



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di laurea magistrale in Scienze Forestali e Ambientali

PROSPETTIVE DI RICERCA SULL'IMPIEGO DI *FORWARDER* NELLE
OPERAZIONI FORESTALI

Relatore

Dott. Stefano Grigolato

Laureanda:

Paola Rigon

Matricola n. 1061519

ANNO ACCADEMICO 2013 - 2014

INDICE

RIASSUNTO	7
ABSTRACT	9
1. INTRODUZIONE	11
1.1. Esbosco terrestre.....	11
1.2. <i>Forwarder</i>	12
1.3. Uso del GPS nelle operazioni forestali	15
1.4. Obbiettivi del lavoro.....	15
2. MATERIALI E METODI	17
2.1. Ricerca bibliografica	17
2.2. Descrizione della creazione del <i>database</i>	17
2.2.1. Creazione del <i>database</i> generale di tutte le pubblicazioni	17
2.2.2. Creazione del <i>database</i> degli studi di produttività.....	19
2.3. Utilizzo del GPS per il monitoraggio del <i>forwarder</i> nelle operazioni di esbosco	20
3. RISULTATI.....	25
3.1. Temi trattati nella bibliografia analizzata.....	25
3.2. Valutazione comparativa dei modelli di produttività	32
3.3. Valutazione dei risultati relativi al monitoraggio	34
4. CONCLUSIONI.....	39
5. BIBLIOGRAFIA	41

La Dott.ssa Paola Rigon e il Dott. Stefano Grigolato hanno condiviso l'impostazione del lavoro, il modello sperimentale e la discussione dei risultati.

La Dott.ssa Paola Rigon ha organizzato l'acquisizione dei dati e la loro elaborazione; ha curato, inoltre, l'indagine bibliografica e la stesura del testo.

RIASSUNTO

Il *forwarder* è ad oggi uno dei principali mezzi forestali designati alle operazioni di esbosco. Diffuso soprattutto nei paesi del centro-nord Europa, la sua presenza sta diventando importante anche in Italia. Pensato per lavorare soprattutto nelle piantagioni e per utilizzazioni in grandi superfici, negli ultimi anni è impiegato anche dalle imprese dell'arco alpino, siano esse di piccole-medie dimensioni, basate su un sistema di lavoro tradizionale, che di grandi dimensioni e specializzate, dove le utilizzazioni sono in gran parte meccanizzate.

L'attività di ricerca a livello mondiale ha cercato di studiarne requisiti e potenzialità in modo da migliorarne l'utilizzo e aumentarne la produttività per un più efficiente sistema di lavoro, cercando contemporaneamente di ridurre gli impatti e le problematiche che questo mezzo genera.

Ad oggi il GPS è uno strumento frequentemente utilizzato per lo studio del *forwarder*, tuttavia la maggior parte di queste ricerche è stata svolta in contesti operativi differenti da quelli alpini. Con questo studio si è voluto valutare l'utilizzo di un GPS escursionistico per il monitoraggio delle fasi di esbosco di un *forwarder* in un cantiere situato nelle Prealpi venete.

Questo lavoro si suddivide in tre parti, nella prima è stato fatto uno studio dello stato dell'arte della ricerca sul *forwarder*; nella seconda è stata fatta un'analisi della produttività di questi mezzi sulla base di dati presenti in bibliografia; nella terza parte è stata fatta un'analisi dei dati registrati da un GPS a bassa risoluzione montato su un *forwarder* in un caso studio situato nell'Altopiano dei Sette Comuni.

ABSTRACT

The *forwarder* is one of the principal forest machine used in the extraction forest operations. It is found especially in the countries of central and northern Europe, but its presence is becoming important also in Italy. Created specially to work in the plantations and for utilizations in large areas, in recent years, the *forwarder* is also employed by companies of the Alps areas, whether they are small to medium in size, based on traditional works, so with the use of the chain saw for felling, that large, so more specialized where forest operations are largely mechanized.

The research activity in the world has tried to study the requirements and capabilities in order to improve utilization and increase productivity, for a more efficient working system, while still searching to reduce the impacts and problems that this machines generates.

The GPS is frequently used for the study of *forwarders*, however, most of these researches have been carried out in operational contexts different from those in the Alps. With this study we aimed to evaluate the use of a low cost GPS for monitoring phases of timber extraction of a *forwarder* to a yard site in the Prealps in Veneto region.

This work is divided into three parts, in the first one has been made a study on the state of world research on the *forwarders*. In the second the productivity of these means has been analyzed on the basis of data present in bibliography, and finally in the third part has been made an analysis of the data recorded from a low resolution GPS mounted on a *forwarder* in a case study located in the highland of Sette Comuni.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio l'impresa boschiva Sambugaro per aver permesso di effettuare i rilievi e il dott. Marco Pellegrini per l'aiuto durante il monitoraggio.

Vorrei ringraziare inoltre la mia famiglia che mi ha guidato e sostenuto in questo mio percorso e per avermi supportato in questi anni di studio; mio fratello Silvio per non avermi mai fatto mancare parole di sostegno. Ringrazio infine Federico per avermi spronato a dare sempre il meglio e per essermi sempre stato vicino.

1. INTRODUZIONE

1.1. Esbosco terrestre

I lavori di utilizzazione forestale comprendono tutte le operazioni che mirano ad ottenere un prodotto legnoso finale. L'insieme di queste operazioni deve essere svolto in equilibrio con le dinamiche forestali, affinché gli impatti generati dalle utilizzazioni siano compatibili con le funzioni del bosco, valutando attentamente anche l'aspetto economico al fine di garantire un profitto al proprietario boschivo (Marchi e Piegai, 2001).

I lavori di utilizzazione si articolano nelle seguenti fasi:

- Abbattimento;
- Sramatura e cimatura;
- Depezzatura
- Concentramento;
- Esbosco;
- Trasporto.

Il tema delle utilizzazioni forestali è un argomento piuttosto ampio per cui in questo lavoro ci si è concentrati solo sull'esbosco terrestre.

Con il termine esbosco si indicano tutte le operazioni necessarie per trasportare fusti parzialmente o completamente allestiti e parti di piante dal letto di caduta all'imposto su strada camionabile (Hippoliti e Piegai, 2000).

In linea di massima la distanza di esbosco è nell'ordine delle centinaia di metri, distanze superiori al chilometro sono indice di insufficienza di infrastrutture viarie o comunque non adatte al transito di mezzi deputati al trasporto del legname.

I diversi sistemi di esbosco, come suggerito da Giordano (1956), possono essere suddivisi in:

- Esbosco per via terrestre (al suolo, o materiale caricato su veicoli o ferrovia);
- Esbosco per via idrica (torrenti o fiumi);
- Esbosco per via aerea (teleferica o elicotteri).

L'esbosco terrestre avviene lungo "vie di esbosco" ossia percorsi destinati al transito del legname mediante trascinamento o trasporto.

In passato ciò avveniva tramite l'impiego di animali, soprattutto muli o cavalli da tiro. Con il tempo questa soluzione è stata abbandonata data la scarsa produttività ma è applicata ancora in alcuni casi sugli Appennini per l'ottenimento di legna da ardere (Baldini e Renzi, 2013).

Un altro possibile metodo si basa su l'utilizzo di risine o *tovi*, anche questo ormai abbandonato o utilizzato in pochi casi per la legna da ardere.

Il sistema di esbosco terrestre più utilizzato è invece quello che si avvale di veicoli motorizzati, quali trattori con rimorchio forestale, *forwarder* o *skidder*. Questo metodo risulta essere più semplice, facile ed economico, tuttavia presenta dei limiti di carattere tecnico legati alla ridotta mobilità di questi mezzi in terreni difficili.

In genere la fase di trasporto è preceduta dal concentramento del materiale legnoso lungo le vie di esbosco mediante un trattore con verricello per facilitare le operazioni.

1.2. **Forwarder**

Fino agli anni 70'-80' i mezzi forestali per l'esbosco terrestre del legname erano rappresentati unicamente dai trattori con rimorchio forestale. In seguito, l'avanzamento tecnologico ha permesso di modificare tali mezzi che sono evoluti in quelli che oggi sono chiamati *forwarder*.

Il *forwarder* è una macchina composta da due unità collegate mediante un giunto articolato:

- unità anteriore con motore, cabina, asse o *bogie* anteriore;
- unità posteriore con pianale di carico, gru a braccio articolato e *bogie* posteriore.

La macchina ha una capacità di carico compresa tra 7,5 e 15 t ed è dotata di 6/8 ruote motrici a trasmissione idrostatica.

Il processo operativo tipico del *forwarder* si basa su una serie di cicli di carico-scarico, ognuno dei quali è costituito da quattro fasi principali:

1. viaggio scarico: il *forwarder* parte scarico dal piazzale di deposito/imposto e si muove in direzione dell'area di taglio fino a raggiungere il materiale accatastato lungo la pista. La fase si conclude con l'attivazione della gru;
2. carico: la macchina carica nel pianale il legname fino a riempirlo;
3. viaggio carico: il mezzo si muove a pieno carico dall'area di taglio fino all'imposto;
4. scarico: il *forwarder* riattiva la gru e scarica tutto il materiale caricato (Figura 1.1).



Figura 1.1 Esempio di *forwarder* durante la fase di scarico

Rispetto ad un trattore con rimorchio forestale, il *forwarder* permette di effettuare l'intero ciclo di lavorazione dal posto di guida, garantendo una maggiore sicurezza per l'operatore.

Inoltre questa macchina è estremamente agile e può transitare in terreni inaccessibili ai trattori agricoli, permettendo l'esbosco anche su pendenze del 40% a pieno carico (Baldini, 2009).

Tuttavia presenta dei limiti dovuti sia alle dimensioni, quanto al peso. Proprio per queste caratteristiche, un utilizzo improprio in condizioni di terreno bagnato (Figura 1.2) o il trasporto su viabilità o piste permanenti con capacità di portata limitata o con strutture portanti a secco dimensionate per portate più contenute rispetto alle 18-20 t di un *forwarder* a pieno carico può arrecare impatti al suolo e danni importanti. Per tale motivo il suo utilizzo è considerato più adatto

ad una selvicoltura semi-intensiva rispetto ad una selvicoltura naturalistica in senso stretto. Gli elementi chiave per un impiego a basso impatto ambientale dei *forwarder* anche nell'applicazione della selvicoltura naturalistica dipende in maniera determinata dall'esperienza degli operatori e dalla loro capacità di valutazione delle problematiche del cantiere e quindi nella scelta delle modalità di lavoro e accorgimenti adatti all'utilizzo sostenibile della macchina.



Figura 1.2 Effetto dell'utilizzo di *forwarder* di grandi dimensioni e a pieno carico al transito su pista forestale permanente(a) e su viabilità forestale principale(b) in condizioni non ottimali(Val del Boite, BL)

Un altro limite è il costo del mezzo (tra i 200 e i 400'000 € a seconda del modello) che restringe l'acquisto alle sole imprese medio-grandi con un utilizzo annuo, in linea o prossimo con quello medio in Europa centrale di circa 1400 ore (Spinelli et al., 2011). Esiste però un mercato dell'usato piuttosto attivo soprattutto per i mezzi provenienti dai paesi nordici e dal centro Europa. Proprio in questi paesi si trova il maggior numero di tali mezzi in quanto le tecniche selvicolturali adottate (taglio raso su ampie superfici) giustificano la diffusione e il pieno sfruttamento delle potenzialità della macchina (Spinelli et al., 2011).

In Italia questi mezzi hanno cominciato a diffondersi a partire dalla fine degli anni 90' ed il loro numero è andato via via crescendo, per diventare ad oggi uno dei mezzi di punta per quanto concerne l'esbosco terrestre, sia in terreni pianeggianti sia negli ambienti montuosi degli Appennini e delle Alpi, ossia nelle zone in cui si pratica una selvicoltura produttiva. Ciò è confermato dal fatto che fino ad ora solo nel nord Italia sono presenti più di cinquanta *forwarder*, sia di piccole (mini-*forwarder*) che grandi dimensioni (*forwarder* tradizionali)(Spinelli et al., 2013).

1.3. Uso del GPS nelle operazioni forestali

Dopo la liberalizzazione del segnale GPS avvenuta all'inizio del nuovo millennio, sono stati fatti numerosi studi per valutarne e testarne la precisione in ambito forestale (Rodríguez-Pérez et al., 2007; Piedallu and Gégout, 2005; Gandaseca et al., 2001).

Nel campo della meccanizzazione forestale, il GPS è stato utilizzato per tracciare e mappare le dinamiche operative di vari mezzi, come ad esempio il trattore forestale (Spruce et al., 1993), lo *skidder* (Veal et al., 2001; Pellegrini et al., 2013), il *feller-buncher* (Reutebuch et al., 1999) e l'utilizzo dell'elicottero per le operazioni di esbosco (Horcher, 2008).

Per quanto riguarda il *forwarder*, l'utilizzo del GPS è stato oggetto di studio di vari autori. Solo per citarne alcuni, Flisberg (2007) e Malinovski (2008) dal punto di vista della pianificazione delle operazioni di esbosco, Suvinem (2006) delle prestazioni e dei consumi del mezzo e Seixas (2003) nella valutazione degli impatti.

La maggior parte dei lavori pubblicati sono stati fatti però in contesti pianeggianti, quindi in condizioni di operatività relativamente semplici. Sono invece limitati i lavori che studiano il GPS abbinato al *forwarder* in ambiti montani, come quelli alpini, caratterizzati dall'irregolarità dei percorsi e dalla ricezione del segnale non sempre ottimale.

1.4. Obiettivi del lavoro

Lo scopo di questo lavoro si divide in due fasi, nella prima sono state analizzate le pubblicazioni realizzate in ambito forestale a livello mondiale che trattano del *forwarder* in un periodo di tempo che va dal 1975 al 2013. A tal proposito sono stati analizzati vari aspetti, tra cui l'efficienza produttiva, la meccanica, gli impatti, la simulazione, la pianificazione, l'ergonomia e la sicurezza del mezzo.

È stato poi approfondito il tema dell'efficienza produttiva mediante un'analisi della produttività di diversi *forwarder* in contesti geografici e utilizzativi che presentano caratteristiche diverse.

Nella seconda fase è stata fatta un'attività sperimentale che prevede la valutazione dell'utilizzo di GPS di tipo escursionistico per il monitoraggio e l'analisi dell'operatività di *forwarder* in ambiente montano.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Ricerca bibliografica

La ricerca bibliografica è stata effettuata *online* utilizzando come *database* unicamente Scopus, al fine di avere un'omogeneità degli articoli trovati, per consentire un confronto più appropriato e per facilitare la ricerca disponendo comunque di un'elevata quantità di pubblicazioni.

