

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

## IL RUOLO DELLA GEOMATICA NEL MONITORAGGIO DELLA TREELINE COME INDICATORE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

### **This is the author's manuscript**

*Original Citation:*

*Availability:*

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/1521659> since 2017-06-30T09:08:58Z

*Publisher:*

ELENA CANDIGLIOTA & FRANCESCO IMMORDINO

*Terms of use:*

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
DIPARTIMENTO DI STORIA CULTURE CIVILTÀ



Associazione  
Italiana di  
Telerilevamento  
ISPRS - ASITA

9° Workshop Tematico

# TELERILEVAMENTO PER LA DIFESA DEL SUOLO E LA SALVAGUARDIA DI AMBIENTE E TERRITORIO

Università di Bologna  
Dipartimento di Storia, Culture, Civiltà  
AULA PRODI  
San Giovanni in Monte, Bologna  
4-5 giugno 2015

A cura di Elena Candigliota e Francesco Immordino  
ENEA - UTSISM Unità Tecnica di Ingegneria Sismica - Bologna

Remote Sensing

## Il ruolo della geomatica nel monitoraggio della *treeline* come indicatore del cambiamento climatico.

Vanina Fissore<sup>1</sup>, Enrico Borgogno Mondino<sup>1</sup>, Renzo Motta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università del Studi di Torino, DISAFA, L. go Paolo Braccini 2, 10095, Grugliasco (TO), Italy

**Autore di riferimento:** vanina.fissore@unito.it

**Parole chiave:** Cambiamento climatico, geomatica, *treeline*, accuratezza

### Introduzione

Il cambiamento climatico, responsabile dell'attuale aumento delle temperature, della modificazione dei modelli di precipitazione e delle frequenze e intensità di eventi estremi, è il "motore" alla base di fenomeni legati all'instabilità del territorio, con conseguenze che interessano diversi comparti ambientali: aumento del rischio idro-geologico, cambiamenti a carico degli ecosistemi vegetali, modificazioni degli ecosistemi marini, etc... In questo contesto, la vegetazione d'alta quota si pone tra gli indicatori del cambiamento climatico più utilizzati dai ricercatori. Le dinamiche legate alla posizione altimetrica della *treeline*, definita come il limite superiore altitudinale o latitudinale che connette piante di altezza non inferiore a 2 m (Holtmeier 2009), sono oggi considerate un importante indicatore ecologico delle modificazioni che si stanno verificando a livello climatico. Essendo infatti un ecotono molto sensibile ad alterazioni dei regimi di temperatura, si prevede che l'aumento di queste ultime causi un suo "spostamento" a quote (o latitudini) più elevate. Data la sua difficile accessibilità, negli ultimi anni gli ecologi ne stanno monitorando sempre più le dinamiche utilizzando tecniche geomatiche, soprattutto di telerilevamento ottico. Scopo del lavoro è esplorare quanto e come la comunità scientifica interessata alla mappatura della *treeline* utilizzi queste tecniche. A tal proposito sono stati revisionati 31 articoli scientifici dai quali sono state dedotte delle statistiche relative alle tipologie di dati utilizzati ed all'appropriatezza del loro utilizzo, con particolare attenzione al problema dell'accuratezza spaziale con la quale la posizione della *treeline* è stata dedotta.

