

Indagine preliminare sulle emissioni di CO₂ ricadenti nelle operazioni di cippatura in relazione all'accessibilità dei cantieri



Introduzione

L'obiettivo dell'Unione Europea (UE) del raggiungimento della carbon neutrality (neutralità del bilancio emissivo mondiale di CO₂) entro il 2050, conosciuto anche come European Green Deal (EUROPEAN COMMISSION, 2019), per il contrasto al cambiamento climatico ha portato un incremento della produzione di energia da fonti rinnovabili. Al fine del raggiungimento dell'obiettivo la Commissione Europea pianifica di ridurre l'emissione di gas clima-alteranti (GHG) almeno del 55% entro il 2030. In questo contesto, l'ottimizzazione del bilancio emissivo per la produzione di energia da risorse rinnovabili riveste un aspetto fondamentale. In questo scenario, le foreste giocano un ruolo fondamentale per la produzione di energia rinnovabile con la valorizzazione delle biomasse forestali residuali (EUROSTAT 2019). Tradizionalmente, al termine delle utilizzazioni forestali, la quota di biomassa forestale (costituita da legname non commerciabile, cimali e ramaglie) viene lasciata in bosco come residuo di utilizzazione. Ne consegue che l'efficienza energetica e l'emissione di GHG derivanti dal settore forestale può essere quindi migliorata favorendo l'utilizzo a cascata delle biomasse (KEEGAN *et al.*, 2013). Infatti, i residui derivanti dalle utilizzazioni forestali possono essere cippati all'imposto o in piazzale (Vance *et al.*, 2018) ed essere utilizzati per produrre energia rinnovabile. Per incrementare l'efficienza nell'utilizzo degli scarti delle utilizzazioni forestali, l'intera filiera del legno deve essere presa in considerazione (ASIKAINEN *et al.*, 2014). Considerando i sistemi di utiliz-

zazioni forestale, il sistema a pianta intera è caratterizzato da un maggiore accumulo di residui forestali rispetto al sistema a legno corto dove le ramaglie e cimali vengono lasciate nell'area di taglio (HYTÖNEN AND MOILANEN, 2014). Anche il trattamento applicato al popolamento forestale influenza la qualità e quantità dei residui forestali: in caso di trattamento a taglio raso in popolamenti di bassa qualità, così come il recupero del legname danneggiato in seguito a schianti da vento, può generare un'elevata quantità di residui di utilizzazione di scarsa qualità (SPINELLI *et al.*, 2020). La logistica dei cantieri di cippatura è fondamentale per garantire una elevata efficienza nel processo di cippatura e nei trasporti del cippato sia verso i piazzali di deposito temporaneo quanto verso la destinazione finale agli impianti di valorizzazione energetica. Le simulazioni condotte da SPINELLI *et al.* (2007) evidenziano che l'accumulo della ramaglia in bosco è preferibile solo se i tempi di attesa della cippatrice superano i 40 minuti per carico. In alcuni casi può anche essere previsto l'accumulo in piazzale della ramaglia presente in bosco mediante l'utilizzo di autocarri. In questo ultimo caso però, sempre secondo le simulazioni condotte da SPINELLI *et al.* (2007), la cippatura in piazzale può essere economicamente giustificabile se i tempi di attesa media della cippatrice non superano i 20 minuti.

Il presente lavoro, attraverso un monitoraggio a lungo termine basato sul sistema FMS (*Fleet Management System*), ha l'obiettivo di valutare se l'accessibilità dei cantieri di cippatura possono avere un effetto in termini di emissioni di CO₂.

Materiali e metodi

Le moderne cippatrici possono essere equipaggiate da un sistema di trasferimento dati basato su GPRS-UMTS-HSDPA. Questo sistema è alla base dei sistemi FMS utilizzati per il controllo delle flotte dei veicoli e delle macchine aziendali. I dati ottenuti dal sistema FMS possono essere utilizzati nel caso delle macchine cippatrici per la verifica dei tempi di lavoro, dei percorsi giornalieri e per una valutazione dei consumi, oltre che essere uno strumento valido per la segnalazione, se attivata, dei guasti (DEBOLI *et al.*, 2014). HOLZLEITNER *et al.* (2013), ha utilizzato questo sistema per valutare l'efficienza nelle operazioni di cippatura e di trasporto del cippato in Austria, evidenziandone l'applicabilità del metodo di analisi tramite sistema FMS. Nel presente studio, svolto nell'ambito del Progetto *LogistiCiPlus* (PSR 2014-2020, Provincia autonoma di Trento), è stata monitorata una cippatrice montata su autocarro a 3 assi alimentata con il motore dello stesso autocarro (fig. 1).