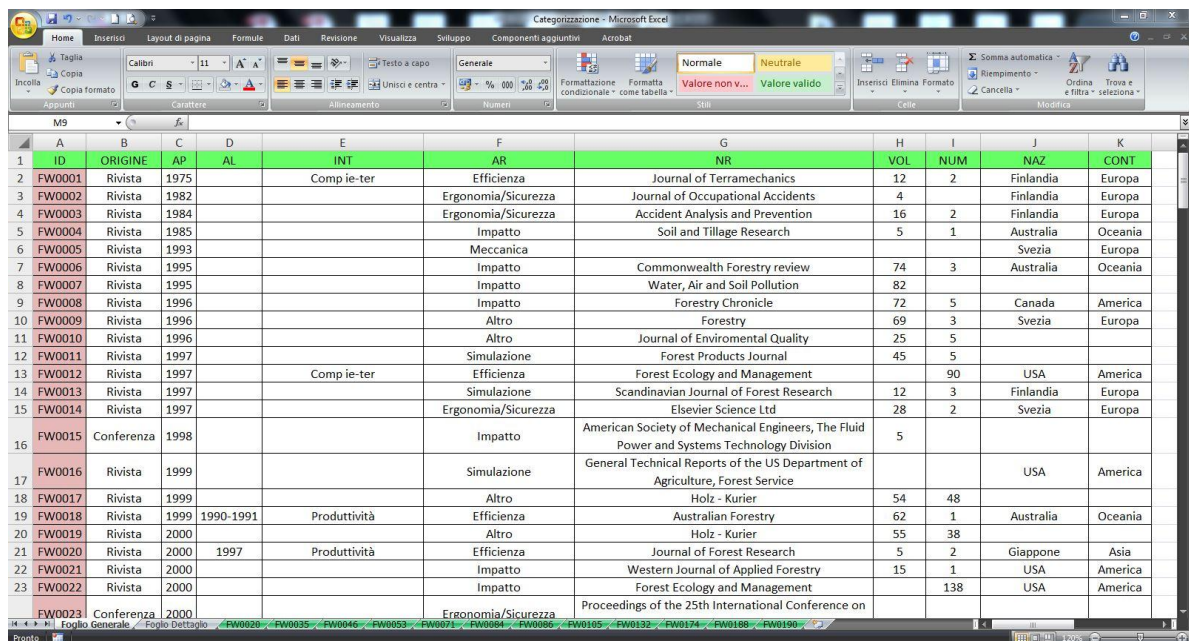
I termini di ricerca utilizzati sono stati "*forest*" e "*forwarder*" imponendo come limite temporale della ricerca l'anno 2013. Agli articoli così trovati ne sono stati aggiunti altri 14 che, pur trattando questi temi, non erano stati rintracciati nella banca dati con i termini indicati.

Le pubblicazioni ottenute sono state inserite in un archivio, ordinate in ordine cronologico dal più datato al più recente e nominate con l'acronimo "FW" seguito da un numero crescente (es. FW0001, FW0002, etc.).

2.2. Descrizione della creazione del *database*

2.2.1. Creazione del *database* generale di tutte le pubblicazioni

Le informazioni estrapolate da ogni articolo sono servite per la creazione di una banca dati, che è stata organizzata in due fogli Excel, uno generale e uno dettagliato.



ID	ORIGINE	AP	AL	INT	AR	NR	VOL	NUM	NAZ	CONT
FW0001	Rivista	1975		Comp ie-ter	Efficienza	Journal of Terramechanics	12	2	Finlandia	Europa
FW0002	Rivista	1982			Ergonomia/Sicurezza	Journal of Occupational Accidents	4		Finlandia	Europa
FW0003	Rivista	1984			Ergonomia/Sicurezza	Accident Analysis and Prevention	16	2	Finlandia	Europa
FW0004	Rivista	1985			Impatto	Soil and Tillage Research	5	1	Australia	Oceania
FW0005	Rivista	1993			Meccanica				Svezia	Europa
FW0006	Rivista	1995			Impatto	Commonwealth Forestry review	74	3	Australia	Oceania
FW0007	Rivista	1995			Impatto	Water, Air and Soil Pollution	82			
FW0008	Rivista	1996			Impatto	Forestry Chronicle	72	5	Canada	America
FW0009	Rivista	1996			Altro	Forestry	69	3	Svezia	Europa
FW0010	Rivista	1996			Altro	Journal of Environmental Quality	25	5		
FW0011	Rivista	1997			Simulazione	Forest Products Journal	45	5		
FW0012	Rivista	1997		Comp ie-ter	Efficienza	Forest Ecology and Management		90	USA	America
FW0013	Rivista	1997			Simulazione	Scandinavian Journal of Forest Research	12	3	Finlandia	Europa
FW0014	Rivista	1997			Ergonomia/Sicurezza	Elsevier Science Ltd	28	2	Svezia	Europa
FW0015	Conferenza	1998			Impatto	American Society of Mechanical Engineers, The Fluid Power and Systems Technology Division	5			
FW0016	Rivista	1999			Simulazione	General Technical Reports of the US Department of Agriculture, Forest Service			USA	America
FW0017	Rivista	1999			Altro	Holz - Kurier	54	48		
FW0018	Rivista	1999	1990-1991	Produttività	Efficienza	Australian Forestry	62	1	Australia	Oceania
FW0019	Rivista	2000			Altro	Holz - Kurier	55	38		
FW0020	Rivista	2000	1997	Produttività	Efficienza	Journal of Forest Research	5	2	Giappone	Asia
FW0021	Rivista	2000			Impatto	Western Journal of Applied Forestry	15	1	USA	America
FW0022	Rivista	2000			Impatto	Forest Ecology and Management		138	USA	America
FW0023	Conferenza	2000			Ergonomia/Sicurezza	Proceedings of the 25th International Conference on				

Figura 2.1 Database generale

Nel foglio generale (Figura 2.1), per ogni articolo, son state riportate le seguenti informazioni:

- ID: codice identificativo dell'articolo (es. FW0001, FW0002, etc.);
- Origine: rivista scientifica, conferenza, libro o pubblicazione;
- Anno di pubblicazione;
- Anno di lavoro o dei rilievi;
- Interesse: lavoro esclusivo sulla singola macchina, su un sistema di lavoro, su più macchine e attrezzature o generico;
- Ambito di ricerca: efficienza, impatto, meccanica, pianificazione, simulazione, ergonomia e sicurezza;
- Nome della rivista;
- Volume;
- Numero;
- Nazione;
- Continente.

Il foglio dettagliato è stato invece strutturato in due livelli, il primo è composto da alcune macrocategorie che sono state rese più specifiche nel secondo. Questi sono:

- Efficienza:
 - Produttività;
 - Comparazione intra-macchina: comparazione tra modalità diverse utilizzando la stessa macchina (es. modello e potenza uguali ma sistema di avanzamento diverso, assortimenti diversi, pendenze diverse, suoli diversi);
 - Comparazione inter-macchine: comparazione tra modelli di *forwarder* con caratteristiche meccaniche o di design diverse;
 - Comparazione inter-terrestre: comparazione tra diverse macchine per l'esbosco terrestre (es. *forwarder* vs trattore e rimorchio, trattore verricello, *skidder* o altro);
 - Comparazione inter-sistema: comparazione tra diversi sistemi di esbosco (es. esbosco terrestre con *forwarder* vs aereo o altro).
- Meccanica:
 - Telaio e sistema di carico: configurazione telaio, piano di carico, braccio idraulico;
 - Motore;

- Sistema di avanzamento: sistema di trasmissione, cingoli/ruote, etc.
- Impatti:
 - Suolo: portanza del terreno, microrganismi, etc.;
 - Aria: emissioni;
 - Acqua: piste e sedimenti;
 - Vegetazione: danni al soprassuolo.
- Simulazione:
 - Singola (solo *forwarder*);
 - Sistema (es. *harvester* e *forwarder*, motosega e *forwarder*).
- Pianificazione:
 - Singola (solo *forwarder*);
 - Sistema (es. *harvester* e *forwarder*, motosega e *forwarder*).
- Ergonomia e sicurezza:
 - Operatore;
 - Sistema.
- Altro: organizzazione e strategie aziendali, *forwarder* combinati (*forwarder* e processore, *forwarder* e cippatrice, *forwarder* e *boundler*, ecc.), evoluzione della meccanizzazione forestale riguardo il *forwarder*, *forwarder* utilizzati per la produzione di biomasse e divulgazione.

2.2.2. Creazione del *database* degli studi di produttività

Le pubblicazioni relative alla produttività sono state ulteriormente approfondite andando a creare un *database* apposito. Per ogni studio di produttività sono stati analizzati i seguenti aspetti:

- tipo di macchina: marca e modello;
- produttività media (m^3/h);
- cicli: numero di cicli di lavoro rilevati dallo studio;
- modello utilizzato per il calcolo della produttività generalmente indicato da una formula.

In seguito è stata generata una curva per ogni modello che metta in relazione la distanza di esbosco con la produzione in m^3/h , utilizzando come variabile solo la distanza. Per la distanza di esbosco è stato scelto un intervallo compreso tra 0 e 2000 m al fine di avere un'indicazione significativa della produttività anche su lunghe distanze. Per consentire il confronto, i valori di

volume espressi in tonnellate (t) e quelli di distanza espressi in piedi (ft) sono stati convertiti rispettivamente in m³ e m.

Infine, per comparare i diversi studi di produttività, le curve generate dai diversi modelli sono state riportate in un unico grafico.

2.3. Utilizzo del GPS per il monitoraggio del *forwarder* nelle operazioni di esbosco

Il lavoro per la quantificazione dei tempi delle principali fasi di esbosco tramite *forwarder* in ambito alpino mediante rilievo GPS ha previsto l'utilizzo di uno strumento a bassa risoluzione, che fosse veloce da posizionare all'interno della cabina della macchina e rapido da settare.

Per tale motivo è stato scelto un GPS escursionistico (Garmin 60CSx[®]) con struttura resistente agli urti e alle vibrazioni, in grado di poter registrare su una memoria esterna, quale una scheda Micro SD, i dati acquisiti in formato .gpx.

Per le operazioni di rilievo delle varie fasi di lavoro in corso d'opera è stato utilizzato un palmare da campo (Handheld Nautiz[®]) sul quale è stato installato un foglio elettronico predisposto (Figura 2.2), creato con il software UMTplus (Laubrass[®]), che permettesse la registrazione speditiva dell'inizio e la fine delle fasi di lavoro nel tempo.

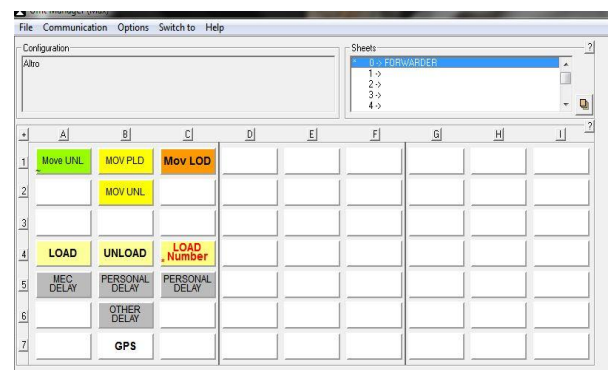


Figura 2.2 Foglio elettronico predisposto e utilizzato nella fase di rilievo

Il protocollo di rilievo prevedeva:

- Attivazione del modulo tempi di rilievo per l'esbosco con *forwarder* sul palmare;
- Attivazione del rilievo per traccia a punti con intervallo di 1 secondo sul GPS GARMIN 60CSx[®];
- *Mark* contemporaneo del punto iniziale del rilievo su GPS e sul modulo di rilievo tempi per facilitare la sincronizzazione tra dati GPS e dati rilievo tempi;
- Monitoraggio dell'operazione tramite GPS e osservazione dei tempi delle diverse fasi di lavoro mediante controllo dell'operazione di esbosco;
- Al termine dell'operazione di esbosco, *Mark* contemporaneo su GPS e sul modulo di rilievo tempi per facilitare la sincronizzazione tra dati GPS e dati rilievo tempi.

Il rilievo della tempistica delle varie operazioni del ciclo di esbosco è stato suddiviso in varie fasi come riportato nella Figura 2.3 e nella Tabella 2.1.

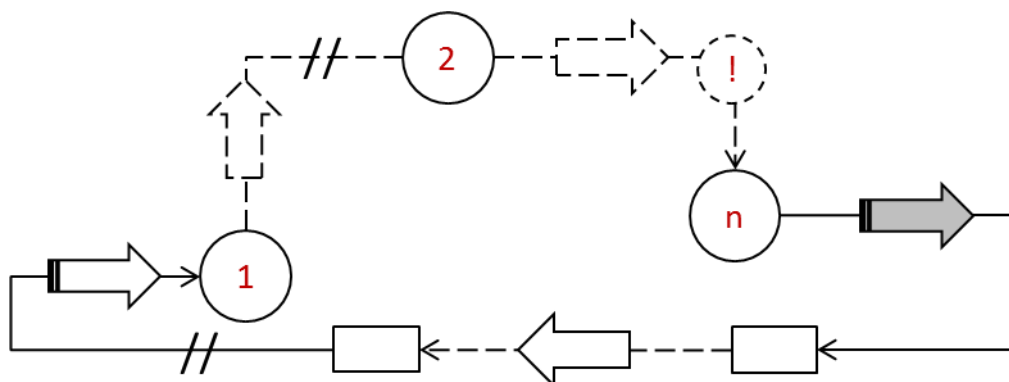


Figura 2.3 Sequenza degli elementi di lavoro presenti in un ciclo di esbosco con forwarder

Elementi di lavoro	Descrizione	Simbolo
Guida scarico	Comincia quando la macchina inizia a muoversi dal piazzale e finisce quando la gru inizia a raccogliere i primi tronchi	
Carico	Inizia quando la gru vuota si muove per caricare i tronchi e termina quando la gru torna alla posizione di base	
Spostamenti durante il carico	Inizia quando le ruote iniziano a girare verso i prossimi tronchi e termina quando la macchina si ferma per caricare	
Guida carico	Inizia quando la macchina si muove dall'ultimo carico e termina quando si ferma per scaricare	
Scarico	Inizia quando la gru si muove per scaricare i primi tronchi e termina quando la gru torna alla posizione di base	
Movimenti durante lo scarico	Inizia quando le ruote si muovono fino alla stazione di scarico successiva. Termina quando la macchina ha finito di scaricare	
Ritardi	Tempo non collegato al tempo di lavoro effettivo	
Altro	Quando le ruote sono bloccate e la gru si muove, ad esempio per sistemare il carico	

Tabella 2.1 Elementi di lavoro componenti un ciclo di esbosco rilevati nel caso studio

Il rilievo è stato applicato su un caso studio nell'Altopiano dei Sette Comuni in un cantiere situato all'interno di un piceo-abietetto in cui per l'abbattimento è stato utilizzato l'*harvester*. La

morfologia del terreno dell'area è caratterizzata da una pendenza che varia dal 10 al 25%, con punte superiori al 35%, in un versante esposto a nord (Figura 2.4).

