

METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLE ESIGENZE DI VIABILITÀ SILVO-PASTORALE IN UN CONTESTO MONTANO ⁽¹⁾

Per una gestione attiva del bosco con finalità economica è richiesta una valutazione del livello di accessibilità alle superfici forestali in termini quantitativi e qualitativi. Gli strumenti di analisi territoriali, quali i GIS (Geographic Information System), sono utili nella valutazione della superficie servita quanto nella valutazione dell'incremento della estensione della viabilità.

Il presente lavoro propone lo sviluppo di una metodologia a supporto della valutazione delle esigenze di viabilità silvo-pastorale, in un ambito della montagna alpina, basato sulla determinazione dell'interesse delle utilizzazioni sulla superficie forestale e sulla determinazione della superficie silvo-pastorale servita dalla viabilità. Saranno quindi evidenziati l'ammontare della superficie forestale servita dalla viabilità esistente in termini quantitativi (intera estensione) e qualitativi (estensione della rete di strade con buone condizioni di percorribilità).

I risultati ottenuti riportano che l'area di studio presenta una buona estensione della viabilità (analisi quantitativa), che allo stato attuale, però, non si presenta completamente percorribile (analisi qualitativa). La sistemazione e l'adeguamento di una parte della viabilità assieme alla realizzazione di pochi e limitati nuovi tracciati stradali potrebbero garantire un incremento dell'area ben servita abbastanza rilevante, che consentirebbe una utilizzazione efficiente e agevole di circa i tre quarti della ripresa prescritta.

Parole chiave: viabilità forestale; GIS; utilizzazioni forestali; AHP.

Key words: forest road network; GIS; forest operations; AHP

1. PREMESSA

Negli ultimi anni la valutazione della viabilità silvo-pastorale finalizzata alla programmazione degli interventi di miglioramento e ampliamento si è avvalsa di approcci tecnico-economici (ROMANO, 1989), di analisi valutati-

(*) Professore ordinario di Meccanizzazione forestale, Dip. Territorio e Sistemi Agro-forestali, Università degli Studi, Padova; autore corrispondente.

(**) Borsista, Dip. Territorio e Sistemi Agro-forestali, Università degli Studi, Padova.

(***) Ricercatore, Dip. Territorio e Sistemi Agro-forestali, Università degli Studi, Padova.

¹ Il Dott. Stefano Grigolato e la Dott.ssa Elisa Cappellari hanno impostato l'approccio metodologico e contribuito alla stesura del lavoro; il Prof. Raffaele Cavalli ha impostato e coordinato l'attività di studio e contribuito alla stesura del lavoro.

ve dell'impatto ambientale (BERGONZI *et al.*, 1991) e di analisi sul valore di multi-funzionalità (CHIRICI *et al.*, 2003; KLČ, 2005; REGIONE DEL VENETO, 2006A; REGIONE DEL VENETO, 2006B; GUMUS *et al.*, 2007).

Dal punto di vista tecnico-economico, POZZATI (1987) ritiene che la pianificazione della viabilità silvo-pastorale deve confrontarsi con gli aspetti geologici e morfologici del territorio, con la dislocazione e livello di efficienza di strade già esistenti, con gli aspetti selvicolturali e gli obiettivi assestamentali e produttivi. Allo stesso tempo nell'assestamento di un dato comprensorio forestale non è pensabile attuare un'efficace pianificazione in assenza di una comprensione della viabilità a livello territoriale più esteso (CHIRICI *et al.*, 2003).

Per tali motivi, gli strumenti di analisi territoriali, quali i GIS (*Geographic Information System*), risultano utili nella valutazione della superficie servita (FLORIS *et al.*, 1999; CIELO *et al.*, 2003; KLČ, 2005; NEVĚCREL *et al.*, 2007), quanto nella valutazione dell'incremento della estensione della viabilità (ROGERS *et al.* 2001; GUMUS *et al.*, 2007; CAVALLI e GRIGOLATO, 2008), nella individuazione di massima dei tracciati (TAN, 1999; NAJAFI *et al.*, 2008) o nella progettazione (AKAY E SESSIONS 2005; ARUGA *et al.*, 2005; CHUNG *et al.*, 2008).

Recentemente alcune proposte metodologiche per la valutazione dell'estensione dei tracciati (WU *et al.*, 2007) e la valutazione economica e dell'impatto ambientale degli interventi di miglioramento e adeguamento (COULTER *et al.*, 2006a) si sono basate su analisi spaziali gerarchiche a criteri multipli.

Il presente studio si propone di valutare le esigenze di viabilità silvo-pastorale integrando l'analisi spaziale gerarchica a criteri multipli per la determinazione di un indice di priorità di intervento con l'analisi spaziale per la determinazione dell'area servita dalla viabilità.

Lo studio, applicato a un'area della montagna alpina, mira a evidenziare l'ammontare della superficie forestale servita dalla viabilità esistente, sia in termini quantitativi (intera estensione) e qualitativi (estensione della rete di strade con buone condizioni di percorribilità). Inoltre, considerando la fattibilità tecnica della costruzione *ex novo* di strade silvo-pastorali e l'idoneità selvicolturale all'utilizzazione della superficie, lo studio si propone di analizzare gli effetti dell'aumento dell'estensione della viabilità silvo-pastorale sull'incremento di superficie forestale servita e sull'applicazione degli interventi di utilizzazione sulla ripresa decennale prevista.

2. MATERIALI E METODI

2.1. *Analisi gerarchica a criteri multipli tramite applicativo GIS*

Lo sviluppo di strumenti di supporto alle decisioni si basa sullo sviluppo di modelli. Secondo DYKSTRA (1984) un modello è la rappresentazione o l'astrazione di un reale oggetto o reale situazione. Tra questi ricadono anche i modelli *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) o modelli di decisione a criteri multipli (TRANTAPHYLLOU, 2000).

L'impiego di modelli MCDM nella valutazione degli interventi relativi alla viabilità silvo-pastorale è stato motivato e proposto recentemente da COULTER *et al.* (2006A; 2006B) in termini di *Analytic Hierarchy Process* (AHP) o *analisi gerarchica a criteri multipli* (SAATY, 1977) di tipo spaziale (MALCZEWSKI, 1999).

