

CRISTIANO FODERI (*) (°) - ENRICO MARCHI (*)

STIMA DEI COSTI DI UTILIZZAZIONE DEL MATERIALE LEGNOSO DANNEGGIATO DAL VENTO IN REGIONE TOSCANA A SEGUITO DELL'EVENTO DEL 5 MARZO 2015

(*)Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali, Università degli Studi di Firenze,
Via San Bonaventura 13, 50134 Firenze.

(°) Autore corrispondente; cristiano.foderi@unifi.it

La Regione Toscana, tra la notte del 4 e le prime ore del 5 marzo 2015, è stata interessata da venti molto intensi, prevalentemente provenienti da Nord-Est, che hanno provocato ingenti danni sul territorio. All'interno del piano di monitoraggio condotto dal Consorzio LaMMA, in collaborazione col Corpo Forestale dello Stato, con l'Accademia Italiana di Scienze Forestali e con UNIFI, è stato necessario individuare una metodologia per il computo di una stima dei costi di utilizzazione del materiale legnoso danneggiato. L'obiettivo specifico è stato quello di determinare quali strategie, in termini di pianificazione cantieristica, potessero essere impiegate ottimizzando, da un lato, il rapporto tra rapidità d'esecuzione e sostenibilità economica degli interventi di esbosco e, dall'altro lato, considerando i vincoli, di natura tecnica e tecnologica, insiti nell'applicazione dei vari sistemi. Una volta determinati i criteri di selezione dei sistemi di utilizzazione per le superfici danneggiate, tramite l'integrazione dei dati raccolti nella banca dati del Dipartimento GESAAF relativa ai tempi di lavoro e produttività dei cantieri forestali, sono stati calcolati i tempi necessari all'esecuzione delle singole attività considerate per l'utilizzazione. Derivati quindi i tempi necessari ai lavori di utilizzazione, la stima del costo per gli interventi è stata determinata moltiplicando i tempi per i costi indicati all'interno del Prezzario regionale per interventi ed opere forestali. Dall'elaborazione è risultato, per una superficie totale di 1.127 ettari ed un volume di 331.860 metri cubi di materiale, un costo totale di 9.793.185 €, corrispondente ad un costo medio di utilizzazione di 32,60 € per metro cubo.

Parole chiave: danni da vento; costi utilizzazioni forestali; scelta del sistema di esbosco.

Key words: windthrow; logging cost; logging system selection.

Citazione: Foderi C., Marchi E., 2016 - *Stima dei costi di utilizzazione del materiale legnoso danneggiato dal vento in Regione Toscana a seguito dell'evento del 5 marzo 2015*. L'Italia Forestale e Montana, 71 (4): 215-226. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2016.4.03>

1. INTRODUZIONE

In Europa, le tempeste sono i più importanti disturbi naturali che colpiscono le strutture arboree, sia in foreste semi-naturali sia in comprensori forestali gestiti (Fischer *et al.*, 2002). Per definizione, una grave tempesta di vento provoca abbondanti atterramenti di piante in sistemi forestali, soprattutto

all'interno di grandi classi dimensionali, e quindi altera la struttura della foresta (Peterson, 2000).

Durante la notte tra il 4 e il 5 marzo 2015, la Regione Toscana è stata interessata da venti di burrasca con raffiche di fortunale (velocità di picco superiore ai 165 km/h) con direzione prevalente di provenienza da Nord-Est (LaMMA, 2015). Oltre ad aver determinato ingenti danni a numerose infrastrutture in ambito urbano, le raffiche di vento hanno provocato consistenti danni ai popolamenti forestali. La superficie forestale interessata dai danni è stata di poco superiore ai 1100 ha, con un volume stimato di piante a terra di circa 332.000 m³ (AA.VV., 2015) e un conseguente impatto sul mercato del legname. Come è noto, infatti, oltre a significative riduzioni della qualità del legno e un aumento dei costi delle operazioni di raccolta, i danni causati a seguito di ingenti crolli da vento, molto spesso portano ad un immediato eccesso di offerta e, di conseguenza, ad un abbassamento dei prezzi del legname (Meilby *et al.*, 2001).

In questo contesto, il presente lavoro si è focalizzato sull'individuazione dei sistemi di utilizzazione più efficienti che possono essere adottati per la rimozione del materiale danneggiato e sul conseguente calcolo estimativo dei costi imputabili a tali operazioni.