Figura 1 - Mus Max Wood Terminator 10-XL

Durante in periodo di monitoraggio (gennaio 2019 – febbraio 2020) sono state osservate 114 giornate lavorative. Il gruppo cippatore era alimentato dal

motore dell'autocarro in grado di erogare una potenza di 397 kW. Le operazioni di cippatura sono state svolte dall'operatore all'interno della cabina della gru idraulica utilizzata per la movimentazione e il caricamento della biomassa alla bocca della cippatrice. I dettagli della macchina vengono riportati nella tabella 1. I dati di posizione della macchina sono stati acquisiti mediante un dispositivo GNSS, mentre i dati di produzione (consumi, distanze percorse, tempi impiegati per svolgere le operazioni) sono stati raccolti utilizzando il sistema CAN-Bus della macchina basato su standard J 1939. Attraverso l'utilizzo del software QGIS è stato possibile analizzare i dati grezzi di posizione e ricavare tramite rielaborazione la localizzazione dei cantieri di cippatura (fig. 2).

Utilizzando il software R-studio sono state determinate le localizzazioni giornaliere più frequenti escludendo dall'analisi i punti afferenti a spostamenti tra cantieri di cippatura. In base alla localizzazione del cantiere (piazzale, strada forestale principale o strada forestale secondaria) è stata assegnata difficoltà di accesso al cantiere (agevole, media, non agevole). Per agevole si intendono cantieri facilmente raggiungibili e con spazi di manovra adatti ad autotreni e autoarticolati, con accessibilità media si intendono cantieri con accessibilità a mezzi quali autocarri ma con spazi di manovra non sempre adatti, e non agevole in cantieri in cui l'accesso è adatto solo ad autocarri senza rimorchio. L'analisi delle operazioni di cippatura sono state determinate tramite l'acquisizione e rielaborazione di dati relativi della coppia motore (%), il numero di giri (rpm), il consumo di carburante (totale e istantaneo), il numero totale di ore (h) e la posizione e velocità eventualmente di spostamento della cippatrice (fig. 3).

