



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea in
Scienze e tecnologie alimentari

“Processi per la valorizzazione dei prodotti non legnosi dell’abete rosso”

Relatore
Prof. *Lorenzo Guerrini*

Laureanda/o
Anna Bubbola
Matricola n.
1220847

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

ABSTRACT

Il seguente lavoro si occuperà di ricercare i processi per la valorizzazione dei prodotti non legnosi dell' abete rosso. I prodotti non legnosi del bosco, cioè tutto ciò che può essere raccolto da una foresta diverso dal legno, possono rappresentare una strategia per lo sviluppo economico e conseguente ripopolamento delle regioni marginali boschive, in modo da impedirne l'abbandono, ma anche proteggerle dalla deforestazione. Si cercherà di mettere a fuoco quali parti non legnose dell'abete rosso si possono utilizzare, soprattutto in ambito alimentare, in che modo vengono trasformate e se esistono processi alternativi più efficienti e più sostenibili dal punto di vista ambientale. In particolare si vedrà come tradizionalmente le gemme d'abete vengono utilizzate per produrre sciroppi, marmellate, unguenti, grappe e la famosa *spruce beer*, alimenti dalle proprietà benefiche. Infatti si riscontreranno diversi principi attivi dalle proprietà antiossidanti e antimicrobiche all'interno della corteccia e degli aghi dell'abete rosso. Si vedrà come tali sostanze possano essere estratte tramite metodi convenzionali, ma anche tramite tecniche all'avanguardia più efficienti e sostenibili.

INDICE

CAPITOLO 1:

Introduzione: La *spruce beer* e le piante diffuse nell'arco alpino da cui tradizionalmente si estrae la linfa e i suoi usi specifici

- 1.1 Processi produttivi schematizzati per ogni utilizzo
 - 1.1.1 Concentrazione della linfa per la produzione di sciroppo
 - 1.1.2 Produzione di burro d'acero, comunemente chiamato "crema d'acero"
 - 1.1.3 Produzione di zucchero d'acero
 - 1.1.4 Produzione di caramelle d'acero
 - 1.1.5 Produzione di vino di betulla
 - 1.1.6 Produzione di birra di betulla
 - 1.1.7 Produzione di aceto di betulla
 - 1.1.8 Produzione di miele di melata
 - 1.1.9 Estrazione di trementina di abete, larice e pino

CAPITOLO 2: Utilizzo degli NTFP come strategia di sviluppo sostenibile

CAPITOLO 3: Abete rosso, *Picea abies*

- 3.1 Usi tradizionali dei prodotti non legnosi dell'abete rosso
- 3.2 Composti biologicamente attivi dell'abete rosso

CAPITOLO 4: Metodi per l'estrazione di composti dall'abete rosso

- 4.1 Tecniche di estrazione per l'isolamento di composti da materiale a base di legno
 - 4.1.1 Estrazione Solido-Liquido (SLE)
 - 4.1.2 Estrazione con Fluido Supercritico (SFE)
 - 4.1.3 Estrazione Assistita da Ultrasuoni (UAE)
 - 4.1.4 Estrazione Assistita da Microonde (MAE)
- 4.2 Confronto fra le tecniche di estrazione di composti antiossidanti dalla corteccia di abete rosso
- 4.3 *Smart chain extraction*
- 4.4 Le potenzialità dell'industria per la trasformazione di aghi e gemme d'abete rosso

Conclusioni

RIFERIMENTI

CAPITOLO 1

Introduzione

La *spruce beer* e le piante diffuse nell'arco alpino da cui tradizionalmente si estrae la linfa e i suoi usi specifici

Nella lingua inglese, il termine “abete rosso” si traduce “*spruce*” e non con la traduzione letterale “*red fir*”. Il termine “*spruce*” è in realtà legato alla storia della “*spruce beer*” o “birra d’abete rosso”. Il nome “*spruce beer*” deriva dal tedesco “*sprossen beer*”, che significa letteralmente “birra al germoglio”, in quanto prodotta proprio con i germogli d’abete rosso. Per gli anglofoni il termine “*sprossen*” non aveva alcun significato, ma aveva un suono molto simile al termine “*spruce*”, un altro nome con cui chiamavano la Prussia, da cui appunto nel 1500 importavano la “*sprossen beer*”. La “*sprossen beer*” iniziò quindi ad essere chiamata con il nome più comprensibile “*spruce beer*”, che originariamente significava “birra prussiana”. Nel 1670, più di un secolo dopo, il naturalista John Evelyn menzionò per la prima volta il termine “*spruce*” per riferirsi alla specie *Picea abies* (abete rosso): “*spruce*” era l’abbreviazione di “*spruce fir*”, “abete prussiano”, in quanto anch’esso, come la birra, era stato importato dalla Prussia. Quindi la “*spruce beer*” non ha preso il nome dall’albero con cui viene prodotta, al contrario ha avuto una forte influenza nel dare il nome all’albero stesso (Cornell, 2016).

Da questo esempio si può intuire quanto le tradizioni popolari, come i piatti e le bevande tipiche di una coltura, in questo caso quella anglosassone, possano influenzare i caratteri identificativi di una nazione, come la lingua.

La *spruce beer* viene prodotta utilizzando i germogli dell’abete rosso. I germogli di una pianta rientrano nei così detti “prodotti non legnosi del bosco”. Prima di inoltrarsi nell’argomento di tesi, sarebbe interessante approfondire quali parti non legnose delle specie di piante diffuse nell’arco alpino vengano tradizionalmente sfruttate e a quale scopo. Data la vastità di specie presenti nella regione alpina e delle parti non legnose che le compongono, la ricerca verrà circoscritta ai generi di pianta più diffusi e in particolare all’uso della linfa da essi estratta. La linfa, come si vedrà in seguito, viene utilizzata per interessanti scopi alimentari, ad esempio per la produzione del noto sciroppo d’acero. Nella tabella 1.1 vengono riportati l’acero, la quercia, il noce e, tra le conifere, l’abete, di cui ci si interesserà in maniera più approfondita in seguito, il cedro, il larice e il pino. Nella seconda colonna sono presenti indicazioni sulla forma della linfa (pura o trasformata) per ciascuna tipologia di pianta, mentre nella terza è riportato l’utilizzo specifico (Svanberg, 2012).

PIANTA	LINFA	UTILIZZO
ACERO	Linfa pura o concentrata o trasformata insieme ad altri ingredienti.	Assunta come bevanda. Sciroppo, burro, fiocchi ¹ , zucchero, caramelle.
BETULLA	Linfa pura o concentrata o trasformata insieme ad altri ingredienti.	Assunta come bevanda. Sciroppo, vino, birra, aceto.
QUERCIA	Gli afidi ² trasformano la linfa in melata ³ , che a sua volta le api trasformano in miele.	Produzione di miele di melata
NOCE	Linfa concentrata	Sciroppo di noce
ABETE	Gli afidi ² trasformano la linfa in melata ³ , che a sua volta le api trasformano in miele.	Produzione di miele di melata
	Sottoposta ad estrazione di sostanze.	Usata per produrre la trementina ⁴ .
CEDRO	Gli afidi ² trasformano la linfa in melata ³ , che a sua volta le api trasformano in miele.	Produzione di miele di melata
LARICE	Sottoposta ad estrazione di sostanze	Usata per produrre la trementina ⁴ .
PINO	Gli afidi ² trasformano la linfa in melata ³ , che a sua volta le api trasformano in miele.	Produzione di miele di melata
	Linfa pura o sottoposta ad estrazione di sostanze.	Assunta come bevanda. Usata per produrre la trementina ⁴ .

¹Fiocchi d'acero: sciroppo d'acero liofilizzato sotto forma di scaglie, utilizzate per esaltare il gusto di cocktail, carni, dessert.

²Afidi: chiamati anche "pidocchi delle piante", sono insetti fitomizi, cioè che si nutrono della linfa delle piante.

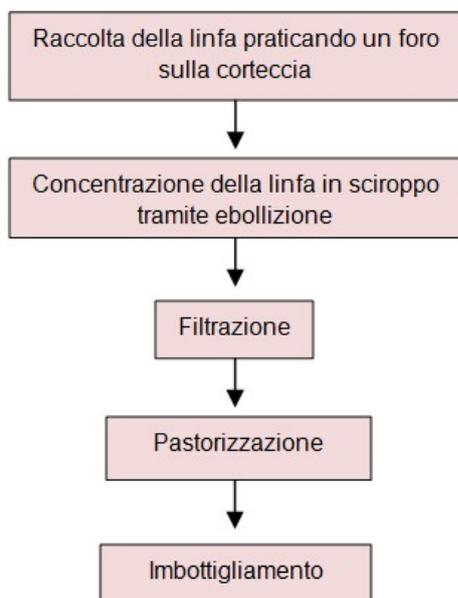
³Melata: sostanza zuccherina emessa dagli insetti che si nutrono della linfa delle piante.

⁴Trementina: è una resina vegetale oleosa, fluida, chiara, volatile ed utilizzata come solvente nell'industria delle vernici o per estrarne oli essenziali.

Tab. 1.1 - Piante diffuse nell'arco alpino da cui tradizionalmente si estrae la linfa e i suoi usi specifici.

1.1 Processi produttivi schematizzati per ogni utilizzo:

1.1.1 Concentrazione della linfa per la produzione di sciroppo



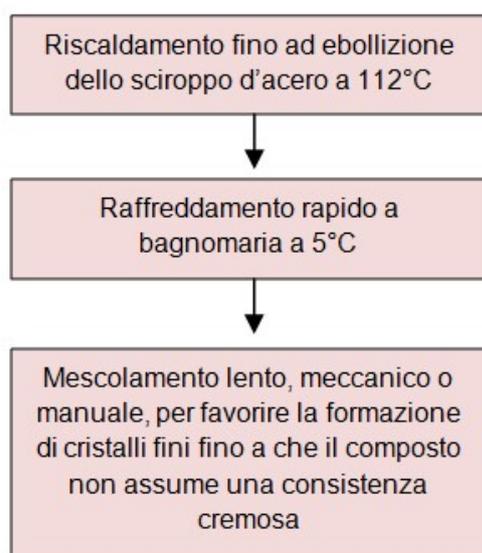
La raccolta della linfa per la produzione di sciroppo avviene in primavera, quando la temperatura tra la notte e il giorno oscilla intorno a 0°C. La linfa viene fatta fuoriuscire attraverso un piccolo foro praticato sulla corteccia posizionato a un'altezza di circa 1,5 m da terra. Attraverso una fitta rete di piccole tubazioni, la linfa viene quindi convogliata in una cisterna di raccolta. In estate la pianta produce zucchero attraverso la fotosintesi. Lo zucchero alimenta la respirazione cellulare dell'albero e ne favorisce la crescita; lo zucchero in eccesso viene accumulato nelle radici sotto forma di amido. In primavera, il gelo notturno alternato al disgelo diurno attiva il flusso linfatico.