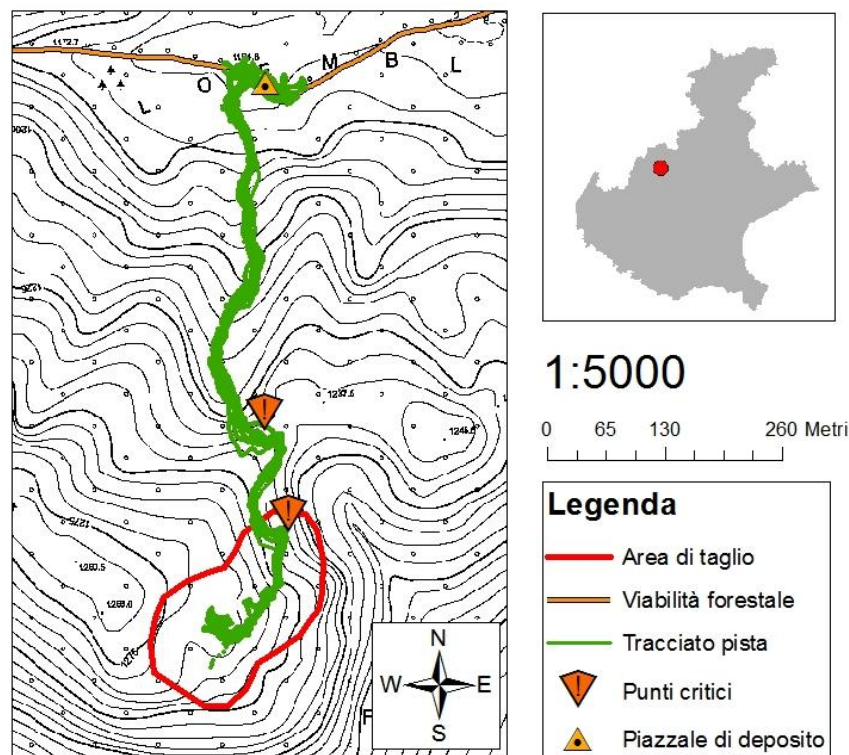


Figura 2.4 Planimetria del caso studio

Per le operazioni di esbosco è stato utilizzato un *forwarder* John Deere 1110E guidato da un operatore piuttosto esperto vista l'esperienza di 7 anni nell'utilizzo di questi mezzi in ambito alpino.

La successiva elaborazione dei dati è stata impostata tramite lo sviluppo di un modello GIS in grado di elaborare la nuvola di punti acquisita tramite GPS. Ciò ha permesso di ricalcolare la distanza di ciascun punto rispetto ad un punto di riferimento esterno al rilievo e prossimo al punto di inizio dell'operazione di esbosco.

Il vantaggio di processare la nuvola di punti rispetto ad un punto esterno (R_f) è stata descritta in Gallo et al. (2013) nell'applicazione di un GPS per il monitoraggio delle fasi di lavoro durante un operazione di esbosco con gru a cavo, in cui il GPS era stato montato sul carrello. Il principale vantaggio è quello di ridurre l'influenza dell'errore di precisione del GPS stimata in 10-20 m sull'elaborazione della nuvola di punti, come riportato da McDonald and Futon (2005), Rodríguez-Pérez et al. (2007) e Daskin et al. (2009).

Il modello è stato sviluppato in ArcGIS 10.2® tramite l'utilizzo dell'applicazione Model Builder al fine di calcolare per due successivi punti rilevati ad un intervallo di 1 sec. i seguenti parametri:

- Distanza planimetrica 2D da punto a punto;
- Velocità di avanzamento da punto a punto;
- Distanza planimetrica per ciascun punto da Rf.

Il risultato che fornisce il modello è un grafico della variazione della distanza del *forwarder* rispetto al punto Rf nel tempo. Inoltre viene predisposto un file in formato .dbf apribile con qualsiasi foglio di calcolo in cui si riportano tutti i parametri calcolati.

3. RISULTATI

3.1. Temi trattati nella bibliografia analizzata

Dalla ricerca bibliografica effettuata sono stati acquisiti 200 articoli, di cui per la metà è stato possibile ottenere il testo integrale, mentre per gli altri è stato analizzato solo l'abstract, perché la versione completa non era disponibile o era disponibile solo in lingua originale (diversa dall'inglese).

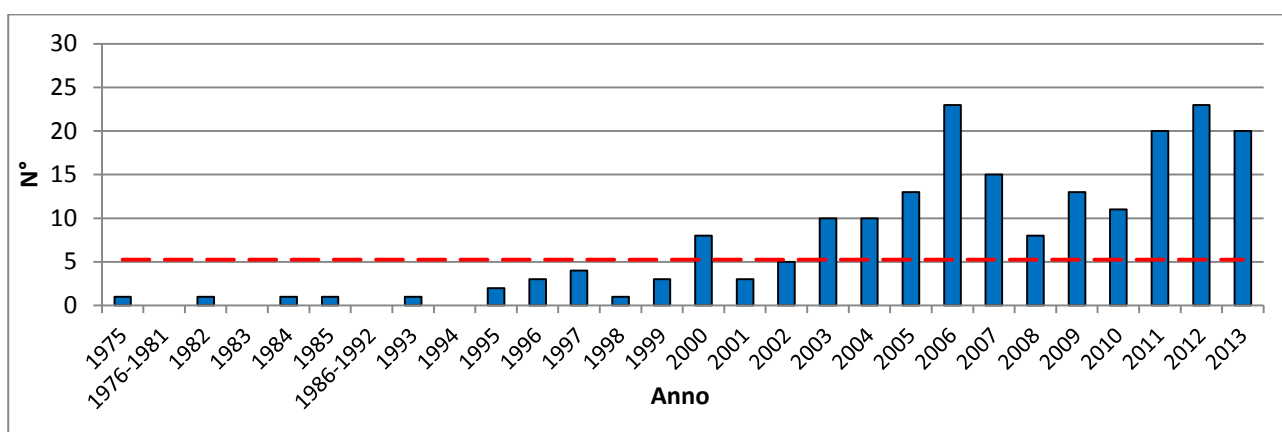


Grafico 3.1 Distribuzione delle pubblicazioni negli anni

Analizzando la distribuzione degli articoli negli anni emerge che nel periodo 1975-2013 sono stati pubblicati in media 5,3 articoli per anno anche se in realtà le pubblicazioni si discostano anche di molto dalla media. Si osserva infatti dal Grafico 3.1 che fino al 1999 i lavori pubblicati sono stati ampiamente sotto la media, ciò è dovuto soprattutto alla ridotta presenza e utilizzazione del *forwarder* in quegli'anni il quale non suscitava ancora un certo interesse per la ricerca, tant'è che nei periodi che vanno dal 1976 al 1981 e dal 1986 al 1992 non è stata fatta alcuna pubblicazione. Dal 2000 invece, esse sono costantemente sopra la media e in alcuni anni anche in modo considerevole come ad esempio nel 2006 e nel 2012 in cui sono state fatte 23 pubblicazioni.

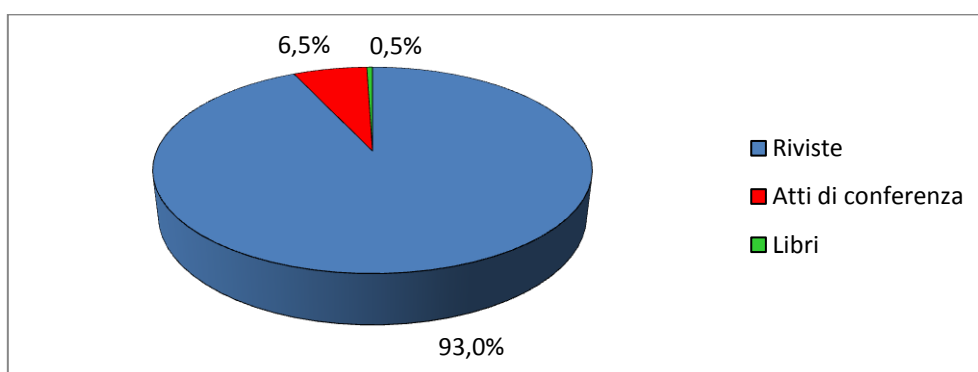


Grafico 3.2 Fonti degli articoli

Le fonti principali della letteratura scientifica analizzata (Grafico 3.2) sono per il 93% articoli di riviste scientifiche specializzate, per il 6,5% atti di conferenze e in minima parte libri (solo 0,5%). Questo ampio divario tra le diverse fonti è dovuto al sempre più frequente utilizzo della rete per la divulgazione e la consultazione di informazioni.

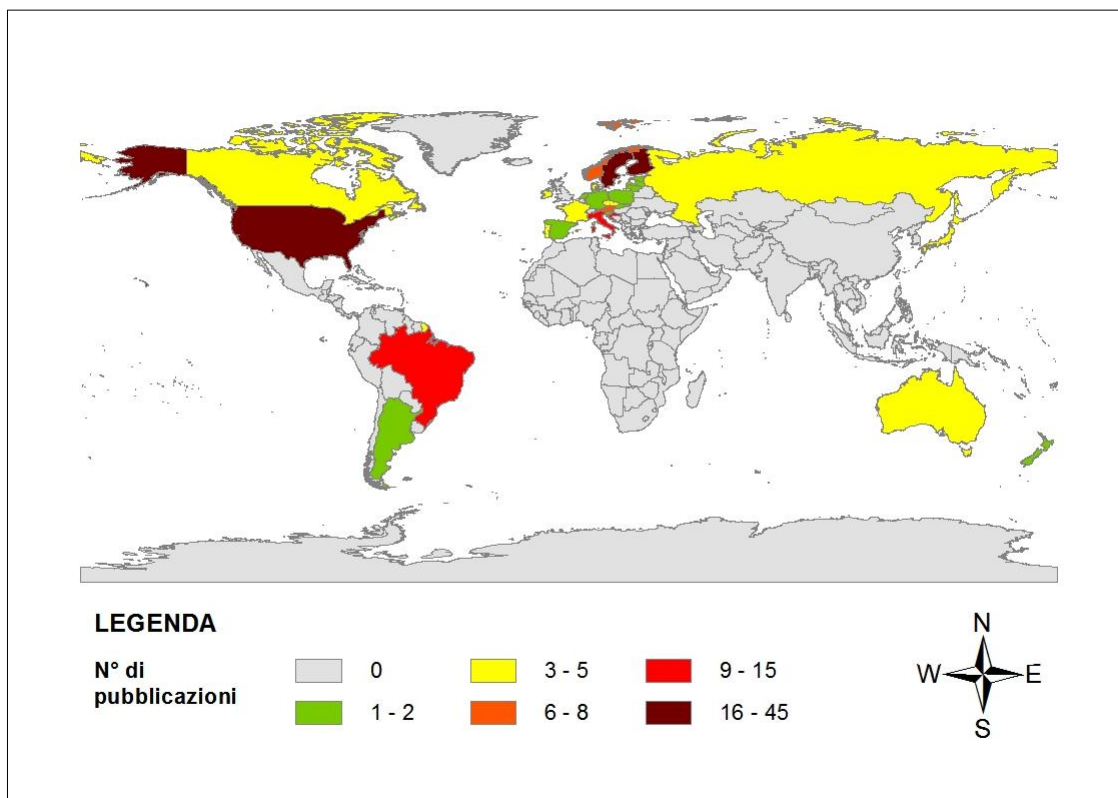


Figura 3.1 Distribuzione delle pubblicazioni a livello mondiale

Analizzando le aree in cui sono state svolte le ricerche si è riscontrato che dei 200 articoli presi in considerazione, 176 indicano l'area di studio mentre nei rimanenti 24 questa non viene indicata. La mancanza di quest'informazione può essere dovuta al fatto che l'articolo è presente solo sottoforma di *abstract* o che per la natura propria dell'articolo non vi sia un'area di studio riconducibile ad una nazione.

Dalla Figura 3.1, che riporta la distribuzione delle pubblicazioni a livello mondiale, si osserva che lo studio del *forwarder* interessa soprattutto il Nord America con le 45 pubblicazioni degli USA, il Sud America con i 14 lavori del Brasile e l'Europa. In Asia e Oceania l'interesse verso questo tipo di macchina è limitato, o addirittura nullo in Africa dove non sono presenti lavori. Va inoltre sottolineato che buona parte dei numerosi studi statunitensi trattano la descrizione del parco macchine di aziende locali, con particolare riferimento alla dotazione di *forwarder*.

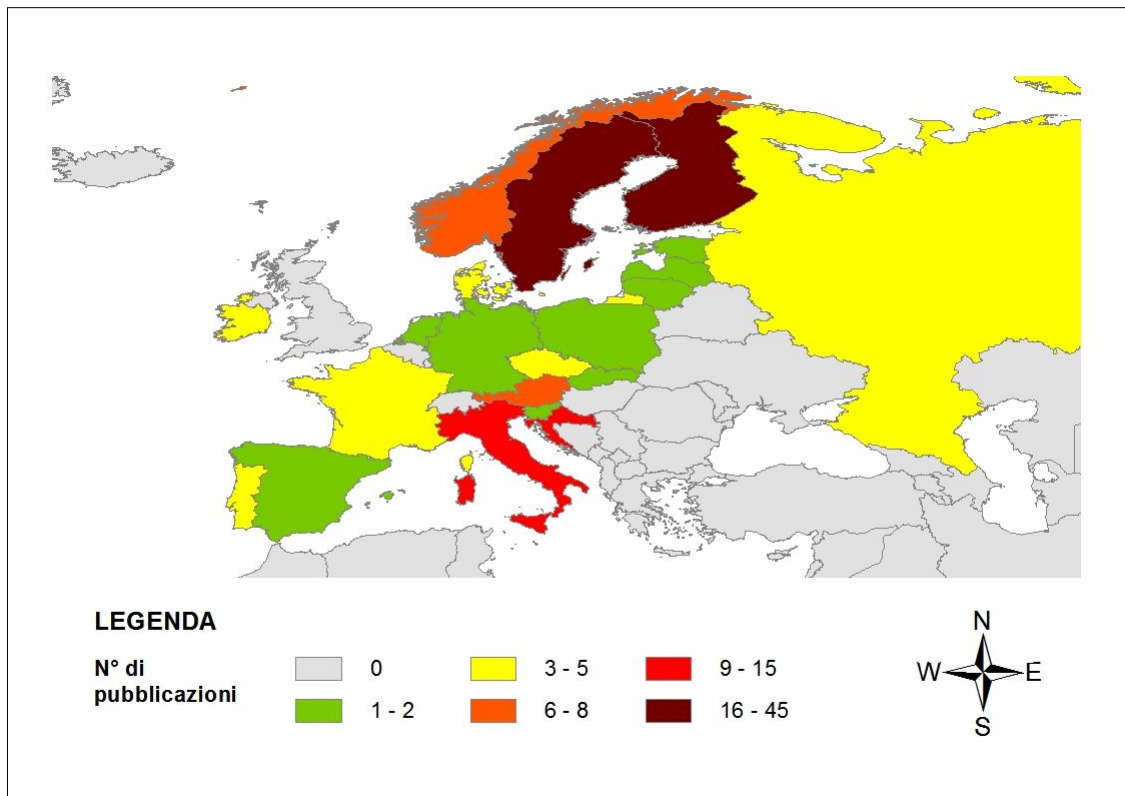


Figura 3.2 Distribuzione delle pubblicazioni a livello europeo

Limitatamente all'Europa, come si osserva in Figura 3.2, le nazioni più attive nella ricerca sono quelle dell'area scandinava (Finlandia 17 e Svezia 18 pubblicazioni), seguite dalla Croazia e dall'Italia, rispettivamente con 13 e 10 lavori, e dall'Austria e Norvegia.

Questi dati rispecchiano in linea di massima lo sviluppo del settore forestale nei vari paesi ad eccezione di Germania e Canada, dove i lavori sono carenti, e della Svizzera, in cui sono addirittura assenti. Ciò può essere dovuto al fatto che molte pubblicazioni vengono effettuate in lingua originale oppure non sono indicizzate e per questi motivi non si trovano all'interno della banca dati consultata.