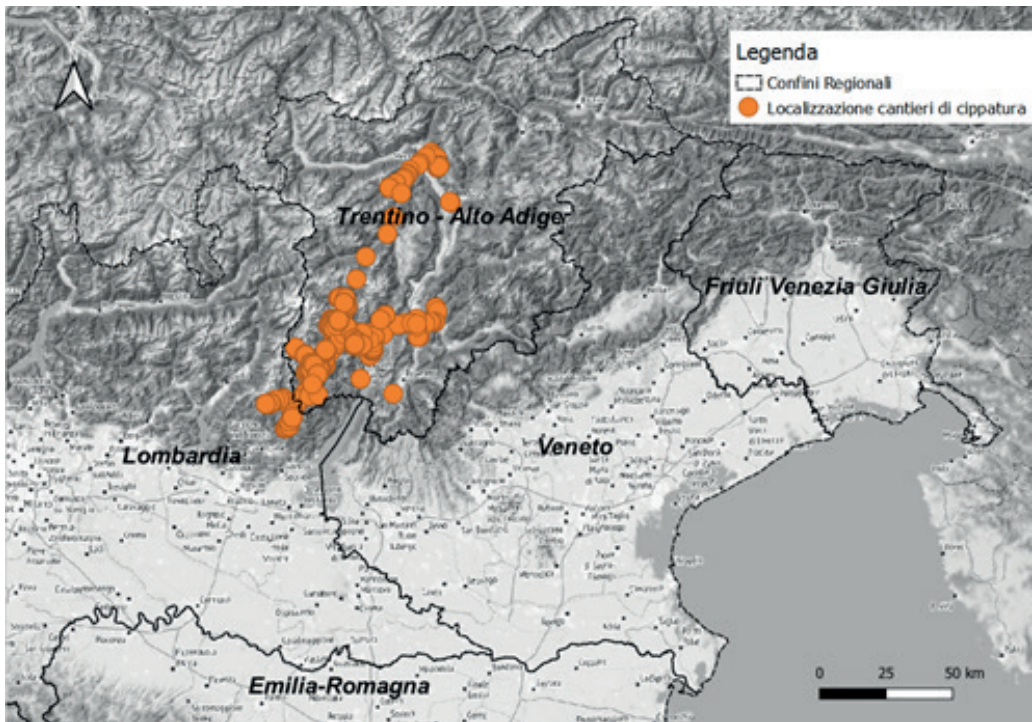


Figura 2 - Localizzazione dei cantieri di cippatura

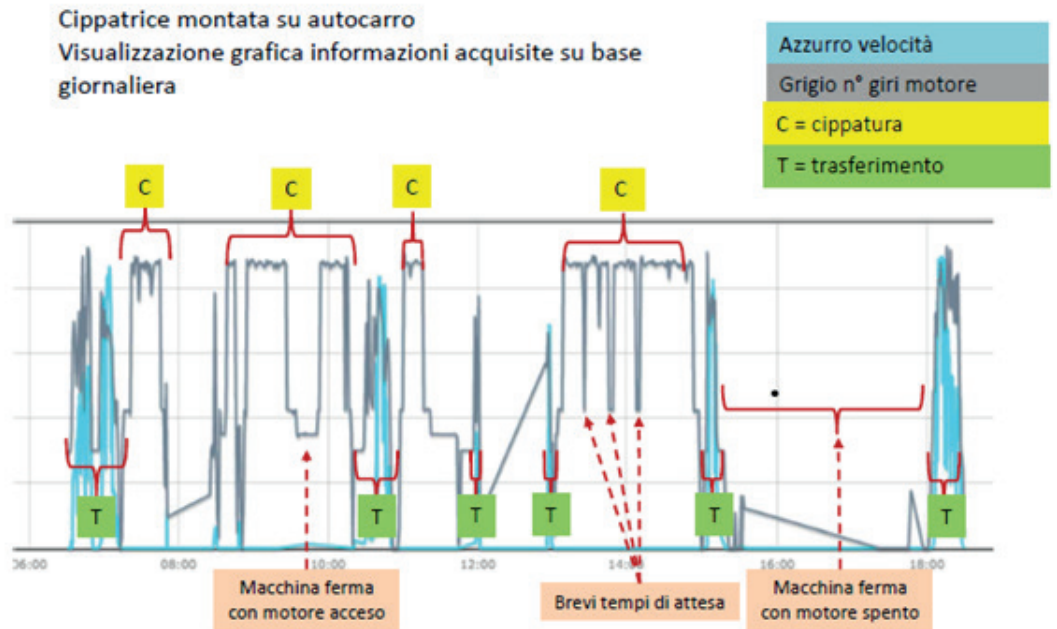


Figura 3 - Rappresentazione e interpretazione grafica dei dati acquisiti tramite telemetria relativi alla lettura dei dati FMS basati su standard J1939

Autocarro		
Produttore	-	MAN
Modello	-	Man TGS 28.540
Motore	-	Man 6 cilindri
Potenza	kW	397
Gruppo cippatore		
Produttore	-	Mus-Max
Modello	-	Wood-Terminator 10 XL
Dimensioni della bocca	mm	980x750
Diametro del tamburo	mm	900
Coltelli	n°	12
Gru idraulica		
Modello		Penz 14 L
Momento di sollevamento lordo	kNm	136
Distanza massima	m	10.1
Chipper-truck		
Peso	kg	26000
Lunghezza	m	9
Larghezza	m	2.5

Tabella 1 - Dettagli della cippatrice Mus-Max Wood Terminator 10 XL

La rielaborazione dei dati acquisiti ha permesso di determinare le diverse operazioni svolte giornalmente e il tempo a queste dedicato: l'operazione di cippatura (fase in cui il rotore è acceso), il trasferimento (fase in cui la macchina si sposta nello stesso cantiere o nel successivo) e i tempi morti (fase in cui la macchina non effettua nessuna attività produttiva a motore acceso).

Risultati e discussioni

Il monitoraggio ha riguardato circa 852 ore di utilizzo, ripartite in 365 ore dedicate alla cippatura, 191 ore dedicate ai trasferimenti e 296 ore relative a tempi in cui la macchina non era in fase di cippatura e trasferimento. In questi ultimi tempi rientrano i tempi morti organizzativi in cui la macchina cippatrice era in cantiere in attesa dei mezzi in cui scaricare il cippato e altri tempi

morti in cui la macchina risultava a motore acceso, ma con rotore fermo e macchina non in movimento.