I fattori che determinano la scelta dei sistemi di lavoro e di esbosco, da applicare nell'esecuzione delle attività selvicolturali sono molteplici e la loro analisi rappresenta la base della pianificazione delle utilizzazioni forestali e della stima delle produttività e dei costi (Montorselli *et al.*, 2010).

In linea generale la scelta dei sistemi di esbosco dipende da alcuni fattori (ad esempio, la pendenza, che oltre il 40% rende rischioso l'impiego dei sistemi con trattore forestale, oppure la presenza di viabilità camionabile a valle dell'area da esboscare, che impedisce l'utilizzo dei sistemi a gru a cavo più comuni) che influiscono in modo decisivo sulla possibilità tecnica di impiego dei diversi sistemi, che si ripercuote sia sugli impatti ambientali (Lindenmayer e Noss, 2006), sia sugli aspetti economici legati ai lavori di utilizzazione.

2. METODOLOGIA E DATI DI BASE

Per la stima dei costi di utilizzazione del materiale legnoso danneggiato dalla tempesta di vento sono state identificate le seguenti fasi:

- determinazione delle fasi di utilizzazione da considerare e dei sistemi applicabili alle superfici forestali danneggiate, tenendo in considerazione i fattori ambientali e strutturali che possono influire sul loro impiego;
- determinazione delle produttività dei sistemi di utilizzazione e dei conseguenti tempi di esecuzione delle operazioni;
- individuazione dei costi unitari delle componenti dei sistemi di utilizzazione (mezzi, attrezzature ed operatori) e calcolo dei costi totali.

2.1 Determinazione delle fasi e dei sistemi di utilizzazione

Considerando le condizioni di lavoro imposte dalla situazione generata a seguito della tempesta di vento, per il computo dei costi sono state considerate due fasi, la prima di sramatura e sezionatura (allestimento) del materiale atterrato e la seconda di concentramento ed esbosco fino alla viabilità transitabile con autocarri, autotreni o autoarticolati.

Per quanto riguarda la prima fase, ovvero l'allestimento dei fusti in assortimenti commerciabili di dimensioni determinate, è stato considerato il sistema di lavoro a basso livello di meccanizzazione, che prevede l'impiego di un operatore motoseghista. Questa scelta è stata dettata dalle difficili condizioni operative che caratterizzavano molte delle aree interessate dai danni da vento. Infatti su versanti con forti pendenze, l'impiego di macchine operatrici combinate (tipo *Harvester*) non risulta conveniente o applicabile.

Per la seconda fase, relativa al concentramento ed esbosco del materiale danneggiato, invece, è stato sviluppato un modello di selezione dei possibili sistemi applicabili col fine di individuare, per ogni superficie interessata dalla tempesta di vento, quello tecnicamente più efficiente e con le maggiori produttività. I fattori chiave che stanno alla base della scelta dei diversi sistemi sono (Hippoliti e Piegai, 2000): pendenza del terreno, direzione di esbosco, intensità del taglio, dimensione del legname, tipo di governo. La combinazione di questi fattori riportati in Tabella 1, infatti, riassume la possibilità di impiego dei vari sistemi come espressione indiretta dei vincoli tecnici e tecnologici caratteristici delle attrezzature, dei mezzi e delle procedure di lavoro.

2.1.1 Determinazione dei parametri per la scelta del sistema di esbosco

Tutte le informazioni necessarie alla determinazione del sistema di esbosco ottimale sono state elaborate in ambiente GIS *open source*. I dati utilizzati sono dati telerilevati acquisiti nell'ambito del piano di monitoraggio delle aree danneggiate condotto dal Consorzio LaMMA in collaborazione col Corpo forestale dello Stato e l'Accademia Italiana di Scienze Forestali. Il volo è stato effettuato con vettore aereo a pala rotante, tra il 4 e l'8 maggio, equipaggiato con un sistema LiDAR RIEGL LMS-Q680i e un sistema di camere digitali DIGICAM H39 RGB e CIR, per l'acquisizione di immagini aeree ad alta risoluzione RGB ed Infrarosso, che hanno prodotto, in post-processing, ortofoto a risoluzione 20 cm. L'acquisizione laser (LiDAR) si è basata su un'emissione di circa 4 impulsi a m² e un'acquisizione in modalità *fullwaveform*. A partire dai dati LiDAR *fullwaveform* sono stati calcolati attraverso il software LAStools (<https://rapidlasso.com/>) tre modelli di elevazione *raster* con risoluzione 1 m: un Modello Digitale della Superficie (DSM), un modello digitale del terreno (DTM) e il modello digitale delle chiome (CHM) derivato dalla sottrazione del DTM al DSM (CHM=DSM-DTM). Dal Modello Digitale del Terreno è stato possibile, inoltre, calcolare con i tools di QGIS il modello *raster* a risoluzione 1 m delle pendenze. Attraverso l'utilizzo del CHM, delle foto aeree pre e post evento e di dati ausiliari come le tavole di cubatura dell'inventario forestale nazionale (Tabacchi *et al.*, 2011) e le

Tabella 1 - Schemi orientativi per la scelta del sistema di esbosco.

