

Numero Speciale: Progetto ALForLab (PON03PE_00024_1 - PON R&C- PAC 2007-2013)

“Laboratorio Pubblico-privato per l’applicazione di tecnologie innovative ad elevata sostenibilità ambientale nella filiera foresta-legno-energia”

Guest Editors: Alessandro Paletto (CREA, Trento), Giorgio Matteucci & Mauro Maesano (CNR-ISAFOM)

Valutazione economica delle tecnologie RFID e open source per la tracciabilità del legno in Calabria

Giulio Sperandio⁽¹⁾, Corrado Costa*⁽¹⁾, Simone Figorilli⁽¹⁾, Federico Pallottino⁽¹⁾, Gianfranco Scrinzi⁽²⁾, Giacomo Colle⁽³⁾, Andrea Rosario Proto⁽⁴⁾, Giorgio Macrì⁽⁴⁾, Francesca Antonucci⁽¹⁾, Paolo Menesatti⁽¹⁾

(1) Consiglio per la ricerca in agricoltura e l’analisi dell’economia agraria (CREA), Unità di ricerca per l’ingegneria agraria, Monterotondo (Roma - Italia); (2) Consiglio per la ricerca in agricoltura e l’analisi dell’economia agraria (CREA), Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione forestale, Trento (Italia); (3) Effetresezero Srl, Spin-off CREA, Trento (Italia); (4) Università Mediterranea degli Studi di Reggio Calabria (Italia) - *Corresponding Author: Corrado Costa (corrado.costa@crea.gov.it).

Abstract: *Economic assessment of RFID coupled with open source technologies for wood traceability in Calabria.* The aim of this work was to assess the economic sustainability of the implementation of a wood traceability system in Calabria based on RFID and open source technologies. We identified a break-even point in its implementation under different scenarios in order to highlight the economic sustainability limits, expressed in terms of m³ or tons of processed product. The results showed that the use of RFID technology along the supply chain could lead to an effective operational simplification and to a more efficient use of resources. Based on the average market prices for timber (80-120 € / m³), the implementation of RFID technology led to an increase in timber price by 8% under the worst scenarios. This suggests that the use of open source technologies for wood traceability is already feasible and economically sustainable, as 40% of private companies stated their willingness to pay a premium price (on average 3.25% higher) for purchasing certified local wood products in Calabria. Moreover, we expect a further reduction of tags and hardware costs in the next future, up to half the costs estimated in this work, thus making the application of such technology to timber traceability even more affordable.

Keywords: Precision Forestry, Traceability, Tag, RFID, Open Source, Economic Sustainability

Received: Oct 26, 2016; Accepted: Jan 11, 2017; Published online: Apr 03, 2017

Citation: Sperandio G, Costa C, Figorilli S, Pallottino F, Scrinzi G, Colle G, Proto A, Macrì G, Antonucci F, Menesatti P, 2017. Valutazione economica delle tecnologie RFID e open source per la tracciabilità del legno in Calabria. *Forest@* 14: 124-134 [online 2017-04-03] URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor2267-014>

Introduzione

L’applicazione di tecnologie innovative e di precisione volte al miglioramento dell’efficienza e della qualità dei prodotti e dei processi produttivi ha avuto un notevole sviluppo in questi ultimi decenni nel settore agro-alimentare (Costa et al. 2013), mentre solo più recentemente questo aspetto è venuto a inte-

ressare anche il settore forestale (Timpe 2006, Björk et al. 2011, Corona & Scrinzi 2014, Picchi et al. 2015). Di particolare interesse al riguardo è la possibilità di applicazione di tecnologie innovative per la tracciabilità dei flussi di legname basate sull’applicazione di sistemi di *Radio Frequency Identification* (RFID). In ambito europeo, per la tematica del controllo della

catena di custodia forestale sono state emanate varie normative e introdotte procedure collegate di certificazione di gestione forestale sostenibile (certificazioni FSC e PEFC). Il Reg. europeo 995/2010 (EUTR) o *Timber Regulation* prevede l'applicazione della *Due Diligence* per i soggetti che immettono sul mercato europeo prodotti legnosi e derivati, con l'esigenza di dover certificare la provenienza del prodotto e tracciarne i flussi (Corona & Scrinzi 2014). La tracciabilità dei flussi legnosi lungo la filiera, dall'albero in piedi al prodotto finito, diviene pertanto una condizione essenziale e necessaria per certificare l'origine del materiale, cioè la correlazione documentata tra legname grezzo e popolamento d'origine con archiviazione di ogni dato collegato alla provenienza e al procedimento autorizzativo del taglio. La "martellata" rappresenta da sempre l'operazione principale che il tecnico forestale deve svolgere come atto tecnico ed amministrativo obbligato, sul quale si basa il procedimento di autorizzazione del taglio degli alberi. L'applicazione della tecnologia RFID anche in questo campo potrebbe costituire un valido strumento per una possibile ottimizzazione dell'operazione in termini di tempi, materiali e costi lungo l'intera filiera, dal momento della martellata, alla successiva tracciabilità del prodotto fino alla sua destinazione finale.

Tale tecnologia di tracciatura elettronica appare quindi una esigenza sempre più concreta, almeno per le prime fasi della filiera di approvvigionamento (dal bosco alla segheria). Occorre valutare preliminarmente i costi e il valore del prodotto in riferimento soprattutto al legname da opera ed in particolare di quello di alto pregio o di nicchia, che spesso è totalmente non valorizzato anche per carenza di informazione inventariale raccolta in sede di pianificazione. A partire dalle operazioni di identificazione dei soggetti destinati al taglio, le promettenti tecnologie oggi esistenti – comprese quelle di georeferenziazione posizionale automatica di precisione (Corona et al. 2017) – possono già consentire di archiviare in remoto (anche con dispositivi *smartphone* e *tablet*) una identificazione univoca del soggetto primario (albero) con relative informazioni dendrometriche ed assestamentali. L'associazione di oggetti derivati (tronchi) può poi avvenire via via già in sede di utilizzazione, con la possibilità di inserire anche informazioni dimensionali e qualitative degli assortimenti ottenuti, tendenti anche a orientare le successive lavorazioni e ad eliminare ulteriori fasi di contabilizzazione all'imposto e relativi rischi per la sicurezza degli operatori (Corona & Scrinzi 2014).