Si è quindi definito un primo indice determinato dal rapporto tra il tempo impiegato nella operazione di cippatura (macchina con rotore in movimento) e il tempo complessivo della macchina in cantiere (tempo cippatura e tempi morti organizzativi a solo motore acceso). Questo indice rappresenta il tempo di attività della macchina in cantiere con la finalità di dare una indicazione sull'utilizzo della macchina nella fase di lavoro di cippatura rispetto agli altri tempi con motore acceso. Il valore calcolato risulta pari al 55% indipendente dal tipo di cantiere e dalla sua accessibilità. Verificando i dati estratti e rielaborati dal sistema FMS, risulta che la macchina era impegnata con un tempo dedicato alla cippatura maggiore rispetto agli altri tempi proprio nei cantieri localizzati in aree non agevoli da raggiungere. In figura 4 si riporta la valutazione relativa alla percentuale dei

tempi di cippatura sugli altri tempi a motore acceso nei cantieri classificati per difficoltà di accesso. A questi dati si affiancano anche i dati relativi ai consumi orari di carburante della macchina, che possono essere assunti come indicatore di efficienza del cantiere di cippatura.

Come riportato, l'efficienza della cippatura e i consumi relativi alla operazione di cippatura (espressi in consumo orario) sono risultati diversi in base all'accessibilità del cantiere (fig. 4).

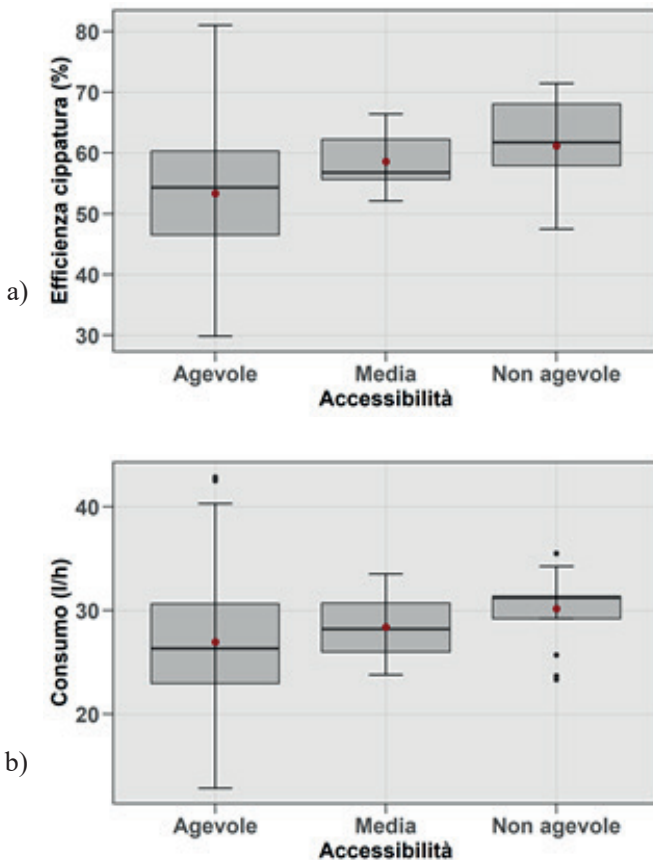


Figura 4 - Variazione dell'efficienza della cippatura (a) e del consumo (b) al variare dell'accessibilità al cantiere

Nei cantieri meno agevoli, risulta che la macchina è stata impiegata nella fase di cippatura con una percentuale di tempo (61%) maggiore rispetto ai cantieri ideali (53%) e mediamente agevoli (59%).

Si deve evidenziare che i risultati risentono probabilmente dell'ampia variabilità delle condizioni dei cantieri non solo in termini di accessibilità, ma anche in termini organizzativi ed in particolare quando la logistica dei trasporti non ha garantito la continuità dell'operazione di cippatura per l'assenza di autocarri o autotreni su cui caricare il cippato prodotto.

Nonostante le difficoltà logistiche dei cantieri montani, spesso poco agevoli in termini di accesso e mobilità dei mezzi in cantiere, l'organizzazione del cantiere risulta essere molto dettagliata e nel caso specifico dell'impresa monitorata, il trasporto del cippato gestito con i soli mezzi aziendali e quindi senza il ricorso ad imprese esterne con cui coordinarsi.