L'analisi AHP di tipo spaziale con strumenti GIS utilizza *criteri* che riportano i loro attributi, normalizzati e resi confrontabili (MALCZEWSKI, 1999), distribuiti spazialmente (*layer* criterio) e predisposti generalmente come *raster*. La combinazione (*map overlay*) dei *layer* criterio consiste quindi nel riprendere il processo AHP e quindi nell'aggregare in un indice descrittivo-sintetico (ROMANO e COZZI, 2006) i valori assunti e distribuiti spazialmente dei diversi criteri (MARINONI, 2004a). L'indice descrittivo-sintetico, derivato in formato *raster*, presenta di conseguenza una distribuzione spaziale dei suoi valori.

La metodologia proposta nel presente studio considera che la misura dell'esigenza di viabilità (*obbiettivo*) possa essere attribuita a due *criteri*: la *fattibilità tecnica* di realizzazione di un tracciato e l'*esigenza di accessibilità* della superficie in relazione all'idoneità selvicolturale all'utilizzazione. I valori dei due criteri sono derivati a loro volta dalla combinazione di *sub-criteri* o attributi (Figura 1).

L'impostazione metodologica è stata supportata dall'impiego del software ArcGIS 9.2 (ARCGIS 9.2) e da un applicativo specifico (AHP 1.1 – *Decision support tool for ArcGIS*) per l'analisi multi-criteriale basata sul confronto a coppie di tipo spaziale (MARINONI, 2004a; MARINONI, 2004b).

2.1.1. Fattibilità tecnica

Per la determinazione della fattibilità tecnica della viabilità silvo-pastorale sono stati considerati i seguenti sub-criteri: la stabilità dei versanti, la geo-litologia e l'accidentalità del terreno. Il sub-criterio relativo alla stabilità dei versanti (*i*STAB) è stato definito con l'applicazione dello modello di stabilità SHALSTAB (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994). Il *raster* viene ri-classificato in tre classi di stabilità: classe 1 - instabilità, classe 2 - instabilità limitata, classe 3 - stabilità. L'applicazione di SHALSTAB

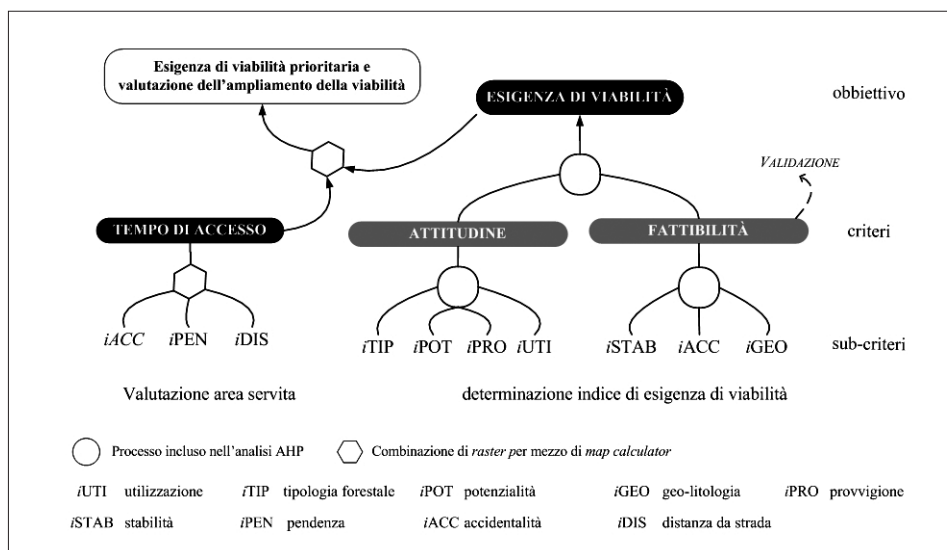


Figura 1 – Sviluppo dello studio e del modello di analisi AHP per la determinazione dell'indice di esigenza di viabilità.

– Layout on the study and of the AHP analysis for the determination of the forest road demand.

presenta come informazione di base il Modello Digitale del Terreno (DEM - *Digital Elevation Model*).

La geo-litologia è utile quale criterio per inquadrare la facilità o difficoltà alla esecuzione della massicciata o sovrastruttura della strada in relazione alla capacità portante del substrato del terreno (*iGEO*) (CIELO *et al.*, 2004; STÜCKELBERGER *et al.*, 2006), mentre l'accidentalità (*iACC*) evidenzia le difficoltà legate allo sgombero del tracciato dal soprassuolo e dagli elementi che ostacolano l'apertura del tracciato (HIPPOLITI, 2004).

2.1.2. Indice di esigenza di accessibilità

Per la determinazione della attitudine alle utilizzazioni si sono considerati i seguenti sub-criteri: la categoria tipologica e la classe attitudinale (*iTIP*), la potenzialità produttiva (*iPOT*), la provvigione (*iPRO*) e le utilizzazioni passate (*iUTI*).

Il sub-criterio categoria tipologica classe attitudinale *iTIP* si definisce sulla base della tipologia forestale e dalla categoria attitudinale di appartenenza, mentre il sub-criterio potenzialità produttiva (*iPOT*) è valutato sulla base della statura reale riportata dai Piani di assestamento così come sub-criterio provvigione (*iPRO*).

Il sub-criterio *iUTI* è invece valutato sulla base della differenza tra la ripresa effettiva e la ripresa assegnata dai Piani di assestamento.

2.2. Identificazione della superficie forestale servita

L'ampiezza della fascia di superficie servita lungo la viabilità silvo-pastorale può essere determinata attraverso procedure GIS-based con metodi diversi: da metodi semplici di *buffering*, che definiscono fasce di superfici servite di ampiezza costante e simmetrica rispetto all'asse della strada, a metodi di *buffering* più complessi in cui l'ampiezza delle fasce di superficie servita sono variabili in relazione a parametri geomorfologici (HENTSCHEL S., 1996), selvicolturali ed economici (pendenza del terreno, dimensioni del legname, sistemi e costi di esbosco) (CAVALLI *et al.*, 2006; MARCHI *et al.*, 2009).

Il metodo impiegato nel presente studio per la determinazione della superficie forestale servita (Figura 1) fa riferimento al metodo di valutazione dell'accessibilità al bosco proposto da HIPPOLITI (1976) che si basa sulla determinazione del tempo che un operatore impiega a piedi per raggiungere dalla strada più vicina l'area oggetto di utilizzazione. I parametri che rientrano nella valutazione dell'accessibilità all'area sono la distanza dell'area dalla strada e il dislivello dell'area rispetto al punto di partenza sulla strada. La valutazione dell'accessibilità tiene in considerazione sia il tempo di andata sia quello di ritorno. Un'area che comporta un tempo complessivo di andata e ritorno superiore ai trenta minuti e fino alle due ore è considerata scarsamente servita; oltrepassando le due ore l'area è considerata non servita.

