



HAL
open science

Perchè è necessario riallineare i rilevamenti LiDAR multi-temporali ?

S. Tacon, Guillaume Piton, Frédéric Liébault, Daniele Giordan, Marco Baldo

► To cite this version:

S. Tacon, Guillaume Piton, Frédéric Liébault, Daniele Giordan, Marco Baldo. Perchè è necessario riallineare i rilevamenti LiDAR multi-temporali ?. 2023. hal-04218128

HAL Id: hal-04218128

<https://hal.inrae.fr/hal-04218128v1>

Submitted on 23 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Autori

Sandrine TACON¹
Guillaume PITON²
Frédéric LIEBAULT²
Daniele GIORDAN³
Marco BALDO³

¹ Morph'eau Conseils, Chazay d'Azergues, France

² Univ. Grenoble Alpes, INRAE, CNRS, IRD, Grenoble INP, IGE, 38000 Grenoble, France.

³ CNR, IRPI, 10135 Torino, Italia

Versione : #1 du 18/09/23

Finanziamento

La redazione di questa nota beneficia del finanziamento del progetto dell'Unione Europea - Programma INTERREG V-A Francia-Italia (ALCOTRA) 2014-2020, Progetto "RITA" n.8504.

Perchè è necessario riallineare i rilevamenti LiDAR multi-temporali ?

Oggetto : comprendere quando è necessario prevedere un riallineamento dei rilevamenti LiDAR per lo studio delle geomorfologia fluviale

Riassunto: La tecnologia LiDAR consente di effettuare rilevamenti topografici ad alta risoluzione ed è diventato uno strumento importante per lo studio di numerosi processi geomorfologici tra cui l'analisi dell'evoluzione dei corsi d'acqua. L'impiego di tale sistema presenta tuttavia delle limitazioni che devono essere accuratamente considerate: i) i raggi laser emessi dal sistema non sono in grado di penetrare l'acqua ed è quindi necessario utilizzare altre tipologie di rilevamento al fine di ottenere un modello digitale completo dell'alveo; ii) l'analisi multitemporale richiede un approccio rigoroso che consideri il riallineamento dei rilevamenti disponibili in modo da evitare che vi siano offset che possano degradare il risultato del confronto. Effettuato il riallineamento, il confronto dei rilevamenti LiDAR consente di ottenere un bilancio delle variazioni morfologiche occorse, misurando sia gli accumuli che le variazioni negative. In questo documento vengono forniti alcuni suggerimenti operativi necessari ad approfondire le peculiarità del sistema e il problema di riallineamento.

I rilevamenti LiDAR

La tecnologia di rilevamento aereo LiDAR (*Light Detection And Ranging*) consente l'acquisizione della topografia e della copertura vegetale con una risoluzione spaziale molto elevata su vaste aree. In Francia, nel 2021 è stata avviata una campagna di rilevamento dell'intero territorio metropolitano e i dati vengono gradualmente resi disponibili sul sito dell'IGN: <https://geoservices.ign.fr/lidarhd>. Questa tecnologia si basa sul calcolo del tempo che intercorre tra l'emissione e la ricezione di un raggio laser. Il vantaggio dei dati LiDAR rispetto alla fotogrammetria è quello di ottenere un dato topografico anche in aree coperte da vegetazione. I dati grezzi sono generalmente presentati sotto forma di nuvola di punti 3D classificati (suolo, vegetazione, edifici, acqua, ecc.) come illustrato nelle Figure 1 e 2. Dall'analisi di della nuvola di punti si ricava un Modello Digitale del Terreno (DTM) che corrisponde ad una rappresentazione della topografia del terreno e un Modello Digitale della Superficie (DSM) che contiene i punti del terreno e degli elementi presenti nell'area rilevata (edifici, vegetazione).