Fig. 1.1 - Processo produttivo dello sciroppo a partire dalla linfa

Durante la notte i rami si raffreddano facendo contrarre l'aria contenuta all'interno. Anche la linfa contenuta nei rami si congela, aumentando quindi il suo volume. A seguito di questa differenza di volume l'acqua sale attraverso l'albero, trasportando gli zuccheri presenti nelle radici. Durante il giorno, il calore del sole scalda i rami dell'albero. La linfa ritorna quindi dallo stato solido a quello liquido e l'aria contenuta nelle fibre dell'albero si espande nuovamente. Questa azione meccanica crea una pressione che spinge la linfa zuccherata verso l'esterno del tronco dell'albero: a questo punto, la linfa viene raccolta in secchielli oppure convogliata in appositi recipienti. La linfa convogliata attraverso una fitta rete di tubi nella vasca di raccolta, entra poi nell'evaporatore, una sorta di grande bollitore. Man mano che l'acqua evapora il liquido più concentrato inizia a defluire nello stadio successivo, assumendo la caratteristica colorazione ambrata. In base al periodo di raccolta, lo sciroppo assume una colorazione più o meno intensa: più chiara a inizio stagione e molto scura al termine del periodo di raccolta.

La linfa d'acero, per esempio, che inizialmente era costituita dal 98% di acqua e dal 2% di zucchero, ora assume una composizione del 67% di zucchero. Lo sciroppo così ottenuto, viene filtrato e imbottigliato oppure trasferito in appositi barili in acciaio (Childs, 2007), (Bryan, 1924).

1.1.2 Produzione di burro d'acero, comunemente chiamato "crema d'acero"



Per la produzione della "crema d'acero" i passaggi iniziali sono comuni al procedimento visto per lo sciroppo. Successivamente la differenza sostanziale consiste in un riscaldamento seguito da un raffreddamento a temperature precise in modo che linfa assuma la consistenza tipica di una crema (Timothy D., 2009).

Fig. 1.2 - Processo produttivo della "crema d'acero" a partire dallo sciroppo d'acero.

1.1.3 Produzione di zucchero d'acero

Originariamente dalla linfa d'acero si produceva lo zucchero d'acero, solo in seguito si iniziò a produrre sciroppo. Lo zucchero d'acero, un tempo molto diffuso, venne sostituito prima dallo zucchero di canna e in seguito da quello di barbabietola (Timothy D., 2009)

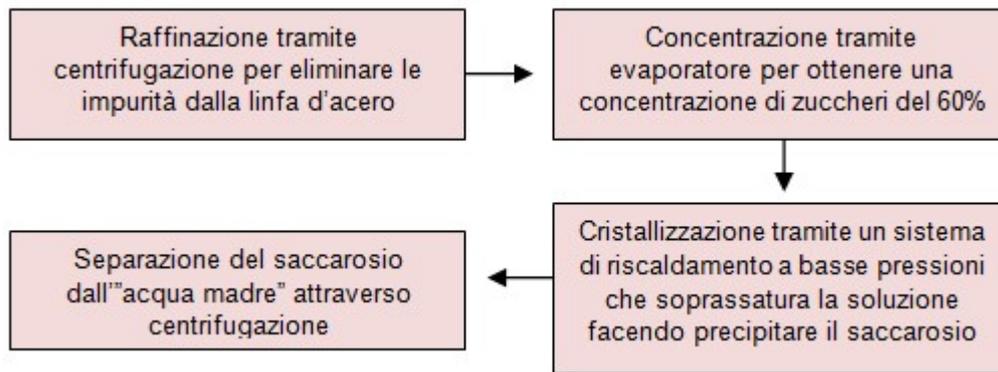


Fig. 1.3 - Processo produttivo dello zucchero d'acero a partire dalla linfa.

1.1.4 Produzione di caramelle d'acero

Con lo sciroppo d'acero si possono ottenere due tipi di caramelle (Timothy D., 2009):

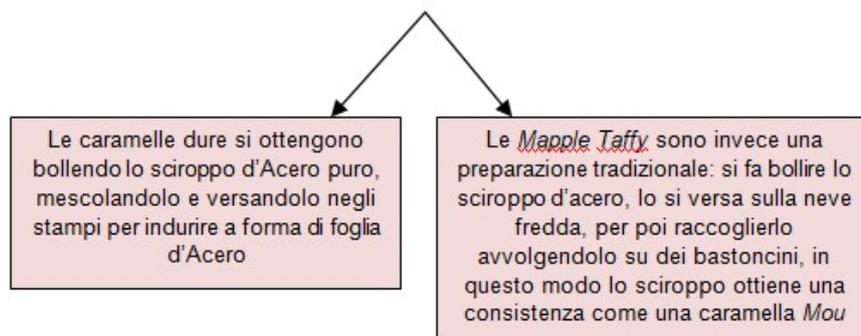


Fig 1.4 - Processo produttivo delle caramelle d'acero a partire dallo sciroppo d'acero.

1.1.5 Produzione di vino di betulla

Il procedimento previsto per la produzione del vino di betulla è molto diverso da quello per la produzione del vino d'uva: in comune rimane il processo fermentativo ad opera dei lieviti (Helfferich, D. , 2004).

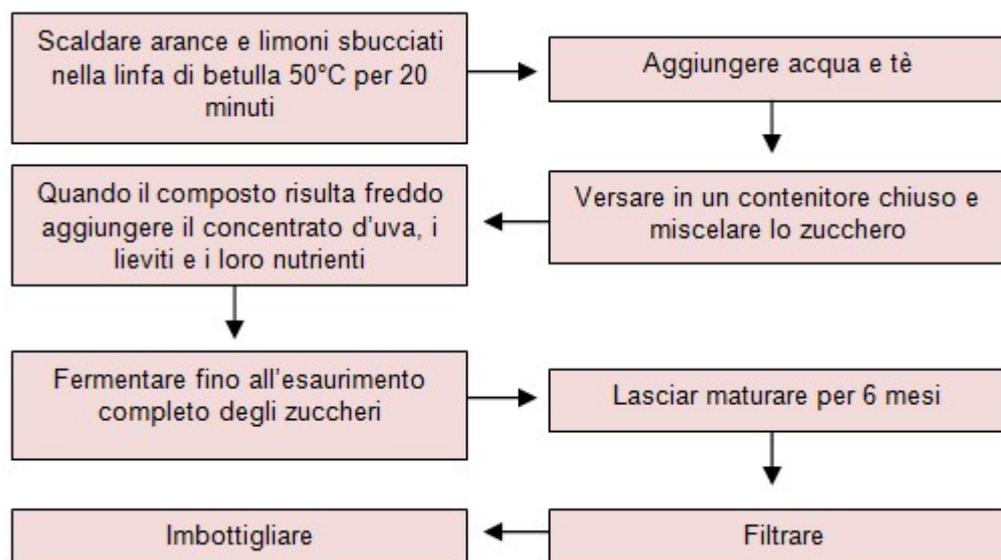


Fig 1.5 - Processo produttivo del vino di betulla a partire dalla linfa di betulla.

1.1.6 Produzione di birra di betulla

La birra di betulla è un prodotto dal sapore fresco, a bassissima gradazione alcolica (2-4%), in cui la fermentazione non è funzionale all'aumento del contenuto alcolico, ma è un procedimento innescato naturalmente o artificialmente allo scopo di rendere la bevanda leggermente frizzante (Amirante, 2021).

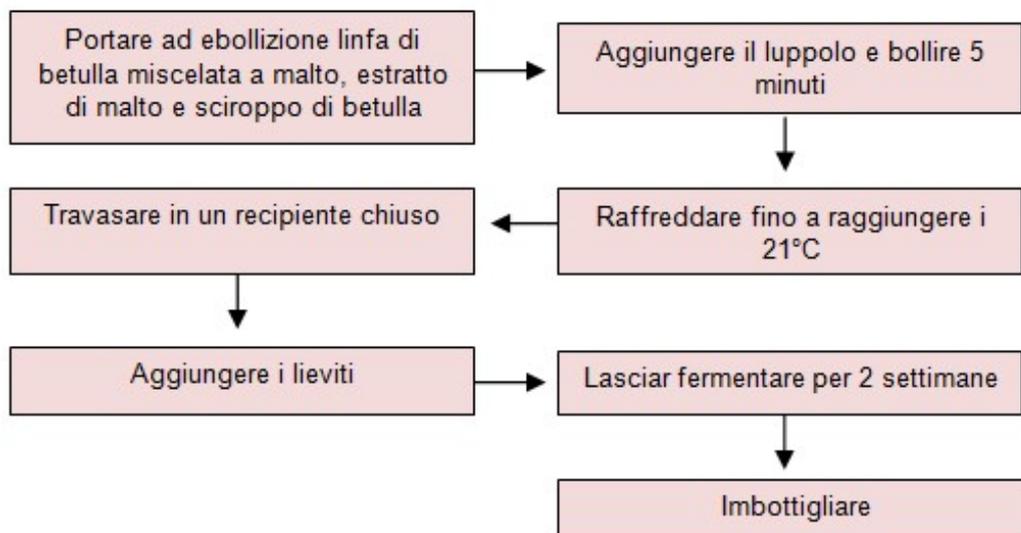


Fig. 1.6 – Processo produttivo della birra di betulla a partire dalla linfa di betulla.