Il metodo proposto da HIPPOLITI (1976) è stato più volte ripreso e adattato ad analisi su base GIS-based da FLORIS *et al.*, (1999), CHIRICI *et al.*, (2003) e MONTORSELLI (2008).

La superficie forestale è stata quindi indicizzata in funzione del tempo di percorrenza (HIPPOLITI, 1976) e in relazione all'accidentalità del terreno applicando alla velocità di percorrenza un peso variabile da 1 a 0,5 a seconda se il terreno consente una percorrenza facile o difficile.

La distanza dalla strada (distanza reale) e la differenza di quota sono calcolate per mezzo del Modello Digitale del Terreno (predisposto a una risoluzione di 5 m x 5 m) attraverso una funzione GIS per il calcolo delle distanze cumulate (*Path Distance* di ArcGIS). Attraverso questa funzione è possibile, infatti, gestire più variabili e assegnare pesi diversi a seconda delle caratteristiche geomorfologiche del terreno (nel caso di studio pendenza e percorribilità) o altri parametri. Il livello di difficoltà nell'accessibilità a piedi della superficie forestale può essere dedotto dalla consultazione dei Piani di assetto e osservando e percorrendo il terreno in prossimità della viabilità.

In Tabella 1 si riportano i tempi di accesso deducibili dai parametri della funzione GIS-based applicata in relazione alla variazione della pendenza (CHIRICI *et al.*, 2003) e a tre livelli di accessibilità del terreno per una distanza di 100 m planimetri.

Tabella 1 – Tempi di percorrenza per una distanza di 100 m in relazione alla variazione della pendenza e a diverse condizioni della superficie del terreno.

– *Walking time required for covering a distance of 100 m in relation to different slope gradients and terrain condition.*

Pendenza	Accessibilità			Dislivello
	agevole	discreta	difficile	
%	s	s	s	m
0	90	117	135	0
10	90	117	135	10
20	183	238	275	20
30	267	347	400	30
40	364	473	545	40
50	449	583	673	50
60	541	703	811	60
70	630	819	945	70
80	716	931	1074	80
100	900	1170	1350	100
120	1084	1409	1626	120

2.3. Validazione dei risultati riguardanti il criterio della fattibilità tecnica

Per accuratezza di una rappresentazione cartografica si intende la concordanza della classificazione tematica da essa fornita per il territorio considerato rispetto alla cosiddetta «verità a terra».

Come proposto da CORONA (1999), lo strumento per valutare tale concordanza può essere rappresentato da una matrice di classificazione degli errori. Questa è costituita in forma di tabella a doppia entrata in cui si riporta il numero di punti campione attribuiti ad una determinata classe tematica: le righe si riferiscono alla classificazione tematica secondo il risultato cartografico, mentre le colonne si riferiscono allo stato rilevato in campo.

Per la verifica della corrispondenza dell'indice di fattibilità tecnica si considerano punti campione collocati lungo l'esistente rete di strade. I punti possono corrispondere a tratti di viabilità di 100 m distribuiti in modo casuale lungo l'intera rete di strade.

I tratti di viabilità riguardanti il campione di verifica a terra sono quindi percorsi e sono classificati in relazione alla fattibilità tecnica di realizzazione. Le situazioni di fattibilità nulla o fortemente limitata [FN] sono riferiti ai tratti di viabilità che manifestano ampi segni di erosione e di dissesto delle scarpate e della stessa carreggiata, che non dipendono dalla presenza di opere di difesa o di consolidamento né da una eventuale carenza di manutenzione. I tratti con una situazione mediamente difficile per la realizzazione della viabilità [FM] presentano opere quali massicciate o gradinate che impediscono e limitano con successo i fenomeni erosivi e di instabilità del versante a seguito proprio della presenza della strada oppure tratti

situati su terreni con una accidentalità elevata. I tratti privi di difficoltà di realizzazione e non situati in terreni con eccessive pendenze sono considerati realizzati in aree con una fattibilità tecnica non problematica [FF].

2.4. Area di studio

L'area di studio, completamente assestata, è collocata in Carnia nel territorio del Comune di Ampezzo (UD) e copre una superficie silvo-pastorale di 2155 ha (di cui 2028 ha di superficie boscata). La viabilità di interesse silvo-pastorale si estende per 52,5 km, con un indice di densità viaria di 24,4 m ha⁻¹.

La superficie è suddivisa in 52 particelle (Classe economica A, B e D: produttiva; Classe economica C: protezione), 50 rientranti nel Piano di Gestione Forestale del Comune di Ampezzo (circa 2098 ha) e 2 rientranti nel Consorzio Boschi Carnici (circa 55 ha).

Dalla carta dei tipi forestali nella regione del Friuli-Venezia Giulia (DEL FAVERO *et al.*, 1998) sono presenti 8 categorie forestali per un totale di 28 tipologie forestali. Prevalente è la categoria degli abieti-piceo-faggeti, secondariamente si ha una distribuzione abbastanza estesa dei lariceti, mentre più secondarie in termini di incidenza sono le categorie delle faggete, peccete, piceo-abieteti e piceo-faggete.

Il piano della viabilità dell'area (S.T.A.F., 2007a) è stato integrato da rilievi in campo: sono state quindi inserite le strade realizzate successivamente alla redazione del piano ed eliminate o riclassificate quelle non più operative o per nulla o difficilmente percorribili. Ogni tratto di strada è stato quindi classificato in relazione alla classificazione proposta da HIPPOLITI (1976) e ripresa dalla REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA (2004).

La viabilità di esclusivo interesse silvo-pastorale si estende per 42,5 km, di cui 36,2 km sono classificati come strade camionabili (tutte a fondo ghiaioso). Al momento dei rilievi 9,1 km si presentavano in condizioni che limitano una agevole percorribilità ed in particolare 4,3 km non erano percorribili (10% della rete).

Per l'acquisizione dei dati occorrenti per la valutazione della *fattibilità tecnica* e dell'*esigenza di accessibilità* sono stati consultati i Piani di assestamento (COMUNE DI AMPEZZO, 2006; CONSORZIO BOSCHI CARNICI, 1998) dell'area integrandone le informazioni con dei sopralluoghi.