Pendenza percentuale	Direzione di esbosco	Intensità del prelievo	Dimensioni del materiale	Forma di governo	Sistema di esbosco
20-40		Media e forte	Piccole	Ceduo	- A soma con trattore - Avvallamento in risine
				Fustaia	- Avvallamento - Strascico con trattore
			Medie e grandi		- Avvallamento - Strascico con trattore
	Salita	Debole	Piccole		- A soma per legna - Strascico per legname
				Medie e grandi	- Strascico con trattore
		Tutte		- Gru a cavo	
40-60	Discesa	Debole e media	Tutte		- Avvallamento - Strascico con trattore
		Forte	Tutte		- Avvallamento - Gru a cavo - Strascico con trattore
	Salita	Media e forte	Tutte		- Gru a cavo
>60	Discesa	Debole e media	Tutte		- Avvallamento
		Forte	Tutte		- Avvallamento - Gru a cavo
	Salita	Media e forte	Tutte		- Gru a cavo

griglia a 400 m dell'Inventario Forestale della regione Toscana (Regione Toscana, 1998) è stata predisposta una nuova metodologia per la stima della superficie danneggiata, del volume di legno a terra e della specie colpita dal danno. (AA.VV., Report AISF, 2015). Le stime del volume di legno a terra, della superficie, della specie colpita dal danno ed i modelli digitali del terreno e delle pendenze, che offrono informazioni dettagliate sulla morfologia del terreno, sono stati utilizzati all'interno del Software QGIS per determinare accuratamente i parametri discriminanti la scelta del sistema di esbosco.

Pendenza del terreno - La pendenza del terreno è il fattore più importante nella scelta dei sistemi di esbosco. È stata calcolata la pendenza mediana dal DTM con risoluzione di 1 metro, considerata rappresentativa della pendenza prevalente e, di conseguenza, delle difficoltà effettive di impiego dei diversi sistemi.

Direzione di esbosco - La direzione di esbosco è un altro parametro di fondamentale importanza per capire quale metodologia di lavoro risulta più idonea. Essa dipende dalla posizione della rete viabile in relazione alla posizione dell'area sottoposta ad analisi, nel caso specifico ogni superficie danneggiata. Per l'elaborazione della direzione di esbosco in funzione della viabilità forestale è stato utilizzato un algoritmo di calcolo di prossimità per la determinazione del punto su strada più vicino alla superficie da esboscare. La differenza di quota tra un punto di riferimento individuato (sulla rete della viabilità forestale) e la quota prevalente dell'area consente di determinare la direzione di esbosco: se positiva o uguale a zero è esbosco in salita; se negativo è esbosco in discesa (Montorselli, 2008). La determinazione della viabilità di riferimento per la fase di esbosco è stata effettuata attraverso la digitalizzazione dei tratti di strada prossimi alle aree danneggiate e non presenti negli strati informativi regionali (Carte Tecniche Regionali - CTR e Grafo Strade Iter.Net, 2013). L'individuazione della viabilità è stata resa possibile dalla fotointerpretazione delle immagini aeree, registrate durante il volo LIDAR, e della carta delle pendenze, dalle quali è facile individuare anche i tratti sotto copertura arborea, altrimenti poco visibili (in Figura 1).

Intensità di taglio - Per intensità di taglio si intende la quantità di massa legnosa asportata espressa in metri cubi per ettaro di superficie. Maggiore è la quantità di materiale asportato per ettaro, più elevata è la produttività degli uomini e delle macchine impiegate. Questa regola può giustificare l'impiego di talune macchine e la scelta delle loro dimensioni: nei tagli deboli si sceglieranno macchinari di modeste dimensioni e potenze, al contrario nei tagli di forte intensità saranno utilizzati macchinari di maggiori dimensioni e potenze. All'interno del modello sono state considerate tre classi di intensità, derivate dalla quantificazione del materiale danneggiato per ettaro di superficie:

- Debole, per volume di legname danneggiato inferiore o uguale a 30 m³/ha;
- Media, per volumi compresi tra 30 ed 80 m³/ha;
- Forte, per volumi superiori ad 80 m³/ha.

