti distribuzioni di densità legate prevalentemente alle geometrie delle strisciate.



*Fig. 5 Distribuzione geografica della densità dei segnali riflessi*

La medesima caratteristica si riscontra anche osservando la posizione delle parti di territorio ove non è soddisfatto il requisito previsto da Capitolato, evidenziate nella Figura 6 che riporta una significativa area campione.

La comparazione tra la collocazione delle "aree di criticità" e l'impronta al suolo delle strisciate, palesa in modo chiaro come le problematiche si manifestino quasi esclusivamente nelle situazioni in cui il territorio è stato coperto da un'unica strisciata.



*Fig. 6 Aree con densità < di 10 punti per m<sup>2</sup> e strisciate di volo*

## **Conclusioni**

Il risultato oggettivo dello studio è che, in condizioni di accentuate dinamiche altimetriche del terreno, non è del tutto sufficiente la copertura di rilievo prescritta dal Capitolato che prevede una sovrapposizione laterale tra le strisciate non inferiore al 70%. Quindi, al fine di eliminare le situazioni di insufficiente densità dei segnali riflessi, è necessario prescrivere l'esecuzione di un rilievo che comprenda la copertura di almeno due strisciate per l'intero territorio.

Tale riscontro non è automaticamente da estendersi ai rilievi LiDAR con densità più ridotte, poiché in generale si tratta in quel caso di attività progettate per scopi di carattere eminentemente cartografico, a differenza di quanto si verifica per i rilievi ad elevata densità che, come in questo caso, devono servire alla realizzazione di modellazioni di dettaglio del territorio.

Allo stesso modo il rilievo in zone pianeggianti non richiede il sistematico raddoppio delle strisciate per l'assenza di condizioni di irregolarità nell'inclinazione delle superfici raggiunte dal segnale laser.