L'informazione relativa alla *fattibilità tecnica* è stata predisposta sulla base della carta geo-litologica e del modello SHALSTAB; per quest'ultimo gli indici di coesione e densità sono stati ricavati dalla consultazione di precedenti lavori che hanno riguardato la valutazione della stabilità dei versanti nelle aree montane del Friuli-Venezia Giulia (BORGHA *et al.*, 2004; DALLA FONTANA *et al.*, 2005; TAROLLI, 2006).

Per ciascun sub-criterio è stata prevista la normalizzazione dei valori degli attributi. La scala di trasformazione è stata impostata da 0 a 10, anziché, da 0 a 1 in quanto l'applicativo AHP impiegato richiedeva attributi a numero intero. Nella scala di trasformazione il valore 0 rappresenta la condizione più sfavorevole o non di non fattibilità e il valore 10 la più favorevole o di fattibilità.

La stima dei pesi da attribuire ai sub-criteri è stata basata sulla procedura AHP e quindi sul confronto a coppie. Nel caso del presente studio, per evitare quanto più possibile di compiere scelte arbitrarie nell'attribuzione dei giudizi e delle priorità tra i criteri, ci si è attenuti alle indicazioni riportate dalle consultazioni avute con tecnici forestali (3), progettisti di strade forestali (2) e imprese di costruzioni strade (1).

I pesi relativi a ciascun attributo risultante dall'analisi AHP e gli indici di consistenza (CR) relativi alla matrice impostata sono riportati in Tabella 2.

Per una maggiore comprensione dei risultati, la superficie forestale è stata quindi suddivisa in 4 zone (Figura 2). Le 4 zone sono state identificate come *bacini* di superficie che sottendono una rete chiusa di strade silvo-pastorali.

Tabella 2 – Pesi risultanti dal confronto a coppie e relativi indici di consistenza (CR).
– *Weights derived from the pairwise comparisons matrix and their consistency ratio (CR).*

Indice di Fattibilità tecnica			Indice di esigenza di viabilità		
Sub-criterio	Descrizione	Peso	Sub-criterio	Descrizione	Peso
<i>i</i> STAB	Stabilità dei versanti	0,784	<i>i</i> TIP	Categoria tipologica	0,307
<i>i</i> GEO	Geo-litologia	0,135	<i>i</i> POT	Potenzialità produttiva	0,175
<i>i</i> ACC	Accidentalità	0,081	<i>i</i> PRO	Provvigione	0,135
			<i>i</i> UTI	Ripresa effettiva/ripresa assegnata	0,383
Rapporto di consistenza: 0,074			Rapporto di consistenza: 0,079		

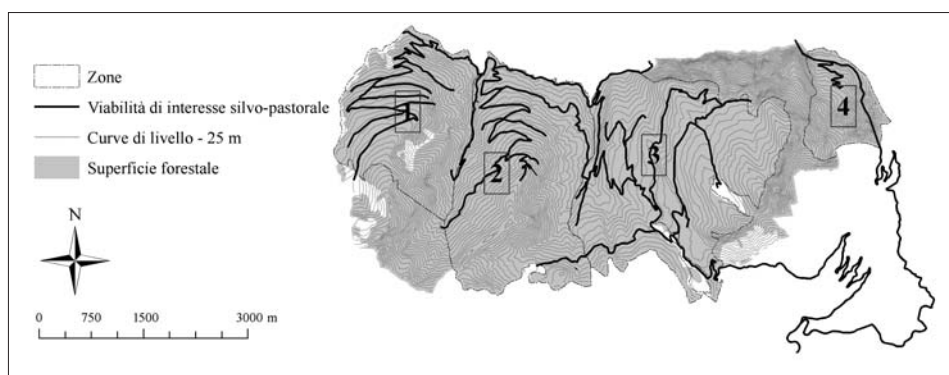


Figura 2 – Area di studio e completa estensione della viabilità silvo-pastorale (SS-intera).
– *Study area and current extension of the forest road network (SS-intera).*

La superficie servita (SS) è stata determinata sia per l'intera rete di strade senza considerare le condizioni di percorribilità della stessa (SS-*intera*), sia per la rete di strade che allo stato dei rilievi si presentava in condizioni di percorribilità ottimali (SS-*percorribile*). L'area servita è stata quindi determinata anche considerando l'ipotesi di ampliamento della della viabilità (SS-*ampliata*) in relazione ai risultati emersi dell'analisi AHP sulla esigenza di viabilità.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. Validazione dell'indice di fattibilità tecnica

Sulla base di un confronto a terra su 60 punti di verifica a terra è stato possibile verificare la corrispondenza con la realtà dell'analisi di fattibilità tecnica e quindi determinare l'indice di accuratezza della carta (p).

Dall'analisi della matrice degli errori (Tabella 3), l'indice di accuratezza (p) è stato pari a 0,77. Ne deriva quindi una discreta corrispondenza fra la cartografia realizzata attraverso l'elaborazione cartografica e il dato rilevato in campo.

Tabella 3 – Matrice degli errori risultante dalla validazione dell'indice di validità tecnica.
– Matrix of the errors resulting from the validation of the technical feasibility index.

stato rilevato	risultato cartografico		
	[FF]	[FM]	[FN]
[FF]	13	5	0
[FM]	5	24	0
[FN]	0	4	9

3.2. Esigenza di viabilità e ampliamento della viabilità silvo-pastorale

Il risultato riguardante l'ampliamento della viabilità è stato ricavato dal confronto tra la distribuzione spaziale dell'esigenza di viabilità e l'attuale presenza di strade (SS-*intera*) e quindi delle superfici servite. Ne deriva una mappatura dell'area suddivisa in 4 classi: superficie attualmente servita (rappresenta l'esigenza soddisfatta), superficie con necessità di priorità assoluta di realizzazione o eventuale prolungamento di strada forestale (necessità di servizio prioritaria), esigenza non prioritaria di realizzazione (necessità di servizio secondaria) e necessità di intervento nulla.

Dalla Tabella 4 risulta evidente che l'area di studio non presenta alcuna necessità di intervento per gran parte della sua superficie (1355 ha, circa l'63% dell'intera estensione). La gran parte della superficie è, infatti, già

Tabella 4 – Risultati relativi alla classificazione dell'esigenza di viabilità.
– Results obtained from the forest road demand analysis.