Nel caso dei cantieri più agevoli, che coincidono spesso con lavoro in piazzale o nei pressi di strade a facile accesso, i tempi di cippatura sul totale dei tempi a motore acceso della macchina risultano in percentuale più bassi (5% rispetto a cantieri mediamente agevoli e 8% rispetto a cantieri non agevoli). Questo si collega al fatto che la variabilità dei cantieri è elevata, non solo in termini di organizzazione del piazzale o cantiere di cippatura, ma anche in termini di coordinamento con le aziende di trasporto e per l'elevata variabilità del materiale che si riscontra. Nella stessa giornata possono essere lavorati residui forestali a piazzale adiacenti ad una strada ad alta percorrenza e residui dei processi di lavorazione del legno. I cantieri sono quindi caratterizzati da una grande variazione di efficienza a seguito della variabilità della tipologia di biomassa legnosa e in relazione all'organizzazione dei piazzali e del

coordinamento con le imprese di trasporto. In particolare, in alcune condizioni i tempi di cippatura sul totale dei tempi in cui la macchina era operativa hanno risentito della forma dei residui legnosi che non risultavano adatti ad essere facilmente movimentabili con la pinza caricatrice in dotazione alla macchina oppure per la stessa disposizione non ideale del materiale da cippare. Per questo motivo anche nel caso di situazione agevole, che dovrebbe favorire invece l'efficienza della cippatura e ridurre i tempi morti, il corretto accatastamento dei residui gioca un ruolo fondamentale nell'efficienza delle operazioni di cippatura. Nel presente studio, i tempi morti a motore spento non sono stati considerati ai fini del calcolo dell'efficienza del cantiere in quanto non facilmente distinguibili dai tempi non operativi imputabili alle pause pranzo o per altri impegni dell'operatore. La scelta ha permesso quindi di standardizzare i risultati considerando che nel caso di cantieri complessi all'interno delle aree forestali collocate in aree distanti dalla viabilità principale (cantieri non agevoli), in occasione di lunghe attese il motore della macchina viene spento.

Nel caso dei consumi orari, questi sono risultati più alti in cantieri di cippatura con scarsa accessibilità (29.3 l/h), mentre la condizione migliore si è registrata nei cantieri con accessibilità ideale o alta (26.7 l/h). Il consumo dovuto ai tempi morti ha contribuito per il 21.4% al consumo totale dovuto alla cippatura nel caso di bassa accessibilità e del 18.3% e 17.9% nel caso di alta e media accessibilità. Questi risultati indicano come la cippatura in cantieri con accessibilità limitata può comportare un aumento dei tempi morti in cui la macchina rimane accesa (movimentazione del materiale, rilocazione della macchina in cantiere, tempi in attesa dei mezzi su cui scaricare il cippato). Può esserci comunque una grande variabilità di consumi anche in situazioni di accessibilità agevole, dove la corretta pianificazione, coordinamento e accatastamento si traduce in una migliore efficienza.

In termini di emissioni di CO₂ eq,

l'emissione dovuta alla fase di cippatura (fig. 5) è comparabile tra le diverse situazioni di accessibilità (da 119.87 a 123.28 kg CO₂ eq/h), mentre le emissioni medie giornaliere dovute ai trasferimenti sono più basse nel caso di cantieri poco agevoli (45.41 kg CO₂ eq/h) rispetto a cantieri mediamente agevoli o ideali (58.02 e 61.53 kg CO₂ eq/h).

Da evidenziare che le emissioni dovute ai tempi morti, non relative dunque ad operazioni produttive, in cantieri non agevoli erano mediamente di 16.60 kg CO₂ eq/h, superiori del 30.3% rispetto a cantieri agevoli e del 21.8% rispetto a cantieri a mediamente agevoli. Sebbene le emissioni dovute alla cippatura in diverse condizioni di accessibilità siano comparabili, in situazioni di scarsa accessibilità si possono creare quelle condizioni in cui si assiste ad un aumento di emissioni non direttamente imputabili alla produzione di cippato, ma alle difficoltà organizzative e di manovra nel cantiere stesso. La mancanza di dati di produzione giornaliera e di caratteristiche qualitative della biomassa legnosa non ha permesso di standardizzare le emissioni in termini di emissioni per volume prodotto (da tenere presente che a seconda della biomassa di origine e a seconda della destinazione finale, l'operatore può scegliere delle griglie forate diverse che hanno una influenza sul consumo unitario sia orario che di prodotto). Questo giustifica infatti la minore emissione totale in situazione di scarsa accessibilità (184.26 kg CO₂ eq/h) rispetto a situazioni di accessibilità ideale (194.03 kg CO₂ eq/h) e media (195.03 kg CO₂ eq/h). L'accessibilità al cantiere inoltre ha influenzato significativamente le emissioni giornaliere, se si tengono in considerazione le distanze complessive di trasferimento (fig. 6). In particolare, le emissioni dovute al trasferimento (linea tratteggiata) sono risultate molto più elevate in cantieri non agevoli, mentre in cantieri agevoli e mediamente agevoli sono paragonabili. La diminuzione delle emissioni complessive giornaliere (linea continua) all'aumentare della distanza complessiva di trasferimento sono spiegate da una conseguente riduzione