### Materiali e metodi

Attraverso una indagine bibliografica sono stati selezionati in letteratura più di 80 articoli utilizzando le seguenti *keywords* di ricerca: *treeline position*, *treeline shifts*, GIS, *satellite data*, *aerial images*, *current and historical maps*, *LiDAR data*. È stata presa in considerazione la produzione scientifica degli ultimi 30 anni, in particolare dal 1980 al 2013. Di questi articoli, 31 sono risultati adatti al presente studio, soddisfacendo contemporaneamente tutti i requisiti di contenuto: il ruolo della geomatica (uso di dati e tecniche) la loro accessibilità gratuita e la pertinenza specifica dello studio affrontato al contesto forestale. In questo senso, studi diretti a differenti obiettivi scientifici (*climate change*, entomologia, dinamiche post-incendio, ciclo CO<sub>2</sub>, etc.), in cui la *treeline* giocava un ruolo puramente ecologico e l'attenzione non era posta alla sua posizione, non sono stati considerati. L'analisi ha seguito due direttrici; la prima è stata indirizzata a descrivere statisticamente la ricorrenza delle diverse tecniche geomatiche e dei tipi di dati utilizzati negli articoli selezionati. La seconda ha invece inteso verificare il grado di coscienza dei dati utilizzati e la loro gestione in termini di accuratezza e pertinenza rispetto alla scala di riferimento suggerita dagli autori per il loro lavoro. In particolare, sono state analizzate le modalità con le quali le informazioni descrittive dei dati geografici (metadati) fossero riportate, soprattutto in relazione alla loro completezza in termini di dichiarazione del sistema di riferimento, di scala nominale e/o di risoluzione geometrica. In particolare per la scala nominale si è proceduto ad accertare la sua effettiva idoneità rispetto a quella di riferimento dichiarata dagli autori per i risultati prodotti. Al fine di dimostrare la non sempre trascurabilità dei ragionamenti fatti in relazione alle precisioni dei dati coinvolti nella mappatura della *treeline*, si è poi proceduto a quantificare l'effetto della precisione altimetrica dei DTM (*Digital Terrain Model*) riferendosi a quelli normalmente utilizzati per l'estrazione del valore di quota della *treeline* a partire dalla sua posizione planimetrica. A questo scopo, si è distinto tra quota al singolo istante (h) e differenze di quota nel tempo ( $\Delta h$ ); gli effetti diretti ed indiretti della precisione del DTM sono stati considerati separatamente. I DTM partecipano

direttamente a degradare l'accuratezza della posizione verticale della *treeline* nei modi seguenti: a) se la mappatura si verifica al singolo istante, e l'errore di posizionamento planimetrico della *treeline* è assunto nullo, la sua incertezza in quota può essere ritenuta uguale a quella del DTM utilizzato ( $\sigma_z$ ); b) se invece è la variazione in quota della *treeline* nel tempo ad interessare ( $\Delta h = h[t_2] - h[t_1]$ ), l'errore del DTM deve essere propagato lungo la differenza, secondo la Legge della Propagazione della Varianza. Una prima approssimazione dell'incertezza di  $\Delta h$  può essere così ottenuta come  $\sigma_{\Delta h} = \sqrt{2} \cdot \sigma_z$ . Ogni DTM è caratterizzato da una propria accuratezza verticale; tale valore, se noto, permette di riconoscere spostamenti della *treeline* significativi o meno, poiché se lo spostamento è inferiore o uguale a  $\sigma_{\Delta h}$ , questo risulta ovviamente osservabile. Per quanto riguarda il ruolo *indiretto* del DTM sull'incertezza della quota della *treeline*, una prima considerazione riguarda l'effetto del suo errore di posizionamento orizzontale. Com'è noto, nelle aree montane particolarmente pendenti, un piccolo spostamento orizzontale determina una forte variazione verticale. L'errore risultante ( $\varepsilon_z$ ) può essere stimato secondo la seguente equazione:  $\varepsilon_z = \sigma_{xy} \cdot \tan(v)$  (eq.1), dove  $v$  è il valore di pendenza locale e  $\sigma_{xy}$  l'accuratezza orizzontale della posizione della *treeline*. Nella simulazione proposta questa è stata fissata ai valori nominali corrispondenti alle più comuni scale cartografiche (1:1,000; 1:2,000; 1:10,000; 1:25,000; 1:50,000; 1:100,000; 1:1,000,000); i valori di  $\varepsilon_z$  sono stati confrontati con le precisioni (valori puramente di riferimento) dei più diffusi DTM: 5 m per quelli di derivazione aerofotogrammetrica e 16 m per quelli di derivazione satellitare (es. SRTM, *Shuttle Radar Topography Mission*).