Dimensioni del materiale - La dimensione degli assortimenti è un'altra caratteristica da tenere in considerazione per la scelta del sistema di esbosco. Tale

valutazione è stata realizzata interpretando le caratteristiche della superficie danneggiata (specie, diametro minimo e volume della singola pianta) individuando 3 classi per gli assortimenti ottenuti dagli schianti che si sono verificati nei soprassuoli cedui (legna da ardere) e nelle fustaie (legname).

Ad ogni intervallo di valori, per tutti i parametri considerati per la scelta del sistema di esbosco, è stato attribuito un valore numerico (Tabella 2), tale processo di ricodifica numerica ha generato, attraverso l'unione dei suddetti valori numerici in ambiente GIS (Figura 2), una sequenza di codifica univoca per ogni combinazione.

Ad esempio, una superficie con pendenza percentuale del 30% (codice pendenza: 1), viabilità camionabile a monte (codice direzione: 1), un volume danneggiato pari a 110 m³/ha (codice intensità: 2), con piante di diametro di 45 cm e volume medio per pianta di 1,7 m³ (codice dimensioni: 2), lavorando quindi legname di grandi dimensioni (codice forma di governo: 1), sarà identificata dalla sequenza di codifica 11221, che corrisponde ad una delle possibili situazioni in cui impiegare il sistema di esbosco con gru a cavo.

Ogni sequenza di codifica generata, infatti, corrisponde al sistema di esbosco ottimale per quelle condizioni.

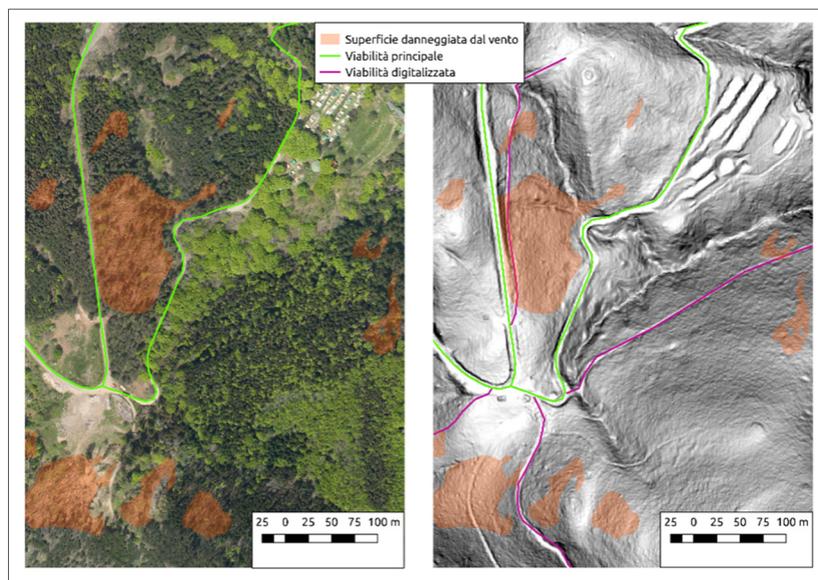


Figura 1 - Esempio di digitalizzazione della viabilità secondaria per la scelta dei sistemi di esbosco: a sinistra la viabilità principale presente negli archivi cartografici regionali (CTR e Iter.Net); a destra il risultato delle della fotointerpretazione sulla carta delle pendenze (in scala di grigi).

2.2 Determinazione delle produttività e dei tempi di esecuzione dei sistemi di utilizzazione

Il tempo di esecuzione delle operazioni di utilizzazione è il fattore che influenza più marcatamente sulla stima dei costi. La determinazione della durata delle attività di allestimento ed esbosco è stata possibile attraverso la stima delle pro-

duttività di ogni fase considerata. Le informazioni inerenti le produttività medie di tutte le combinazioni di sistemi di utilizzazione presi in considerazione sono state ricavate dalla banca dati relativa ai tempi di lavoro e produttività dei cantieri forestali del Dipartimento GESAAF (Università degli Studi di Firenze).

Tabella 2 - Riclassificazione dei livelli dei singoli parametri utilizzati per la determinazione del sistema di esbosco.