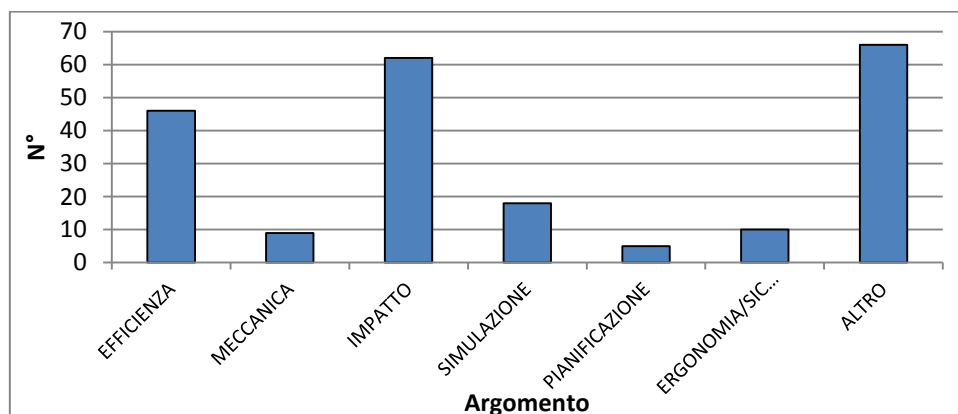


Grafico 3.3 Tematiche trattate nelle pubblicazioni

Osservando invece le tematiche trattate nelle pubblicazioni (Grafico 3.3) si nota che gli studi di efficienza e quelli relativi gli impatti generati dal *forwarder* hanno suscitato maggior interesse, minori invece sono stati gli studi relativi alla meccanica, pianificazione e alla simulazione. Una parte consistente degli articoli però non rientra in questi sei gruppi e sono stati quindi catalogati nel gruppo "altro". Va sottolineato inoltre che alcuni articoli, trattando più aspetti, sono stati inseriti contemporaneamente in più di un gruppo.

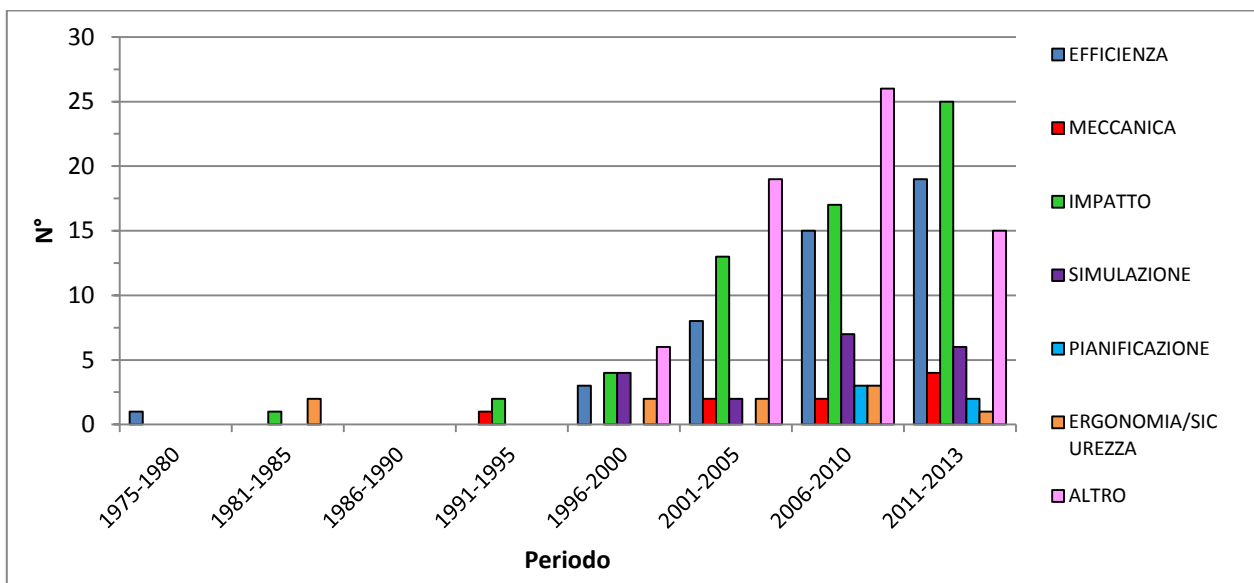


Grafico 3.4 Ripartizione delle tematiche negli anni

Nel periodo analizzato (1975-2013) l'interesse per il *forwarder* si può dividere in due fasi (Grafico 3.4), nei primi vent'anni, fino al 1995, l'attività di studio è stata piuttosto limitata, sono infatti presenti solo 6 lavori ed addirittura nel quinquennio 1986-1990 non è presente alcun articolo. Nella seconda fase l'attività di pubblicazione è stata più intensa in linea con la diffusione e l'utilizzo della macchina. Nello specifico c'è stato un sempre maggiore interesse per lo studio dell'efficienza e degli impatti e anche di altri argomenti minori. Gli studi sulla simulazione invece sono stati più intensi negli ultimi dieci anni, anche grazie alle nuove tecnologie, in particolare software specifici, che si sono sviluppati in questi anni. Analizzando infine i lavori riguardanti la meccanica, la pianificazione e l'ergonomia si può osservare che questi sono rimasti pressoché costanti.

Scendendo più nel dettaglio, analizzando gli argomenti dei vari gruppi tematici, per quanto riguarda la macchina in sé e quindi l'efficienza, la meccanica, l'ergonomia e la sicurezza,

osservando il Grafico 3.5, si nota che la maggior parte degli elaborati riguardano studi sulla produttività.

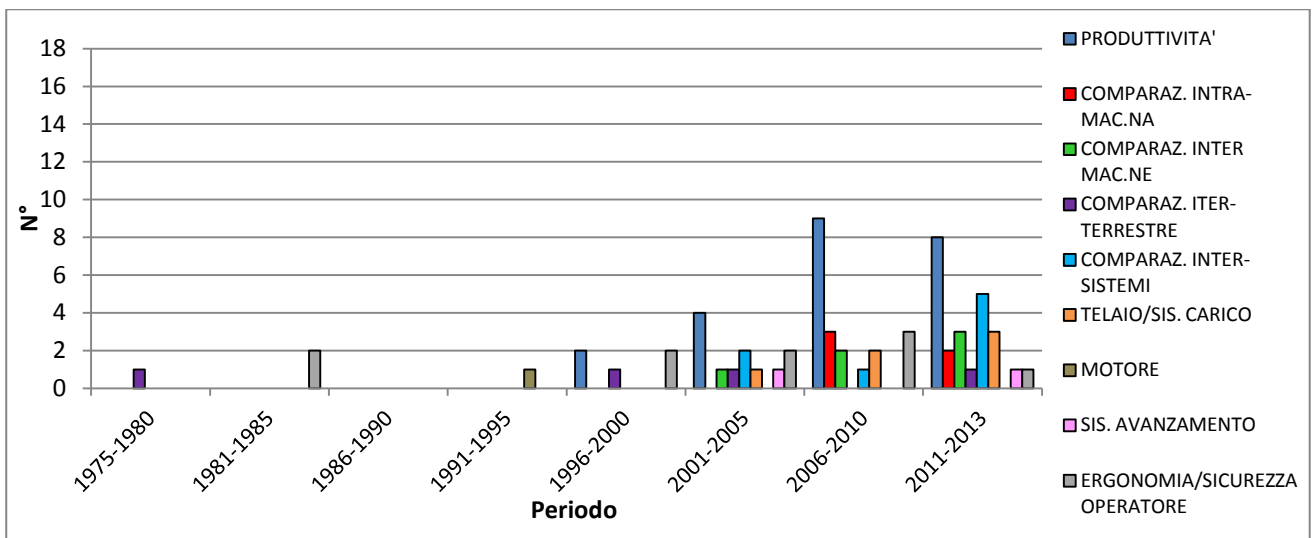


Grafico 3.5 Distribuzione degli studi appartenenti alle sottocategorie "efficienza", "meccanica" ed "ergonomia/sicurezza"

In crescita sono anche gli studi che mirano a confrontare diversi sistemi di lavoro sia tra macchine dello stesso tipo sia di sistemi che comportino l'utilizzo di mezzi diversi per l'ottenimento di uno stesso prodotto. Ciò può essere giustificato anche dalla più ampia disponibilità di scelta dei mezzi reperibili sul mercato che porta gli imprenditori forestali a dotarsi di mezzi specifici per le varie operazioni in modo da ottimizzare i tempi e aumentare la produttività unitaria.

In aumento sono anche gli studi sull'ergonomia e la sicurezza degli operatori in quanto si pone sempre maggiore attenzione alla loro salute e alla prevenzione degli incidenti sul lavoro. In particolare per quanto riguarda l'ergonomia vengono ipotizzati dei miglioramenti della postazione di guida.

Telaio e sistema di carico, motore e sistema di avanzamento sono argomenti poco trattati perché più legati al settore meccanico-ingegneristico rispetto a quello strettamente forestale.

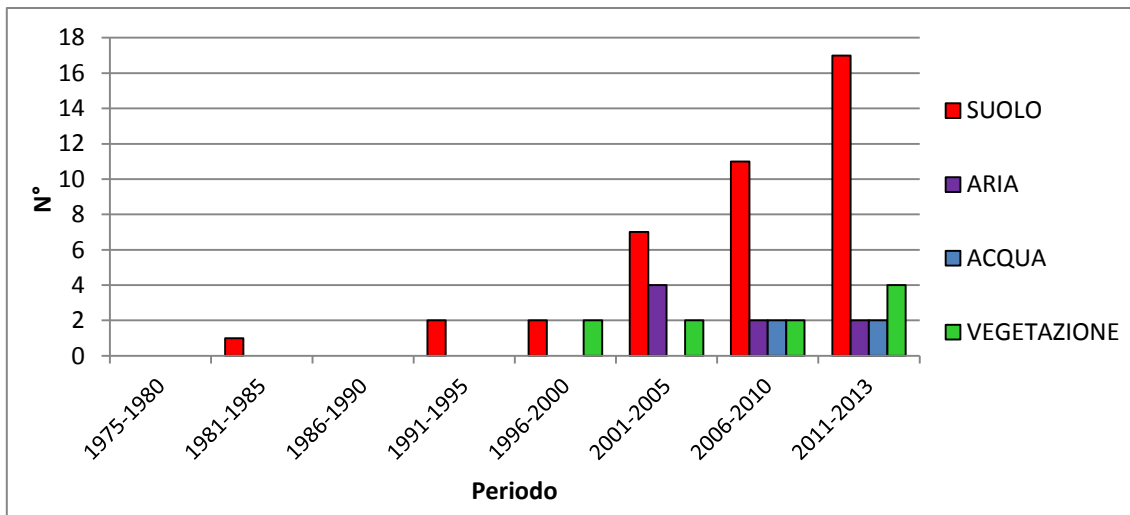


Grafico 3.6 Distribuzione degli studi appartenenti alla sottocategoria "impatti"

Sempre maggiore importanza viene data anche agli impatti, in modo particolare, come si può osservare dal Grafico 3.6, a quelli che riguardano il suolo. Il transito di questi mezzi ad elevato peso comporta problemi di compattamento dei suoli soprattutto in ambienti semi naturali come quelli delle foreste dove i terreni sono molto soffici, comportando riduzione della capacità di trattenuta dell'acqua da parte del suolo, asfissia radicale e erosioni localizzate.

Il numero di lavori riguardanti gli impatti ad aria, acqua e vegetazione sono costanti nel tempo e riguardano rispettivamente le emissioni di inquinanti nell'aria (CO_2 , PM_{10} e NO_x), nell'acqua (combustibili, lubrificanti e olii) e danni alla vegetazione dovuti ai movimenti dei mezzi nel bosco.

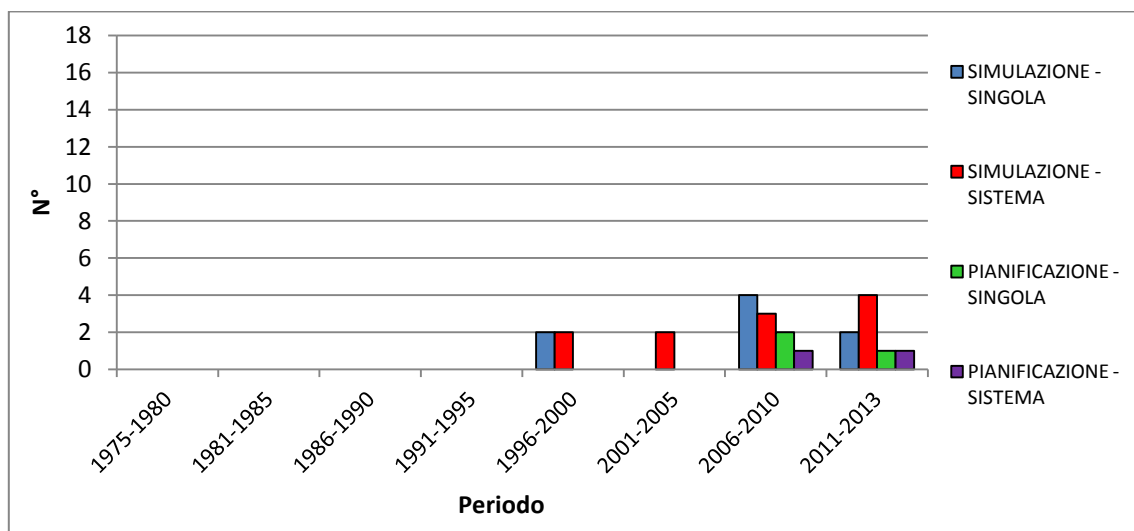


Grafico 3.7 Distribuzione degli studi appartenenti alle sottocategorie "simulazione" e "pianificazione"

Gli studi di pianificazione e simulazione (Grafico 3.7) sono stati nell'ultimo decennio in quantità pressoché costante ma limitata. Essi riguardano software e modelli di simulazione per il

miglioramento delle operazioni di esbosco. Il ridotto numero di articoli va ricondotto anche alla facile applicazione di questi modelli in contesti artificiali, come le piantagioni e i boschi planiziali, mentre sono di difficile utilizzo in ambiti naturaliformi come le foreste dell'arco alpino.

Tutti gli articoli che non appartengono alle categorie precedenti sono stati inseriti nella categoria "altro" (66 pubblicazioni) e sono stati ripartiti in cinque sottocategorie. Nel Grafico 3.8 si nota come l'argomento più trattato è quello relativo all'organizzazione aziendale, in cui gli articoli parlano di aziende forestali e descrivono il loro parco macchine e il loro modo di operare. La maggior parte di essi si concentra però solo nel decennio 2001-2010.