1.1.7 Produzione di aceto di betulla (Amirante, 2021)

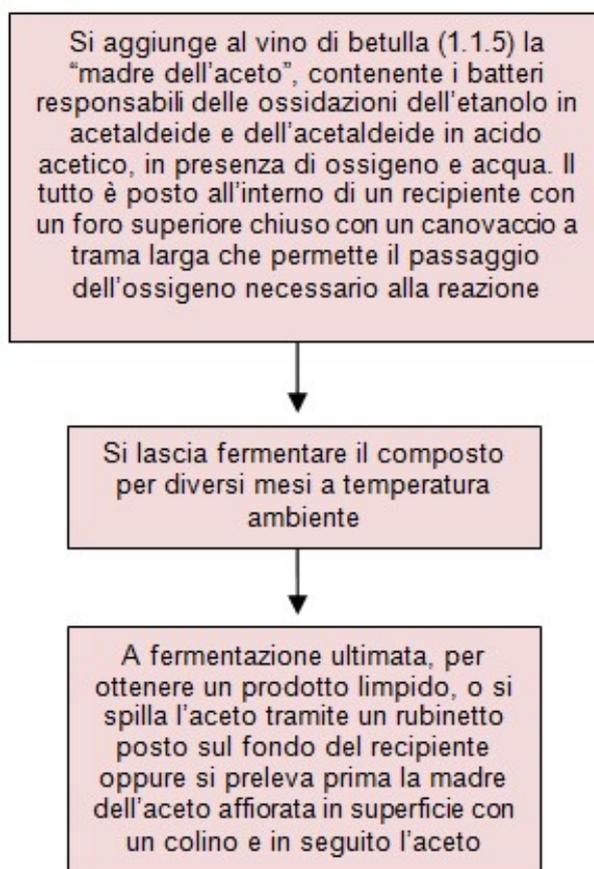


Fig. 1.7 – Processo produttivo dell'aceto di betulla a partire dal vino di betulla.

1.1.8 Produzione di miele di melata: Miele di nettare o di melata?

Le api, per produrre il miele, si approvvigionano da due fonti zuccherine: il nettare e la melata. Da qui la distinzione in "miele di nettare" e "miele di melata". Il nettare è un liquido zuccherino che deriva dalla linfa delle piante ed è secreto da particolari organi ghiandolari chiamati nettari. La melata, come il nettare, deriva dalla linfa delle piante, ma mentre il nettare è secreto attraverso un processo attivo dei nettari, la melata è prodotta in seguito all'intervento di insetti parassiti che succhiano la linfa delle piante per nutrirsi ed espellono la melata in piccole gocce che ricoprono i tessuti vegetali (Bacandritsos, 2004), (Ünal, 2017), (Ülgentürk, 2014).

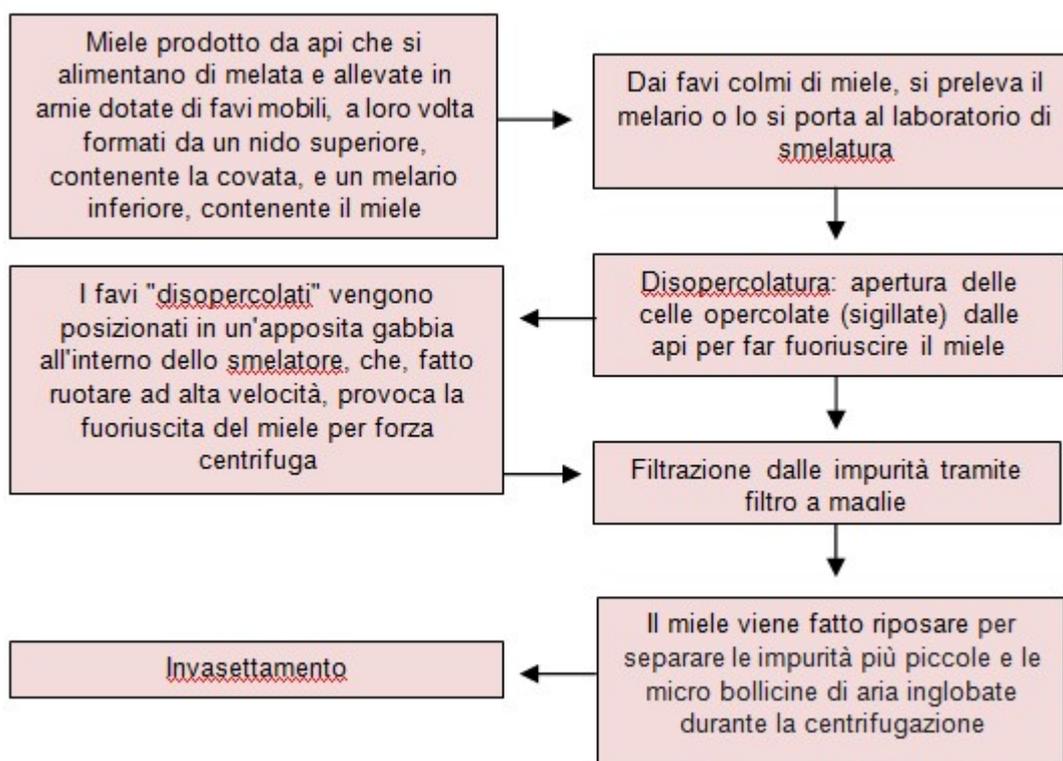
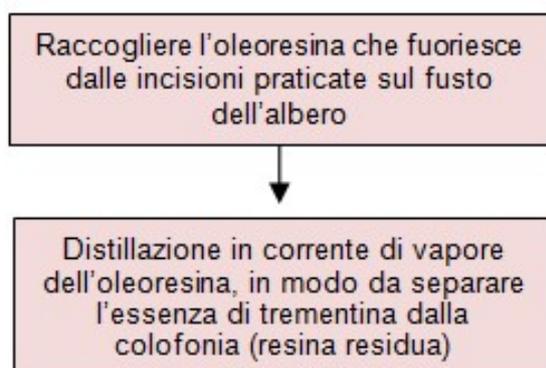


Fig. 1.8 – Processo produttivo del miele di melata.

1.1.9 Estrazione di trementina di abete, larice e pino

Per trementina si intende una resina di tipo oleoso, fluida e volatile, dalla colorazione quasi trasparente. Questa viene ottenuta grazie ad un processo di incisione del tronco di particolari alberi come larici, pini e abeti. Chiunque si sia cimentato con i colori ad olio o con le vernici, ha avuto a che fare con l'olio di trementina. Il massimo impiego della



trementina infatti, è proprio nel settore della verniciatura e pittura, utile a togliere macchie ostinate. È facilmente reperibile sul mercato, presso ferramenta, negozi di vernici o negozi che commercializzano colori ad olio (Muhammad, 2020), (Dunlap, M., 1908)

Fig. 1.9 – Processo produttivo della trementina.

CAPITOLO 2

Utilizzo degli NTFP come strategia di sviluppo sostenibile

Nel capitolo precedente si è visto come la linfa d'abete possa essere sfruttata per estrarre sostanze, quali per esempio la trementina, oppure possa essere trasformata dagli afidi in melata e la melata dalle api in miele.

Nel capitoli successivi si vedranno quali altre parti dell'abete rosso si possa utilizzare, in che modo e se esistono processi alternativi più efficienti e sostenibili dal punto di vista ambientale.

Il tema della sostenibilità, nell'ambito delle produzioni alimentari, è molto attuale e dibattuto dall'opinione pubblica e scientifica, tanto che le politiche europee attive per lo sviluppo economico avranno nei prossimi anni la priorità da parte della Commissione Europea. Tali politiche per lo sviluppo si concentreranno su temi come lo sviluppo sostenibile, l'innovazione nella prospettiva della sostenibilità e l'autonomia strategica alimentare ed energetica, ponendo nuovi obiettivi e nuove sfide al settore agroalimentare nelle sue diverse componenti. Il concetto di "sviluppo sostenibile" soddisfa tre condizioni: la tutela dell'ambiente (sostenibilità ambientale), l'equità e coesione sociale (sostenibilità sociale), la prosperità economica (sostenibilità economica).



Fig. 2.1 - I 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (OSS) dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile siglati nel settembre 2015, in occasione dell'Assemblea generale delle Nazioni Unite.

Per quanto riguarda la politica della qualità dei prodotti agricoli, l'Unione Europea nel 2012 ha adottato il cosiddetto "Pacchetto qualità", il quale comprende il Reg. UE 1151/2012 sui "Regimi di qualità" dei prodotti alimentari, volto a conferire coerenza e chiarezza ai regimi dell'UE. In particolare, il considerando numero 4 dei regimi di qualità (Reg. UE 1151/2012) riporta: "Contribuire attraverso regimi di qualità a ricompensare gli sforzi dispiegati dai produttori per ottenere una gamma diversificata di prodotti di qualità può avere ricadute positive per l'economia rurale. Ciò vale soprattutto per le aree svantaggiate, le zone di montagna e le regioni ultra periferiche, nelle quali il settore agricolo ha un peso economico notevole e i costi di produzione sono elevati".

L'art. 31 del Reg. UE 1151/2012, infatti, è dedicato ai "prodotti di montagna", un'indicazione facoltativa di qualità, utilizzata per descrivere i prodotti destinati al consumo umano, in merito ai quali sia le materie prime che gli alimenti per gli animali, provengano da zone di montagna e nel caso di prodotti trasformati, anche la trasformazione ha luogo in zone di montagna. Per esempio i prodotti derivati dall'abete rosso, il quale prospera ad altitudini comprese tra 600 e 2.000 m sul livello del mare

(Sandulovici RC, 2024), potrebbero essere marchiati con l'indicazione facoltativa di qualità "prodotti di montagna". In particolare lo sciroppo, il miele, la birra e le marmellate di abete rosso rientrerebbero nella categoria dei prodotti di origine vegetale trasformati, per cui se raccolti e trasformati all'interno delle zone di montagna, gli si potrebbe applicare tale indicazione di qualità, con il vantaggio che essa consiste in un semplice sistema di etichettatura, senza disciplinare di produzione e che non necessita il controllo da parte di un organo ufficiale. Un'indicazione di qualità, anche se facoltativa, conferisce un valore aggiunto al prodotto, garantendone la provenienza e la genuinità.