Scopo di questo lavoro è la valutazione della sostenibilità economica nell'implementazione di un sistema di tracciabilità del legno in Calabria basato su tecnologie RFID e *open source*.

Materiali e metodi

Dal punto di vista economico, l'analisi relativa all'applicazione della tecnologia RFID nella filiera Foresta-Legno tende a perseguire sostanzialmente due finalità: la prima è relativa alla definizione di un modello di valutazione dei costi di applicazione in relazione ad una filiera di produzione di determinati assortimenti legnosi di qualità; la seconda è quella di individuare il limite di convenienza economica del processo di tracciabilità in relazione ai possibili benefici che può effettivamente produrre nella filiera, in termini di identificazione del prodotto, delle informazioni specifiche sul prodotto stesso e di ottimizzazione di alcune fasi del processo produttivo.

La metodologia di valutazione tiene conto di quanto proposto in tale ambito da vari autori (Timpe 2006, Björk et al. 2011, Timpe et al. 2012), e viene sviluppata in relazione all'analisi delle cinque fasi che seguono:

1. implementazione di tutti i componenti necessari per allestire il sistema tecnologico basato sull'impiego di RFID (*tag, reader, software, ecc.*), con determinazione del capitale iniziale da investire per l'avvio del sistema;
2. installazione del sistema e utilizzo dello stesso con definizione di tutte le operazioni necessarie per il regolare funzionamento; rilevazione dei costi correnti per procedere all'applicazione dei tag negli oggetti tracciati (alberi in piedi, tondame in topi da sega, da trancia, da sfogliatura, ecc.) che debbono essere marcati per la loro tracciabilità e il trasferimento delle informazioni richieste lungo la filiera produttiva;
3. implementazione e modernizzazione dei sistemi di ricezione e lettura delle informazioni archiviate negli RFID in bosco e a livello delle aziende di prima lavorazione; l'investimento necessita di ammortamento che va distribuito in più anni di attività;
4. affrontati tali investimenti, è necessario verificare i benefici che il sistema RFID può generare nell'ambito della filiera produttiva. Il vantaggio economico viene valutato in relazione alla migliore efficienza nell'esecuzione delle operazioni per esempio di identificazione della quantità delle piante e degli assortimenti e di selezione qualitativa degli stessi;

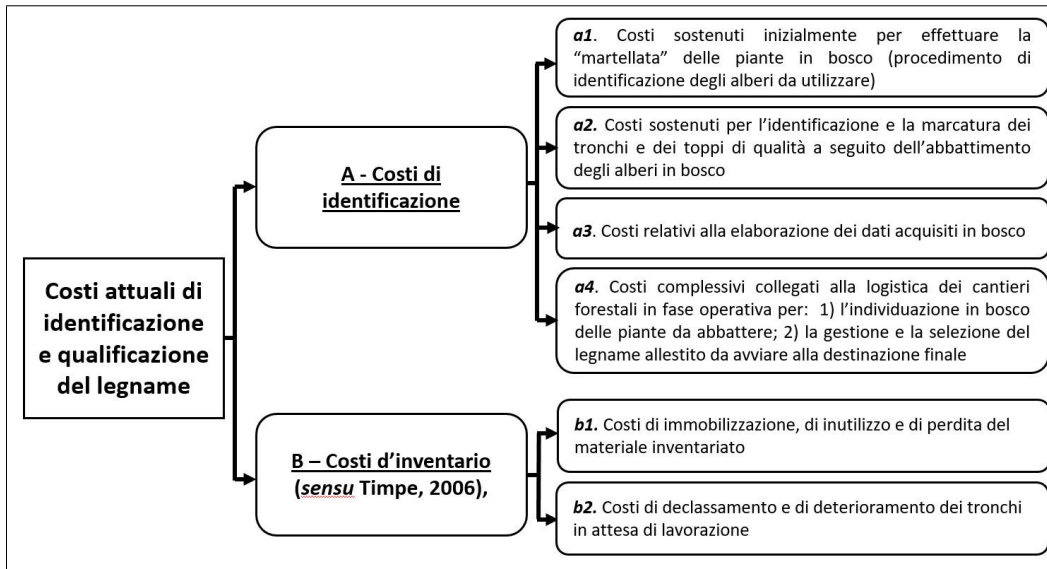


Fig. 1 - Flow chart dei costi attuali di identificazione e qualificazione del legname.

5. L'ultima fase è quella della valutazione complessiva della convenienza all'utilizzo della tecnologia RFID, da valutare su larga scala, per esempio a livello regionale, in riferimento alla produzione complessiva di legname di qualità. Per ottenere tale risultato si potrà tener eventualmente conto, su scala più ridotta, di specifici casi studio che possano rappresentare particolari realtà territoriali dell'industria di trasformazione presente in Calabria.

Sulla base dello sviluppo dei punti sopra elencati si procederà ad esprimere un giudizio di convenienza sull'applicazione della tecnologia RFID proposta, identificando valori di pareggio economico (*break-even point*), per evidenziarne i limiti di sostenibilità economica espressi anche in termini unitari, per metro cubo o tonnellata di prodotto processato.

Attuali costi dell'industria di trasformazione del legname in Calabria

L'offerta commerciale di legname calabrese, stimato sulla base dei dati riportati nel Piano di Sviluppo Rurale 2007-2013, è valutato in circa 1.5 milioni di m³, dei quali circa il 55% è destinabile all'utilizzo energetico per le centrali termoelettriche a biomassa, il 20% alla produzione di legna da ardere, il 10% per paleria ed ingegneria naturalistica, il 7% per produzione di pannelli lamellari e carbone vegetale, mentre, appena l'8% del totale, pari a circa 120 000 m³, è destinabile al comparto della trasformazione industriale per produzione di segati e tranciati (Proto et al. 2011). Gran parte di quest'ultimo quantitativo potrebbe essere potenzialmente interessato all'applicazione di nuove tecnologie per la tracciabilità del legname lungo la filiera produttiva.