Al fine di verificare se l'errore indiretto fosse statisticamente significativo in termini di valore e frequenza nello spazio, è stata condotta una ulteriore simulazione assumendo come area di studio l'intero arco alpino italiano (circa 51,900 Km<sup>2</sup>). Gli errori verticali sono stati calcolati secondo eq. 1 considerando come errore planimetrico potenziale per la *treeline* quello associabile ad una cartografia a scala nominale 1:100,000, ovvero ad una mappatura condotta interpretando immagini Landsat 5-8 (30 m di risoluzione geometrica). L'errore è stato aggregato in classi definite sulla base delle accuratezze verticali associabili a DTM derivati da: sistemi ALS (*Aerial Laser Scanner*),  $\sigma_z < 0.50$  m; fotogrammetria aerea,  $5 \text{ m} < \sigma_z < 16$  m; sistemi satellitari (es. SRTM),  $\sigma_z > 16$  m.

Un secondo effetto *indiretto* dell'accuratezza del DTM sulla mappatura della *treeline* si verifica quando la sua identificazione avviene utilizzando ortofoto aeree o satellitari. Infatti, le ortofoto digitali in contesti ad impatto antropico nullo o quasi, sono per lo più generate usando DTM e non DSM (*Digital Surface Model*); questo determina che, laddove l'identificazione della *treeline* passi attraverso la perimetrazione delle chiome, la sua posizione planimetrica risulti spostata rispetto al valore reale, per ovvie ragioni prospettiche. Tale effetto dipende sia dall'altezza dell'oggetto (albero), dalla geometria del sistema di acquisizione e dalla topografia (pendenza) sulla quale la misura viene effettuata. Al momento gli autori stanno modellizzando questo effetto che, in ogni caso, non è stato preso in considerazione durante le statistiche perché fortemente dipendente dalla geometria di acquisizione del fotogramma usato per la generazione delle ortofoto e quindi difficilmente generalizzabile.

## Risultati

Tecniche geomatiche	Numero articoli (totall 31)
GNSS	8
GIS	22
Approccio integrato	24
Diversi dati satellitari	8
Dati satellitari + fotogrammi aerei	4
Dati satellitari + cartografia	6
Fotogrammi aerei + cartografia	6
Fotogrammetria digitale	14

Tab. 1 Statistiche concernenti le tecniche geomatiche adottate negli articoli analizzati.

### Dati e tecniche geomatiche nei lavori analizzati

Dalle analisi effettuate è risultato che tra le tecniche geomatiche più utilizzate in lavori scientifici che trattino la mappatura della *treeline* le più citate sono quella GNSS, GIS, i cosiddetti "approcci integrati" e la fotogrammetria digitale (Tab. 1).

Per quanto riguarda la tipologia dei dati utilizzati, quelli satellitari sono risultati i più ricorrenti (16 articoli), con netta prevalenza delle immagini Landsat (9 articoli): TM (*Thematic Mapper*) in 5 articoli, ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*) in 5 articoli, e MSS (*Multi Spectral Scanner*) in 3. Dati LISS III (*Linear Imaging Self Scanning Sensor*) sono stati usati in 2 articoli. Tutti gli altri dati satellitari compaiono una sola volta: SPOT (*Satellites Pour l'Observation de la Terre*), MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), IKONOS-2, AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection*

Radiometer), QuickBird, LISS IV, Google Pro, Hexagon, KH-4B (*Key Hole*), World View 1. Sorprendentemente anche i dati ALS sono stati usati in un solo lavoro. Diversi tipi di DTM sono stati adottati in 25 lavori. Il dato SRTM è risultato il più usato (5 articoli). ASTER GDEM e DTM derivati da sistemi ALS sono stati usati in 2 articoli rispettivamente. 16 lavori hanno usato diversi e **non specificati** DTM. Per quanto concerne le tecniche di identificazione della *treeline* in 27 lavori è stata condotta attraverso la preventiva identificazione della componente vegetata. Metodi di classificazione assistita sono stati utilizzati in 10 articoli, mentre solo in 3 si è fatto uso di metodi automatici; la fotointerpretazione è stata utilizzata in 9 articoli e in 5 lavori si è fatto uso di cartografia storica. Solo in 17 lavori i dati di campo hanno supportato l'analisi e permesso di validare le classificazioni ottenute.