del tempo disponibile per effettuare le operazioni di cippatura. La cippatura infatti è responsabile del 66% delle emissioni

complessive in cantieri non agevoli mentre è inferiore in cantieri più comodi (dal 61.5 al 63.5%).

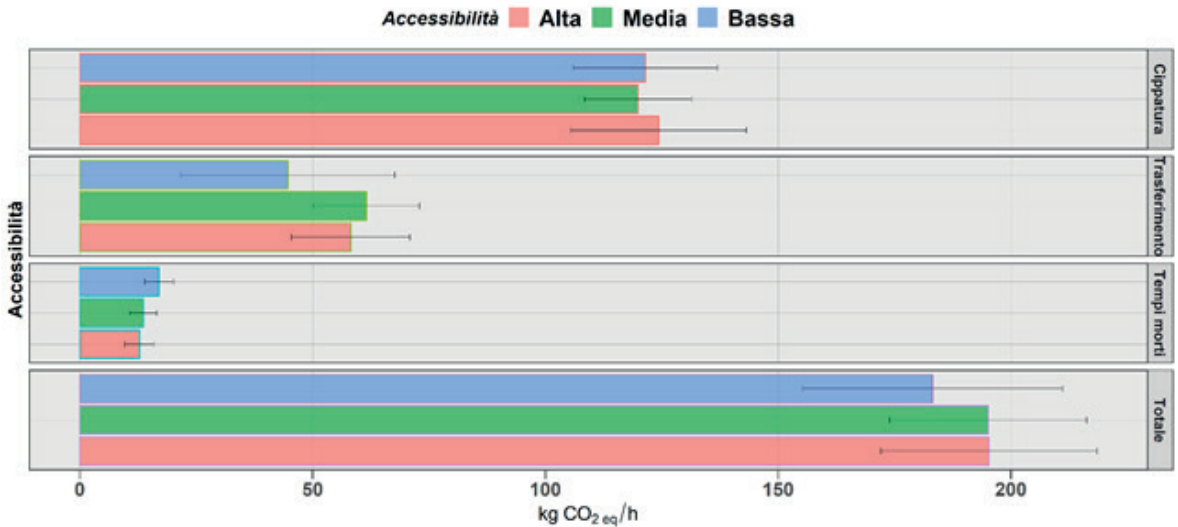


Figura 5 - Variazioni delle emissioni nelle diverse fasi relative alle operazioni di cippatura