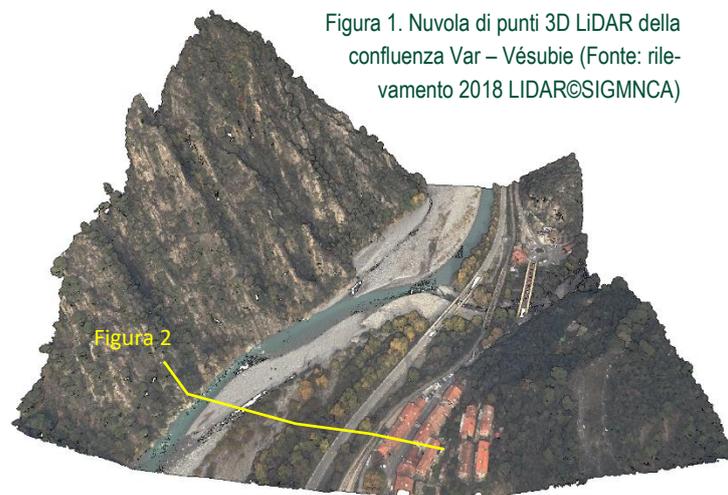


Figura 1. Nuvola di punti 3D LiDAR della confluenza Var - Vésubie (Fonte: rilevamento 2018 LIDAR©SIGMNCA)

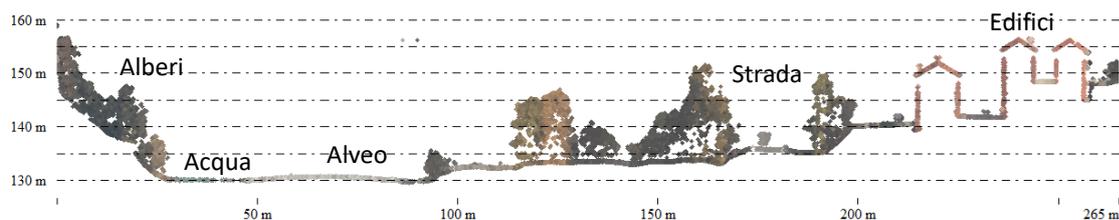


Figura 2. Sezione topografica estratta da una nuvola di punti 3D

Il LiDAR aereo a infrarossi non consente di misurare la batimetria dei corsi d'acqua e, più in generale, la topografia delle superfici sommerse. Tuttavia, gli echi possono essere retrodiffusi dalle superfici dell'acqua, soprattutto in condizioni di bassa profondità dell'acqua o di una superficie ruvida. Per superfici d'acqua piatte e molto profonde, gli echi vengono solitamente completamente assorbiti dall'acqua e la nuvola di punti sarà caratterizzata dall'assenza di echi di ritorno.

Il LiDAR aereo verde accoppiato a quello ad infrarossi consente di misurare la topografia di superfici superficiali emerse e sommerse. Questa tecnologia, offerta dalla piattaforma Nantes-Rennes Aéroporté Topo-Bathymétrie Lidar (Lague e Feldmann, 2020), presenta attualmente dei limiti di utilizzo (torbidità, profondità, vegetazione acquatica). Questa tecnologia è ancora poco utilizzata, ma è destinata a svilupparsi nei prossimi anni.

Esempi di applicazione allo studio della geomorfologia fluviale

Diverse applicazioni possono essere realizzate utilizzando DTM e DSM estratti da dati LiDAR:

- cartografia geomorfologica che individui le entità costituenti il paesaggio dei corridoi fluviali: canali d'acqua, greti, sponde di canali, terrazzi fluviali, conoidi alluvionali, calanchi, ecc.;
- caratterizzazione della vegetazione ripariale: vegetazione cespugliosa, stadi pionieri, boschi maturi, ecc.;
- descrizione delle principali caratteristiche geometriche delle opere idrauliche quali argini e dighe;
- estrazione di profili longitudinali di corsi d'acqua; poiché i dati LiDAR nell'infrarosso non consentono l'acquisizione della topografia sommersa, tali profili longitudinali sono profili di linee del pelo libero del corso d'acqua;
- estrazione di sezioni trasversali su sezioni definite; anche qui la topografia subacquea non viene trascritta e deve essere integrata da rilievi terrestri;
- calcolo di indicatori geomorfologici quali il BRI (Bed Relief Index), l'altezza dei terrazzi e i limiti della fascia attiva.