*Coscienza nell'utilizzo dei dati: sensibilità all'incertezza e gestione degli effetti*

Sistema di riferimento	N° articoli (totale 31)	Scala di mappa 1:	$\sigma_{xy}$ (m)
Completo (tipo proiezione + Datum)	7	2,000	0.50
Incompleto	24	5,000	1.25
Scala di riferimento		10,000	2.50
Dichiarato	4	25,000	6.25
Non dichiarato	27	50,000	12.50
Accuratezza orizzontale dati		100,000	25.00
Dichiarazione diretta	18	250,000	62.50
Dichiarazione indiretta	11	500,000	125.00
NO dichiarazione	2	1,000,000	250.00
Accuratezza verticale DTM (usato in 25 articoli)			
Dichiarazione diretta	11		
Dichiarazione indiretta	14		
Accuratezza GNSS	8		
Dichiarazione diretta	2		
Dichiarazione indiretta (tipo modello)	4		
NO dichiarazione	2		

Tab. 2 (sinistra) Statistiche concernenti i metadati degli articoli analizzati. (destra) Valori di riferimento standard (fonte ASPRS) per gli errori planimetrici  $\sigma_{xy}$  associabili a diverse scale cartografiche.

Al fine di verificare se nei lavori analizzati fossero stati tenuti nel dovuto conto i fattori di incertezza posizionale (verticale e orizzontale) dei dati a partire dai quali la *treeline* è stata mappata, si è proceduto in prima istanza all'analisi delle modalità con le quali i metadati sono stati dichiarati. Tabella 2 (sinistra) riporta le statistiche risultanti dall'analisi. In particolare le informazioni di interesse verificate sono state: a) sistema di riferimento; b) scala di riferimento; c) accuratezza orizzontale dei dati su cui

è stata condotta la mappatura; d) accuratezza verticale del DTM usato; e) accuratezza delle misure GNSS laddove utilizzate. Per tutte queste informazioni è stato verificato se comparissero in modo esplicitamente dichiarato, in modo indirettamente deducibile dalla dichiarazione del tipo di dato usato, oppure se non comparissero affatto. Successivamente si è proceduto alla modellizzazione degli errori potenziali di posizionamento in quota della *treeline* determinati dall'interazione dell'errore planimetrico (dipendente dal tipo di dato usato per il riconoscimento della *treeline*) con la pendenza dei versanti (eq. 1). I risultati della simulazione sono riportati in figura 1, dove sono state prese in considerazione diverse scale cartografiche nominali (1:1,000; 1:2,000; 1:10,000; 1:25,000; 1:50,000; 1:100,000; 1:1,000,000) e le relative precisioni ( $\sigma_{xy}$ ) così come suggerite dalla *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS, tab.2 - destra). Per meglio evidenziare la significatività di  $\epsilon_z$  rispetto alla precisione nominale di alcuni DTM di comune utilizzo, sul grafico di figura 1 sono state riportate le linee rossa e blu che definiscono rispettivamente le accuratezze verticali di un DTM di derivazione aerofotogrammetrica ( $\sigma_z = 5$  m) e satellitare (SRTM,  $\sigma_z = 16$  m). È facile notare come in aree con pendenze superiori a 8-10 gradi, l'errore verticale tenda ad essere **sempre significativo** rispetto al DTM adottato, laddove la mappatura avvenga a partire da dati satellitari multispettrali a media risoluzione. Per verificare l'incidenza spaziale delle potenziali incertezze di posizionamento verticale della *treeline*, calcolato con eq. 1, in un contesto territoriale rappresentativo, una ulteriore simulazione è stata condotta per l'intero arco alpino italiano (intervallo di quote tra 0 e 4810 m s.l.m.). Il dato di quota utilizzato per il calcolo delle pendenze è stato quello SRTM (ris. geom. = 90 m), e l'incertezza planimetrica considerata quella corrispondente ad una cartografia alla scala nominale di 1:100,000 (confrontabile per es. con un dato *Landsat*). I risultati della simulazione sono riportati in figura 2. Le classi d'errore sono state definite sulla base delle precisioni verticali offerte dalle principali fonti di dato altimetrico: DTM ALS ( $\sigma_z < 0.5$  m), DTM fotogrammetrico ( $0.5 \text{ m} < \sigma_z < 5$  m), e DTM satellitare ( $\sigma_z > 5$  m). Nell'istogramma cumulativo di figura 3, in cui sono state prese in considerazione solo le quote tra 1500 e 2500 m s.l.m. (dove la *treeline* si sviluppa), si può osservare che nelle condizioni simulate in circa il 20 % del territorio l'errore verticale intrinseco dovuto all'interazione tra pendenza dei versanti e precisione planimetrica del dato