Classe	Descrizione	Superficie	
		ha	%
Superficie servita e superficie priva di esigenza	Nessun intervento	1355	63
Superficie con esigenza di viabilità bassa	Interventi di seconda priorità	389	18
Superficie con esigenza di viabilità alta	Interventi di prima priorità	412	19

ben servita dalla viabilità presente oppure è interessata da superfici forestali di scarso interesse produttivo o si presenta impervia.

L'ampliamento della viabilità può essere invece classificato come esigenza secondaria per il 18% dell'area di studio. In questa percentuale ricadono piccole estensioni di territorio (versanti orientali delle *zona 1* e *2* non raggiunti da strade perché soggette a locali fenomeni erosivi oppure nella parte in fondovalle della *zona 3*, dove l'elevata pendenza limita la costruzione di strade). Una superficie piuttosto estesa con esigenza secondaria è invece presente nei versanti nord-occidentali ancora della *zona 3*. Qui però il soprassuolo forestale non presenta una spiccata attitudine produttiva, anche se le pendenze e la stabilità dei versanti consentirebbero la realizzazione di nuovi tracciati.

L'esigenza di viabilità alta riguarda, invece, 412 ha, corrispondenti al 19% dell'intera superficie. In queste zone il bosco non è attualmente servito da viabilità, sebbene la sua realizzazione sia considerata fattibile e funzionale a valorizzare l'attitudine produttiva del bosco.

Le superfici più ampie si estendono nel versante più occidentale della *zona 3*, dove le potenzialità produttive sono buone. Un'altra ampia porzione di territorio si trova sempre nella *zona 3*, nella parte alta del versante più orientale. Si tratta di una superficie caratterizzata da un basso indice di ripresa unitaria, che potrebbe però essere valorizzata con l'aumento della rete viaria per consentire leggeri, ma frequenti prelievi.

Alla luce dei risultati ottenuti sulla esigenza di viabilità sono stati ipotizzati nuovi tratti stradali a completamento dell'attuale estensione (SS-intera).

A seguito di tale ampliamento (SS-ampliata), si può verificare un discreto incremento della densità viaria (Tabella 5): in particolare per la *zona 3*, la densità passerebbe da 27,66 m ha⁻¹ a 30,96 m ha⁻¹. Nella *zona 2* non sono previsti, invece, ulteriori tracciati in quanto le superfici con necessità di intervento prioritaria sono ridotte in dimensioni e presentano una distribuzione frammentata.

Nel complesso, con la realizzazione di ulteriori 4,17 km, la densità della viabilità silvo-pastorale passerebbe da 26,15 a 28,09 m ha⁻¹.

Tabella 5 – Incremento dell'estensione della viabilità silvo-pastorale e indice di densità.
– *Effect of the extension of forest road network on the forest road density index.*

Zone	Superficie silvo-pastorale ha	Estensione viabilità	Lunghezza km	Densità m ha ⁻¹
1	544	SS-intera	13,15	24,18
		SS-ampliata	13,92	25,59
2	551	SS-intera	15,98	29,01
		SS-ampliata	15,98	29,01
3	838	SS-intera	23,18	27,66
		SS-ampliata	25,95	30,96
4	222	SS-intera	4,04	18,19
		SS-ampliata	4,68	21,07
TOTALE	2155	SS-intera	56,36	26,15
		SS-ampliata	60,53	28,09

3.3. Estensione della viabilità e variazione della superficie silvo-pastorale servita

I risultati concernenti la variazione della superficie silvo-pastorale servita sono presentati in relazione a: intera estensione della viabilità corrente (SS-intera), viabilità che allo stato dei rilievi si presentava in condizioni di percorribilità buone (SS-percorribile) e incremento dell'estensione della attuale viabilità (SS-ampliata) (Figura 3).

In Tabella 5 si riportano le variazioni sulla superficie servita rispetto alle condizioni di percorribilità ed estensioni della viabilità considerate.

Con l'attuale condizione di percorribilità della rete di strade (SS-percorribile, 38,2 km) la superficie forestale ben servita copre il 38% dell'intera superficie. Se l'intera rete di strade attualmente presente (SS-intera, 42,5 km) fosse agevolmente percorribile, la superficie ben servita coprirebbe il 44,2% dell'intera superficie. Con l'ipotesi che la presente rete di strade sia interamente percorribile e che a questa vadano ad aggiungersi i nuovi tratti stradali volti a coprire le rimanenti aree con una esigenza di viabilità alta (SS-ampliata, +4,17 km), la superficie forestale ben servita arriverebbe a coprire il 48,0% dell'intera superficie.

Quantificando l'analisi in termini di ripresa (Tabella 6), si osserva che la quota di ripresa utilizzabile che ricade all'interno delle superfici forestali ben servite va da un minimo del 60% (SS-percorribile), fino ad un massimo del 73% (SS-ampliata).