L'acquisizione multitemporale consente di studiare i cambiamenti morfologici confrontando profili longitudinali e trasversali, creando differenziali topografici tra due DEM (differenza di altitudine tra due date per ciascun pixel). I differenziali ottenuti dal confronto consentono di evidenziare i cambiamenti morfologici (erosione, deposizione) tra le due date e calcolare i volumi depositati ed erosi e il saldo volumetrico netto (Figura 3).

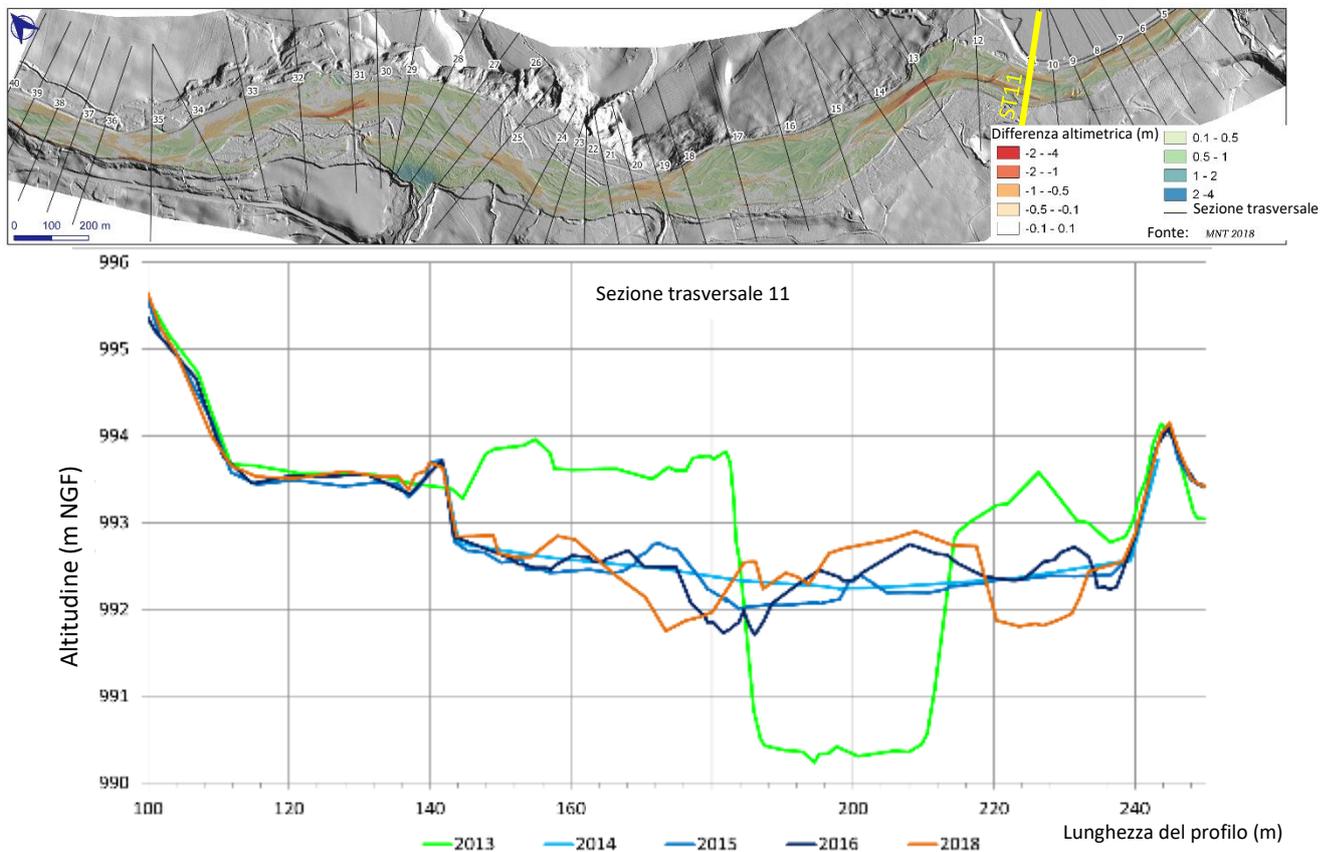


Figura 3. Esempi di utilizzo di rilevamenti LiDAR sull'area di Drac (Fonte : Morph'eau Conseils, 2019)