interpretato, risulta superiore all'accuratezza interna del DTM adottato (SRTM), quindi assolutamente non trascurabile.

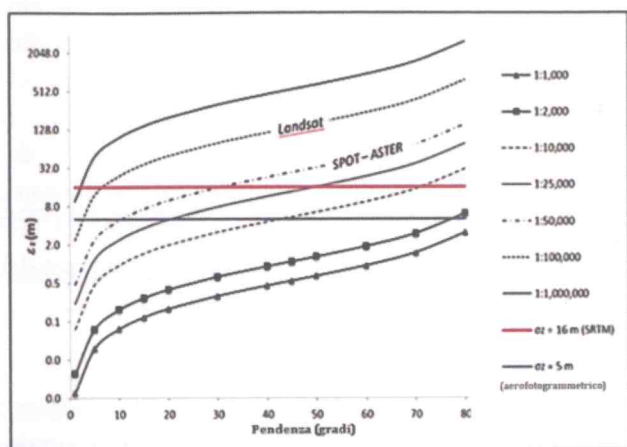


Fig. 1 Errore verticale della *treeline* indotto dalle precisioni planimetriche nominali delle principali scale cartografiche in funzione della pendenza dei versanti. In rosso e blu sono riportati valori di riferimento di precisione di DTM rispettivamente di derivazione satellitare e fotogrammetrica.

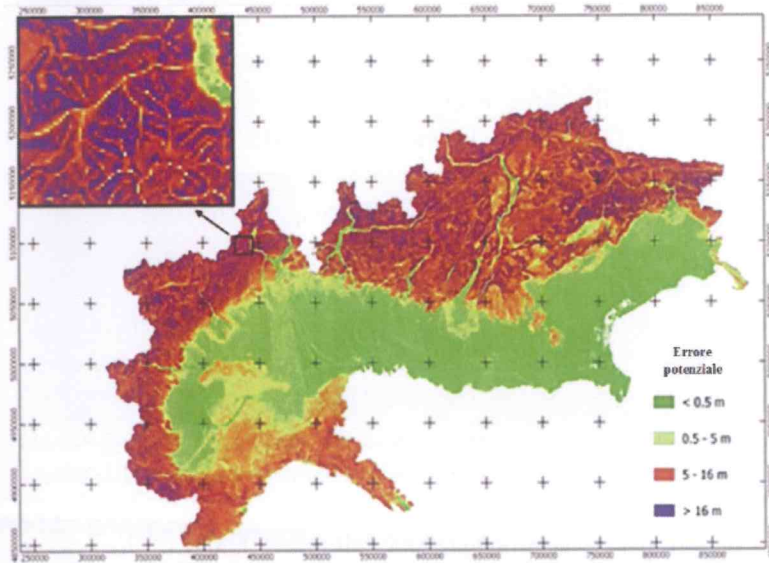


Fig. 2 Mappa d'errore potenziale nel posizionamento in quota della *treeline* sull'arco alpino ottenuta con simulazione a partire dal dato di quota SRTM e dall'incertezza planimetrica corrispondente ad una cartografia alla scala nominale di 1:100,000.