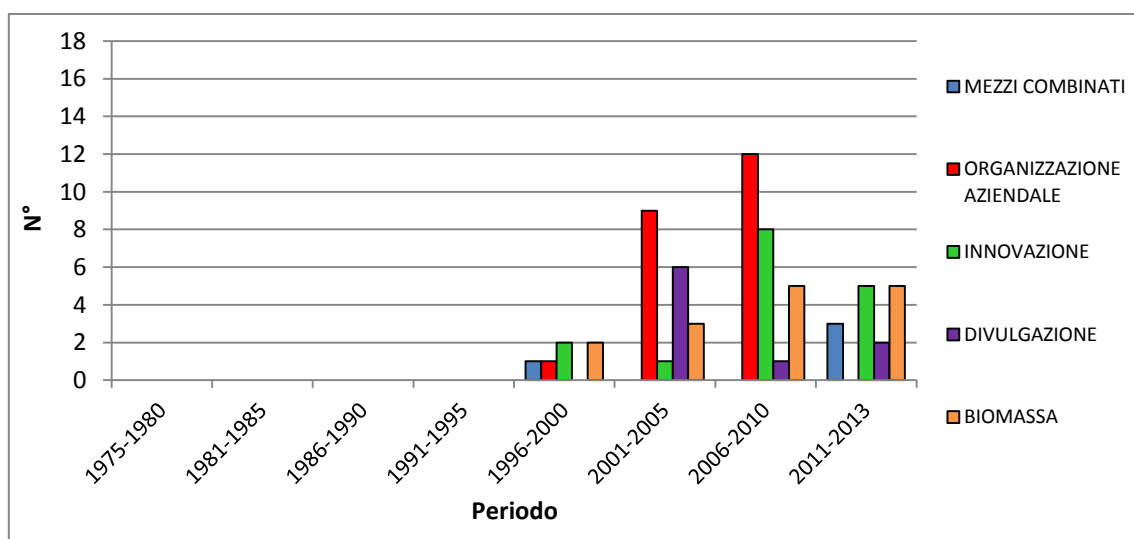


Grafico 3.8 Distribuzione degli argomenti appartenenti alla sottocategoria "altro"

Sono invece in continua crescita le pubblicazioni sulle biomasse, essendo questo un argomento di attualità legato alle fonti energetiche rinnovabili.

L'interesse sulle innovazioni segue un trend altalenante, molto variabile. I temi trattati riguardano principalmente lo sviluppo nel tempo del *forwarder* nei vari paesi e le nuove soluzioni tecniche adottate.

Nel gruppo dei "mezzi combinati" sono stati inseriti gli studi che trattano l'utilizzo del *forwarder* non solo per scopi di esbosco, ma come mezzo combinato e di supporto ad altri macchinari, come ad esempio cippatrici, processori, *spreader*, ecc.

Infine le opere che trattano di eventi fieristici e manifestazioni in generale sono stati raccolti nel gruppo "divulgazione".

3.2. Valutazione comparativa dei modelli di produttività

Approfondendo l'analisi delle pubblicazioni inerenti la produttività del *forwarder* solamente 23 dei 200 articoli totali analizzati trattano casi studio di produttività. Non tutti però hanno come oggetto di studio il solo *forwarder*, infatti, in alcuni casi è stata analizzata la produttività di sistemi di lavoro in cui operava il *forwarder* insieme ad altri mezzi oppure casi in cui il *forwarder* era combinato ad altri macchinari (*cippatrice*, *feller-buncher* e *boundler*).

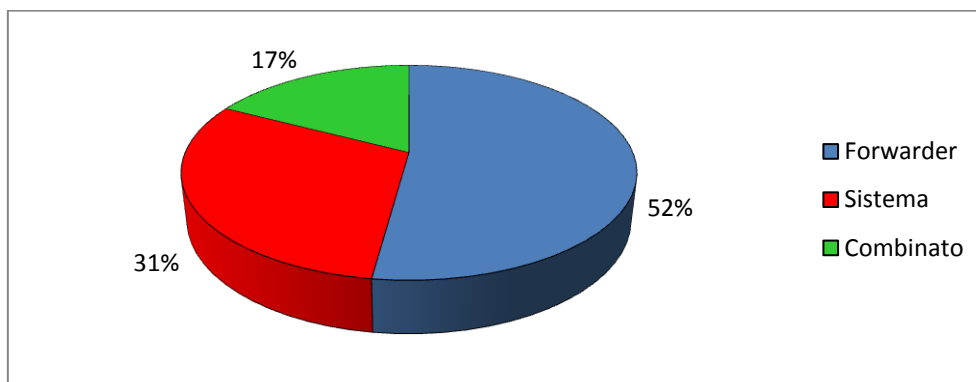


Grafico 3.9 Produttività esaminate negli articoli

Da un punto di vista quantitativo, la maggior parte degli studi di produttività esamina solo il *forwarder* (52%), a seguire gli studi sui sistemi di lavoro (31%) e quelli sui mezzi combinati (17%) (Grafico 3.9).

L'analisi della produttività del solo *forwarder* ha preso in esame 12 articoli nei quali non in tutti era indicato il modello del mezzo utilizzato, la produttività media, il numero di cicli esaminati e il modello matematico con il quale calcolare la produttività. Dove è stato possibile, si è cercato di reperire le informazioni necessarie dai grafici presenti nel testo dell'articolo (es. Spinelli e Magagnotti, 2010) ma in due lavori l'assenza di dati utili non lo ha permesso (Wang e LeDoux, 2003; Mederski, 2006).

Dai rimanenti 10 lavori sono state estratte 27 curve di produttività, la quale è stata calcolata nella quasi totalità dei casi in funzione del tempo di esbosco e del volume di legname trasportato. I vari modelli che utilizzano questa espressione di calcolo differiscono però sulle variabili che vanno ad influire sulla durata del tempo di esbosco. Le più utilizzate sono la distanza di esbosco, la velocità del mezzo e la durata del carico e dello scarico. In alcuni articoli vengono però prese in considerazione anche altre variabili, come la pendenza (Ghaffarian, 2007), la massa di carico

(Fernandez-Lacruz et al., 2013), il modello della macchina (Spinelli et al., 2003) e il tipo di taglio e assortimento (Nurminen et al., 2006).

Un solo articolo (Tiernan et al., 2004) non calcola la produttività con la formula consueta $P=V/T$, quindi in funzione del tempo, ma utilizza dei coefficienti di regressione che variano a seconda del tipo di taglio, della morfologia del sito e dal tipo di prodotto finale, quindi per tale motivo, risulta essere un modello applicabile in contesti piuttosto vari.

La rappresentazione delle curve, come indicato dal Grafico 3.10, permette di suddividerle in tre gruppi. Il primo gruppo comprende le curve colorate di verde che sono posizionate nella parte centrale del grafico. Queste seguono l'andamento tipico di una curva di produttività, ossia decrescente all'aumentare della distanza di esbosco. Le curve infatti sono posizionate nell'intorno della media rappresentata dalla linea nera tratteggiata.

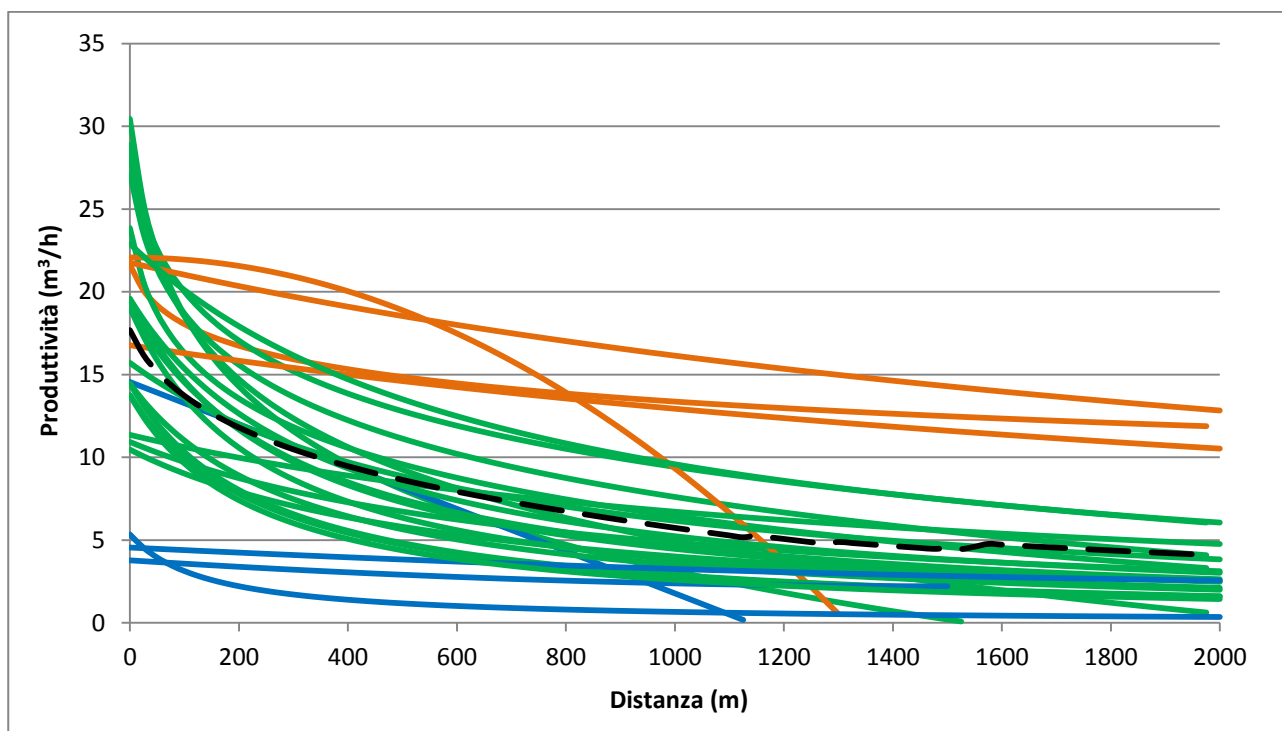


Grafico 3.10 Curve di produttività

Il secondo gruppo comprende le curve più in alto, indicate in colore arancione, e riporta i casi in cui la produttività è molto maggiore rispetto alla media. Ciò è dovuto al fatto che in questi studi si riscontrano delle condizioni particolari. Ad esempio l'utilizzo di mezzi particolari come un *forwarder* derivante dalla modifica di un mezzo da cava (*modified dumper*) o la costruzione di un mezzo artigianale, in cui la maggiore produttività è legata alla maggiore velocità che riescono raggiungere questi mezzi e alla maggiore capacità di carico (20 t). L'elevata produttività è

giustificata anche dal fatto che in alcuni casi le operazioni di esbosco si sono svolte su terreni ottimali (pendenze ridotte ed elevate capacità portanti) che permettono di mantenere velocità medie-elevate, o in cantieri dove è stato effettuato il taglio raso che permette quindi una maggiore facilità delle operazioni di movimento e manovra.

Un caso particolare è emerso dal lavoro di Li et al. (2006) in cui è stato studiato l'utilizzo del *forwarder* in un diradamento. In questo lavoro emerge che la produttività rimane elevata per distanze molto brevi (inferiori a 500 m) per poi diminuire bruscamente.

Infine il terzo gruppo, con le curve indicate in blu, riporta tutti i casi in cui la produttività è piuttosto ridotta. Ciò è dovuto al fatto che in questi lavori è stato analizzato l'utilizzo di mini-*forwarder* che hanno quindi una ridotta capacità di carico (inferiore a 8 m³) o particolari tipi di utilizzazioni quali diradamenti a bassa intensità.

3.3. Valutazione dei risultati relativi al monitoraggio

Il monitoraggio della fase di esbosco nel cantiere oggetto di studio è stato fatto analizzando quattro cicli svoltisi in un arco di tempo di circa 5 ore. Il legname esboscato era di vari diametri e lunghezze ed era stato precedentemente concentrato sul bordo della pista mediante l'utilizzo di un trattore cingolato munito di verricello. Il ciclo di carico-scarico iniziava a valle dell'area di taglio dove si trovava il piazzale, in prossimità di una strada forestale. Dopodiché il *forwarder*, un John Deere 1110E, procedeva verso monte fino alla catasta posta più in alto per poi invertire la manovra e caricare scendendo verso valle.

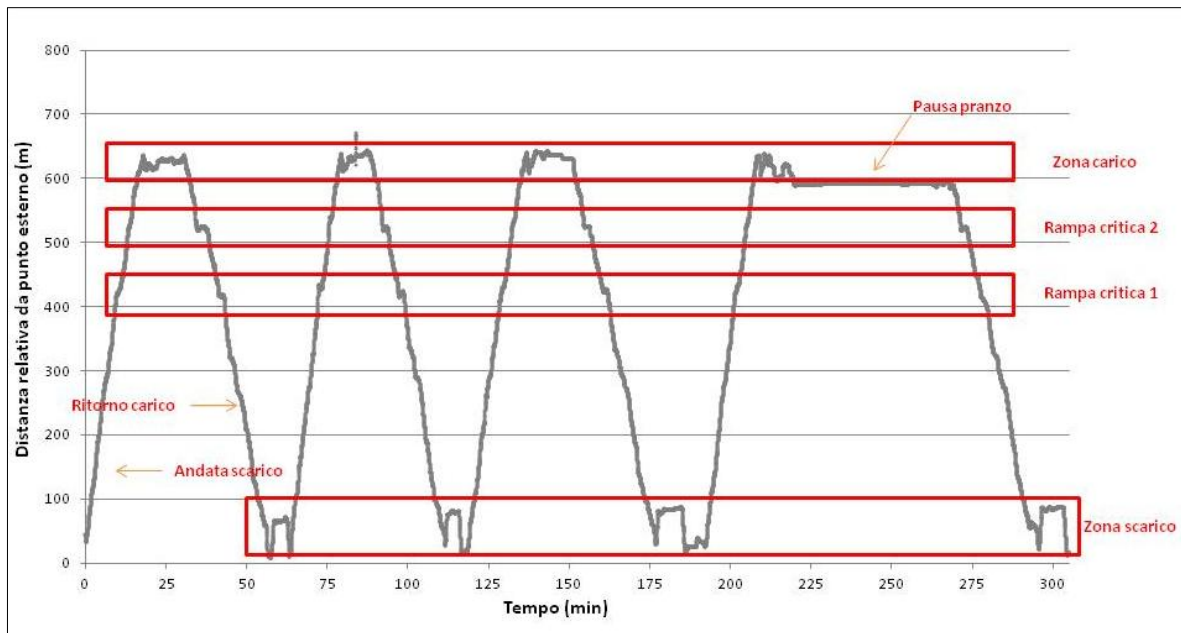


Grafico 3.11 Distanza percorsa dal *forwarder* rispetto al punto esterno in relazione al tempo

Osservando il Grafico 3.11, che riporta la distanza del mezzo rispetto al punto esterno nell'arco del tempo, si possono distinguere chiaramente le varie fasi del ciclo. Si notano i viaggi di andata e ritorno e si può osservare che l'andamento della linea in fase ascendente è più ripida rispetto a quella discendente. Ciò è dovuto al maggiore tempo che impiega il mezzo a scendere essendo più pesante per la presenza del carico. Nella fase di carico e di scarico si possono osservare delle ondulazioni che corrispondono ai tempi di movimento e stazionamento durante queste fasi.

Si può inoltre notare che nelle fasi di spostamento dalla zona di deposito a quella di carico e viceversa ci sono dei rallentamenti dovuti a passaggi critici, quali rampe a pendenze piuttosto elevate, restringimenti e sporgenze.

Nell'ultimo ciclo, si osserva invece uno stazionamento prolungato nella zona a monte che corrisponde alla pausa pranzo, in cui il GPS ha continuato a registrare ma il veicolo era fermo.