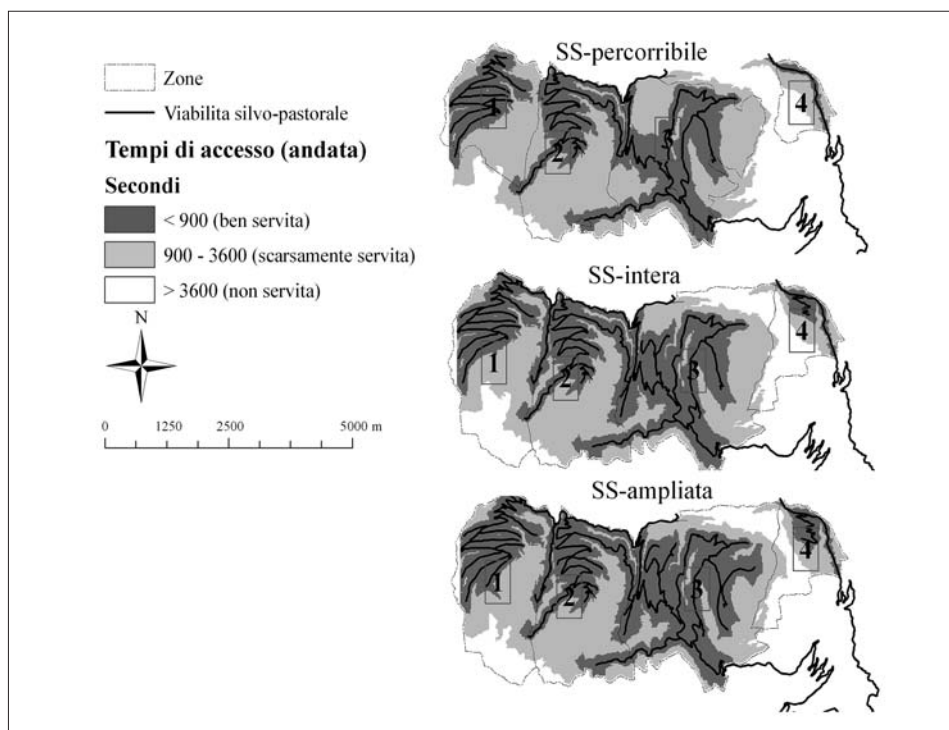


Figura 3 – Tempi di accesso a piedi della superficie forestale in relazione alla estensione e condizione di percorribilità della viabilità silvo-pastorale e condizioni di accessibilità del terreno.

– Walking time required in the forest area in relation to the length and quality of the forest road network and accessibility condition of the terrain.

Tabella 6 – Classificazione della superficie silvo-pastorale e ripresa utilizzabile deducibile per il periodo di validità dei Piani di assestamento in rapporto alla condizione ed estensione della viabilità.

– Classification of the forest area and forest yield derived from the Forest Management Plan in relation to the length and quality of the forest road network.

Classificazione	SS-percorribile		SS-intera		SS-ampliata	
	Superficie ha	Ripresa %	Superficie ha	Ripresa %	Superficie ha	Ripresa %
Ben servita	825	60,5	954	69,5	1035	73,6
Scarsamente servita	946	38,7	837	30,1	812	26,3
Non servita	384	0,8	364	0,3	308	0,1

4. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

I risultati dimostrano che l'area di studio presenta attualmente una buona estensione e una adeguata localizzazione della viabilità silvo-pastorale (SS-intera). Dall'analisi si evidenzia che potrebbe essere opportuna la

realizzazione di circa 4 km di tracciati stradali per coprire le superfici forestali ancora scarsamente servite (o non servite).

La viabilità SS-intera è però percorribile agevolmente al 90% (SS-percorribile) della sua intera estensione. Ne consegue che allo stato attuale la superficie ben servita sia minore di quella che si potrebbe avere in una condizione ideale di buona percorribilità e con una evidente riduzione della quantità di ripresa facilmente accessibile (-8,6%).

La programmazione di interventi volti quindi a migliorare l'intera rete di strade sia con l'adeguamento che con l'incremento della attuale viabilità (SS-ampliata) può incidere positivamente sulla efficienza delle utilizzazioni nell'area. La ripresa prescritta rientrando nelle superfici ben servite arriverebbe al 73,6% del totale rispetto all'attuale 60,5%. Questo potrebbe quindi favorire un aumento della ripresa a disposizione incrementando così l'efficienza nelle operazioni di esbosco e trasporto del legname e quindi il valore di macchiatico.

Come evidenziato da BERGONZI *et al.* (1991), si deve comunque considerare che la costruzione di una nuova strada forestale presenta molteplici ripercussioni economiche ed ambientali sia positive che negative (MARCHI e SPINELLI, 1997). Per tale motivo, nella valutazione del miglioramento della viabilità assume una importanza notevole verificare e dare una scala di priorità agli interventi (adeguamento dei tracciati e/o realizzazione di nuovi tracciati) in relazione ai ritorni economici, all'incremento dell'efficienza delle operazioni forestali e alle ripercussioni ambientali.

Nella scelta se ampliare la rete di strade o sistemare/adequare la viabilità già esistente è quindi opportuno anche valutare l'efficienza dei sistemi di utilizzazione e in particolare del sistema di esbosco che potrebbe essere più convenientemente adottato.

Ad esempio, nel caso in cui l'area compresa tra due strade parallele risulti scarsamente servita, può apparire più efficiente impiegare un sistema esbosco per via aerea e garantire quindi l'accessibilità all'area di utilizzazione per mezzo di una o più piste in grado di agevolare l'accesso (riducendone il tempo per raggiungere e tornare dall'area di taglio), agli operai per mezzo di piccoli mezzi motorizzati.

In situazioni in cui il valore qualitativo degli assortimenti risulti essere elevato, ma la ripresa unitaria si presenti modesta, potrebbe essere interessante invece rendere accessibili le superfici con l'ampliamento della viabilità. Infatti, interventi puntuali basati su esbosco per via aerea con una intensità di utilizzazione unitaria (m^3/m di linea) non sono economicamente concretizzabili (PIEGAI, 1990). Così come previsto nella zona 3 dell'area di studio (S.T.A.F., 2007b), un incremento della viabilità di 1,5 km potrebbe in questo caso consentire di utilizzare con efficienza ed economia altri

400 m³ in 10 anni in aggiunta ai 3000 m³ già facilmente utilizzabili nella stessa area.

Per quanto riguarda la metodologia proposta nello studio, si osserva che la definizione delle superfici silvo-pastorali servite è stata impostata in base alla distanza dalla strada e alla pendenza e integrata con le informazioni relative alla accidentalità del terreno. Un limite di quest'approccio può essere rappresentato dal fatto che il possibile sistema di esbosco non viene considerato e analizzato. L'area di bosco servito può essere, infatti, definita in relazione anche al sistema di esbosco e alla sua operatività e non solo sulla accessibilità (CAVALLI *et al.*, 2006; CIVITARESE *et al.*, 2006; CAVALLI e GRIGOLATO, 2007).

Si evidenzia che la metodologia può essere adatta, con la risoluzione dei dati considerati e la precisione delle informazioni raccolte, allo studio di aree estese almeno a scala di Piano di assestamento. Con la sempre maggiore diffusione di Modelli Digitali ad alta risoluzione del Terreno (DEM) e delle Chiome (DCM - *Digital Canopy Model*), l'applicazione potrebbe essere potenzialmente applicata anche a scale minori. I risultati dell'applicazione potrebbero essere, infatti, più precisi in particolare per lo studio della stabilità dei versanti, nella informazione spaziale del soprassuolo e sulla individuazione dei tracciati di viabilità in progetto, quanto la determinazione dei sistemi di esbosco (AKAY *et al.*, 2009).