La valutazione pertanto viene effettuata tenendo in considerazione un livello teorico di produzione legnosa regionale, suscettibile di applicazione di questa tecnologia, stimabile in modo prudenziale mediamente intorno ai 100 000 m³ all'anno.

I costi che attualmente vengono sostenuti, in termini di identificazione e qualificazione del materiale prodotto in tronchi lungo la filiera foresta-legno fino alla prima trasformazione, possono essere distinti nelle due categorie A e B, come mostrato in Fig. 1.

Per quanto riguarda l'identificazione delle piante da utilizzare, si procede con la martellata da parte di un tecnico forestale autorizzato, ovvero con (i) la specchiatura della pianta scelta con ascia alla base e a 1.3 m d'altezza; (ii) l'assegnazione del numero progressivo di identificazione sul legno messo a nudo; (iii) l'apposizione del timbro con martello forestale con l'identificativo del tecnico forestale autorizzato. Il successivo taglio di abbattimento dell'albero viene eseguito al di sopra della "specchiatura" praticata alla base dell'albero, al fine di consentire l'identificazione della ceppaia come appartenente a soggetto arboreo destinato al taglio da parte delle Amministrazioni competenti in sedi di controllo.

In Tab. 1 sono riportati i costi medi che attualmente si stima possano essere sostenuti dalle imprese di utilizzazione/trasformazione per effettuare, seguendo un procedimento tradizionale (*stamping costs*), sia la "martellata" sulle piante in piedi (punto a.1), sia il controllo, la scelta, la qualificazione, la quantificazione e la marcatura dei tronchi e dei topi a terra (punto a.2), accatastati e pronti per il loro trasporto verso l'industria di prima trasformazione per la produzione di segati o tranciati di qualità. Per la valutazione

Tab. 1 - Stima dei costi attuali per effettuare la “martellata” e la identificazione/timbratura dei tronchi in relazione a un volume di legname lavorato annualmente pari circa 100 000 m³ (categoria A dei costi).

Voci di costo	Tempi lordi (min/m ³ × operatore)	Costo unitario (€/m ³)	€/anno (su 100 000 m ³)
a1. Costo della “martellata”	-	1.51	151 000
Costo strumenti e materiali (asce, pennarelli, calibri, martello, ecc.)	-	0.01	1 000
Costo della manodopera (2 operatori)	6	1.50	150 000
a2. Costo di identificazione/timbratura tronchi	-	1.02	101 000
Costo strumenti e materiali di timbratura	-	0.01	1 000
Costo della manodopera (2 operatori)	4	1.00	100 000
a3. Costo di elaborazione dei dati acquisiti	0.5	0.125	12 500
Costo della manodopera (1 operatore)	0.5	0.125	12 500
a4. Costo per la logistica del cantiere forestale	1.5	0.75	125 000
Costo di identificazione in bosco delle piante da abbattere (2 operatori)	1	0.25	25 000
Costo di gestione del legname allestito (2 operatori)	2	1.00	100 000
A - Costo Totale di Identificazione	-	3.89	389 500

del costo della manodopera è stata considerata una tariffa media lorda (comprensiva di oneri previdenziali e assistenziali) di 15 €/h, corrispondente, per il calcolo dei costi riportati in Tab. 1, a 0.25 € al minuto per operatore.

Per quanto concerne i costi della categoria B, occorre sottolineare che essi possono rappresentare un onere di un certo rilievo per grandi volumi lavorati all’anno, per esempio nel caso di imprese di trasformazione che lavorano diverse decine di migliaia di metri cubi. Non sembra questo il caso della realtà industriale calabrese, le cui imprese di prima trasformazione lavorano annualmente volumi medi di legname dell’ordine di alcune migliaia di metri cubi. Nella provincia di Reggio Calabria, ad esempio, il 60% delle imprese di prima trasformazione lavora meno di 1000 m³ e soltanto il 10% delle imprese superano i 5000 m³ (Proto & Zimbalatti 2008). Nella Tab. 2, pertanto, viene riportata la stima dei costi di questa categoria, distinta nelle due voci: *b1* - Costi d’inventario; e *b2* - Costi di deterioramento. Il volu-

me di legname che potrebbe essere mediamente interessato per il calcolo dei relativi costi viene stimato rispettivamente intorno allo 0.5% e allo 0.2% del totale lavorato nell’intera regione, pari rispettivamente a circa 500 e 200 m³ di legname, per un costo complessivo stimato in circa 20 500 € all’anno (0.20 €/m³ in riferimento ai 100 000 m³ di legname lavorato).

Con l’applicazione della tecnologia RFID si può prevedere per questa categoria una riduzione dei costi imputabile alla possibilità di poter esercitare un più appropriato controllo del materiale e dei tempi di consegna e una più accurata pianificazione degli ordini, con possibilità di ridurre la quantità di materiale declassato.

Analisi economica degli scenari applicativi di tecnologie basate su tag RFID

I costi relativi all’applicazione della tecnologia RFID riguardano in linea generale l’acquisto della tecnologia, del *software*, dell’*hardware* e dei *tag*. La quantità dei singoli elementi menzionati può variare

Tab. 2 - Stima dei costi attuali per anno per le fasi di deposito/inventariazione e di deterioramento e declassamento del legname in attesa di impiego (in riferimento ad un totale lavorato di 100 000 m³/anno).

Voci di costo	Legname coinvolto (%)	Legname (m ³)	€/m ³	€/anno
b1. Costi d’inventario	0.5	500	35.00	17 500.00
b2. Costi di deterioramento	0.2	200	15.00	3 000.00
B - Costi di inventariazione	0.7	700	50.00	20 500.00

secondo gli scenari e gli impieghi che si vogliono considerare. La valutazione tende a stabilire a quale livello del prezzo del singolo RFID impiegato possiamo raggiungere un *break-even point* in relazione alle ipotesi di possibili benefici prodotti dall'applicazione della tecnologia RFID e, quindi, in termini di riduzione/aumento dei costi rispetto all'attuale sistema di identificazione del legname.