DATUM o della proiezione, etc...). Questo è un punto cruciale specialmente per quei lavori fondati su un approccio integrato basato su diversi dati che devono dialogare tra loro. Poiché dati diversi generalmente si riferiscono a diversi sistemi di riferimento, è importante che vengano gestiti nel modo corretto all'interno di un GIS (*Geographic Information System*). Questo punto è essenziale per evitare una ulteriore degradazione dell'incertezza orizzontale del dato usato. Un'altra carenza trovata in molti lavori ha riguardato la mancanza di dichiarazione della risoluzione geometrica dei dati utilizzati, non permettendo alcuna valutazione circa la precisione e l'idoneità delle misure riportate. La scala nominale delle mappe e la relativa accuratezza orizzontale spesso non sono riportate: la scala di riferimento non era dichiarata in 27 degli articoli selezionati e l'accuratezza orizzontale non era riportata in 4. In questi casi non è dunque possibile valutare l'adeguatezza dei dati rispetto alla scala di riferimento attesa: questo è, però, il punto di inizio per ottenere una mappatura corretta di qualunque entità territoriale (Boccardo et al., 2003).

L'errore potenziale che affligge il posizionamento verticale della *treeline* al singolo istante, consente anche di stimare l'incertezza complessiva (unicamente ascrivibile all'errore planimetrico del dato interpretato,  $\sigma_{\Delta h} = \sqrt{2} \cdot \sigma_z$ ), che caratterizzerà la differenza di quota registrata tra due istanti di riferimento. E' infatti proprio sulla differenza di quota che si concentra l'attenzione dei climatologi nell'interpretare gli innalzamenti della *treeline*. Ma quelli che loro mappano sono significativi? Nessun lavoro esaminato ha tenuto conto di tale ragionamento.

### Discussioni

Il presente lavoro ha evidenziato una generalizzata scarsa conoscenza del ruolo della precisione delle misure nella determinazione delle

incertezze che influenzano la posizione verticale della *treeline*. Una prima carenza riguarda l'utilizzo degli strumenti GNSS: una generale assenza delle specifiche inerenti lo strumento usato e l'accuratezza raggiunta è risultata evidente. Per quanto concerne le generali specifiche circa i dati orizzontali (ortofoto, mappe, etc...) usati per identificare la *treeline*, nella maggior parte dei casi sono risultate completamente mancanti o incomplete. In particolare, è stata notata la mancanza della dichiarazione del sistema di riferimento (Tab. 2). Inoltre, esiste una generale confusione nell'adozione dei termini usati per la sua definizione (spesso il sistema UTM è riportato senza specificare la zona, e il nome del sistema di riferimento è confuso con quello del

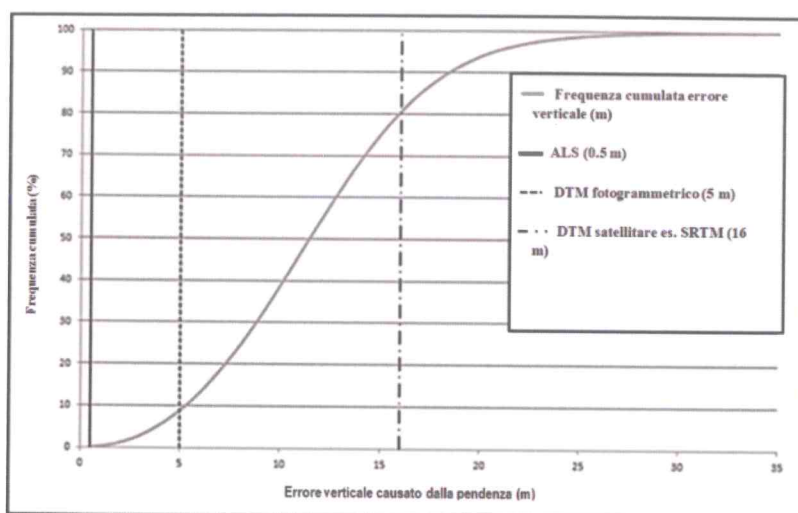


Fig. 3 Frequenza cumulata relativa alla distribuzione degli errori di posizionamento verticale della *treeline*.

fornite informazioni complete e sufficienti, adeguate a dimostrare spostamenti verticali di *treeline* apprezzabili, e dunque, anche ecologicamente sostenibili. Per i restanti 21 articoli, nulla si può dire circa l'affidabilità degli spostamenti registrati poiché non erano riportate informazioni relative all'accuratezza verticale del DTM o la scala di riferimento adottata con cui confrontare le differenze.