Fig. 2.2 – Logo dell'indicazione facoltativa di qualità "prodotti di montagna" (Reg. UE 1151/2012 art. 31)

Sfruttare in maniera sostenibile una risorsa naturale, come in questo caso la pianta d'abete, e rendere il più efficiente possibile il suo processo di trasformazione, impatterebbe in modo positivo sulle aziende lavoratrici di prodotti non legnosi del bosco, tipici delle aree marginali boschive: incentiverebbe l'espansione delle aziende già esistenti e l'apertura di nuove aziende, creando così nuovi posti di lavoro con stipendi redditizi. Il risultato consisterebbe in una rivitalizzazione delle aree marginali boschive, conseguente alla ripopolazione con persone aventi reddito.

A sostegno di quanto appena detto, lo studio (Daniel Grizzard, 2023) indaga sulla fattibilità dell'utilizzo della produzione dello sciroppo d'acero nella regione degli Appalachi (Maryland, Virginia e West Virginia negli USA), come strategia di sviluppo economico, sfruttando le risorse naturali in modo sostenibile. Si è visto nel capitolo precedente che lo sciroppo d'acero viene prodotto a partire dalla linfa d'acero, che può essere considerata a tutti gli effetti una risorsa naturale sfruttabile potenzialmente in maniera sostenibile. I risultati di questo studio indicano che la produzione dello sciroppo d'acero può avere un grande impatto sull'economia di uno stato, con la vendita del semplice sciroppo o in forme alternative che ne aumentano il valore, chiamate anche "prodotti dal valore aggiunto", ad esempio caramelle, zucchero e creme all'acero. Oltre ai vantaggi finanziari, lo sciroppo ha un impatto anche sociale e culturale: consente di massimizzare le risorse della manodopera locale e del terreno durante l'inverno, rafforzando un'identità agraria, attraverso l'impiego di pratiche tradizionali e il rafforzamento dei legami comunitari e familiari. Si possono anche creare degli eventi agrituristici intorno alla produzione dello sciroppo, i quali possono rappresentare un impulso economico per l'intera comunità.

Si deduce quindi, che anche i prodotti derivati dall'abete rosso, possono avere potenzialità di questo tipo: possono rappresentare una strategia per lo sviluppo economico, culturale e sociale delle regioni marginali boschive, in modo da impedirne l'abbandono.

Nello stesso articolo, inoltre, si spiega come la linfa d'acero, ma anche tutti i prodotti derivati dall'abete rosso, rientrano nei "prodotti non legnosi del bosco" (NTFP), cioè tutto ciò che può essere raccolto da una foresta diverso dal legno. Gli NTFP vengono visti come un modo per le persone, nelle comunità rurali, di integrare i redditi e migliorare la propria dieta, generando allo stesso tempo un valore nelle foreste che

potrebbe prevenire la deforestazione. Lo sciroppo d'acero, ad esempio, viene spesso prodotto in terreni boschivi che altrimenti verrebbero utilizzati per la produzione di legname, quindi l'utilizzo del terreno per la produzione di sciroppo è spesso un disincentivo per non tagliare gli alberi. Al contrario di quanto si possa pensare, utilizzare una risorsa naturale come la linfa d'albero, in maniera consapevole e rispettosa dell'albero stesso, è una possibilità per promuovere la biodiversità, proteggere gli habitat naturali e aumentare il sequestro di carbonio.

Nello studio (Chamberlain J, 2019) confermano che gli NTFP sono essenziali per le società rurali, contribuendo alla composizione materiale e immateriale di comunità e culture. Le vendite di tali prodotti apportano importanti contributi a tutte le scale economiche, dalle economie domestiche a quelle nazionali. Nonostante i loro valori sociali, economici ed ecologici, molte di queste specie e risorse sono però minacciate dall'uso eccessivo e dalla mancanza di gestione e integrazione del mercato. Una gestione sostenibile dei prodotti non legnosi è realizzabile, ma sono necessarie molte ricerche per garantire la sostenibilità a lungo termine di queste risorse e dei loro valori culturali, nonché per realizzare il loro potenziale economico. Le conoscenze ecologiche tradizionali e locali sono considerazioni importanti nella gestione sostenibile dei NTFP: alcune comunità indigene hanno sviluppato sistemi basati sulla comprensione della biologia delle piante e sulle reazioni di esse al raccolto. Queste pratiche sono radicate nei valori di rispetto, reciprocità e ringraziamento e sono guidate dall'etica e dalle norme culturali che regolano il raccolto. Esse per esempio includono la rotazione dei siti di raccolta, la regolazione dell'intensità e della frequenza del raccolto, la riduzione al minimo dello stress e dei danni alle piante mediante la raccolta in periodi appropriati dell'anno o in periodi specifici del ciclo di vita della pianta.

Gli autori riflettono anche sul fatto che la raccolta sostenibile di NTFP dipende, in larga parte, dalla parte della pianta o dal componente biologico utilizzato. Le parti riproduttive della pianta sono ampiamente raccolte, il più delle volte come prodotti alimentari, tra queste rientrano frutti, come mirtillo, papaia e cachi; semi, come noci e pinoli; ma anche componenti vegetativi e corpi fruttiferi dei funghi. L'uso di una gamma così ampia di componenti biologici crea delle sfide per una gestione sostenibile. Altri fattori che possono impattare sul raccolto sono le caratteristiche della storia della vita delle piante e la parte della pianta raccolta: come regola generale, le specie che sono caratterizzate da crescita lenta, riproduzione poco frequente o irregolare, germinazione specializzata o meccanismi di dispersione o distribuzioni limitate tendono a essere più suscettibili agli impatti del raccolto; al contrario, la raccolta di foglie, di frutti, di semi o altri componenti riproduttivi, in particolare da specie longeve, ad esempio, alberi, arbusti, erbe perenni, tra cui rientra l'abete rosso, tende ad avere un impatto relativamente scarso sulle popolazioni. Pertanto, le specie che crescono abbastanza rapidamente e hanno alti tassi di riproduzione sessuale o asessuale e i loro meccanismi di dispersione generalisti di solito si riprendono più rapidamente dai disturbi (inclusa la raccolta) e hanno un potenziale maggiore per un uso sostenibile. Tuttavia, va notato che la raccolta eccessiva può avere un impatto negativo su qualsiasi specie, indipendentemente dalla forma di crescita o dai tratti della storia della vita.

Gli studiosi indicano l'agroforestazione come possibile approccio per facilitare la gestione sostenibile dei NTFP. L'agroforestazione, o "la coltivazione di colture sotto una volta forestale che è intenzionalmente modificata o mantenuta per fornire livelli di ombra e habitat che favoriscono la crescita e livelli di produzione migliorati", può supportare una gestione sostenibile riducendo le pressioni della raccolta selvatica e aumentando la disponibilità del prodotto attraverso la coltivazione. L'agroforestazione

gestisce le colture forestali del sottobosco in una foresta consolidata o in via di sviluppo, mirando quindi ad aumentare le rese delle colture incorporando metodi di produttività agricola sotto una volta forestale.

Nel'articolo si introduce anche il concetto di gestione delle foreste e nello specifico si spiega come le foreste degli Stati Uniti sono gestite per molteplici obiettivi, tra cui legname, fauna selvatica, acqua e attività ricreative, ma i prodotti non legnosi sono raramente inclusi come obiettivo di gestione specifico. L'integrazione dei NTFP nella gestione forestale migliorerebbe la sostenibilità di questi prodotti. Le tecniche selvicolturali sviluppate per il legname possono essere incorporate per migliorare la gestione dei prodotti non legnosi. Sebbene ciò possa aumentare la complessità della gestione, può migliorare l'utilità, la salute e la resilienza delle foreste. Le conoscenze necessarie per una gestione sostenibile dei prodotti forestali non legnosi sono simili a quelle del legname, sebbene molto meno sviluppate. Le informazioni di base necessarie per i NTFP sono stime di ciò che entra nella risorsa (ad esempio, riproduzione e crescita) e approssimazioni di ciò che esce dalla risorsa (ad esempio, raccolto e mortalità). In altre parole, la crescita della popolazione deve superare il drenaggio della popolazione. Per la sostenibilità a lungo termine, gli input devono essere uguali o superiori agli output, a meno che non vengano utilizzate altre strategie di bonifica o rigenerazione, come la piantumazione di potenziamento. Un inventario iniziale di stock raccogliibile fornisce informazioni di base relative al prodotto di interesse e stabilisce le basi per la gestione del raccolto. Una stima della riproduzione e/o di nuove coorti consente una proiezione dei cambiamenti della popolazione e la determinazione della distribuzione della classe di età della popolazione. La crescita incrementale annuale media del prodotto fornisce informazioni su quanta biomassa viene prodotta ogni anno. Con queste informazioni, possiamo stimare un inventario iniziale, descrivere la distribuzione della popolazione e stimare i cambiamenti annuali nella biomassa del prodotto. Gli output necessari per una gestione sostenibile sono la quantità di raccolto e il declino incrementale della biomassa. La biomassa media che viene raccolta ogni anno deve essere nota per la popolazione di interesse. È inoltre necessaria la conoscenza della biomassa media che viene persa per mortalità o associata alla crescita o al declino naturale (ad esempio, la desquamazione della massa radicale) ogni anno. Le informazioni di output possono quindi essere confrontate con gli input per determinare se la risorsa è gestita in modo sostenibile. Questa equazione per la gestione sostenibile dei prodotti forestali non legnosi, sebbene semplicistica, è difficile o impossibile da implementare (al momento), perché tutti gli elementi del processo non sono stati documentati. Inoltre, è necessario un tempo adeguato affinché le popolazioni si riprendano dai disturbi e dai raccolti. La conoscenza scientifica necessaria per una gestione forestale sostenibile dei NTFP è carente e questo vuoto può essere colmato integrando conoscenze ecologiche tradizionali e locali, a cui si faceva riferimento ad inizio paragrafo, nella ricerca, nello sviluppo e nella gestione. Possiamo concludere, quindi, che non ci sono abbastanza studi per una gestione forestale sostenibile dei NTFP, ma ci sono i presupposti perché un giorno essa sia realizzabile, tanto quanto quella del legname.