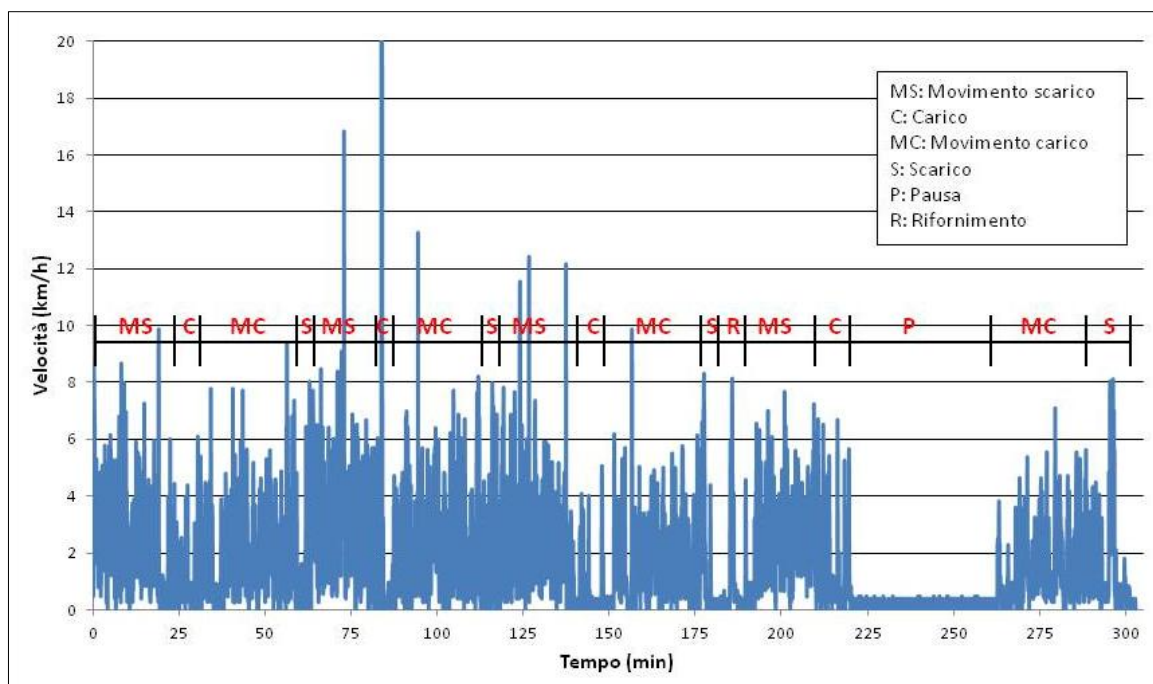


Grafico 3.12 Variazione della velocità rilevata dal GPS in relazione al tempo

Se si analizzano inoltre le velocità nel tempo, come riportato dal Grafico 3.12, si può osservare che in linea di massima le velocità rispecchiano le varie fasi, ossia in quelle di movimento si osservano i picchi di velocità maggiori e in quelle stazionarie (carico e scarico) i picchi più bassi. In queste ultime inoltre si notano variazioni della velocità dovute al movimento del mezzo durante il carico e lo scarico.

Le velocità registrate dal GPS non sempre rispecchiano però la reale velocità del mezzo, basti osservare il picco più alto di oltre 20 km/h durante il carico, oppure la velocità che non è nulla durante la pausa pranzo nonostante il mezzo fosse spento.

	MS	MC	MDC	MDS	CF	SF
Media	2.82	2.06	0.71	0.65	0.16	0.20
Dev. standard	1.38	1.27	0.53	0.39	0.26	0.29
Mediana	2.80	1.90	0.50	0.50	0.00	0.30
Percentile (Q3) (0.25)	1.80	0.90	0.40	0.40	0.00	0.00
Percentile (Q1) (0.75)	3.70	2.90	0.80	0.80	0.30	0.40

Tabella 3.1 Confronto tra velocità rilevate dal GPS e dal palmare. MS- Movimento Scarico, MC- Movimento Carico, MDC- Movimento Durante il Carico, MDS- Movimento Durante lo Scarico, CF- Carico da Fermo, SF- Scarico da Fermo.

Questa difformità si può osservare inoltre nella Tabella 3.1 dove è riportato lo scarto tra la velocità rilevata dal GPS e la velocità ottenuta dai dati del palmare nelle varie fasi del ciclo di esbosco. Si nota infatti che le due fasi con gli scarti maggiori sono proprio le fasi di maggior movimento, ossia il viaggio di andata e di ritorno del mezzo, dove le differenze superano i 2 km/h. Nelle altre fasi, dove il *forwarder* è fermo o compie brevi spostamenti a basse velocità, le differenze sono molto più ridotte.

4. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti da questo lavoro in merito agli studi realizzati a livello mondiale nel periodo che va dal 1975 al 2013 hanno fatto emergere che il numero di pubblicazioni è in crescita, soprattutto nell'ultimo decennio. L'attività di studio e di ricerca relativa al *forwarder* ha interessato soprattutto i Paesi dove la meccanizzazione forestale del sistema del legname corto (Cut to Length System – CTS) è diffusa da molti decenni, ad esempio nei Paesi scandinavi. Si riscontra però una minore pubblicazione di studi in Europa centrale e nell'arco alpino, dove la macchina è comunque diffusa (Germania e Francia) o comunque presente nell'applicazione del sistema CTS completamente meccanizzato. Gli argomenti più trattati nei vari lavori pubblicati riguardano l'efficienza della macchina, sia dal punto di vista produttivo che prestazionale, e gli impatti che questa genera. A tal proposito, è stato osservato che c'è un crescente interesse per gli impatti al suolo e per le emissioni.

Analizzando la produttività con maggior dettaglio, è emerso che questa varia a seconda di molteplici fattori. Quelli che favoriscono un aumento della produttività sono la tipologia del mezzo e le condizioni in cui esso opera. Per quanto riguarda il mezzo, ad influire sulla produttività sono soprattutto le dimensioni, in quanto all'aumentare di queste aumenta la capacità di carico e di conseguenza anche la potenza del mezzo. Rispetto alle condizioni di operatività si riscontrano invece produttività maggiori su terreni con elevata capacità portante e con pendenze ridotte.

Infine, dalle prove effettuate applicando un GPS su *forwarder* per l'analisi della fase di esbosco in un cantiere boschivo, è emerso che l'utilizzo di GPS escursionistici a basso costo permette di estrapolare notevoli informazioni dai dati registrati, in particolare è possibile individuare il numero di cicli e identificare le varie fasi di lavoro, le planimetrie, i punti critici e le velocità, mediante una semplice e veloce installazione e settaggio del dispositivo. Inoltre, a conferma di quanto affermato da Gallo et al. (2013), l'utilizzo di un punto esterno a cui riferire i punti registrati dal GPS permette una migliore identificazione dei modelli e dei cicli di lavoro.

Tuttavia, rimangono degli inconvenienti legati alla precisione del dispositivo, in quanto in questi modelli l'accuratezza media è di 7,9 m dovuta alla scarsa ricezione del segnale sottocopertura. Per questo sarebbe opportuno utilizzare dispositivi in grado di ricevere anche il segnale GLONASS, in modo da avere una maggiore precisione soprattutto per quanto riguarda la misurazione delle velocità.

L'impiego di un GPS a bassa risoluzione può quindi risultare un elemento utile nello studio di cantieri complessi in ambiti montani. L'automatizzazione dei rilievi tramite ulteriori sensori, quali accelerometri, potrebbero aiutare i ricercatori ad approfondire l'impiego di questi mezzi in ambiti operativi ancora poco assimilabili a quelli per cui queste macchine sono state sviluppate.

5. BIBLIOGRAFIA

1999. Total wood harvest. Solutions provided by forest machines. Holz - Kurier, 54(48): 7.
2000. Technology details for the forest. A most attractive display of forest-related equipment for the timber fair visitor. Holz - Kurier, 55(38): 16-17.
2000. Satisfied faces despite fewer novelties at the KWF meeting. Holz - Kurier, 55(38): 27.
2002. Pattern forest thinning by use of the Harvester improves heavy timber quality. Holz - Kurier, 57(1): 10.
2003. Blount's workhorse machines increase logger productivity. Timber Harvesting, 51(4): 36-37.
2004. Springfield expo draws crowds & exhibits. Northern Logger and Timber Processor, 53(1): 20-26.
2005. Elmia wood sends strong eco-efficiency signals. Inwood International, 64: 39.
2006. Travis Taylor's CTL experience. Timber Harvesting, 54(4): 32-33.
- Abbas, D., Handler R., Dykstra D., Hartsough B. e Lautala P. 2013. Cost analysis of forest biomass supply chain logistics. Journal of Forestry, 111(4): 271-281.
- Aedo-Ortiz, D.M., Olsen E.D. e Kellogg L.D. 1997. Simulating a harvester-forwarder softwood thinning: A software evaluation. Forest Products Journal, 47(5): 36-41.
- Affenzeller, G. e Stampfer K. 2007. Comparison of integrated with conventional harvester-forwarder-concepts. Austrian Journal of Forest Science, 124(3-4):. 175-188.
- Ampoorter, E., Goris R., Cornelis W.M. e Verheyen K. 2007. Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. Forest Ecology and Management, 241(1-3): p. 162-174.
- Attebrant, M., Winkel J., Mathiassen S.E. e Kjellberg A. 1997. Shoulder-arm muscle load and performance during control operation in forestry machines: Effects of changing to a new arm rest, lever and boom control system. Applied Ergonomics, 28(2): 85-97.
- Auclair, A.N.D., Heilman W.E. e Brinkman B. 2010. Predicting forest dieback in Maine, USA: A simple model based on soil frost and drought. Canadian Journal of Forest Research, 40(4): 687-702.
- Baldini, S. 2009. Interazione fra selvicoltura e meccanizzazione forestale nei paesi del mediterraneo. Roma: Agra Editore. 181-188

- Baldini, S. e Renzi C. 2013. Sostenibilità dell'esbosco a soma con i muli. Produttività, danni al suolo e soprassuolo, bilancio energetico ed economico. *Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi*, 192(3): 36-41.
- Bartoš, L., Máchal P. e Skoupý A. 2009. Possibilities of using price analysis in decision making on the use of harvester technology in forestry. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 57(4): 31-36.
- Becker, P., Jensen J. e Meinert D. 2006. Conventional and mechanized logging compared for ozark hardwood forest thinning: Productivity, economics, and environmental impact. *Northern Journal of Applied Forestry*, 23(4): 264-272.
- Bick, S. 2009. Forwarder thinking. *Northern Logger and Timber Processor*, 57(7): 10-12+26-27.
- Björheden, R., Gullberg T. e Johansson J. 2003. Systems analyses for harvesting small trees for forest fuel in urban forestry. *Biomass and Bioenergy*, 24(4-5): 389-400.
- Bosner, A., Nikolic S., Pandur Z. e Benic D. 2008. Development and calibration of mobile measuring system of vehicle axle mass - Measurements on forwarder. *Nova Mehanizacija Sumarstva*, 29(1): 1-15.
- Briggs, R.D., Hornbeck J.W., Smith C.T., Lemin Jr. R.C. e McCormack Jr. M.L. 2000. Long-term effects of forest management on nutrient cycling in spruce-fir forests. *Forest Ecology and Management*, 138(1-3): 285-299.
- Burrows, C.R., Hammond G.P. e McManus M.C. 1998. Life-cycle assessment of oil 'hydraulic' systems for environmentally-sensitive applications. *American Society of Mechanical Engineers, The Fluid Power and Systems Technology Division (Publication) FPST*, 5: 61-68.
- Bustos, O. e Egan A. 2011. A comparison of soil compaction associated with four ground-based harvesting systems. *Northern Journal of Applied Forestry*, 28(4): 194-198.
- Camp, A. 2002. Damage to residual trees by four mechanized harvest systems operating in small-diameter, mixed-conifer forests on steep slopes in northeastern washington: A case study. *Western Journal of Applied Forestry*, 17(1): 14-22.
- Caruana Martins, P.C., Dias Jr. M.D.S., da Silva Carvalho J., Silva A.R. e Fonseca S.M. 2013. Levels of induced pressure and compaction as caused by forest harvesting operations. *Cerne*, 19(1): 83-91.
- Chauhan, S.S., Frayret J.M. e Le Bel L. 2009. Multi-commodity supply network planning in the forest supply chain. *European Journal of Operational Research*, 196(2): 688-696.
- Churton, N.L., Bren L.J. e Kerruish C.M. 1999. Efficiency of mechanized mountain ash thinning in the Central Highlands of Victoria. *Australian Forestry*, 62(1): 72-78.

- Clifton, C., Peterson S., Pfeifer E. e Griswold C. 2006. Implementation and effectiveness monitoring of best management practices on the Umatilla national forest. Report - University of California Water Resources Center, (107): 360.
- Costantini, A. 1995. Impacts of Pinus plantation management on selected physical properties of soils in the coastal lowlands of south-east Queensland, Australia. *Commonwealth Forestry Review*, 74(3): 211-223.
- Cremer, T. e Velazquez-Marti B. 2007. Evaluation of two harvesting systems for the supply of wood-chips in Norway spruce forests affected by bark beetles. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2): 145-155.
- Danskin, S.D., Bettinger P., Jordan T.R. e Cieszewski C. 2009. A comparison of GPS performance in a southern hardwood forest: Exploring low-cost solutions for forestry applications. *Southern Journal of Applied Forestry*, 33: 9-16.
- Da Silva Lopes, L., de Oliveira D., da Silva P.C. e Chiquetto A.L. 2010. Evaluation of operator's performance training with forwarder simulator. *Ciencia Florestal*, 20(1): 179-189.
- Da Silva, S.R., de Barros N.F., da Costa L.M. e Leite F.P. 2008. Soil compaction and eucalyptus growth in response to forwarder traffic intensity and load. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 32(3): 921-932.
- de Freitas, L.C., Machado C.C., Silva E., da Silva M.L., Leite A.M.P. e Fernandes H.C. 2011. Environmental assessment of the technological innovation process on forestry harvesting. *Revista Arvore*, 35(2): 329-339.
- Di Fulvio, F., Bergstrom D., Kons K. e Nordfjell T. 2012. Productivity and profitability of forest machines in the harvesting of normal and overgrown willow plantations. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(1): 25-37.
- Dias, A.C. e Arroja L. 2012. Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood production in Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 37: 368-376.
- Dias, A.C., Arroja L. e Capela I. 2007. Carbon dioxide emissions from forest operations in Portuguese eucalypt and maritime pine stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(5): 422-432.
- Dias Jr., M.D.S., Da Fonseca S., Araujo Jr. C.F. e Silva A.R. 2007. Soil compaction due to forest harvest operations. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42(2): 257-264.
- Dias Jr., M.D.S., Silva S.R., dos Santos N.S. e Araujo Jr. C.F. 2009. Assessment of the soil compaction of two ultisols caused by logging operations. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 32(6): 2245-2253.