Parametro	Livello	Codice
Pendenza	0-20% (Terreni pianeggianti)	0
	21-40% (Terreni inclinati)	1
	41-60% (Terreni ripidi)	2
	61-80% (Terreni molto ripidi)	3
	81-100% (Terreni scoscesi)	4
Direzione	salita	1
	discesa	0
Intensità del prelievo legnoso	\leq a 30 m ³ /ha	0
	> 30 - \leq 80 m ³ /ha	1
	> a 80 m ³ /ha	2
Dimensioni del materiale	Legna, $\varnothing < 25$ cm	0
	Legname, $\varnothing > 25$ cm – volume pianta < 1 m ³	1
	Legname, $\varnothing > 25$ cm – volume pianta > 1 m ³	2
Forma di governo	ceduo	0
	fustaia	1

Tale banca dati, i cui primi dati registrati risalgono a utilizzazioni forestali degli anni sessanta del secolo scorso, è stata costruita sulla base di misurazioni dirette sui cantieri forestali in ambito appenninico, litoraneo e alpino. Grazie alla presenza, nella banca dati, dello stesso sistema di codifica utilizzato per la determinazione del sistema di esbosco, è stato possibile incrociare facilmente le informazioni e poter attribuire i valori di produttività in maniera automatica.

Le produttività sono state stimate per i diversi scenari applicativi e per le singole fasi, sono riportate in forma unitaria, ovvero a metro cubo per ora, per ogni operatore componente la squadra (m³/hop) e riferite al tempo di lavoro

loro della fase comprensivo dei tempi “morti” come i riposi e le attese impreviste, e dei tempi di lavoro non operativi (ad esempio il rifornimento e l'affilatura della motosega nella fase di allestimento). È necessario sottolineare che si tratta di valori medi indicativi che non tengono in considerazione gli effetti, positivi o negativi, dovuti alle specificità della realtà considerata che possono influenzare il livello di produttività, quali, tra le altre, la professionalità degli operatori, le capacità organizzative e le condizioni meteorologiche.

Conoscendo il volume danneggiato per ogni area e la produttività unitaria del sistema di esbosco selezionato in quelle condizioni è stato possibile determinare la durata di esecuzione dell'utilizzazione. I tempi, e di conseguenza i costi, sono riferiti alla configurazione di cantiere che prevede il lavoro di singoli operatori per la fase di allestimento del materiale e una sola squadra per il successivo esbosco.

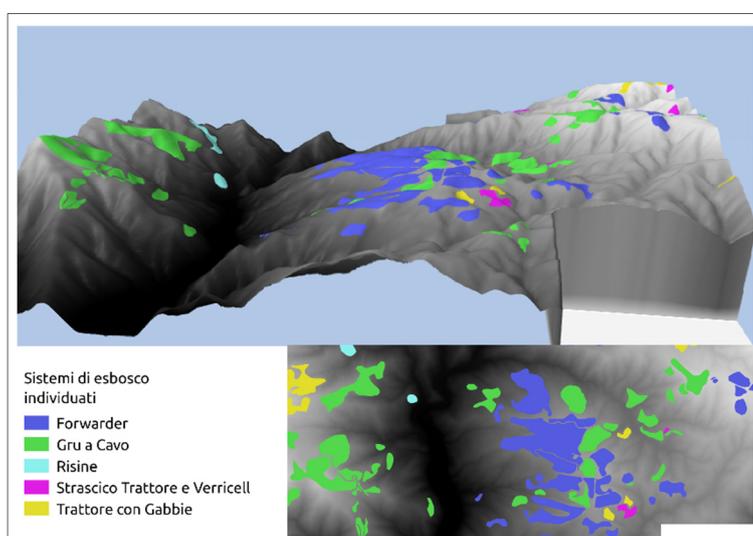


Figura 2 - Esempio del risultato di selezione del sistema di esbosco ottimale in ambiente GIS.

2.3 Individuazione dei costi unitari

I costi unitari (costo per ora di impiego) delle attrezzature, dei mezzi e degli operatori sono stati ricavati dal Prezzario regionale per interventi ed opere forestali (allegato A della delibera 1091 del 22/12/2008). I prezzi riportati nel prezzario regionale non comprendono l’IVA e sono riferiti a materiali, opere e prestazioni eseguiti a regola d’arte e nel rispetto della normativa vigente. I prezzi delle singole voci comprendono l’utile d’impresa (10%) e le spese generali (15%) (N.B.: che non corrispondono né coincidono con le spese generali di cui all’art. 55 del Reg CE 1974/06 e s.m. e i.) per un totale di incremento pari a 26,50% secondo quanto specificato nel Prezzario regionale. L’applicazione dei costi orari alla durata delle fasi delle utilizzazioni forestali ha reso possibile la quantificazione estimativa del costo totale delle operazioni di estrazione del materiale danneggiato dalla tempesta di vento.