L'ottenimento di dati LiDAR adatti agli studi idromorfologici richiede il rispetto di diversi criteri che devono essere soggetti ad una certa vigilanza:

1. un'elevata densità di punti dopo la filtratura dei punti che non appartengono al terreno, anche nelle aree vegetate (le moderne indagini effettuate con densità iniziale di 10 – 20 punti/m² generalmente soddisfano questa condizione);
2. una buona classificazione dei punti ground e non ground per un'adeguata rappresentazione delle forme al di sotto della vegetazione, con particolare riferimento alle sponde vegetate; ciò induce un notevole sforzo di filtraggio manuale da parte dell'operatore, oltre al filtraggio automatico effettuato da software dedicato;
3. la valutazione della qualità dei dati utilizzando delle superfici di controllo in aree considerate stabili, distribuite lungo il perimetro rilevate; in questo modo è possibile verificare la precisione dei dati LiDAR.

Perché è necessario riallineare i diversi rilevamenti LiDAR multi-temporali?

Anche se il progresso tecnologico è stato molto importante, i metodi di georeferenziazione dei dati LiDAR non sono esenti da errori che, il più delle volte, sono di lieve entità. È stato dimostrato che due rilievi LiDAR considerati correttamente georeferenziati possono essere caratterizzati da una leggera differenza in quota (Figura 4), dell'ordine di pochi centimetri. Questo spostamento è variabile anche nello spazio ed è per lo più legato alle variabili condizioni di acquisizione durante il volo. Lungo il percorso utilizzato per controllare la precisione del riallineamento (Figura 4), l'offset del DEM riallineato non è proprio nullo (valore medio: 1,1 cm), ma è significativamente inferiore all'offset del DEM Raw (valore medio: 10,8 centimetri).

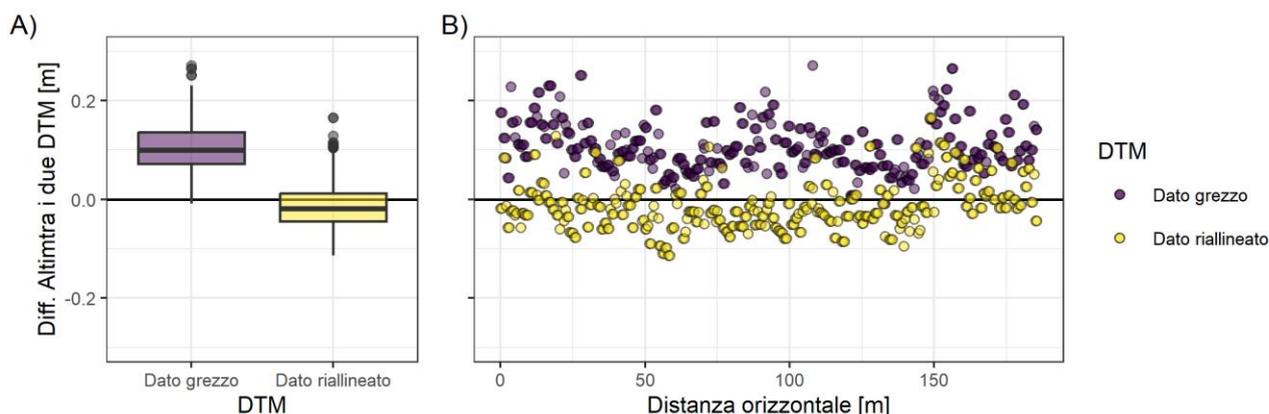


Figura 4. Esempi di differenze altimetriche registrate sulla strada prospiciente al Boréon (si veda la traccia della sezione in Figura 5)

Questo spostamento, generalmente relativamente piccolo (< 10 cm, fino a 16 cm nell'analisi effettuata su Vésubie in seguito alla tempesta Alex), induce solo un errore di interpretazione trascurabile se utilizzato per il confronto dei profili longitudinali e trasversali. Lo spostamento infatti è spesso inferiore al margine di incertezza utilizzato per questo tipo di analisi. D'altra parte, la propagazione di questo errore sistematico su una vasta superficie porta a bilanci sedimentari completamente errati (Lallias-Tacon, 2015) come illustrato dagli esempi seguenti.