L'impiego e gli effetti della tecnologia RFID, potrebbero essere valutati, per quanto riguarda la prima categoria di costi (categoria A), secondo le seguenti due assunzioni:

- innanzitutto quella di considerare, unitamente all'operazione ufficiale di martellata condotta da tecnici qualificati, da eseguirsi secondo le prescrizioni della normativa forestale vigente, anche l'operazione aggiuntiva di applicazione della tecnologia RFID sulle piante in piedi. Questa ipotesi comporterebbe un aggravio di lavoro per il tecnico, stimabile mediamente nel tempo necessario per l'installazione del singolo *trasponder* (*tag*), la memorizzazione dei dati e del costo dei relativi materiali impiegati;
- in una seconda ipotesi che potrebbe essere conseguente ad un adattamento della normativa relativa alla martellata, si potrebbe considerare la possibilità di applicare la tecnologia RFID in sostituzione dell'operazione tradizionale della martellata. In tale ipotesi il costo da imputare per l'operazione sarebbe solamente quello della manodopera e dei materiali per l'installazione di un RFID sull'albero in piedi, con rilievo e memorizzazione in remoto di tutta una serie di dati di interesse più ampi di quelli tradizionalmente raccolti con l'operazione di martellata.

In sintesi per la categoria A (Costi di identificazione) le due assunzioni sono le seguenti:

Ap Caso peggiore. L'applicazione della tecnologia RFID viene affiancata al sistema tradizionale della martellata e della identificazione successiva dei tronchi/toppi derivati; rispetto all'operazione tradizionale, viene quindi aggiunto anche l'aggravio di costo da imputare all'applicazione della tecnologia RFID per quanto concerne l'impiego della manodopera necessarie e dei materiali impiegati per l'installazione dei *transponder*;

Am Caso migliore. L'applicazione della tecnologia RFID sostituisce completamente l'operazione tradizionale nell'operazione di martellata e di timbratura/identificazione dei tronchi/toppi. Si valuta in questo caso il vantaggio/svantaggio dell'applicazione della tecnologia rispetto al sistema di

identificazione tradizionale.

Per la categoria B (Costi di inventariazione) le assunzioni sono le seguenti:

Bp Caso peggiore. L'applicazione della tecnologia RFID non sortisce alcun effetto positivo. Il costo di questa categoria di costi rimane invariato.

Bi Caso intermedio. L'applicazione della tecnologia RFID sortisce un effetto positivo minimo che comporta una riduzione del costo di questa categoria del 30%;

Bm Caso migliore. L'applicazione permette di ridurre in modo più significativo i costi della categoria con una riduzione massima dell'80%.

Il deterioramento del legno è un fattore molto difficile da eliminare interamente e dipende molto dalle condizioni del tempo le quali sono soggette a fluttuazioni giornaliere e difficilmente prevedibili. Per questo motivo è ragionevole sempre assumere che un certo quantitativo di materiale possa comunque essere soggetto a degradazione e/o declassamento.

Modello di analisi economica

Dalla combinazione delle assunzioni sopra riportate è possibile determinare sei differenti scenari economici (Tab. 3), posti a confronto con i costi di base riferiti alla situazione attuale senza impiego della tecnologia proposta, di cui alle Tab. 1 e Tab. 2. I costi/benefici apportati dall'applicazione della tecnologia vengono considerati in addizione/riduzione rispetto ai costi di base nella combinazione ipotizzata.

La prima combinazione *Ap+Bp* è relativa alle ipotesi peggiori, mentre la combinazione *Am+Bm* rappresenta la situazione migliore.

I sei scenari sopra proposti vengono osservati in relazione a tre diversi livelli di implementazione della tecnologia RFID. I quantitativi di *tag* calcolati per singolo livello di implementazione vengono aumentati ciascuno del 10% al fine di considerare, a livello prudenziale, le presumibili perdite di parte dei *transponder* per rotture in campo o malfunzionamenti di varia natura (Picchi et al. 2015).

La valutazione viene sviluppata, come precedentemente descritto, sulla base dei dati di produzione di legname destinato all'industria di prima trasforma-

Tab. 3 - Scenari esaminati relativamente ai costi complessivi di riferimento (costi di identificazione - categoria A; costi di inventariazione - categoria B).

-	<i>Bp</i>	<i>Bi</i>	<i>Bm</i>
<i>Ap</i>	<i>Ap+Bp</i>	<i>Ap+Bi</i>	<i>Ap+Bm</i>
<i>Am</i>	<i>Am+Bp</i>	<i>Am+Bi</i>	<i>Am+Bm</i>

Tab. 4 - Elementi principali per il calcolo del costo di applicazione della tecnologia RFID.

Elementi tecnologia RFID	Valore
Costo unitario RFID <i>tag</i> passivo P1 (€/tag)	0.10
Costo unitario RFID <i>tag</i> passivo P2 (€/tag)	0.30
Costo Unitario Installazione (1'/tag - €/tag)	0.50
Costo <i>Hardware</i> - <i>Reader</i> (€/cad.)	150.00
Costo <i>software open source</i> (€/cad.)	0.00
Spese generali (%)	1.0
<i>Reader</i> necessari min (N)	40

zione della regione Calabria, per un volume complessivo di circa 100 000 m³ all'anno. I tre livelli di implementazione della tecnologia RFID considerati sono i seguenti:

- I Livello (L1) - si assume che per ogni m³ di legname destinato alla prima trasformazione vengano utilizzati due RFID, il primo inserito direttamente nell'albero in piedi prima dell'abbattimento (al momento della martellata), il secondo relativo ad un solo tronco/toppo derivato; il quantitativo complessivo, comprese le presunte perdite, sarà pari a 220 000 tag;
- II Livello (L2) - si assume che i *tag* impiegati siano tre, uno sull'albero d'origine e due su due tronchi/toppi derivati, per un totale d'impiego complessivo di 330 000 tag.
- III Livello (L3) - si assume che i *tag* impiegati siano quattro, uno sull'albero d'origine e tre su altrettanti tronchi/toppi derivati, per un totale d'impiego complessivo di 440 000 tag.