3. RISULTATI

Dall'applicazione del modello di selezione del sistema di esbosco, sulla base dei volumi medi stimati del materiale danneggiato e delle produttività lorde dei sistemi di esbosco e della fase di allestimento sono stati stimati i tempi per l'esecuzione dei lavori. Dal prodotto tra i tempi stimati per i costi orari ricavati dal Prezzario regionale per interventi e opere forestali è stato possibile stimare il costo totale delle attività di utilizzazione delle aree danneggiate, comprensivo dell'allestimento del materiale e successivo esbosco.

Per una superficie totale di 1.127 ettari e un volume di 331.860 metri cubi di materiale è stato stimato un costo totale di 9.793.185 €. Il costo medio di utilizzazione è di 32,60 € a metro cubo. Il dettaglio dei costi di utilizzazione medi per metro cubo estratto, suddivisi per sistema di esbosco, è riepilogato in Tabella 3, dove sono riportate anche le percentuali di costo delle due fasi, quella di allestimento e quella di esbosco.

Tabella 3 - Riepilogo dei costi per sistema di esbosco, (*) il costo medio di utilizzazione è dato dalla somma dei costi medi della fase di allestimento del materiale legnoso e dei costi medi della fase di esbosco; (**) per distanze di poche decine di metri, inferiori solitamente a 50 m.

Sistema di esbosco	Costo medio solo esbosco (€/m ³)	Percentuale dei costi medi di esbosco	Percentuale dei costi medi di allestimento	Costo medio utilizzazione (*) (€/m ³)
Avvallamento (**)	14,1	39,1	60,9	36,1
Forwarder	7,6	46,3	53,7	16,4
Gru a cavo	29,4	75,6	24,4	38,9
Risine	15,7	41,6	58,4	37,7
Strascico trattore e verricello	31,4	74,6	25,4	42,1
Trattore con gabbie	23,7	51,9	48,1	45,7

In Tabella 4 invece, sono riportati i costi totali delle attività di utilizzazione con i volumi di legname danneggiato estraibili e l'estensione delle superfici, suddivisi sempre per sistema di esbosco.

4. CONCLUSIONI

L'impiego delle informazioni derivate dall'analisi dei dati telerilevati (dati LiDAR e ortofoto digitali), raccolti durante il rilievo effettuato nell'ambito del piano di monitoraggio delle aree danneggiate dal vento, ha consentito di ricostruire in ambiente GIS un quadro conoscitivo di elevato dettaglio per la determinazione dei parametri da considerare nella scelta del sistema di utilizzazione per le aree danneggiate dalla tempesta di vento del marzo 2015.

Tabella 4 - Riepilogo dei costi totali di utilizzazione (allestimento ed esbosco) per sistema di esbosco - dettaglio del volume di materiale danneggiato e superficie.

Sistema di esbosco	% Volume danneggiato	Volume totale danneggiato (m ³)	% Superficie danneggiata	Superficie danneggiata (ha)	Costo totale utilizzazione (€)
Avvallamento	0,1	25,7	0,1	1,5	928,7
Forwarder	34,7	115156,1	26,4	298	1783906,9
Gru a cavo	60,1	199346,3	53,4	601,1	7341871
Risine	2	6688,3	8,2	91,8	238644,6
Strascico trattore e verricello	0,6	1989,1	3,1	34,9	77823,4
Trattore con gabbie	2,1	7382,5	8,3	94,2	350010,9
Non esboscabile	0,4	1214,4	0,5	5,2	-

Il modello per la determinazione del sistema di esbosco ottimale messo a punto in questo lavoro, tenendo in considerazione tutte le possibili limitazioni di impiego per i diversi sistemi di esbosco, legate sia alle caratteristiche orografiche e morfologiche del territorio, che alle caratteristiche dimensionali e quantitative del materiale legnoso danneggiato, ha reso possibile l'individuazione delle migliori soluzioni applicabili nel contesto analizzato.

Attraverso l'analisi delle informazioni derivate dalla banca dati relativa ai tempi di lavoro e produttività dei cantieri forestali è stato possibile determinare i tempi necessari all'esecuzione delle attività di allestimento ed esbosco del materiale legnoso danneggiato. Questo passaggio è risultato determinante nella procedura di stima dei costi, costituendo la base per l'applicazione dei costi unitari riportati nel Prezzario regionale per interventi ed opere forestali.