Esempio sul Bès (affluente del Bléone):

Su un tratto del corso d'acqua di 7 km, il bilancio sedimentario prima del riallineamento è stato stimato in un volume positivo di sedimenti pari a 49.000 m³. Dopo il riallineamento tra i due DEM, il bilancio dei sedimenti ha subito una marcata variazione ed il dato finale riporta un volume negativo di 4.500 m³. Utilizzando delle zone stabili (una stada) per confrontare la presenza di offset, si può misurare una differenza media di soli -2,6 cm prima del riallineamento. Dopo il riallineamento, lo spostamento medio di è stato ridotto a 0,56 cm (Lallias-Tacon et al. 2014).

Esempio su Vésubie:

Su un tratto di 36 km della Vésubie e dei suoi due affluenti principali (Boréon e Madone de Fenestre), l'alluvione dell'ottobre 2020 (tempesta Alex) ha generato un'erosione stimata in 54.000 m³ sul fondovalle prima del riallineamento dei LiDAR. Questo volume è stato nuovamente stimato in 509.000 m³ dopo il riallineamento. L'errore sistematico passa così da +16,0 cm a -1,1 cm sulla Vésubie a valle, da +7,5 cm a -0,16 cm sulla Vésubie a monte e da +4,9 cm a -0,8 cm sul Boréon.

Il riallineamento dei rilevamenti LiDAR è quindi un procedimento essenziale per procedere al calcolo del bilancio dei processi di deposizione ed erosione.

Come effettuare il riallineamento dei rilevamenti LiDAR

Diversi software consentono il riallineamento dei dati LiDAR, in particolare Terrasolid, Polyworks (software a pagamento) o Cloud Compare (software gratuito, scaricabile dal sito: <https://www.danielgm.net/cc/>). Questo software consente di riallineare le nuvole 3D applicando un'operazione che combina offset orizzontali e verticali, rotazione 3D e regolazione delle distanze in tre direzioni.

L'operazione di riallineamento viene effettuata a partire da punti di riferimento o zone considerate stabili, generalmente punti a terra o su strutture. Se il rilievo LiDAR è esteso, l'offset può essere spazialmente variabile e la quantità di dati da gestire è significativa; in questi casi, il riallineamento viene effettuato a suddividendo il rilevamento in blocchi (1-2 km). Questi blocchi devono comprendere il fiume e aree periferiche abbastanza ampie che incorporino superfici stabili utilizzate per il riallineamento (Figura 5).

Le aree stabili scelte per il riallineamento vengono mappate preventivamente utilizzando il differenziale grezzo tra i due DEM, consentendo di evitare aree che hanno subito modifiche tra i due rilievi (modifiche naturali o antropiche o legate al processo di filtraggio dei dati LiDAR).

Per un risultato corretto, le superfici stabili devono essere ben distribuite su entrambi i lati del fiume e su tutta l'area di studio. Queste superfici stabili vengono utilizzate per riallineare le due nuvole di punti scegliendo un campione di punti di riferimento. La nuvola di punti utilizzata come riferimento è generalmente quella che presenta la migliore qualità (densità di punti, precisione rispetto ai punti di controllo a terra). La matrice di trasformazione che descrive il riallineamento dei punti di riferimento viene quindi applicata all'intero blocco.