CAPITOLO 3

Abete rosso, *Picea abies*

L'abete rosso europeo (*Picea abies*) appartiene alla famiglia dei pini (*Pinaceae*), la famiglia di conifere più numerosa, con più di 200 specie. Il suo habitat sono le montagne europee delle regioni centrali e settentrionali, dove cresce spontaneamente: è diffusa dal Sud della Scandinavia alle parti meridionali delle Alpi, dei Balcani e dei Carpazi, dove prospera ad altitudini comprese tra 600 e 2.000 m sul livello del mare. A causa dell'intervento antropico sull'ambiente, è difficile determinarne la distribuzione naturale. Grazie alla sua flessibilità, è una delle specie arboree più numerose del nostro Paese. In Europa, ma non solo, questa pianta è diffusa anche a quote inferiori a causa dell'insediamento artificiale.

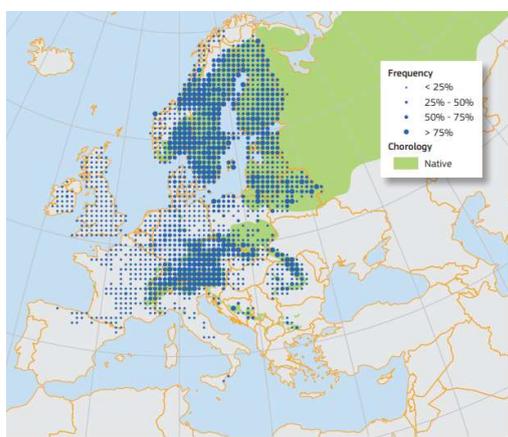


Fig. 3.1 - Diffusione geografica di *Picea abies* nel continente europeo (Caudullo, 2016).



Fig. 3.2 – Foresta di *Picea abies* presso il lago Di Carezza, nelle Dolomiti Occidentali (Caudullo 2016).

L'abete rosso ha una forma piramidale e un fusto alto, lungo fino a 50 m. Le foglie aciculari, verde scuro e cerose, hanno 4 bordi, una sezione romboidale e una punta affilata e appuntita. I coni femminili sono romboidi, marroni, allungati e pedanti. I semi sono alati e attaccati sulla faccia superiore delle squame del cono femminile (Sandulovici RC, 2024).

L'abete rosso è una pianta monoica, ciò significa che sulla stessa pianta sono presenti sia i fiori maschili che femminili. I fiori maschili si trovano sui germogli dell'ultima stagione, sono di colore giallo-marrone o giallo-rosso nella parte centrale e superiore delle corone e raggiungono una lunghezza di circa 3 cm. I fiori femminili sono riuniti in infiorescenze e sono di colore rosso vivo. Inizialmente assumono una conformazione diritta, mentre, in seguito, crescendo diventano dei coni cilindrici pendenti lunghi 2-4 cm. A differenza dei fiori maschili, che sono distribuiti sull'intera chioma, i fiori femminili si trovano solo nella parte superiore (Jeran, 2022).

3.1 Usi tradizionali dei prodotti non legnosi dell'abete rosso

L'abete rosso viene tradizionalmente sfruttato nelle sue diverse parti per numerosi scopi. E' una pianta versatile: il suo legno è chiaro, relativamente leggero e morbido; viene utilizzato principalmente nell'edilizia, nell'industria del mobile e della carta e nell'industria manifatturiera di strumenti musicali.

Questa particolare specie di conifera è frequentemente utilizzata nella ricerca ambientale per la sua eccezionale capacità di accumulare inquinanti per lunghi periodi di tempo: assorbe varie sostanze, tra cui zolfo e metalli pesanti, dalle emissioni atmosferiche. Risulta quindi particolarmente adatta per studi di monitoraggio grazie alla sua ampia distribuzione, all'adattamento a diversi habitat e alla crescita annuale degli aghi, che consente la valutazione delle concentrazioni di elementi chimici in diverse fasce di età.

Molti preparati a base di legno di abete rosso vengono utilizzati per scopi medicinali. Gli oli essenziali degli aghi e la resina in essi contenuta sono particolarmente utili nella preparazione di tisane, bagni e bevande vitaminiche. I principi attivi contenuti in esso facilitano l'espettorazione del muco nei raffreddori, uccidono i batteri e alleviano i reumatismi. L'unguento a base di resina di abete rosso è efficace contro i congelamenti e i dolori reumatici. Secondo la tradizione popolare, tra le preparazioni medicinali, la più famosa è lo sciroppo di abete rosso, preparato da generazioni per alleviare raffreddore e influenza in inverno. In primavera si raccolgono le gemme, lunghe 2,5 cm, momento in cui contengono la maggior parte dei principi attivi, si mettono in un barattolo di vetro, che viene successivamente riempito a strati con zucchero o miele. Quindi, si mette il barattolo in luogo caldo (ad esempio, su un davanzale soleggiato) per circa tre settimane. Trascorso il tempo necessario, si mescola bene il contenuto e lo si filtra (Jeran, 2022).

Interessante riportare, inoltre, che la gomma di abete rosso è stata la prima gomma da masticare in commercio al mondo, da quando John Curtis, originario del Maine(USA), iniziò a commercializzarla nel 1848. E' diventata così popolare tanto che prima della fine del 1800 venivano raccolte più di 300.000 libbre di gomma all'anno. La bontà di tale prodotto può essere percepita in questa citazione:

“Now, the first thing you want to understand if you put spruce gum into your mouth, don't bite it immediately. Just take and put it in, leave it in your mouth, and just barely, I'll say take it between your teeth, and just start rolling it. And eventually, it will become the nicest piece of gum that you've ever chewed on.” Tim Scott

Veniva preparata a partire da pezzi grezzi di resina, i quali venivano riscaldati e, una volta liquidi, filtrati in modo da rimuovere le impurità come aghi, corteccia e ramoscelli. Una volta indurita, la gomma da masticare può essere arrotolata nell'amido di mais in modo da evitare che i pezzi si attacchino fra loro. A volte viene mescolata anche con la gomma Chicle (gomma da masticare ottenuta dalla pianta Manilkara chicle, pianta tropicale originaria del Centro America) al fine di ottenere una masticazione più morbida. Per una raccolta sostenibile, poiché la resina d'abete fuoriesce quando un albero viene ferito, agendo come una benda naturale per aiutare l'albero a guarire, si consiglia di raccogliere solo resina indurita e di non ferire appositamente l'albero per fargli produrre tale sostanza. La resina fusa veniva tradizionalmente mescolata con grasso per sigillare le cuciture sulle canoe, rendendole stagne (Baumflek, 2010).

Una altra parte non legnosa dell'abete rosso molto utilizzata è costituita dalle gemme, estremità del germoglio non ancora completamente sviluppate. Abbiamo già visto come possano essere sfruttate per produrre lo sciroppo di abete rosso. Vengono utilizzate per produrre marmellate, creando prima un infuso, facendo bollire le gemme in acqua, e poi cuocendo il composto filtrato insieme a zucchero, succo di limone e addensante per marmellate. Inoltre sono diffuse Grappe o Acqueviti, prodotte da marchi di distillati prestigiosi, aromatizzate con gemme di abete rosso: una volta ottenuto il distillato, gli si

aggiungono le gemme e queste, rimanendo in infusione, rilasciano il loro tipico aroma. Sempre per quanto riguarda i liquori, il legno d'abete rosso può essere sfruttato anche per produrre le *Barrique*, piccole botti entro cui vengono fatti affinare gli alcolici. Più



famosa invece è la “*Spruce Beer*” (birra di abete rosso), la cui prima testimonianza scritta risale all’Inghilterra del 1500. La birra di abete rosso viene prodotta ancora oggi aggiungendo al mosto, prima della fermentazione, un infuso di gemme di abete, le quali conferiscono un gusto ricco e dolce alla bevanda (Cornell, 2016).

Fig. 3.3 – Gemme di *Picea abies* (Caudullo, 2016).

PARTE DELLA PIANTA UTILIZZATA	PRODOTTO FINALE
Legno	Materia prima per edilizia, industria del mobile, della carta e per l'industria manifatturiera di strumenti musicali.
Aghi e resina	Oli essenziali per la preparazione di tisane, bagni e bevande vitaminiche.
Resina	Unguento a base di resina efficace contro i congelamenti e dolori reumatici.
Gemme	Gomma da masticare
	Sciroppo di abete rosso
	Marmellate
	Grappe aromatizzate
	<i>Spruce beer</i>

Tab. 3.1 – Parti della pianta di *Picea abies* utilizzate tradizionalmente e i prodotti che ne derivano.

3.2 Composti biologicamente attivi dell'abete rosso

Le piante hanno l'incredibile capacità, durante tutto il loro ciclo di sviluppo, di sintetizzare principi attivi, composti su cui si basano i farmaci e le terapie odierne. Sono anche in grado di sintetizzare composti che li proteggono dalle influenze esterne (nemici) e li rilasciano nelle singole parti vegetative per attivarle. Molte di queste piante si trovano sul suolo europeo, compreso l'abete rosso europeo (*Picea abies*).

Secondo lo studio (Jeran, 2022) la corteccia delle conifere contiene grandi quantità di composti lipofili. Le sostanze più abbondanti che si possono estrarre dalla corteccia dell'abete rosso sono acidi grassi, steroli, terpeni, triterpeni, fenoli, acidi resinosi, flavonoidi, stilbeni, lignina e olocellulosa. In particolare, tra tutti questi composti, gli stilbeni hanno proprietà antiossidanti, mentre il β -sitosterolo e il metil deidroabietato hanno sia proprietà antibatteriche e che antiossidanti.

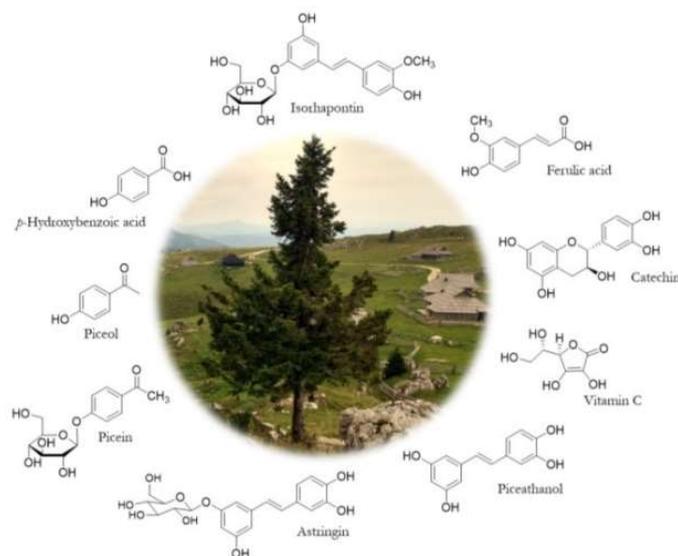


Fig. 3.4 – Composti biologicamente attivi nell’abete rosso (Jeran, 2022).