- do Canto, J.L., Machado C.C., Seixas F., de Souza A.P e Anna C.M.S. 2011. Evaluation of a wood chipping system for eucalyptus tops for energy. *Revista Arvore*, 35(6): 1327-1334.
- Donnell, R. 2003. Partek fine-tunes operations. *Timber Harvesting*, 51(4).
- Donnell, R. 2004. Solid formation. *Timber Harvesting*, 52(3): 24-26.
- Eckley, M. e Egan A. 2005. Harvesting where the people are: Aesthetic preferences for logging-in-progress. *Journal of Forestry*, 103(8): 401-406.
- Edlund, J., Bergsten U. e Arvidsson H. 2013. A forest machine bogie with a bearing capacity dependent contact area: Acceleration and angular orientation when passing obstacles and drawbar pull force and free rolling resistance on firm ground. *Silva Fennica*, 47(3).
- Edlund, J., Bergsten U. e Löfgren B. 2012. Effects of two different forwarder steering and transmission drive systems on rut dimensions. *Journal of Terramechanics*, 49(5): 291-297.
- Eriksson, U., Mohr E. e Asplund C. 1993. Torque distribution on all hydrostatic vehicle transmissions.
- Fernandez-Lacruz, R., Di Fulvio F. e Bergström D. 2013. Productivity and profitability of harvesting power line corridors for bioenergy. *Silva Fennica*, 47(1).
- Ferrari, E., Spinelli R., Cavallo E. e Magagnotti N. 2012. Attitudes towards mechanized Cut-to-Length technology among logging contractors in Northern Italy. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(8): 800-806.
- Fight, R.D., Gicqueau A. e Hartsough B.R. 1999. Harvesting costs for management planning for ponderosa pine plantations. General Technical Reports of the US Department of Agriculture, Forest Service, (PNW-GTR-467): 1-8.
- Flisberg, P., Forsberg M. e Rönqvist M. 2007. Optimization based planning tools for routing of forwarders at harvest areas. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(11): 2153-2163.
- Fontana, G. e Seixas F. 2007. Ergonomic evaluation of the workstation of forwarder and skidder models. *Revista Arvore*, 31(1): 71-81.
- Furuberg Gjedtjernet, A.M. 1995. Forest operations and environmental protection. *Water, Air, and Soil Pollution*, 82(1-2): 35-41.
- Gallo, R., Grigolato S., Cavalli R. e Mazzetto F. 2013. GNSS-based operational monitoring devices for forest logging operation chains. *Journal of Agricultural Engineering*, 44: 140-143.
- Gandaseca, S., Yoshimura T. e Hasegawa H. 2001. Evaluating the positioning performance of GPS surveying under different forest conditions in Japan. *Proc. the First International Precision Forestry Cooperative Symposium*, Seattle: 119-123

- Gerasimov, Y. e Karjalainen T. 2012. Estimation of machinery market size for industrial and energywood harvesting in Leningrad region. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(1): 49-60.
- Gerasimov, Y. e Katarov V. 2010. Effect of bogie track and slash reinforcement on sinkage and soil compaction in soft terrains. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31(1): 35-45.
- Gerasimov, Y., Sokolov A. e Syunev V. 2013. Development trends and future prospects of cut-to-length machinery, in *Advanced Materials Research*: 468-473.
- Ghaffarian, M.R., Stampfer K. e Sessions J. 2007. Forwarding productivity in Southern Austria. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2): 169-175.
- Ghaffariyan, M.R., Acuna M. e Brown M. 2013. Analysing the effect of five operational factors on forest residue supply chain costs: A case study in Western Australia. *Biomass and Bioenergy*, 59: 486-493.
- Ghaffariyan, M.R., Sessions J. e Brown M. 2013. Roadside chipping in a first thinning operation for radiata pine in South Australia. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 34(1): 91-101.
- Giordano, G. 1956. *Il legno della foresta ai vari impieghi*. Hopeli.
- Gondard, H., Romane F., Aronson J. e Shater Z. 2003. Impact of soil surface disturbances on functional group diversity after clear-cutting in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) forests in southern France. *Forest Ecology and Management*, 180(1-3): 165-174.
- Goutal, N., Keller T., Défossez P. e Ranger J. 2013. Soil compaction due to heavy forest traffic: Measurements and simulations using an analytical soil compaction model. *Annals of Forest Science*, 70(5): 545-556.
- Goutal, N., Renault P. e Ranger J. 2013. Forwarder traffic impacted over at least four years soil air composition of two forest soils in northeast France. *Geoderma*, 193-194: 29-40.
- Granhus, A. e Fjeld D. 2001. Spatial distribution of injuries to Norway spruce advance growth after selection harvesting. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(11): 1903-1913.
- Haarlaa, R. 1975. The effect of terrain on the output in forest transportation of timber. *Journal of Terramechanics*, 12(2): 55-94.
- Hahto, A., Mattila J. e Koivisto H. 2010. Automated object locator in a forest forwarder. *Applied Artificial Intelligence*, 24(7): 711-721.
- Hammarberg, T. e Handroos H. 2000. Some aspects on modeling of the moving forest machines. *SAE Technical Papers*.

- Han, H.S. e Kellogg L.D. 2000. Damage characteristics in young Douglas-fir stands from commercial thinning with four timber harvesting systems. *Western Journal of Applied Forestry*, 15(1): 27-33.
- Hartsough, B. 2004. Operations to reduce fuels in western forests. *Resource: Engineering and Technology for Sustainable World*, 11(1): 9-10.
- Henderson, B. 2002. &Jobs in the forest& career days. *Timber Producer*, (12): 8.
- Hera, P.M.L. e Ortiz Morales D. 2012. Modeling dynamics of an electro-hydraulic servo actuated manipulator: A case study of a forestry forwarder crane. in *World Automation Congress Proceedings*.
- Hiesl, P. e Benjamin J.G. 2013. Applicability of international harvesting equipment productivity studies in maine, USA: A literature review. *Forests*, 4(4): 898-921.
- Higgins, R. 2006. David hughes timber. *Timber Bulletin*, 62(JAN/FEB): 7-9.
- Hippoliti, G. e Piegai F. 2000. Tecniche e sistemi di lavoro per la raccolta del legno. Ed. Compagnia delle Foreste: Arezzo.
- Holzleitner, F., Stampfer K. e Visser R. 2011. Utilization rates and cost factors in timber harvesting based on long-term machine. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2): 501-508.
- Horcher A. 2008. Improving Helicopter Yarding with Onboard GPS [PhD Thesis]. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute.
- Horvat, D., Pandur Z., Susnjar M., Nikolic S. e Zoric M. 2011. Environmental viability of two methods of mechanized forest residues management. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(1): 389-399.
- Horvat, D., Porsinsky T., Krpan A., Pentek T. e Susnjar M. 2004. Suitability evaluation of forwarders based on morphological analysis. *Strojarstvo*, 46(4-6): 149-160.
- Jakobsen, B.F. e Greacen E.L. 1985. Compaction of sandy forest soils by forwarder operations. *Soil and Tillage Research*, 5(1): 55-70.
- Johansson, J. 1996. Case studies on farm tractors as base machines for single-grip thinnings harvester heads. *Forestry*, 69(3): 229-244.
- Johnson, D. 2001. Professionalism is important to central Wisconsin logger. *Northern Logger and Timber Processor*, 50(3): 22-23+34.
- Johnson, E. 2003. Cut-to-Length Pioneer Thrives in Northern Mass. *Northern Logger and Timber Processor*, 52(4): 22-24.

- Johnson, E. 2004. Making the most of the log. *Northern Logger and Timber Processor*, 53(5): 26-28.
- Kärhä, K. 2006. Whole-tree harvesting in young stands in Finland. *Forestry Studies*, 45: 118-134.
- Kärhä, K., Jylhä P. e Laitila J. 2011. Integrated procurement of pulpwood and energy wood from early thinnings using whole-tree bundling. *Biomass and Bioenergy*, 35(8): 3389-3396.
- Klvac, R. e Skoupy A. 2009. Characteristic fuel consumption and exhaust emissions in fully mechanized logging operations. *Journal of Forest Research*, 14(6): 328-334.
- Knight, D.K. 2003. Inching forward. *Timber Harvesting*, 51(3): 38-42.
- Knight, D.K. 2005. Lower volume, higher profit. *Timber Harvesting*, 53(6): 8-10.
- Kühmaier, M. e Stampfer K. 2010. Development of a multi-attribute spatial decision support system in selecting timber harvesting systems. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2): 75-88.
- Labelle, E.R. e Jaeger D. 2011. Soil compaction caused by cut-to-length forest operations and possible short-term natural rehabilitation of soil density. *Soil Science Society of America Journal*, 75(6): 2314-2329.
- Labelle, E.R. e Jaeger D. 2012. Quantifying the use of brush mats in reducing forwarder peak loads and surface contact pressures. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2): 249-274.
- Laitila, J., Asikainen A. e Hotari S. 2005. Residue recovery and site preparation in a single operation in regeneration areas. *Biomass and Bioenergy*, 28(2): 161-169.
- Laitila, J., Kilponen M. e Nuutinen Y. 2013. Productivity and cost-efficiency of bundling logging residues at roadside landing. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 34(2): 175-187.
- Laitila, J. e Väätäinen K. 2012. Truck transportation and chipping productivity of whole trees and delimbed energy wood in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2): 199-210.
- Larson, D.S., Neary D.G., Daugherty P.J. e Edminster C.B. 2000. Harvesting costs for potential bioenergy fuels in a fire risk reduction programme. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 30(1): 114-129.
- Lazdins, A. e Hofsten H.V. 2009. Technical and environmental issues of stump harvesting for biofuel production in Latvia. in *Research for Rural Development*.
- Li, Y., Wang J., Miller G. e McNeel J. 2006. Production economics of harvesting small-diameter hardwood stands in central Appalachia. *Forest Products Journal*, 56(3): 81-86.

- Lindroos, O., Henningsson M., Athanassadis D. e Nordfjell T. 2010. Forces required to vertically uproot tree stumps. *Silva Fennica*, 44(4): 681-694.
- Máchal, P. e Bartoš L. 2009. Application of harvester technologies of timber logging in the process-oriented environment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 57(4): 25-30.
- Magagnotti, N., Nati C., Spinelli R. e Visser R. 2011. Assessing the cost of stump-site debarking in eucalypt plantations. *Biosystems Engineering*, 110(4): 443-449.
- Magagnotti, N., Spinelli R., Güldner O. e Erler J. 2012. Site impact after motor-manual and mechanised thinning in Mediterranean pine plantations. *Biosystems Engineering*, 113(2): 140-147.
- Malinovski, R.A., Fenrier P.T., Schack-Kirchner H., Malinovski J.R. e Malinovsky E.R.A. 2008. Optimization of skidding distance of wood with a forwarder. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, (79): 171-179.
- Manner, J., Nordfjell T. e Lindroos O. 2013. Effects of the number of assortments and log concentration on time consumption for forwarding. *Silva Fennica*, 47(4).
- Marchi E. e Piegai F. 2001. Sistemi di utilizzazione forestale a basso impatto ambientale. *L'Italia Forestale e Montana*, 56: 477-490.
- McCary, J. 2004. New Mexico Forest Activity. *Timber Harvesting*, 52(2): 58-59.
- McCary, J. 2006. Old ties new links. *Timber Harvesting*, 54(1): 22-24.
- McDonald T.P. e Fulton J.P. 2005. Automated time study of skidders using global positioning system data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 48: 19-37.
- Mederski, P.S. 2006. A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without midfield. *Forest Ecology and Management*, 224(3): 286-296.
- Messingerová, V., Martinusová L. e Slančík M. 2005. Ergonomic parameters of the work of integrated technologies at timber harvesting. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 26(2): 79-84.
- Michelsen, O., Solli C. e Strømman A.H. 2008. Environmental impact and added value in forestry operations in Norway. *Journal of Industrial Ecology*, 12(1): 69-81.
- Mihelič, M. e Krč J. 2009. Analysis of inclusion of wood forwarding into a skidding model. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 30(2): 113-125.
- Mizaras, S., Sadauskiene L. e Mizaraite D. 2008. Productivity of harvesting machines and costs of mechanized wood harvesting: Lithuanian case study. *Baltic Forestry*, 14(2): 155-162+225-226.

- Monte, M. 2006. Keeping it small as a survival strategy: Tim Kalata stays in business with low overhead and careful work. *Northern Logger and Timber Processor*, 55(4): 12-13+33.
- Monte, M. 2007. Michigan logger sees biomass potential. *Northern Logger and Timber Processor*, 55(11): 8-21+26.
- Muiste, P., Kurvits V., Mitt R., Meelis M. e Kakko T. 2006. Forest harvesting in Estonia during the transition period. *Forestry Studies*, 45: 164-171.
- Nadezhdina, N., Prax A., Cermak J., Nadezhin V., Ulrich R., Neruda J. e Schlaghamersky A. 2012. Spruce roots under heavy machinery loading in two different soil types. *Forest Ecology and Management*, 282: 46-52.
- Nakahata, C., Aruga K., Uemura R., Saito M. e Kanetsuki K. 2014. Examining the Optimal Method to Extract Logging Residues from Small-Scale Forestry in the Nasunogahara Area, Tochigi Prefecture, Japan. *Small-scale Forestry*, 13(2): 251-266.
- Nitami, T., Park B., Aruga K., Kashima J. e Sato S. 2005. Design and function of seat suspension for small forest forwarder. in 15th International Conference of the International Society for Terrain Vehicle Systems 2005, ISTVS 2005.
- Nordfjell, T., Björheden R., Thor M. e Wästerlund I. 2010. Changes in technical performance, mechanical availability and prices of machines used in forest operations in Sweden from 1985 to 2010. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25(4): 382-389.
- Norén, O. e Pettersson O. 2001. Development of relevant work-cycles and emission factors for off-road machines. SAE Technical Papers,
- Notaro, S., Paletto A. e Piffer M. 2012. Tourism innovation in the forestry sector: Comparative analysis between Auckland Region (New Zealand) and Trentino (Italy). *IForest*, 5(OCTOBER 2012): 262-271.
- Nugent, C., Kanali C., Owende P.M.O., Nieuwenhuis M. e Ward S. 2003. Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. *Forest Ecology and Management*, 180(1-3): 85-98.
- Nurmi, J. 2007. Recovery of logging residues for energy from spruce (*Pices abies*) dominated stands. *Biomass and Bioenergy*, 31(6): 375-380.
- Nurminen, T., Korpunen H. e Uusitalo J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica*, 40(2): 335-363.
- Nyblom, M. 2007. Hector rail's strategy. *Railway Gazette International*, 163(10): 628-629.
- Østensvik, T., Veiersted K.B. e Nilsen P. 2009. Association between numbers of long periods with sustained low-level trapezius muscle activity and neck pain. *Ergonomics*, 52(12): 1556-1567.