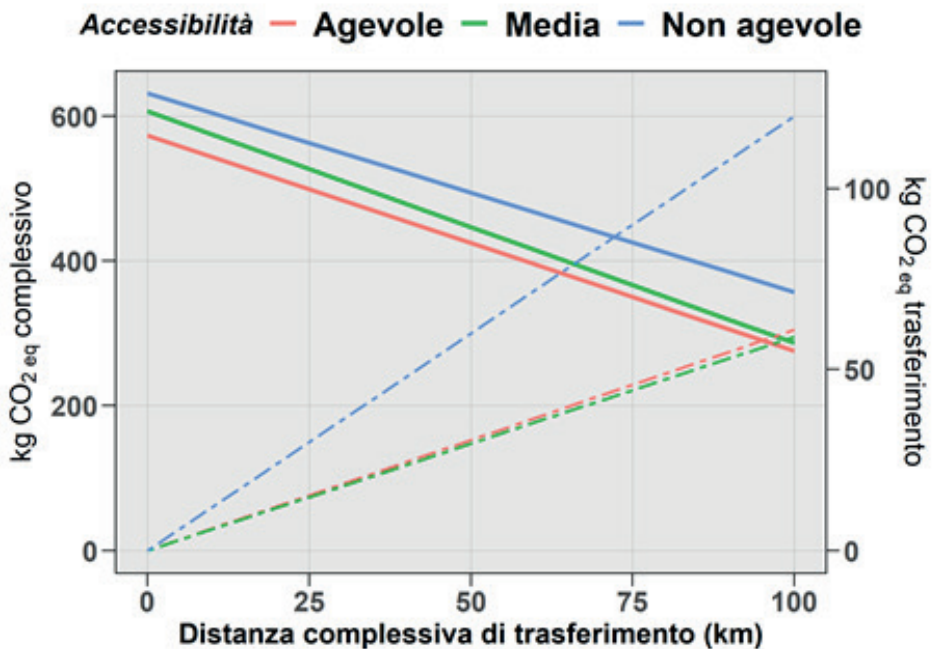


Figura 6 - Influenza della distanza complessiva di trasferimento giornaliera sulle emissioni complessive giornaliere dovute alle operazioni di cippatura. Le linee tratteggiate rappresentano le emissioni dovute al solo trasferimento

Conclusioni

L'aumento di residui forestali di scarsa qualità, derivanti anche degli scarti di utilizzazione forestale in popolamenti danneggiati dalla tempesta Vaia, comportano un aumento della presenza di cantieri di cippatura. La cippatura infatti permette di valorizzare la biomassa legnosa di scarsa qualità rimasta in bosco in seguito alle utilizzazioni forestali. I cantieri più scomodi comportano un incremento dei tempi morti nonché delle emissioni giornaliere dovute al trasferimento. Questo comporta, nel caso di cantieri complessi in termini logistici, la necessità di disporre di quantitativi di lavorazione che giustifichino, oltre che l'aspetto di convenienza economica, anche una maggiore efficienza in termini di emissioni.

Fondamentali risultano l'accessibilità dei cantieri e la qualità della rete infrastrutturale viaria in termini di standard costruttivi (larghezza, pendenza longitudinale, manutenzione del fondo stradale, raggi di curvatura e presenza di piazzali di scambio e/o deposito). In particolare, in relazione ai parametri dimensionali e caratteristiche tecniche delle strade forestali camionabili della Provincia Autonoma di Trento (DPP 1 dicembre 2011, n. 15-73), è opportuno che la capacità portante sia adatta al transito dei mezzi forestali principali e speciali. Inoltre, la presenza di piazzali di manovra e aree di inversione facilitano gli spostamenti in bosco e permettono il rapido raggiungimento degli autocarri ai cantieri di cippatura, riducendo i tempi di attesa della cippatrice ed ottimizzando l'efficienza delle operazioni di cippatura, oltre che garantire un livello di sicurezza maggiore per gli interventi e gestione delle emergenze. Inoltre, è opportuno il coordinamento, già in fase preliminare al cantiere di utilizzazione, tra gli operatori delle imprese forestali coinvolte, al fine di individuare gli opportuni spazi dedicati all'accatastamento dei residui forestali, limitando gli spostamenti della cippatrice tra le cataste in bosco.

Ringraziamenti

Si ringraziano le imprese forestali Coradai e Biasi Legno aderenti al Gruppo Operativo del progetto LogistiCiPlus finanziato nell'ambito della Misura 16.1.1. del Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 della Provincia autonoma di Trento.

BIBLIOGRAFIA

ASIKAINEN, A., ROUTA, J., LAITILA, J., RIALA, M., PRINZ, R., STAMPFER, K., RODRIGUEZ, J. (2014). *Innovative, effective and sustainable technology and logistics for forest residual biomass*. Retrieved from <http://infres.eu/openfile/325>

DEBOLI, R., RUGGERI, M., CALVO, A. (2014). *A short supply chain to guarantee wood-chip quality*. Applied Mathematical Sciences, 8(129–132), 6589–6598. <https://doi.org/10.12988/ams.2014.46440>

EUROPEAN COMMISSION. (2019). *The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions*. Brussels. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>

EUROSTAT. (2019). *Statistics explained*. Forestry statistics.