In conclusione è necessario evidenziare che il presente approccio è stato sviluppato per avere una prima indicazione su quali possono essere le aree che richiedono un eventuale ampliamento della viabilità silvo-pastorale almeno a scala di Piano di assestamento o su scala regionale. È evidente che, prima di determinare quante e quali siano le strade realizzabili o gli interventi straordinari di miglioramento, è necessario verificare il ritorno del loro investimento e il loro impatto. Si richiede quindi successivamente un livello di analisi di dettaglio tecnico-economico e ambientale. Infatti, i tracciati individuati in questo studio sono il risultato di una applicazione che può risultare utile al decisore per orientare le priorità di intervento in un'area piuttosto ampia, mentre la fattibilità dell'opera andrà successivamente verificata mediante appropriate ricognizioni e la successiva definizione di dettaglio del tracciato da adottare.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Dott. For. Verio Solari per il costruttivo confronto sulla metodologia impostata e per la discussione dei risultati.

Il presente lavoro è stato prodotto nell'ambito del progetto *Creazione*

di uno strumento di supporto della pianificazione del sistema infrastrutturale viario nell'ambito forestale regionale, sviluppato dal Dip. Te.S.A.F. dell'Università degli Studi di Padova, responsabile Prof. Raffaele Cavalli, e promosso e finanziato dalla Regione del Veneto - Direzione Foreste ed Economia Montana.

SUMMARY

Method for assessment of forest road network requirement in a mountain area

Active management of productive forests requires a precise evaluation of the accessibility to the forest area in terms of quantity and quality. Spatial analysis tools, such as GIS (Geographic Information Systems), are useful for evaluating the expansion of the forest road network.

This study aims to develop a decision support model for determining the forest area opened up by a forest road network. This approach considers the interest in harvesting the forest area and the technical feasibility of road building.

For the selected study area located in an alpine region, the results report that the current network is well developed (qualitative analysis), but not fully practicable (qualitative analysis). Extending and improving the current forest road network could notably increase the area of forest served. As a consequence, this would increase the feasibility of utilizing up to 73% of the prescribed yield.

BIBLIOGRAFIA

- AKAY A.E., OUZ H., KARAS I.R., ARUGA K., 2009 – *Using Lidar technology in forestry activities*. Environmental Monitoring and Assessment, 151: 117-125.
- AKAY A.E., SESSIONS J., 2005 – *Applying the decision support system, TRACER to forest road design*. Western Journal of Applied Forestry, 20 (3): 184-191.
- ARC GIS 9.2. – Redland, CA: Environmental System Research Institute. <http://webhelp.esri.com/>
- ARUGA K., SESSIONS J., AKAY A.E., 2005 – *Application of an airborne laser scanner to forest road design with accurate earthwork volumes*. Journal of Forestry Research, 10: 113-123.
- BERGONZI P., CESARO L., MICILLO P., PIERANTONI C., 1991 – *Analisi costi benefici e valutazione di impatto ambientale della viabilità forestale*. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste. Collana verde 85/91.
- BORGA M., TONELLI F., SELLERONI J., 2004 – *A physically based model of the effects of forest roads on slope stability*. Water Resources Research, 40 (10) W12202.
- CAVALLI R., GRIGOLATO S., 2007 – *Geographical analysis with GIS methodology for a sustainable use of logging residues in mountainous area*. Rivista di Ingegneria Agraria, 36 (3): 29-37.
- CAVALLI R., GRIGOLATO S., 2008 – *Forest road network in piedmont area: a case study in Italy on current condition and development possibilities for supporting a wood*

- chip supply chain*. Atti del 3rd International Scientific Conference. FORTECHENVI 2008. Mendel University of Agriculture and Forestry: Brno. 5-10 May 2008, Prague.
- CAVALLI R., GRIGOLATO S., LUBELLO D., 2006 – *Planning logging systems through site analysis*. Atti del International Precision Forestry Symposium, Stellenbosch: Stellenbosch University. Stellenbosch, 5-10 March 2006.
- CHIRICI G., MARCHI E., ROSSI V., SCOTTI R., 2003 – *Analisi e valorizzazione della viabilità forestale tramite G.I.S.: la foresta di Badia Prataglia (AR)*. L'Italia Forestale e Montana, 58 (6): 460-481.
- CHUNG W., ARUGA K., STUCKELBERGER J., CUNDY T. W., 2008 – *Forest road network design using a trade-off analysis between skidding and road construction costs*. Canadian Journal of Forest Research, 38 (3): 439-448.
- CIELO P., GOTTERO F., MORERA A., TERZUOLO P., 2003 – *La viabilità agrosilvopastorale: elementi di pianificazione e progettazione*. IPLA. 106 p. Torino, Regione Piemonte, www.regione.piemonte.it
- CIVITARESE V., PIGNATTI G., VERANI S., SPERANDIO G., 2006 – *Pianificazione delle operazioni di esbosco in un ceduo*. Forest@, 3 (3): 367-375.
- COMUNE DI AMPEZZO, 2006 – *Piano economico delle proprietà silvo-pastorali del comune di Ampezzo per il dodicennio 1996-2007*. Ampezzo, Comune di Ampezzo.
- CONSORZIO DEI BOSCHI CARNICI, 1998 – *Piano economico delle proprietà silvo-pastorali per il dodicennio 1998-2009*. Tolmezzo, Consorzio Boschi Carnici.
- CORONA P., 1999 – *Valutazione dell'accuratezza tematica in cartografia forestale*. L'Italia Forestale e Montana, 54 (3): 153-161.
- COULTER E.D., SESSIONS J., WING M. G., 2006B – *Scheduling forest road maintenance using the analytic hierarchy process and heuristics*. Silva Fennica, 40 (1): 143-160.
- COULTER, E.D., COAKLEY J., SESSIONS J., 2006A – *The Analytic Hierarchy Process: A Tutorial for Use in Prioritizing Forest Road Investments to Minimize Environmental Effects*. International Journal of Forest Engineering, 17 (2): 51-70.
- DALLA FONTANA, G., BORGA, M., TAROLLI, P., 2005 – *Modellazione dei processi di instabilità superficiale. La prevenzione del rischio idrogeologico nei piccoli bacini montani della regione: esperienze e conoscenze acquisite con il progetto*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna, p. 95-112.
- DEL FAVERO R., POLDINI L., BORTOLI P.L., DREOSSI G., LASEN C., VANONE G., 1998 – *La vegetazione forestale e la selvicoltura nella Regione Friuli-Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia - Direzione Regionale delle Foreste. Vol. I e II, 490 + 303 p.
- DYKSTRA D., 1984 – *Mathematical programming for natural resource management*. New York, McGraw-Hill, 318 p.
- FLORIS. A., PICCI M., SCRIZI G., 1999 – *Analisi in ambiente GIS per la valutazione*