- Østensvik, T., Veiersted K.B. e Nilsen P. 2009. A method to quantify frequency and duration of sustained low-level muscle activity as a risk factor for musculoskeletal discomfort. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(2): 283-294.
- Owende, P.M.O., Lyons J. e Ward S.M. 2002. *Operations Protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites*. Ecowood.
- Palander, T., Punntila T. e Kariniemi A. 2012. Controlling the wheel weights of forwarders by loading and boom moving in timber harvestings on peatlands. *Suo*, 63(2): 57-72.
- Pandur, Z., Vusić D. e Papa I. 2009. Additional equipment for increasing forwarder productivity. *Nova Mehanizacija Sumarstva*, 30(1): 19-25.
- Pellegrini, M., Ackerman P. e Cavalli R. 2013. On-board computing in forest machinery as a tool to improve skidding operations in South African softwood sawtimber operations. *Southern Forest*, 75(2): 89-96
- Picchio, R., Sirna A., Sperandio G., Spina R. e Verani S. 2012. Mechanized harvesting of eucalypt coppice for biomass production using high mechanization level. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(1): 15-24.
- Pičman, D., Pentek T., Nevecerel H., Papa I. e Lepoglavec K. 2011. Possibilities of application of relative openness in secondary forest opening of slope forests in Croatia. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(1): 417-430.
- Piedallu, C. e Gégout J.C. 2005. Effects of forest environment and survey protocol on GPS accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(9): 1071-1078.
- Poršinsky, T. e Horvat D. 2005. Wheel numeric as parameter for assessing environmental acceptability of vehicles for timber extraction. *Nova Mehanizacija Sumarstva*, 26(1): 25-38.
- Poršinsky, T. e Ožura M. 2006. Damage to standing trees in timber forwarding. *Nova Mehanizacija Sumarstva*, 27(3): 41-49.
- Poršinsky, T., Sraka M. e Stankić I. 2006. Comparison of two approaches to soil strength classifications. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 27(1): 17-26.
- Poršinsky, T. e Stankić I. 2006. Efficiency of Timberjack 1710B forwarder on roundwood extraction from Croatian lowland forests. *Glasnik za Sumske Pokuse, (SPEC. ISS. 5)*: 573-587.
- Poršinsky, T. e Stankić I. 2006. Environmental evaluation of Timberjack 1710B forwarder on roundwood extraction from Croatian lowland forests. *Glasnik za Sumske Pokuse, (SPEC. ISS. 5)*: 589-600.
- Poršinsky, T., Stankić I. e Bosner A. 2011. Ecoefficient timber forwarding based on nominal ground pressure analysis. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(1): 345-356.

- Pothier, D. 1996. Évolution de la régénération après la coupe de peuplements récoltés selon différents procédés d'exploitation. *Forestry Chronicle*, 72(5): 519-527.
- Rejšek, K., Buchar J., Vanicek I., Hromadko L., Vranova V. e Morosz K. 2011. Results of dynamic penetration test - An indicator of the compaction of surface soil horizons by forestry machinery. *Journal of Forest Science*, 57(10): 439-450.
- Rejšek, K., Holcikova P., Kuraz V., Kucera A., Dundek P., Formanek P. e Vranova V. 2011. Saturated hydraulic conductance of forest soils affected by track harvesters. *Journal of Forest Science*, 57(8): 321-339.
- Reutebuch, S.E., Fridley J.L. e Robinson L.R. 1999. Integrating real-time forestry machine activity with GPS positional area. *ASAE Technical Paper No.99-5097*.ASAE: 18
- Rickenbach, M. e Steele T.W. 2005. Comparing mechanized and non-mechanized logging firms in Wisconsin: Implications for a dynamic ownership and policy environment. *Forest Products Journal*, 55(11): 21-26.
- Ringdahl, O., Hellström T., Wästerlund I. e Lindroos O. 2012. Estimating wheel slip for a forest machine using RTK-DGPS. *Journal of Terramechanics*, 49(5): 271-279.
- Ringdahl, O., Lindroos O., Hellström T., Bergström D., Athanassidis D. e Nordfjell T. 2011. Path tracking in forest terrain by an autonomous forwarder. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(4): 350-359.
- Roos, J.A., Brackley A.M. e Sasatani D. 2012. Trends in global shipping and the impact on Alaska's forest products. *USDA Forest Service - General Technical Report PNW-GTR*, (839): 1-30.
- Roßmann, J. 2006. Taking space robotics technology into the forest and to construction sites: Control, simulation and training, in *VDI Berichte*: 15.
- Rodríguez-Pérez, J., Álvarez M. e Sanz-Ablanedo E. 2007. Assessment of Low-Cost GPS Receiver Accuracy and Precision in Forest Environments. *Journal of Surveying Engineering*, 133(4): 159-167.
- Rottensteiner, C., Affenzeller G. e Stampfer K. 2008. Evaluation of the feller-buncher moipu 400E for energy wood harvesting. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29(2): 117-128.
- Rummer, B. 2009. New technology in forest operations. *Forest Landowner*, 68(1): 22-24.
- Saarenmaa, A. 2005. A novel forest biomass production systems for the worlds biggest biofuel plants. in *2005 ASAE Annual International Meeting*.
- Saarilahti, M. e Ala-Ilomäki J. 1997. Measurement and modelling of wheel slip in forwarding on moraine forest floor. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12(3): 316-319.

- Saarinen, V.M. 2006. The effects of slash and stump removal on productivity and quality of forest regeneration operations - Preliminary results. *Biomass and Bioenergy*, 30(4): 349-356.
- Saarinen, V.M. e Harstela P. 2004. Effect of slash and stump removal on soil preparation and planting. in VTT Symposium (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus).
- Sakai, H., Nordfjell T., Suadicani K., Talbot B. e Bøllehuus E. 2008. Soil compaction on forest soils from different kinds of tires and tracks and possibility of accurate estimate. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29(1): 15-27.
- Seixas, F., Koury C.G.G. e Rodrigues F.A. 2003. Determination of impacted area using GPS as a result of forwarder traffic. *Forest Sciences*, 63: 178-187.
- Shell, D. 2007. CTL quality. *Timber Harvesting*, 55(2): 8-10.
- Silva, A.R., de Dias Jr. M.S. e Leite F.P. 2010. Physical and mechanical properties of Latosols in different forest management. *Ciencia e Agrotecnologia*, 34(6): 1483-1491.
- Silva, A.R., Dias Jr. M.D.S. e Leite F.P. 2007. Forest residuals layer in the preconsolidation pressure of two Oxisols. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42(1): 89-93.
- Silva, A.R., Junior M.S.D. e Leite F.P. 2011. Evaluation of traffic intensity and load of a forwarder on structure of a Red-Yellow Latosol. *Revista Arvore*, 35(3): 547-554.
- Silva, E.P., Minette L.J., Suoza A.P., Marçal M.A. e Sanches A.L.P. 2013. Psychosocial and organizational factors associated with risk of LER/DORT in operators of forest harvesting machines. *Revista Arvore*, 37(5): 889-895.
- Silva, S.R., De Barros N.F., Da Costa L.M., De Sá Mendonça E. and Leite F.P. 2007. Soil disturbances as affected by load and traffic intensity of a forwarder along interrows of a eucalypt stand. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 31(2): 371-377.
- Slamka, M. e Radocha M. 2010. Results of harvesters and forwarders operations in slovakian forests. *Forestry Journal*, 56(1): 1-15.
- Smaltschinski, T., Seeling U. e Becker G. 2012. Clustering forest harvest stands on spatial networks for optimised harvest scheduling. *Annals of Forest Science*, 69(5): 651-657.
- Søvde, N.E., Løkketangen A. e Talbot B. 2013. Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout. *Forest Science and Technology*, 9(4): 187-194.
- Spinelli, R., Lombardini C. e Magagnotti N. 2013. Salvaging windthrown trees with animal and machine systems in protected areas. *Ecological Engineering*, 53: 61-67.
- Spinelli, R. e Magagnotti N. 2010. Performance and cost of a new mini-forwarder for use in thinning operations. *Journal of Forest Research*, 15(6): 358-364.

- Spinelli, R. e Magagnotti N. 2011. The effects of introducing modern technology on the financial, labour and energy performance of forest operations in the Italian Alps. *Forest Policy and Economics*, 13(7): 520-524.
- Spinelli, R., Magagnotti N. e Picchi G. 2011. Annual use, economic life and residual value of cut-to-length harvesting machines. *Journal of Forest Economics*, 17(4): 378-387.
- Spinelli, R., Magagnotti N. e Picchi G. 2012. A supply chain evaluation of slash bundling under the conditions of mountain forestry. *Biomass and Bioenergy*, 36: 339-345.
- Spinelli, R., Owende P.M.O., Ward S.M. e Tornero M. 2004. Comparison of short-wood forwarding systems used in Iberia. *Silva Fennica*, 38(1): 85-94.
- Spruce, M. D., Taylor S.E., Wilhoit J.H. e Stokes B.J. 1993. Using GPS to track forest machines. ASAE Technical Paper No.93-7504. ASAE: 23
- Stankič, I., Porsinsky T., Tomasic Z., Tonkovic I. e Frntic M. 2012. Productivity models for operational planning of timber forwarding in Croatia. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(1): 61-78.
- Stokes, B.J. e Schilling A. 1997. Improved harvesting systems for wet sites. *Forest Ecology and Management*, 90(2-3): 155-160.
- Suadicani, K. 2003. Production of fuel chips in a 50-year old Norway spruce stand. *Biomass and Bioenergy*, 25(1): 35-43.
- Suchomel, C., Becker G. e Pyttel P. 2011. Fully mechanized harvesting in aged oak coppice stands. *Forest Products Journal*, 61(4): 290-296.
- Sukhanov, Y., Seliverstov A. e Gerasimov Y. 2013. Efficiency of forest chip supply systems in Northwest Russia, in *Advanced Materials Research*: 799-804.
- Šušnjar, M., Horvat D. e Grahovac I. 2007. Morphological analysis of forest hydraulic cranes. *Nova Mehanizacija Sumarstva*, 28(1): 15-26.
- Šušnjar, M., Horvat D., Kristic A. e Pandur Z. 2008. Morphological analysis of forest tractor assemblies. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29(1): 41-51.
- Suvinen, A. 2006. Economic comparison of the use of tyres, wheel chains and bogie tracks for timber extraction. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 27(2): 81-102.
- Suvinen, A., Tokola T. e Saarilahti M. 2009. Terrain trafficability prediction with GIS analysis. *Forest Science*, 55(5): 433-442.
- Tabell, L. 2000. Whole-body vibrations in forest harvesters - A review of relevant R&D issues. in *Proceedings of the 25th International Conference on Noise and Vibration Engineering, ISMA*.

- Talbot, B. e Suadicani K. 2005. Analysis of two simulated in-field chipping and extraction systems in spruce thinnings. *Biosystems Engineering*, 91(3): 283-292.
- Teepe, R., Brumme R., Beese F. e Ludwig B. 2004. Nitrous oxide emission and methane consumption following compaction of forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 68(2): 605-611.
- Tepp, J.S. 2002. Assessing visual soil disturbance on eight commercially thinned sites in northeastern Washington. *USDA Forest Service - Research Note PNW-RN, (PNW-RN-535)*: 1-20.
- Tiernan, D., Zeleke G., Owendw P.M.O., Kanali C.L., Lyons J. e Ward S. M. 2004. Effect of Working Conditions on Forwarder Productivity in Cut-to-length Timber Harvesting on Sensitive Forest Sites in Ireland. *Biosystems Engineering*, 87(2): 167-177.
- Tomašić, Ž. 2013. Development of technologies and technical means of harvesting operations with respect to specific features of forests and forestry in Croatia. *Nova Mehanizacija Sumarstva*, 33(1): 53-67.
- Uusitalo, J., Kaakkurivaara T. e Haavisto M. 2012. Utilizing airborne laser scanning technology in predicting bearing capacity of peatland forest. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2): 329-337.
- Väätäinen, K., Asikainen A., Sikanen L. e Ala-Fossi A. 2006. The cost effect of forest machine relocations on logging costs in Finland. *Forestry Studies*, 45: 135-141.
- Väätäinen, K., Sirparanta E., Räisänen M. e Tahvanainen T. 2011. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. *Biomass and Bioenergy*, 35(8): 3335-3341.
- Van Goethem, L. 2003. Two men and a mule. *Northern Logger and Timber Processor*, 51(9): 18-19+27.
- Vayrynen, S. 1982. Occupational accidents in the maintenance of heavy forest machinery. *Journal of Occupational Accidents*, 4(2-4): 175.
- Väyrynen, S. 1984. Safety and ergonomics in the maintenance of heavy forest machinery. *Accident Analysis and Prevention*, 16(2): 115-122.
- Veal, M. W., Taylor S.E., McDonald T.P., McLemore D.K. e Dunn M.R. 2001. Accuracy of tracking forest machines with GPS. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 44(6): 1903-1911.
- Wang, J. e LeDoux C.B. 2003. Estimating and validating ground-based timber harvesting production through computer simulation. *Forest Science*, 49(1): 64-76.

- Wästerlund, I. e Andersson E. 2011. Increased harvesting operation using adapted ground pressure to soil conditions. in 17th International Conference of the International Society for Terrain Vehicle Systems 2011, ISTVS 2011.
- Wester, D. 2005. Forwarder championship another squeaker. *Timber Producer*, (12): 12-15.
- Wester, D. 2005. Czarnezki logging does it right. *Timber Producer*, (4): 40-43.
- Wester, D. 2005. First north American forwarder competition. *Timber Producer*, (1): 8-11.
- Wester, D. 2006. A new forwarder and harvester with a familiar head. *Timber Producer*, (12): 28-31.
- Wester, D. 2006. Dobson smokes forwarder competition. *Timber Producer*, (11): 28-31.
- Wester, D. 2006. Bisballe brothers have different approach to logging. *Timber Producer*, (10): 28-33.
- Wester, D. 2006. Nelsons earn it. *Timber Producer*, (3): 38-43.
- Wilhoit, J.H. e Ling Q. 1996. Spreader performance evaluation for forest land application of wood and fly ash. *Journal of Environmental Quality*, 25(5): 945-950.
- Wu, J., Wang J., Li Y. e Spong B. 2012. A web-based decision support system for analyzing timber harvesting costs and productivity. *Northern Journal of Applied Forestry*, 29(3): 141-149.
- Yamada, Y., Kotani F. e Furuhashi S. 2011. Research on mechanization of the thinning from above in multi-storied forest management: The case of a multi-storied forest of 100-year-old hinoki in aichi prefecture. *Nihon Ringakkai Shi/Journal of the Japanese Forestry Society*, 93(2): 79-83.
- Yamaguchi, R., Aruga K., Murakami A., Saito M. e Ito K. 2010. Development of the model to estimate the harvesting volumes and costs of logging residues considering economic balances of timber and logging residue harvesting in sano city, tochigi prefecture. *Nihon Enerugi Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Energy*, 89(10): 982-995.
- Yoshioka, T., Iwaoka M., Sakai H. e Kobayashi H. 2000. Feasibility of a harvesting system for logging residues as unutilized forest biomass. *Journal of Forest Research*, 5(2): 59-65.
- Zambelli, P., Lora C., Spinelli R., Tattoni C., Vitti A., Zatelli P. e Ciolli M. 2012. A GIS decision support system for regional forest management to assess biomass availability for renewable energy production. *Environmental Modelling and Software*, 38: 203-213.
- Zazgornik, J., Gronalt M. e Hirsch P. 2012. A comprehensive approach to planning the deployment of transportation assets in distributing forest products. *International Journal of Revenue Management*, 6(1-2): 45-61.

- Zinkevicius, R. e D. Vitunskas. 2013. Assessment of operator effect on machine performance of "ponse Buffalo Dual" harwarder. in Engineering for Rural Development.
- Zorić, M., Horvat D., Pandur Z. e Nikolic S. 2013. Calibration of portable measuring platform for vehicle axle load measurement. Nova Mehanizacija Sumarstva, 33(1): 45-52.
- Zorić, M., Pandur Z., Santek Z. e Susnjar M. 2012. Rating index as an indicator of environmental wheel forwarder benefits. Nova Mehanizacija Sumarstva, 32(1): 5-13.