E' stato dimostrato che dati e tecniche geomatiche sono strumenti importanti nel campo ecologico con particolare attenzione alle dinamiche della *treeline*, ma che l'affidabilità delle interpretazioni ecologiche è strettamente dipendente dalla gestione cosciente dei dati processati. Dati gestiti in modo improprio e metadati assenti determinano l'impossibilità di assumere come definitive le deduzioni finali, cioè di dimostrare la significatività degli spostamenti misurati. Sulla base di tali evidenze gli autori riportano in questa sede quelli che ritengono, sulla base della loro esperienza, i "requisiti minimi" necessari a rendere i processi di mappatura della *treeline* condotti con tecniche geomatiche affidabili:

a) il sistema di riferimento di tutti i dati coinvolti (planimetrici e altimetrici) deve essere definito in modo rigoroso in termini di DATUM, proiezione, zona (eventualmente); b) la risoluzione geometrica **originale** dei dati raster geografici coinvolti deve essere riportata sempre; se le mappe sono vettoriali, la scala nominale deve essere comunicata. In ogni caso, una diretta dichiarazione delle accuratèzze verticale e orizzontale dei dati è sempre auspicabile; c) l'appropriatezza dei dati utilizzati rispetto alla scala di riferimento attesa per lo studio deve essere dimostrata confrontando l'accuratezza teorica della scala di riferimento con quella potenziale che caratterizza i dati usati; d) nota e dichiarata l'accuratezza dei dati coinvolti, la propagazione dell'errore lungo il processo di misura deve essere tenuta in considerazione per poter stimare l'incertezza finale delle mappe prodotte (es. spostamenti in quota); e) qualora vengano utilizzate immagini aeree, le seguenti informazioni devono essere fornite: quota di volo, focale, dimensione del sensore e, per stampe digitalizzate, tutte le informazioni circa la qualità della scansione (es. DPI, *dots per inch*); g) se la posizione della *treeline* viene rilevata con tecnologia GNSS, il modello di ricevitore, l'accuratezza dei punti rilevati e la strategia di correzione differenziale (se coinvolta) applicata deve essere comunicata. Gli autori ritengono che tenere in considerazione questi requisiti minimi possa evitare fonti di incertezza e imprecisione che, ad oggi, caratterizzano lo studio delle dinamiche della *treeline*, rendendo i risultati più affidabili dal punto di vista geomatico e, conseguentemente, ecologicamente più forti e sostenibili.

## Bibliografia

- Boccardo P., Borgogno Mondino E., Giulio Tonolo F., (2003). High Resolution satellite images position accuracy test. *Proceedings of IGARSS 2003*. p. 2320-2322, TOULOUSE:IGARSS, ISBN: 9780780379305.
- Boccardo P., Borgogno Mondino E., Giulio Tonolo F., Rinaudo F. (2005). Project in the field of damage assessment and reduction using high resolution remotely sensed images in Italy. *Proceedings of 31st Symposium on Remote Sensing of Environment*. ST. PETERSBURG, Russia.
- Holtmeier F-K. (2009). Mountain timberlines. Ecology, patchiness and dynamics. Vol. 36 of *Advances in Global Change Research*. New York: Springer.

Infine, come già riportato, l'adozione dei DTM può influenzare in modo diretto ed indiretto i risultati finali (Boccardo et al., 2005), nel caso specifico, l'incertezza nel posizionamento verticale della *treeline*. Abbiamo infatti dimostrato che l'accuratezza verticale del DTM influenza fortemente l'incertezza della posizione delle entità misurate.

## Conclusioni

Considerando gli articoli revisionati, e osservandoli con riferimento ai criteri sopra descritti, gli autori hanno trovato solo 6 casi in cui sono state

Con il patrocinio di:



Sponsor:



Visual Information Solutions