Risultati

Stima del costo del sistema tecnologico RFID

La stima dei costi dell'applicazione del sistema RFID viene effettuata tenendo in considerazione i costi relativi al capitale iniziale investito, sul quale calcolare la quota di ammortamento annuo, alle spese correnti di installazione dei *tag* e alle spese generali imputabili al sistema. Per quanto riguarda l'investimento iniziale, si considera l'acquisto delle antenne (realizzate con tecnologie *open source* - Arduino), mentre il *software* di campagna viene distribuito gratuitamente agli operatori forestali. Le attrezzature ed i *software* vengono considerati aventi un periodo di vita utile di tre anni, anche in relazione alla facile obsolescenza tecnologica a cui possono essere soggetti. La Tab. 4 riporta i principali elementi di riferimento per la caratterizzazione della tecnologia RFID ai fini

della valutazione. Vengono considerati due tipologie di *tag* passivo che comportano prezzi di mercato diversi ($P1 = 0.10$ € e $P2 = 0.30$ €). Relativamente alla manodopera impegnata nell'operazione di inserimento degli RFID, si assume che il tempo medio per lo svolgimento di questa operazione possa essere quantificato in circa 1 minuto per *tag* per una squadra di due operatori (2 minuti per *tag* e per operatore).

La Tab. S1 (Materiale supplementare), invece, riporta la stima dei costi complessivi ed unitari, suddivisi nelle singole voci, relativi al sistema tecnologico in riferimento alle due tipologie di RFID passivo.

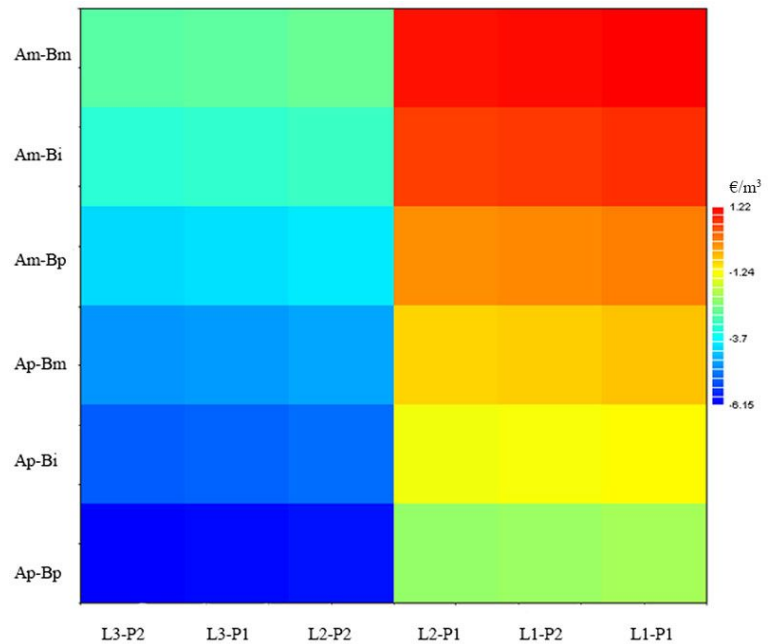
Stima del costo di break-even dell'RFID in relazione al vantaggio/svantaggio economico prodotto dall'applicazione del sistema tecnologico

Nella Tab. S2 (Materiale supplementare) si riporta la simulazione economica relativa ai costi unitari ottenuti per i diversi scenari ipotizzati. Nelle ipotesi peggiori (A_p e B_p), con livelli di implementazione massima (L3) e con RFID acquistati a prezzi più alti (P2), il costo a m³ è massimo con un valore di 10.25 €, mentre, nel caso delle migliori combinazioni tale costo scende ad un minimo di 2.88 €/m³ (combinazione L1-P1-Am-Bm).

Gli effetti dell'applicazione della tecnologia RFID, in termini di benefici o maggiori oneri rispetto all'attuale livello di costi sostenuti per una conduzione tradizionale delle operazioni di identificazione e inventariazione del legname, sono mostrati in Tab. S3 (Materiale supplementare). I valori riportati rappresentano il costo/beneficio di *break-even* per m³ di legname, con i valori negativi che rappresentano un aggravio di costo rispetto alla base di riferimento, mentre i valori positivi esprimono il vantaggio economico generato dall'applicazione della tecnologia proposta. L'andamento dei valori è speculare rispetto alla Tab. S2 con i maggiori vantaggi riscontrabili nella combinazione L1-P1-Am-B($p-i-m$) con un massimo di 1.22 €/m³. Lo svantaggio più accentuato è in corrispondenza dell'impiego di 440 000 tag, il cui maggior costo si attesta intorno ai 6 €/m³. Il punto di pareggio si otterrebbe sostanzialmente nella combinazione L2-P1-Am-Bm. La Fig. 2 riporta una rappresentazione dei suddetti dati espressa come *matrix plot* dove il gradiente di colore dal blu intenso verso il rosso intenso sta appunto a rappresentare il passaggio da scenari più costosi (meno vantaggiosi) a quelli economicamente più sostenibili.

La Tab. S4 (Materiale supplementare) mostra, invece, i risultati precedenti in riferimento però al singo-

Fig. 2 - Matrix box relativa al costo di *break-even* in €/m³ per i diversi scenari proposti in riferimento ad una produzione regionale di legname pari a 100 000 m³.



lo RFID applicato. I vantaggi sono gli stessi delle combinazioni della precedente Tab. S3, ma, in relazione ai tag impiegati, i vantaggi possono arrivare a un massimo di 0.55 €/tag nella combinazione ottimale L1-P1-Am-Bm. I restanti casi sono negativi con valori di svantaggio massimo intorno a 1.50 €/tag.

Infine, in Tab. 5, sono riportate le stime del potenziale incremento o decremento percentuale del costo per m³ di legname imputabile all'applicazione della tecnologia RFID in relazione a due possibili prezzi di mercato del legname. Considerando un prezzo medio di mercato del legname di 80 €/m³ e 120 €/m³, nel caso di massima implementazione della tecnologia e

per gli scenari peggiori, l'incremento di prezzo necessario per equilibrare i costi ipotizzati risulta rispettivamente di circa l'8% e 5%. Nell'ipotesi di implementazione minima della tecnologia (220 000 tag/anno), invece, potremmo avere un vantaggio economico valutabile tra lo 0.5% e l'1.5% del prezzo.