HOLZLEITNER, F., KANZIAN, C., HÖLLER, N. (2013). *Monitoring the chipping and transportation of wood fuels with a fleet management system*. Silva Fennica, 47(1), 1–11. <https://doi.org/10.14214/sf.899>

HYTÖNEN, J., MOILANEN, M. (2014). *Effect of harvesting method on the amount of logging residues in the thinning of Scots pine stands*. Biomass and Bioenergy, 67, 347–353. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.05.004>

KEEGAN, D., KRETSCHMER, B., ELBERSEN, B., PANOUTSOU, C. (2013). *Cascading use: a systematic approach to biomass beyond the energy sector*. Biofuels, Bioproducts and Bio-refining, 7(2), 193–206. <https://doi.org/10.1002/bbb>

SPINELLI, R., ELIASSON, L., HAN, H. S. (2020). *A Critical Review of Communiton Technology and Operational Logistics of Wood Chips*. Current Forestry Reports, 6(3), 210–219. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00120-9>

SPINELLI, R., NATI, C., MAGAGNOTTI, N. (2007). *Recovering logging residue: Experiences from the Italian Eastern Alps*. Croatian Journal of Forest Engineering, 28(1), 1–9.

VANCE, E. D., PRISLEY, S. P., SCHILLING, E. B., TATUM, V. L., WIGLEY, T. B., LUCIER, A. A., VAN DEUSEN, P. C. (2018). *Environmental implications of harvesting lower-value biomass in forests*. Forest Ecology and Management, 407, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.023>

Alberto Cadei

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali,
Università degli Studi di Padova
alberto.cadei@phd.unipd.it;

Stefano Campeotto

Libero Professionista
stefano.campeotto@gmail.com

Andrea Argnani

Associazione Italiana Energie Agroforestali
argnani.aiel@cia.it

Stefano Grigolato

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali,
Università degli Studi di Padova
stefano.grigolato@unipd.it;

PAROLE CHIAVE: *biomassa, dispositivo GNSS, sistema CAN-BUS*

RIASSUNTO

Il sistema di esbosco a pianta intera permette di accumulare una elevata quantità di residui di utilizzazioni forestali. Inoltre, anche le operazioni di recupero del legname danneggiato in seguito a disturbi biotici o abiotici favorisce l'accumulo di biomassa di scarsa qualità. Il presente articolo ha lo scopo di valutare la sostenibilità delle operazioni di cippatura in ambiente montano. Utilizzando sistemi di telemetria è stata monitorata una cippatrice montata su autocarro durante 114 giorni lavorativi. I dati di posizione della macchina sono stati acquisiti mediante un dispositivo GNSS mentre i dati di produzione (consumi, distanze percorse, tempi impiegati per svolgere le operazioni) sono stati raccolti utilizzando il sistema CAN-Bus della macchina basato su standard J 1939. I parametri di efficienza sono stati utilizzati per confrontare l'effetto delle diverse condizioni di accessibilità (agevole, media e non agevole) sulle emissioni dovute alle operazioni di cippatura, trasferimento e tempi morti. Le emissioni associate a frequenti trasferimenti e tempi morti incidono per il 6.4 % sul totale delle emissioni giornaliere. I cantieri meno agevoli comportano un incremento dei tempi morti nonché delle emissioni giornaliere dovute al trasferimento, le emissioni giornaliere dovute ai trasferimenti in cantieri meno agevoli possono essere superiori

del 30% rispetto alle emissioni dovute al trasferimento in cantieri agevoli. Può esserci comunque una grande variabilità di emissioni anche in situazioni di accessibilità agevole, dove la corretta pianificazione, coordinamento e accatastamento si traduce in una migliore efficienza.

KEY WORDS: *biomass, GNSS receiver, CAN-BUS system*

ABSTRACT

High volume of forest biomass can be available at roadside when whole tree (WT) harvesting system is applied. Besides, salvage logging operations are favourable conditions to accumulate a large amount of low-quality biomass due to the recovery of damaged trees. The present study aims to evaluate the sustainability of wood-chipping operations in mountain areas based on long-term monitoring. One chipper-truck was monitored during 114 working day using telemetry; different efficiency parameters were collected: machine position, collected using GNSS receiver, and engine parameters, collected using CAN-Bus system based on standard J 1939. Efficiency parameters were used to compare different in-wood or landing configurations. The results show the influence of the different location of the chipping sites according to the road network influence. The emission associated with frequent relocation and delay were 6.4 % of the total emissions. Chipping operation in space-constrained sites causes an increase in delay time and GHG emissions. In these situations, the emissions related to frequent relocation could exceed 30% of the emission related to relocation in landing configurations. Higher variability in term of daily emissions is detected in landing configurations due to cooperation with yarding contractor, chipping contractor and forest manager.