- del grado di infrastrutturazione viaria delle aree forestali*. Dendronatura, 35 (2): 24-33.
- GUMUS S., ACAR H.H., TOKSOY D., 2009 – *Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting*. Environ Monit Assess., 142: 109-116.
- HENTSCHEL S., 1996 – *GIS-gestützte Herleitung der flächenhaften Erschliessungswirkung von Wegenetzen am Beispiel von ARC/INFO*. Forsttechnische Informationen, 2 (1-2): 9-13.
- HIPPOLITI G., 1976 – *Sulla determinazione delle caratteristiche della rete viabile forestale*. L'Italia Forestale e Montana, 31 (6): 241-255.
- HIPPOLITI G., 2004 – *Note pratiche per la realizzazione della viabilità forestale*. Arezzo, Compagnia delle foreste, 96 p.
- KLČ P., 2005 – *Research on principles of making access to mountain forests by forest road network*. Journal of Forest Product, 51(3): 115-126.
- MALCZEWSKI J., 1999 – *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York, John Wiley, 408 p.
- MARCHI E., SPINELLI R. MORTOSELLI N.B., 2009 – *Use of GIS analysis in forest operation planning: an example from central Italy*. Atti del 42nd Symposium on Forestry Mechanization - FORMEC 2009. Czech University of Life Science: Prague. 21-24 June 2009, Kostelec, p. 284-292.
- MARCHI E., SPINELLI R., 1997 – *L'impatto ambientale della viabilità forestale*. L'Italia Forestale e Montana, 53 (4): 221-239.
- MARINONI O., 2004a – *Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS*. Computers and Geosciences, 30 (6): 637-646.
- MARINONI O., 2004b – *Some words on the analytic hierarchy process and the provided ArcGIS extension ext_ahp*. <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=13764>
- MONTGOMERY D.R., DIETRICH W.E., 1994 – *A physically based model for the topographic control on shallow landsliding*. Water Resource Research, 30 (4): 1153-1171.
- MORTOSELLI N.B., 2008 – *GIS tools analysis for forest road network planning*. Atti del 3rd International Scientific Conference. FORTECHENVI 2008. Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno. 5-10 May 2008, Prague.
- NAJAFI A., SOBHANI H., SAEED A., MAKHODOM M., MOHAJER M., 2008 – *Planning and assessment of alternative forest road and skidding networks*. Croatian Journal of Forest Engineering, 29 (1): 63-73.
- NEVĚCREL H., PENTEK T., PIMAN D., STANKI I., 2007 – *Traffic load of roads as a criterion for their categorization – GIS analysis*. Croatian Journal of Forest Engineering, 28 (1): 27-38.
- PIEGAI F., 1990 – *Produttività dell'esbosco con gru a cavo in confronto all'esbosco per avvallamento ed all'esbosco a strascico con trattori*. L'Italia Forestale e Montana, 45 (6): 419-439.
- POZZATI A., 1987 – *Criteri di pianificazione delle strade forestali in provincia di Trento*. L'Italia Forestale e Montana, 43 (6): 445-452.

- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, 2004 – *Direttive per la redazione dei piani di gestione delle proprietà forestali, piani integrati particolareggiati e progetti di riqualificazione forestale ed ambientale e per la pianificazione e realizzazione delle vie terrestri ed aeree di esbosco*. Approvazione le direttive generali previste dal decreto del Presidente della Regione 12 febbraio 2003, n. 032. Delibera della Giunta Regionale Friuli Venezia Giulia n. 1310 Gazzetta Ufficiale n. 26, serie generale, 30 giugno 2004.
- REGIONE DEL VENETO, 2006A – *Valutazione del Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006 della Regione del Veneto. Aggiornamento rapporto di valutazione intermedia*. A cura di AgriConsulting S.p.A (Roma).
- REGIONE DEL VENETO, 2006B – *Valutazione del Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006 della Regione del Veneto. Aggiornamento rapporto di valutazione intermedia*. Allegato: Metodologie, elaborazioni e fonti informative. A cura di AgriConsulting S.p.A. (Roma).
- ROGERS L., SCHIESS P., 2001 – *Pegger & Roadview - New GIS tool to assist engineers in operations planning*. Atti del International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium. College of Forest Resources, University of Washington: Seattle 10-12 December 2001, Seattle, p. 177-182.
- ROMANO D., 1989 – *La valutazione di massima di un investimento in reti viarie forestali*. Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali, vol. 38: 333-364.
- ROMANO S., COZZI M., 2006 – *Modelli multicriteriali geografici per la valutazione delle trasformazioni di uso del suolo e impatti della politica agricola nei territori rurali*. L'Italia Forestale e Montana, 61 (5): 424-462.
- S.T.A.F., 2007a – Tolmezzo (UD). Dati non pubblicati
- S.T.A.F., 2007b – Tolmezzo (UD). Comunicazione personale.
- SAATY T.L., 1977 – *A scaling methods for priorities in hierarchical structures*. Journal of Mathematical Psychology, 15 (4): 231-281.
- STÜCKELBERGER J.A., HEINIMANN H.R., BURLET E.C., 2006 – *Modeling spatial variability in the life-cycle costs of low-volume forest roads*. European Journal of Forest Research, 125 (4): 377-390.
- TAN J., 1999 – *Locating forest roads by a spatial and heuristic procedure*. Journal of Forest Engineering, 10 (2): 91-100.
- TAROLLI P., 2006 – *Modellazione dei processi di franamento superficiale*. F.R.A.N.E. Foreste: Recupero Ambientale Naturalistico Ecologico. Linee-guida per la mitigazione del rischio idrogeologico. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna, p. 85-94. ISBN-10: 88-902490-0-5.
- TRIANAPHYLLOU E., 2000 – *Multi-Criteria Decision Making Methods: a comparative study*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 288 p.
- WU C., AYERS P.D., ANDERSON A.B., 2007 – *Validating a GIS-based multi-criteria method for potential road identification*. Journal of Terramechanics, 44 (3): 255-263.