Nelle *matrix plot* di Fig. 3 e Fig. 4, sono evidenziati, rispettivamente per i due prezzi di mercato considerati (80 e 120 €/m³), i gradienti di colore che esprime, in rapporto ai diversi scenari considerati, la variazione in diagonale dal blu al rosso dei valori di maggiore incidenza percentuale verso quelli di minore incidenza, con alcuni valori negativi (rosso intenso) a si-

Tab. 5 - Incremento/decremento percentuale (%) sul prezzo medio del legname da imputare all'applicazione del sistema tecnologico RFID per i diversi scenari in riferimento a due prezzi medi di mercato del legname (80 €/m³ e 120 €/m³).

Scenario	No. RFID	Tipo RFID	Ipotesi Costi	Bp		Bi		Bm	
				80 €/m ³	120 €/m ³	80 €/m ³	120 €/m ³	80 €/m ³	120 €/m ³
L1	220 000	P1	Ap	3.55	2.37	3.48	2.32	3.35	2.23
			Am	-1.32	-0.88	-1.39	-0.93	-1.52	-1.01
		P2	Ap	4.11	2.74	4.03	2.69	3.90	2.60
			Am	-0.76	-0.51	-0.84	-0.56	-0.97	-0.64
L2	330 000	P1	Ap	5.07	3.38	4.99	3.33	4.86	3.24
			Am	0.20	0.13	0.12	0.08	-0.01	0.00
		P2	Ap	5.90	3.93	5.82	3.88	5.70	3.80
			Am	1.03	0.69	0.95	0.64	0.83	0.55
L3	440 000	P1	Ap	6.58	4.39	6.50	4.34	6.38	4.25
			Am	1.71	1.14	1.64	1.09	1.51	1.00
		P2	Ap	7.69	5.13	7.61	5.08	7.49	4.99
			Am	2.82	1.88	2.75	1.83	2.62	1.75

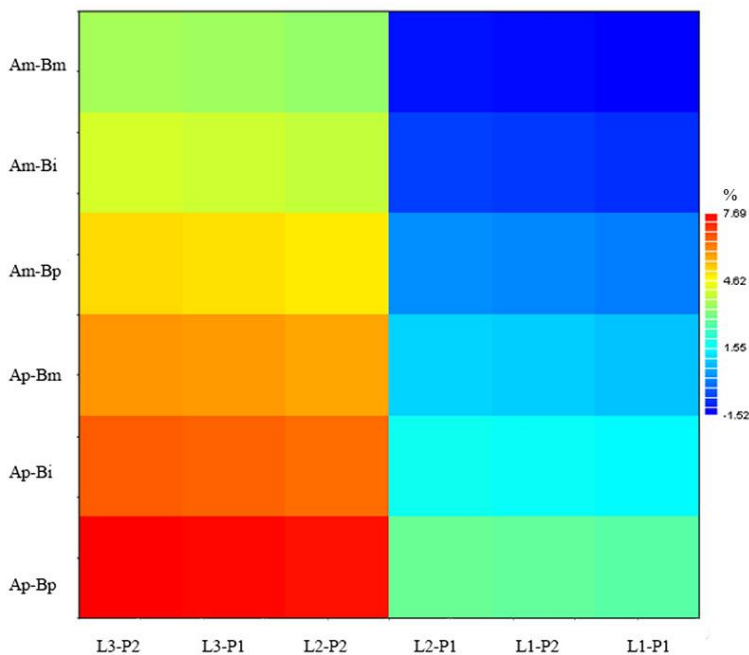


Fig. 3 - Matrix box relativa al potenziale incremento/decremento percentuale di prezzo del legname dovuto all'applicazione della tecnologia RFID per i diversi scenari proposti (prezzo medio di riferimento del legname: 80 €/m³).

gnificare che in questi casi l'applicazione della tecnologia RFID produce una riduzione dei costi nel processo di identificazione legno.

Considerazioni conclusive

L'analisi dimostra che nel processo produttivo della filiera dalla foresta all'industria c'è una reale possibilità di snellimento delle operazioni e di utilizzare più efficientemente le risorse tramite l'implementazione del sistema RFID nella logistica della filiera. Una rassegna della letteratura relativa all'utilizzo di queste tecnologie (Timpe 2006, Björk et al. 2011, Friedemann & Schumann 2011, Timpe et al. 2012, Picchi

et al. 2015), mostra che non esiste uno standard RFID che più si adatta ai particolari bisogni delle specifiche applicazioni. Alcune indagini fatte sull'applicazione di RFID in foresta mostrano che il sistema, per il quale i costi non sono ancora sostenibili, deve essere ancora commercialmente implementato (Timpe 2006), ma l'interesse verso questa tecnologia è crescente. L'analisi sviluppata dimostra che c'è sicuramente un potenziale notevole dell'applicazione degli RFID, anche se, riguardo al nostro Paese, in particolare il caso della Calabria, bisogna rilevare che sono ancora critici i limiti tollerabili di costo dell'applicazione del sistema tecnologico per singolo RFID, so-

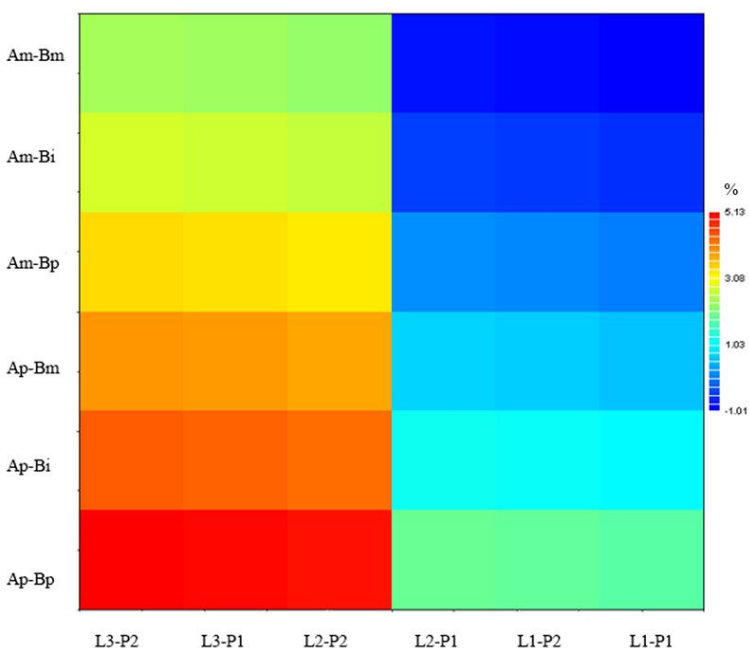


Fig. 4 - Matrix box relativa al potenziale incremento/decremento percentuale di prezzo del legname dovuto all'applicazione della tecnologia RFID per i diversi scenari proposti (prezzo medio di riferimento del legname: 120 €/m³).