Le operazioni di riallineamento effettuate durante lo studio sulla Vésubie hanno dimostrato che i risultati sarebbero migliori se le zone stabili comprendessero non solo zone con altitudine fissa come le strade, ma anche porzioni stabili di pendio che permettessero un efficace riallineamento delle nuvole di punti nelle tre componenti X, Y e Z. La Figura 5 mostra quali siano gli effetti di un offset residuale nel caso in cui il riallineamento sia effettuato solo sulle strade (nella Figura 5c il versante a nord ha toni di rosso più evidenti mentre quello a sud è caratterizzato da una prevalenza del nero che sono legati a degli errori residuali sulla componente orizzontale): utilizzando versanti e strade, gli errori residuali dopo il riallineamento sono più contenuti e distribuiti in maniera aleatoria (figura 5b).

Il DEM post-riallineamento viene quindi prodotto dalla nuvola di punti 3D riallineata mediante triangolazione.

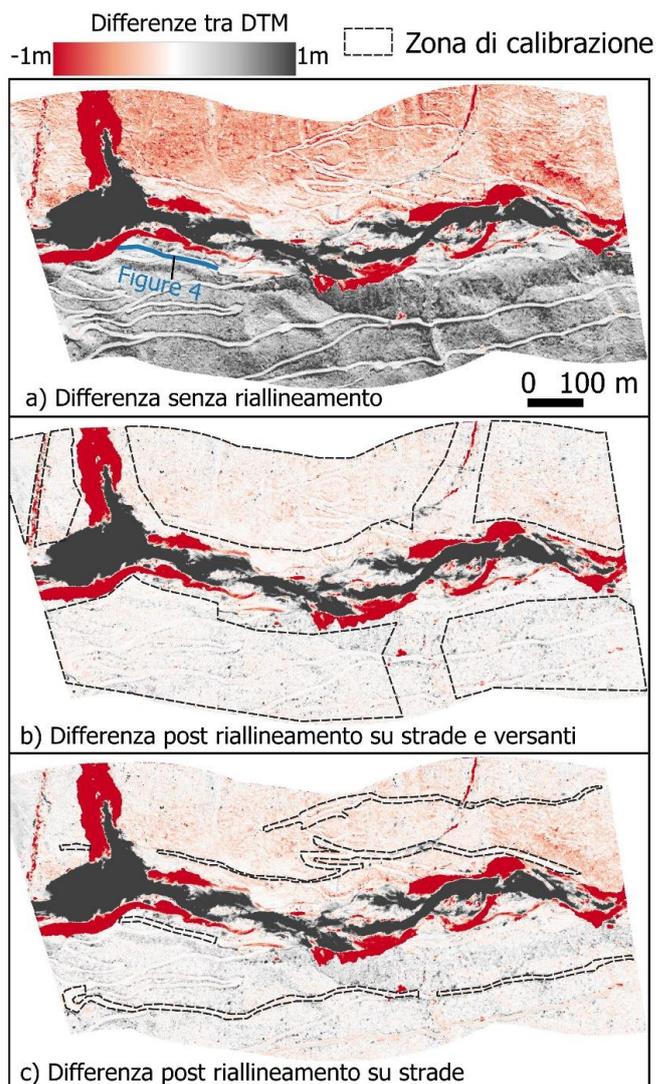


Figura 5 : a) illustrazione del confronto iniziale tra due rilevamenti LiDAR ;
b) Confronto effettuato in seguito a riallineamento su strade e versanti;
c) Confronto effettuato in seguito a riallineamento esclusivamente su strade.

Bibliografia

- Lague D, Feldmann B. 2020. Topo-bathymetric airborne LiDAR for fluvial-geomorphology analysis. In *Developments in Earth Surface Processes*; 25-54.
- Lallias-Tacon S, Liébault F, Piégay H. 2014. Step by step error assessment in braided river sediment budget using airborne LiDAR data. *Geomorphology* **214** : 307–323. DOI: [10.1016/j.geomorph.2014.02.014](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.014)
- Lallias-Tacon S. 2015. *Analyse spatio-temporelle de la morphologie des rivières en tresses par LiDAR aéroporté*. Tesi di dottorato. Université Lyon 2.
- Morph'eau Conseils, SIGosphère, OPSIA, 2019, Suivi topographique sur le Drac amont, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, CLEDA.