Dalla procedura di stima è risultato un costo medio per l'utilizzazione del materiale danneggiato di circa 32 € al metro cubo, variando dai quasi 46 € al metro cubo per l'esbosco con trattore dotato di gabbie, fino ai circa 16 € al metro cubo per il sistema di esbosco con *forwarder*. Questo sottolinea che, dove applicabili, i sistemi ad elevata meccanizzazione risultano i più convenienti dal punto di vista economico, oltre a garantire un maggiore livello di sicurezza per gli operatori (Albizu-Urionabarrenetxea *et al.*, 2013).

Il grafico riportato in Figura 3, mostra l'incidenza percentuale delle due fasi considerate nella stima dei costi di utilizzazione, come si può notare nei sistemi a basso livello di meccanizzazione (avvallamento manuale ed esbosco mediante risine) la fase di allestimento è mediamente più onerosa in termini economici rispetto all'esbosco, prevedendo l'allestimento del materiale in piccole dimensioni, similmente a quanto si osserva per l'utilizzazione che prevede l'impiego del trattore dotato di gabbie, mezzo questo, che rende più costosa la fase di esbosco.

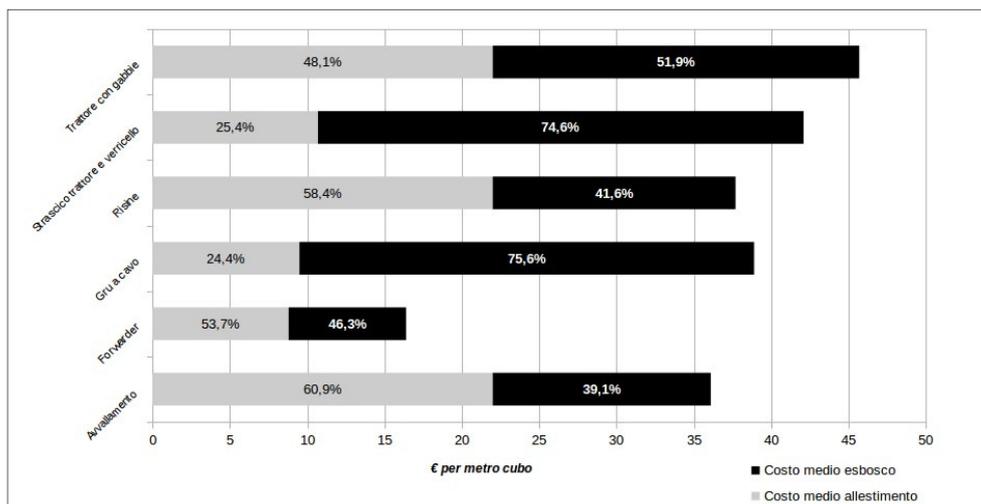


Figura 3 - Incidenza percentuale dei costi delle fasi di allestimento ed esbosco sul costo totale di utilizzazione per ogni sistema di esbosco.

Anche per quanto riguarda l'utilizzazione con esbosco tramite *forwarder*, si nota una maggiore incidenza della fase di allestimento (quasi il 54% del costo unitario medio), imputabile alla elevata produttività di questo sistema di esbosco che genera bassi costi per unità di volume lavorato.

Dai risultati emerge inoltre, che il 60% del materiale danneggiato dalla tempesta di vento può essere efficacemente esboscato con sistemi di gru a cavo, coprendo più del 50% della superficie indagata e incidendo per circa il 75% sul totale dei costi (7.341.871 € su un totale di 9.793.185€). Questo evidenzia la grande versatilità dei sistemi con gru a cavo, oltre al loro ampio campo d'applicazione, avendo tecnicamente il minor numero di vincoli o limitazioni d'uso se paragonati agli altri sistemi considerati.

Il metodo di selezione del sistema di esbosco, basato sui criteri precedentemente descritti, ha individuato, infine, alcune aree (riportate in Tabella 4) definite come "Non esboscabili", per una superficie di circa cinque ettari.