prattutto se si vuole applicare un sistema di implementazione con impiego multiplo di RFID lungo la filiera. Questa tecnologia può effettivamente produrre dei vantaggi nei costi di gestione, identificazione e inventariazione del legname e della logistica di filiera, anche se, allo stato attuale, questi effetti positivi sono più evidenti in relazione a filiere caratterizzate dalla presenza di imprese di trasformazione di grandi dimensioni in grado di lavorare annualmente elevati quantitativi di legname. Nel caso specifico della realtà calabrese, l'effetto positivo risulta più contenuto per le condizioni operative e per le caratteristiche delle imprese di trasformazione, gran parte delle quali presenta volumi lavorati spesso al di sotto dei 5000 m³ di legname all'anno. Quanto affermato è in parte evidenziato dai risultati restituiti dal modello economico che stima, in relazione ai diversi scenari e livelli di implementazione del sistema tecnologico, valori massimi di vantaggio economico, sotto forma di riduzione dei costi di identificazione ed inventariazione del materiale, di 1.22 €/m³, nel caso si riduca al minimo il numero di tag impiegati (220 000 unità). Il costo attuale complessivo dell'applicazione del sistema RFID è ancora abbastanza elevato soprattutto in riferimento ai prezzi di acquisto del materiale di diretto consumo (*tag*), visto che i costi dell'*hardware* e del *software* sono molto contenuti in quanto in gran parte *open source*.

In riferimento a prezzi medi di mercato del legname, variabili da 80 €/m³ a 120 €/m³, si è osservato (Tab. 5) che nei casi peggiori si arriva ad un aumento di prezzo fino all'8%. Tuttavia nella maggioranza degli scenari analizzati si ottengono potenziali incrementi di prezzo del legname inferiori al 5%. Paletto et al. (2017) riporta come, per quanto concerne la Disponibilità a Pagare (DAP) per l'acquisto di prodotti legnosi certificati, il 40% delle imprese di seconda trasformazione del legno intervistate ha dichiarato di essere disposto a pagare un *premium price* con una DAP media pari a 1.55%. Un'analoga percentuale di imprese (40%) si è detta disposta a pagare un *premium price* per l'acquisto di prodotti legnosi locali con una DAP media del 3.25% (Paletto et al. 2017). Tali considerazioni mostrano come, utilizzando tecnologie *open source* sia possibile già da subito una implementazione di tali sistemi in quanto economicamente sostenibili, a differenza di quanto precedentemente valutato da Timpe (2006).

Per il prossimo futuro, è possibile prevedere ulteriori riduzioni dei prezzi di mercato dei *tag* e dell'*hardware*, con possibili consistenti riduzioni dell'incidenza del costo dell'applicazione della tec-

nologia sul prezzo finale del legname, che si auspica sia almeno dimezzata rispetto all'incidenza stimata in questo lavoro.

Un forte freno agli investimenti in applicazioni RFID sembra quindi attualmente dovuto al fatto che l'applicazione di questa tecnologia non produce un guadagno economico immediato, a fronte di un investimento economico invece non sempre irrisorio (Talone & Russo 2008). Si intravede una reale difficoltà ad individuare il vero valore aggiunto della tecnologia RFID rispetto a tecnologie più semplici e addirittura tradizionali del sistema di identificazione del materiale (ad es. codice a barre). E' tuttavia possibile prevedere una diffusione del sistema basato su RFID nel trasporto dei tronchi utilizzando il sistema di archiviazione passiva dei dati che risulta economicamente più sostenibile rispetto a quello attivo. Tali sistemi sono già ampiamente utilizzati in altre filiere (Costa et al. 2013).

Per il futuro, l'attenzione non dovrebbe essere posta tanto sulle prestazioni esasperate di *tag* e *reader*, quanto sulla funzionalità di sistemi di gestione e, soprattutto, sulla loro accessibilità da parte di tutti gli attori della catena. Piuttosto che focalizzarsi sul costo assoluto dei *tag*, un approccio migliore sembrerebbe quello di valutarne il costo relativo rispetto ai benefici introdotti nelle situazioni d'impiego. Ad esempio, in molte applicazioni nell'ambito della catena produttiva, l'applicazione della tecnologia potrebbe risultare meno onerosa se posta a confronto con soluzioni alternative o con il costo derivante dalle problematiche che vengono risolte con il loro uso. In molte circostanze, tuttavia, il mercato è ancora focalizzato sulla disponibilità del *tag* a 0.05 € che ne renderebbe possibile la sua applicazione sostenibile ad ogni singolo prodotto. Ad oggi, comunque, l'ordine di grandezza del costo dei sistemi RFID è, per grandi volumi d'acquisto, e per *tag* passivi, da 0.15 € per le etichette più semplici ad alcuni € per quelle in contenitori plastici, rispetto a circa 0.001 € per un codice a barre stampato. Per *tag* attivi il prezzo potrebbe variare da circa 5 a 30 o più € in dipendenza dalla dimensione delle batterie, dalla quantità di memoria, dal tipo di contenitore, dall'eventuale presenza di sensori. I *reader* commercialmente hanno costi che variano da 300 a 2000 € in dipendenza delle loro funzionalità. Con la proposta implementazione di tecnologie *open source* (ad es. Arduino) per la realizzazione di *reader*, questi costi sono più che dimezzati. L'adozione di tecnologie RFID, pertanto, sembrerebbe oggi in generale più promettente a livello di prodotti raggruppati (contenitore, cassa, pallet o contenitori

maggiori), piuttosto che di singolo prodotto.