I tannini, tra i composti fenolici, contenuti nella corteccia, vengono sfruttati nell’industria farmaceutica, cosmetica e nel trattamento delle acque reflue. La corteccia di abete rosso è potenzialmente utile come materia prima per la produzione di etanolo da lignocellulose. Gli aghi contengono mono- e sesquiterpeni, acidi grassi, composti fenolici, stilbeni glucosidici, cere e carboidrati,

nonché alcoli a lunga catena con proprietà superidrofobiche (Jeran, 2022).

Extractives group	Compound	Soxhlet		scCO ₂	
		C, g kg ⁻¹	P,%	C, g kg ⁻¹	P,%
Needles					
Terpenes and diterpenoids	Borneol, acetate, (1S,2R,4S)-(-)	nd	–	1.7 ± 0.0	58.3
	13-Epimanool	3.3 ± 0.1	51.2	3.5 ± 0.1	74.3
	Phytol	3.6 ± 0.2	42.0	2.5 ± 0.1	81.4
Fatty acids	Tetradecanoic acid	–	–	0.2 ± 0.0	83.4
	n-Hexadecanoic acid	nd	–	1.2 ± 0.2	75.5
	Hexadecanoic acid	0.1 ± 0.0	71.7	0.1 ± 0.1	97.3
Resin derivatives	Dehydroabietal	nd	–	0.1 ± 0.0	84.1
	4-Dehydroepiabietyl	nd	–	0.1 ± 0.0	86.0
	Methyl dehydroabietate	nd	–	0.2 ± 0.1	82.2
	Dehydroabietic acid	0.9 ± 0.2	78.4	0.2 ± 0.1	89.4
Sterols	β-Sitosterol	3.6 ± 0.1	75.0	nd	–
	9,19-Cyclolanostan-3-ol, 24-methylene-, (3β)-	2.4 ± 0.3	56.5	nd	–
Long-chain alcohols	Nonacosan-10-ol*	5.0 ± 0.1	*	10.6 ± 0.3	*
Aromatic compounds	Atracic acid	nd	–	0.1 ± 0.0	97.1
	α-Tocopherol (Vitamin E)	0.5 ± 0.4	51.5	1.9 ± 0.5	36.4
Bark					
Terpenes and diterpenoids	α-Cadinol	0.9 ± 0.0	52.1	0.4 ± 0.0	41.9
	Thunbergen	0.5 ± 0.0	47.2	nd	–
	Manoyl oxide	1.2 ± 0.0	79.6	0.9 ± 0.0	80.2
	Thunbergol	4.8 ± 0.2	33.9	1.0 ± 0.1	49.8
	13-Epimanool	0.5 ± 0.4	39.3	0.1 ± 0.0	48.1
	7-Acetyl-2-hydroxy-2-methyl-5-isopropylbicyclo[4.3.0]nonane	0.4 ± 0.0	66.1	0.1 ± 0.0	45.1
	Norambreinolide	0.3 ± 0.0	41.0	0.4 ± 0.0	64.8
Resin derivatives	Dehydroabietal	0.6 ± 0.0	77.4	0.5 ± 0.0	66.8
	Methyl dehydroabietate	1.8 ± 0.1	90.6	1.0 ± 0.0	92.3
	4-Dehydroepiabietyl	0.6 ± 0.0	86.6	0.4 ± 0.0	80.5
	15-Hydroxydehydroabietic acid, methyl ester	1.1 ± 0.1	62.7	0.6 ± 0.0	85.8
	7-Oxodehydroabietic acid, methyl ester	0.3 ± 0.1	52.8	0.2 ± 0.0	72.2

Fig. 3.5 – Principali composti estratti dagli aghi e dalla corteccia di *Picea abies* tramite il metodo Soxhlet e CO₂ supercritica (Natalia Bukhanko, 2020).

Come ormai è ben noto, i polifenoli sono composti dotati di uno o più gruppi idrossilici legati all’anello benzenico, che conferisce loro la capacità di catturare i radicali liberi, inoltre gli dona un carattere acido più forte rispetto ad altri gruppi alcolici. Questa reattività chimica è responsabile del carattere antiossidante dei polifenoli. E’ stata dimostrata la correlazione tra elevato contenuto di sostanze polifenoliche e forte attività antiossidante. La corteccia delle piante è spesso considerata un rifiuto forestale, ma potrebbe essere un’importante fonte di composti bioattivi con un elevato potenziale di capitalizzazione. Il gran numero di pubblicazioni riguardanti l’analisi dei composti fenolici estratti dalla corteccia delle piante conferma la loro importanza e il loro valore, di conseguenza, composti biologicamente attivi ottenuti dalla corteccia di piante legnose potrebbe essere sfruttato su scala industriale.

Nell'articolo (Jeran, 2022) si approfondisce il fatto che l'abete rosso contiene il limonene, che insieme all' α e al β -pinene costituisce il gruppo principale dei monoterpeni naturali. Il limonene è un composto utile e ricercato in diversi ambiti per le sue proprietà. Oltre al suo utilizzo in fragranze, aromi e additivi per bevande, viene utilizzato anche nell'industria come solvente e detergente. Grazie al suo potenziale ecologico e all'ampio spettro di attività biologica, è classificato come un principio attivo estremamente promettente.

Il limonene è un idrocarburo liquido e incolore che prende il suo nome dal limone. È solitamente presente nelle bucce del limone e di altri agrumi in quantità considerevoli e dona loro un odore caratteristico. Il limonene è un composto otticamente attivo e si presenta in due forme enantiomeriche: le forme R e S. Tali forme differiscono per origine, odore e sapore: gli enantiomeri hanno le stesse proprietà chimiche e fisiche, ma differiscono nel senso di rotazione del piano della luce polarizzata e ciò interferisce sulla loro attività biologica; per esempio enantiomeri diversi interagiscono in modo differente con lo stesso enzima, il che spiega perché hanno sapore e odore diversi e agiscono in modo diverso come farmaci.

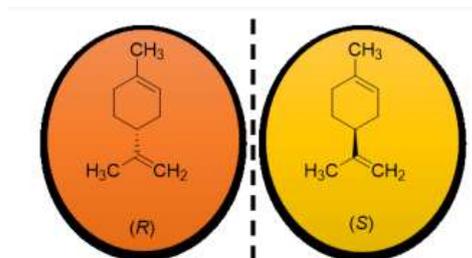


Fig. 3.6 - Il limonene è un terpene monociclico, denominato 1-metil-4-(1-metiletenil)cicloesene secondo la nomenclatura IUPAC. La figura mostra la struttura delle due forme enantiomeriche (Jeran, 2022).

Fig. 3.7 – Proprietà fisiche del limonene (Jeran, 2022).

Molecular formula	C ₁₀ H ₁₆
Molecular weight	136.24
State at room temperature	Colorless liquid
Melting point	-73.3 °C
Density	0.755-0.776 g/cm ³
Solubility	Slightly soluble in water at 25 °C: 13.8 mg/L. Moderately soluble in acetone, dimethyl sulfoxide, ethanol, benzene, carbon tetrachloride, diethyl ether, petroleum ether
Storage	Away from light and air. It forms various oxidation products with atmospheric oxygen, such as ascarvone, limonene oxide, carveol and limonene hydroperoxides

Il limonene, liquido a temperatura ambiente, nel corso dello sviluppo del suo utilizzo, ha dimostrato di essere un solvente versatile. La sua natura non polare lo porta ad avere un'affinità per i grassi: per questo motivo da oltre trent'anni viene utilizzato come detergente industriale. Sfruttare il limonene come solvente comporta diversi vantaggi: può facilmente sostituire solventi tossici come il metiletilchetone (MEK), lo xilene (dimetilbenzene) e gli idrofluorocarburi (CFC); è biodegradabile, può essere scisso in anidride carbonica e acqua in tempi relativamente brevi; può essere isolato a partire da fonti rinnovabili. Si ottiene principalmente come sottoprodotto della lavorazione della buccia degli agrumi, ma data la sua abbondanza nella corteccia d'abete rosso, si potrebbe pensare di estrarlo anche da questa fonte alternativa. Il limonene così isolato è adatto sia per uso alimentare che per scopi tecnici. Il limonene è utilizzato come aromatizzante in molti prodotti, ad esempio profumi, bevande, detersivi e saponi. Viene anche sfruttato come materiale di partenza per la produzione di vari prodotti naturali, come il p-cimene. Il composto p-cimene è usato come farmaco per prevenire la tosse e per sciogliere il catarro ed è presente anche come reagente nella sintesi di pesticidi e

fungicidi. La *Food and Drug Administration* classifica il p-cimene nella categoria “GRAS”, generalmente riconosciuta come sicura.

L'uso diffuso del limonene ha stimolato la ricerca sulle sue potenziali proprietà antitumorali e antimicrobiche. È anche noto come insetticida naturale, utilizzato per controllare i parassiti e prevenire il deterioramento dei prodotti immagazzinati. Il vantaggio del limonene rispetto ai pesticidi sintetici, come già descritto in precedenza, è la sua biodegradabilità, motivo per cui è considerato "green" o rispettoso dell'ambiente. Le sue proprietà farmacologiche di bassa tossicità e allergenicità aprono nuove possibilità di utilizzo in vari prodotti medicinali e cosmetici. Anche le sue proprietà chemiopreventive sono state studiate in vari tipi di cancro. Il consumo di limonene nei roditori è stato dimostrato di inibire lo sviluppo del cancro della pelle e del polmone, nonché del cancro allo stomaco.