È necessario specificare che, a livello teorico, queste superfici sono tutte tecnicamente esboscabili e sono state escluse dalla selezione, in parte, per le ripercussioni di carattere ambientale legate ai problemi di regimazione delle acque, in parte, per i costi elevati della loro utilizzazione. Queste aree infatti sono tutte localizzate in zone a forte pendenza (superiore all'80%) dove l'estrazione del materiale legnoso è possibile esclusivamente con sistemi aerei, come le gru a cavo, ma con produttività molto ridotte a causa della difficoltà di lavorare su pendii scoscesi, e quindi molto onerosa. Dal punto di vista ambientale, poi, il rischio di incorrere in fenomeni di ruscellamento superficiale delle acque meteoriche con conseguente erosione di suolo è molto elevato, per questo motivo solitamente, i boschi su queste pendenze sono considerati a prevalente funzione protettiva per il rischio idrogeologico e non soggetti a utilizzazione.

SUMMARY

Estimated costs of forest harvesting of trees damaged by wind on March 5, 2015 in Tuscany Region

During the night between the 4th and the 5th of March 2015, Tuscany Region was struck by a dominating northeastern windstorm that caused enormous damages in a large part of the territory in urban and forest areas. Within a monitoring plan carried out by LAMMA Consortium, in collaboration with the Italian Academy of Forest Sciences, the Italian National Forest Service and the University of Florence, a methodology was developed to estimate the costs for the extraction activities of the damaged wood. The specific aim was to determine which work planning strategies could be used to optimize the timber harvesting, in order to provide an economical sustainability of wood extraction. The extraction system to be applied in each area was selected by taking into account technical/technological constraints. Once identified the selection criteria for wood logging system over the forest damaged areas, the working time to complete all extraction activities was estimated on the basis of the GESAAF Department forest work time data base. In order to define the cost of wood extraction, information about unit costs was derived from the Regional Price List for interventions and forestry works. For a total area of 1,127 ha, with a volume of 331,860 cubic meters of damaged wood, a total cost of 9,793,185 € and an average cost of 32.60 € per cubic meter of extracted wood were estimated.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2015 - *Stima dei danni da vento ai soprassuoli forestali in Regione Toscana a seguito dell'evento del 5 marzo 2015*. LAMMA, CFS, Accademia Italiana di Scienze Forestali, BURT 49 del 09/12/2015 - supp. 165
- Albizu-Urionabarrenetxea P.M., Tolosana-Esteban E., Roman-Jordan E., 2013 - *Safety and health in forest harvesting operations. Diagnosis and preventive actions*. A review. *Forest Systems*, 22 (3): 392-400. <http://doi.org/10.5424/fs/2013223-02714>
- Fischer A., Lindner M., Abs C., Lasch P., 2002 - *Vegetation dynamics in central european forest ecosystems (near-natural as well as managed) after storm events*. *Folia Geobotanica*, 37 (1): 17-32. <http://doi.org/10.1007/BF02803188>
- Hippoliti G., Piegai F., 2000 - *Tecniche e sistemi di lavoro per la raccolta del legno*. Compagnia delle Foreste, Arezzo.
- LaMMA, 2015 - *Report meteorologico. 4-5 marzo 2015* - Disponibile on-line: http://www.lamma.rete.toscana.it/clima/report/eventi/vento_4-5_marzo_2015.pdf
- Lindenmayer, D.B., Noss, R.F., 2006 - *Salvage logging, ecosystem processes, and biodiversity conservation*. *Conservation Biology*, 20(4): 949-958. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00497.x>
- Meilby, H., Strange, N., Thorsen, B.J., 2001 - *Optimal spatial harvest planning under risk of wind-throw*. *Forest Ecology and Management*, 149 (1): 15-31. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00542-9](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00542-9)
- Montorselli N., 2008 - *GIS tools analysis for forest roads network planning*. Proceedings of 3rd International Scientific Conference Forest technology and environment, May 26-30, 2008, Prague, Czech Republic.
- Montorselli N., Marchi E., Spinelli R., 2010 - *A GIS analysis in forest operation planning in Central Italy*. XXIII IUFRO World Conference, Volume: International Forestry Review - Special Issue.
- Peterson, C.J., 2000 - *Catastrophic wind damage to North American forests and the potential impact of climate change*. *Science of the Total Environment*, 262 (3): 287-311. [http://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00529-5](http://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00529-5).
- Regione Toscana, 1998 - *L'Inventario Forestale*. Boschi e Macchie di Toscana, Firenze.
- Tabacchi G., Di Cosmo L., Gasparini P., Morelli S., 2011 - *Stima del volume e della fitomassa delle principali specie forestali italiane. Equazioni di previsione, tavole del volume e tavole della fitomassa arborea epigea*. Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Trento. 412 p.