È da sottolineare il fatto che l'analisi economica effettuata non prende in considerazione aspetti (peraltro difficilmente monetizzabili) che l'introduzione globale di una tracciabilità spinta della catena di custodia forestale potrebbe comportare nel settore forestale della Calabria quali:

- la possibilità di controllo globale georeferenziato in tempo reale da parte dell'Amministrazione forestale dello stato delle operazioni di assegnazione al taglio di legname da opera e del flusso delle conseguenti operazioni di utilizzazione;
- analoga potenzialità sarebbe disponibile agli operatori del settore che potrebbero valutare anche in termini previsionali (ben prima delle operazioni amministrative di asta) le zone precise e i quantitativi (anche per dimensione e specie) dei lotti che arriveranno sul mercato in quanto assegnati al taglio, nonché valutare a priori le situazioni di accessibilità per l'esbosco (e i costi);
- l'evidenziamento immediato in tale contesto della presenza (anche minoritaria o singolare) di eventuale materiale di particolare pregio in termini di dimensioni/qualità e/o specie;
- la possibilità di praticare "inferenze a ritroso" da prodotti dotati di concreta tracciabilità individuale in ogni fase di lavorazione, in termini di messa in relazione di dati di rendimento e qualità tecnologica riscontrati dopo la prime lavorazioni, con la provenienza geo(topo)grafica, addirittura con possibilità inerenti il miglioramento a ritroso degli impianti di stima dendro-auxometrica adottati in pianificazione (Corona & Scrinzi 2014);
- la probabile semplificazione della contabilizzazione dei quantitativi all'imposto e la diminuzione dei rischi di infortunio nei piazzali d'imposto correlati.

È poi quanto mai evidente che l'introduzione di simili sistemi comporterebbe forti contrasti al taglio illegale (almeno del legname di maggior pregio e valore), qualora gli assortimenti da opera lavorati in segheria di provenienza locale fossero controllabili per la presenza obbligatoria di *tag* che riportano ad archivi centralizzati contenenti anche i dati provenienza georeferenziata e relative autorizzazione di taglio.

Bibliografia

Björk A, Erlandsson M, Hakli J, Jaakkola K, Nilsson A, Nummala K, Puntanen V, Sirkka A (2011). Monitoring environmental performance of the forestry supply chain using RFID. *Computers in Industry* 62: 830-841. - doi: [10.1016/j.compind.2011.08.001](https://doi.org/10.1016/j.compind.2011.08.001)

Corona P, Scrinzi G (2014). Sicurezza dell'approvvigiona-

mento di materiale legnoso forestale in Italia e innovazioni per la tracciabilità dei prodotti legnosi. In: "Atti II Congresso Internazionale di Selvicoltura". Firenze, 26-29 Nov 2014, pp. 631-637.

Corona P, Quatrini V, Chianucci F, Puletti N, Plutino M, Costa C, Scrinzi G, Floris A, Verani S, Clementel F, Vincenzo C, Most Jannatul F, Sperandio G, Menesatti P (2017). *Precision forestry*: riferimenti concettuali, strumenti e prospettive di diffusione in Italia. *Forest@* 14 (1): 1-12. - doi: [10.3832/efor2285-014](https://doi.org/10.3832/efor2285-014)

Costa C, Antonucci F, Pallottino F, Aguzzi J, Sarrià D, Menesatti P (2013). A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology. *Food and Bioprocess Technology* 6: 353-366. - doi: [10.1007/s11947-012-0958-7](https://doi.org/10.1007/s11947-012-0958-7)

Friedemann S, Schumann M (2011). Potentials and limitations of RFID to reduce uncertainty in production planning with renewable resources. *Journal of System and Management Sciences* 1 (2): 48-67.

Korten S, Kaul C (2008). Application of RFID (Radio Frequency Identification) in the timber supply chain. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29 (1): 85-94.

Paletto A, Notaro S, Pastorella F, Giacobelli G, Giovannelli S, Turco R (2017). Certificazione forestale in Calabria: attitudini, preferenze e disponibilità a pagare delle imprese di seconda trasformazione del legno. *Forest@* 107-123. - doi: [10.3832/efor2174-014](https://doi.org/10.3832/efor2174-014)

Picchi G, Kühmaier M, Marques JDD (2015). Survival test of RFID UHF tags in timber harvesting operations. *Croatian Journal of Forestry Engineering* 36: 2.

Proto AR, Zimbalatti G (2008). Produzione e prima lavorazione del legno in Provincia di Reggio Calabria. Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura, Reggio Calabria, pp. 180. [ISBN 978-8890-4039-4-1]

Proto AR, Zimbalatti G, Teti N (2011). La Calabria e la filiera foresta-legno. *L'Italia Forestale e Montana* 66 (6): 491-497. - doi: [10.4129/ifm.2011.6.01](https://doi.org/10.4129/ifm.2011.6.01)

Talone P, Russo G (2008). RFID: tecnologia e applicazioni. Fondamenti delle tecniche e cenni sulle applicazioni di una tecnologia silenziosamente pervasiva. Fondazione Ugo Bordoni, Roma.

Timpe D (2006). RFID in forestry: prospects of an RFID-based log tracking system as an alternative to stamping. FSCN Report R-06-63, Mid Sweden University, Sundsvall, Sweden.

Timpe D, Olsson L, Sidén J (2012). Cost analysis of introducing a log identification system using RFID in the wood supply chain: a case study at a Swedish forest company. *American Journal of Industrial and Business Management* 2: 128-135. - doi: [10.4236/ajibm.2012.24017](https://doi.org/10.4236/ajibm.2012.24017)

Materiale Supplementare

Tab. S1 - Costi complessivi e unitari dell'applicazione della tecnologia in relazione all'applicazione del sistema RFID passivo (due tipologie) per i diversi scenari ipotizzati.

Tab. S2 - Costo unitario (€/m³) per i diversi scenari e ipotesi formulate.

Tab. S3 - Costo unitario di *break-even* per m³ di legname del sistema tecnologico RFID per i diversi scenari e ipotesi formulate (€/m³).

Tab. S4 - Costo di *break-even* per RFID del sistema tecnologico per i diversi scenari e ipotesi formulate (€/tag).

Link: [Sperandio_2267@suppl001.pdf](#)