Al giorno d'oggi, uno dei problemi maggiori, in diversi settori, consiste nella resistenza che i microrganismi oppongono a vari agenti antimicrobici. Uno dei loro meccanismi di resistenza consiste nella formazione di biofilm. Gli agenti che inibiscono la produzione di biofilm (compreso il limonene) sono quindi sotto intensa ricerca come possibili terapie alternative. Il limonene è stato dimostrato essere un efficace inibitore di biofilm di *B. cereus*, *E. coli*, *P. putida* e *P. anomala* (Gupta A, 2021).

I virus, come sappiamo, causano molte malattie potenzialmente letali. Sebbene in passato siano stati sviluppati molti farmaci efficaci contro i virus, essi presentano numerosi effetti collaterali. Perciò, gli agenti antivirali sono ancora in fase di sviluppo e miglioramento. Studi recenti sul limonene suggeriscono che potrebbe anche essere di interesse per la recente pandemia: oltre al virus dell'influenza e a molti altri virus, il limonene è stato identificato come inibitore del *SARS-CoV-2* virus. Questo virus si lega specificamente alla proteina S, un enzima che converte l'angiotensina 2 (ACE2). L'enzima ACE2 si trova sulle membrane cellulari e funge da porta d'ingresso per il virus nella cellula ospite. In uno studio si è riscontrato che il limonene potrebbe legarsi all'ACE2 e potenzialmente impedire al virus di entrare nelle cellule (Koren J, 2021).

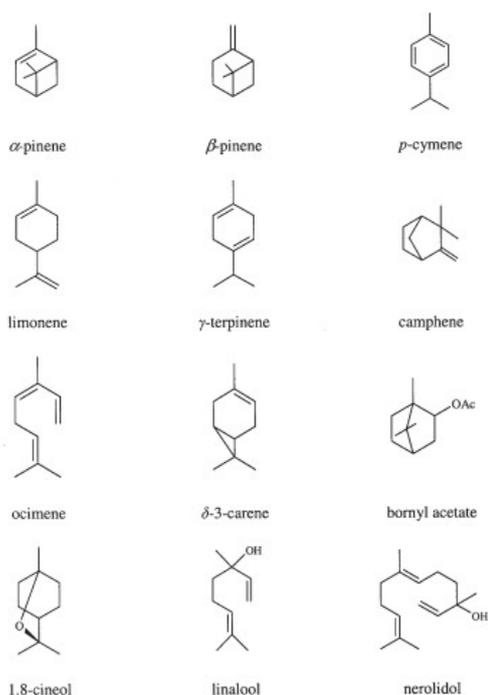


Fig. 3.8 - Principali composti antimicrobici estraibili da *Picea abies* (Radulescu, 2011).

Un altro studio (Sandulovici RC, 2024) ribadisce quanto appena affermato. In particolare esso mira a studiare le gemme vegetative di *Picea abies*, che si trova naturalmente in una regione centrale della Romania, attraverso un'analisi completa della composizione chimica per identificare i composti bioattivi responsabili delle proprietà farmacologiche. Nel complesso, i risultati confermano il potenziale farmacologico delle gemme vegetative di abete rosso come fonte di composti bioattivi con proprietà antiossidanti, antimicrobiche e potenzialmente altre proprietà terapeutiche, come antinfiammatorie, protettive e antitumorali. Nella figura 3.8 sono riportati i principali composti antimicrobici estraibili da *Picea abies*. Questi risultati supportano l'uso tradizionale dell'abete rosso nella medicina popolare e ne evidenziano il potenziale per un'ulteriore esplorazione nelle moderne applicazioni farmaceutiche e sanitarie.

Si può concludere quindi che l'abete rosso rappresenta una fonte "green" di vari composti organici naturali, con uno straordinario potenziale per diverse applicazioni future. Diventa quindi interessante studiare come tali composti possano essere estratti nella maniera più efficiente ed ecosostenibile possibile.

CAPITOLO 4

Metodi per l'estrazione di composti dall'abete rosso

L'obiettivo ora consiste nel raccogliere informazioni riguardanti le tecnologie impiegate per ottenere e isolare composti a partire da materiali a base di abete rosso, approfondendo sia i metodi convenzionali e che non convenzionali, indagati in letteratura.

Si è già visto come l'abete rosso sia una specie dal legno tenero, ampiamente utilizzata nell'industria del legname e una delle specie di conifere più abbondanti nelle foreste boreali eurasiatiche. Ogni anno, un considerevole quantità (6-8 milioni di tonnellate) di biomassa di questa specie viene generata come sottoprodotto nelle opere di gestione delle foreste e di prima lavorazione del legno. I residui della biomassa vengono solitamente scartati o utilizzati per la produzione di biocarburanti o per l'alimentazione animale. In Europa si producono complessivamente circa 12 milioni di mq di biocarburante dai sottoprodotti delle fabbriche, dove i tronchi vengono scortecciati. Uno sfruttamento efficiente di questo materiale legnoso potrebbe creare nuove applicazioni e un'ampia gamma di prodotti ad alto valore aggiunto. Nell'ultimo decennio, diversi gruppi di ricerca hanno compiuto grandi sforzi per trovare il miglior approccio ad una possibile valorizzazione dei materiali a base di abete rosso. Sono stati pubblicati numerosi studi sui vari composti chimici (polifenoli, terpeni, polisaccaridi, acidi grassi) estratti dall'abete rosso utilizzando diverse tecniche di estrazione (Nastić, 2020).

4.1 Tecniche di estrazione per l'isolamento di composti da materiale a base di legno

In generale, la qualità degli estratti vegetali dipende dal pretrattamento del campione, dal tipo di solventi utilizzati con polarità variabile, tempo e temperatura di estrazione, rapporto campione-solvente, nonché dalla composizione chimica e dalle caratteristiche fisiche del campione vegetale. Le grandi variazioni nella composizione degli estratti, che possono presentarsi, dipendono dalla specie, dall'età, dalle condizioni climatiche, dal tempo di raccolta e salute degli alberi. Le parti che si possono recuperare della pianta sono pigne, rami, aghi, radici, cortecce, durame e floemi. Ovviamente, trovare il metodo di estrazione ottimale e conoscere l'effetto dei parametri di estrazione sulle rese dei componenti porta all'acquisizione di estratti con il più alto contenuto di composti attivi e il più basso contenuto di sostanze interferenti (Nastić, 2020).

Le tecniche di estrazione convenzionali per l'isolamento di composti da materiale a base di legno sono: Estrazione Solido-Liquido (SLE), Idrodistillazione (HD), Distillazione a Vapore (SD), Estrazione per Distillazione simultanea (SDE), Soxhlet. Queste tecnologie presentano grandi limiti come l'enorme consumo di tempo e di energia e costi elevati. Sono state ormai superati da tecniche all'avanguardia, non convenzionali: Estrazione ad Acqua Calda (HWE), Estrazione con Fluido Supercritico (SFE), Estrazione con Liquido Pressurizzato (PLE), Estrazione ad Acqua Subcritica (SWE), Estrazione Assistita da Microonde (MAE), Estrazione Assistita da Ultrasuoni (UAE), Estrazioni con Solventi Eutettici Profondi (DES) e Liquidi Ionici Commutabili (SIL). Altre tecniche emergenti consistono in trattamenti elettrici come Campi Elettrici Pulsati (PEF) e Scariche Elettriche ad Alta Tensione (HVED) (Nastić, 2020).

Oggi giorno, c'è una grande attenzione rivolta alle tecnologie di estrazione “green” in grado di ridurre o eliminare l'uso di sostanze pericolose e limitare i costi di smaltimento dei solventi esausti. Tra queste, una posizione di rilievo può essere occupata dall'estrazione con fluido supercritico (SFE), dall'estrazione con liquido pressurizzato (PLE) e dall'estrazione assistita da ultrasuoni (UAE), tutte considerate tecniche sostenibili. L'SFE è considerata un metodo veloce, efficiente e pulito. L'anidride carbonica è il gas più comunemente utilizzato come fluido supercritico a causa della sua temperatura critica e pressione moderate (rispettivamente 31,3 °C e 72,9 atm). Sono state effettuate applicazioni per l'estrazione di oli essenziali, tocotrienoli, alcaloidi, composti fenolici, carotenoidi e tocoferoli da diverse matrici alimentari. PLE è una tecnica che utilizza solventi liquidi a pressione e temperatura elevate per migliorare le prestazioni di estrazione. Il sistema PLE fornisce protezione ai composti sensibili all'ossigeno e alla luce e migliora la resa di estrazione, riducendo così anche il tempo e il consumo di solventi. UAE è un altro metodo di estrazione efficiente, con elevata riproducibilità, che richiede bassa energia e un consumo minimo di solventi (Spinelli et al., 2019).

Raw material	Compound	Extraction technique	Reference
wood residues	phenolic acids, flavonoids, lignans, stilbene glycosides	SFE	[11]
cones, branches, needles and bark	fatty acids, terpenes, stilbenes, sterols, long chain alcohols	SFE, Soxhlet	[15]
bark, phloem	stilbene glycosides	UAE	[16]
phloem	stilbenes, terpenes	UAE	[17]
root bark	stilbenes	PLE	[18]
bark	resin acids, fatty acids, terpenes, stilbenes	Soxhlet	[9]
bark	fatty acids, alcohols, waxes, terpenes, resin acids	SFE, PLE	[19]
bark	stilbenes, tannins, lignin	SLE	[20]
bark	stilbene glycosides	SLE	[21]
bark	stilbene glycosides	PLE, SLE, SFE	[22]
bark	stilbene glycoside dimers	SLE	[23]
bark	trans-resveratrol	UAE, PLE, SFE	[24]
bark	polyphenols	DESS	[25]
bark	polyphenols	MAE, PLE, DESS	[26]
bark	polyphenols	HWE, UAE	[27]
bark	polyphenols	SFE, UAE	[28]
bark	polyphenols	UAE	[30]
bark	polyphenols	PEF	[31]
bark	polyphenols, fatty acids, aliphatic hydrocarbons, terpenes, sterols, steroids	Soxhlet, PLE	[32]
bark	tannins, non-cellulosic polysaccharides	HWE	[33]
bark	non-cellulosic polysaccharides	PLE	[34]
bark	stilbene glycosides, tannins, lignin, non-cellulosic polysaccharides	PLE	[35]
bark	suberin, Klason and acid soluble lignin, holocellulose, monosaccharides	SLE	[13]
sapwood, heartwood	cellulose, hemicelluloses, lignin, pectins, lipophilic extractives	Soxhlet, UAE	[36]
sapwood	hemicelluloses	HWE	[37]
sapwood	hemicelluloses	SWE	[38]
sapwood	hemicelluloses	PLE	[39]
wood	hemicelluloses	MAE	[40]
wood	hemicelluloses	SWE	[41]
wood	hemicelluloses	HWE	[42]
wood	hemicelluloses	SWE	[43]
wood	hemicelluloses	PLE	[44]
wood	hemicelluloses	SILs	[45]
wood	hemicellulosic oligosaccharides	MAE	[46]
wood	terpenes	SFE, SLE, SD	[47]
sawdust	hemicelluloses	HVED	[48]
sawdust	hemicelluloses	MAE	[49]
saw meal	hemicelluloses	SWE	[50]
needle	wax	SFE	[51]
needle	terpenes	SDE, SFE	[52]
needles	essential oil	MAE, HD	[53]
stemwood, knot	lignans, resin acids, fatty acids, sterols, diterpenyl alcohols	PLE	[54]
shoots	terpenes	HD	[55]

Nella figura 4.1 vengono riportati i composti estraibili da ciascuna parte non legnosa di *Picea abies* e il tipo di tecnica utilizzata.

Fig.4.1 - Studi sui composti chimici estratti da *P. abies* con le corrispondenti diverse tecniche di estrazione (Nastić, 2020).

4.1.1 Estrazione Solido-Liquido (SLE)

L'estrazione è una operazione unitaria utilizzata al fine di separare alcune sostanze presenti in una matrice alimentare, se quest'ultima è solida e viene utilizzato un liquido come solvente, si parla di estrazione solido-liquido. Il processo prevede che il solvente a contatto con la materia solida determini il passaggio di alcuni soluti dalla materia solida alla fase liquida. Le prime parti dell'alimento che subiscono l'estrazione sono gli strati più superficiali, gli strati sottostanti entreranno a contatto solo in un secondo momento con il solvente, quando questo riuscirà a penetrarvi. All'inizio gli strati di liquido più vicini alla matrice avranno una più alta concentrazione di soluti, mentre i più lontani saranno formati per lo più ancora solo di solvente. Questa differenza di concentrazione innesca un fenomeno di migrazione del soluto dalle parti più concentrate a quelle meno concentrate: tale fenomeno è detto diffusivo e si esaurisce quando la miscela raggiunge una concentrazione di soluto omogenea in ogni suo punto (Friso, 2018).

4.1.2 Estrazione con Fluido Supercritico (SFE)

I fluidi supercritici nell'estrazione liquido-solido costituiscono il solvente. Un fluido supercritico particolarmente diffuso è l'anidride carbonica. Questa ultima presenta il massimo potere di solvente tra i 40-60°C e 100-350 bar, condizioni in cui il solvente presenta una densità analoga a quella di un liquido, ma viscosità e coefficiente di diffusione di un gas.

Gli estrattori che utilizzano fluidi supercritici sono costituiti da un sistema inscindibile formato da estrattore e separatore: la sostanza solida viene posta nell'estrattore; si immette il fluido supercritico dal fondo dell'estrattore; il fluido estrae una prima parte di soluto e procede verso una valvola riduttrice di pressione per entrare nel separatore; nel separatore l'anidride carbonica ha assunto una pressione inferiore a quella iniziale, il soluto risulterà molto meno solubile in essa; il soluto si raccoglie sul fondo del separatore; l'anidride carbonica scarica esce dal separatore ed entra in un compressore meccanico, il quale la riporta alle condizioni iniziali di pressione, per poterla rinviare all'estrattore ed avviare un nuovo ciclo (Friso, 2018).

4.1.3 Estrazione Assistita da Ultrasuoni (UAE)

L'estrazione assistita da ultrasuoni (UAE) è comunemente utilizzata in quanto non richiede attrezzature complesse ed è semplice da utilizzare, risolvendo in modo efficiente i problemi dei metodi classici, ma rispetto ad altri metodi moderni questo è quello che richiede più tempo e solvente. Questo metodo si basa sul processo di cavitazione causato dagli ultrasuoni che passano attraverso il solvente. Il processo porta alla formazione di bolle di cavitazione vicino alla superficie della matrice vegetale. Quando queste bolle collassano danneggiano la struttura delle pareti cellulari, aumentando la superficie di contatto della matrice e del solvente aumentando la permeabilità della parete cellulare, migliorando così il processo di diffusione e la resa di estrazione (Nisca A, 2021).

4.1.4 Estrazione Assistita da Microonde (MAE)

L'estrazione assistita da microonde (MAE) d'altra parte utilizza l'energia della radiazione a microonde per riscaldare l'intero volume del campione (solvente e matrice) in una volta. Il rapido aumento della temperatura interna nella matrice vegetale porta a un aumento della pressione intracellulare che danneggia le pareti cellulari, rilasciando il

contenuto cellulare interno, mentre l'aumento della temperatura del solvente accelera il processo di diffusione. Questo metodo ha un'elevata efficienza di estrazione e tempo e necessita di basse quantità di solvente, ma può essere utilizzato solo per l'estrazione di composti polari a basso peso molecolare che sono stabili ad alte temperature (Nisca A, 2021).

4.2 Confronto fra le tecniche di estrazione di composti antiossidanti dalla corteccia di abete rosso

A questo punto si metteranno a confronto alcune delle tecniche citate sopra, per capire quale sia la migliore nell'estrazione di composti antiossidanti dalla corteccia di abete rosso. Si prenderanno in considerazione in particolare tre studi, tutti e tre riguardanti l'estrazione di composti antiossidanti.

Nello primo studio (Spinelli S, 2019) sono stati confrontati gli estratti di corteccia di abete rosso norvegese ottenuti tramite SFE, PLE e UAE, definite tecniche di estrazione ecocompatibili. In particolare, sono stati misurati la resa totale dell'estratto (TEY), il contenuto fenolico totale (TPC), il contenuto totale di flavonoidi (TFC) e la capacità antiossidante per confrontare l'efficacia di ciascuna tecnica. È stata inoltre eseguita l'identificazione cromatografica del trans-resveratrolo per gli estratti con il più alto contenuto di polifenoli.

I migliori risultati, rappresentati nella figura 4.2, in termini di composti fenolici totali e capacità antiossidante, misurati mediante saggi FRAP (*Ferric Reducing-Antioxidant Power*, metodo colorimetrico per valutare la capacità antiossidante dei composti), sono stati ottenuti per l'estratto UAE. L'estratto PLE, ottenuto con etanolo assoluto, mostra il più alto contenuto di flavonoidi totali e la migliore capacità antiossidante misurata mediante saggi ABTS (nome IUPAC, acido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-solfonico).

	GIOCO	TPC	TFC	ABTS	FRAP
	mg/g peso secco	mg GAE/g peso secco	mg QE/g peso secco	mg TE/g peso secco	$\mu\text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ / g peso secco
PLE_H ₂ O	130,7 ± 8,62 un	33,45 ± 1,44 un	19,03 ± 0,98 un	69,87 ± 1,46 gradi Celsius	389,10 ± 16,87 miliardi
PLE_EtOH	127,9 ± 2,52 a	46,32 ± 2,17 miliardi	21,14 ± 1,42 un	257,11 ± 13,31 a	506,10 ± 31,37 a
Emirati Arabi Uniti_EtOH	123,3 ± 5,77 a	54,97 ± 2,00 gradi Celsius	14,44 ± 1,31 miliardi	128,47 ± 8,61 miliardi	580,25 ± 25,18 a

Fig. 4.2 - Resa di estrazione totale (TEY), contenuto fenolico totale (TPC), contenuto di flavonoidi totali (TFC) e attività antiossidante (ABTS e FRAP) degli estratti di abete rosso PLE e UAE con acqua (PLE_H₂O) ed etanolo assoluto (PLE_EtOH e UAE_EtOH) (Spinelli S, 2019).

Il più alto contenuto di trans-RSV identificato mediante cromatografia è stato registrato per l'estratto UAE (0,29 mg/g dw), come si vede nella figura 4.3. La tecnica UAE risulta quindi la migliore nell'estrazione di composti fenolici, rispetto ai metodi alternativi. La produzione di bolle di cavitazione, infatti, favorisce una migliore resa estrattiva e aumenta l'attività antiossidante di questi estratti.

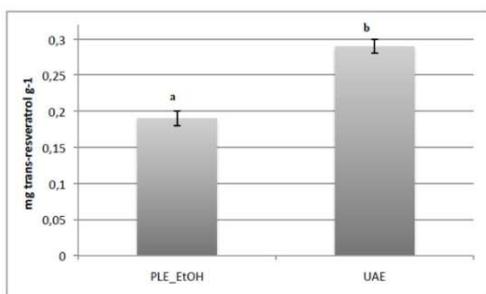


Fig. 4.3 - Contenuto di trans-resveratrolo negli estratti PLE e UAE. I campioni con diverse lettere in apice differiscono in modo significativo ($p < 0,05$) (Spinelli S, 2019).

Nel secondo articolo di ricerca, (Co, M, 2012), invece, sono state messe a confronto le tecniche di estrazione con fluido supercritico (SFE), estrazione con liquido pressurizzato (PLE) ed estrazione convenzionale con solvente (SLE); sempre applicate alla corteccia di abete rosso per determinare il metodo migliore per estrarre composti antiossidanti. Il PLE si è rivelato il metodo migliore, utilizzando acqua ed etanolo come solventi. Per entrambi i solventi, il tempo di estrazione risulta pari a 15 minuti, mentre la migliore temperatura di estrazione era rispettivamente di 180 e 160 °C per etanolo e acqua, come descritto dalle figure 4.4 e 4.5. Quindi secondo questo studio la tecnica PLE, utilizzando etanolo e acqua ad elevate temperature, è un metodo efficiente, pertinente e sostenibile per l'ambiente per estrazione di composti antiossidanti.

Solvent	Extraction temperature (°C)	Extraction time (min)	Solid yield (wt%) (n = 1)
Water	Ambient	24 h	19.9
Water	80	15	19.2
Water	130	15	27.6
Water	180	15	35.2
Ethanol	Ambient	24 h	18.0
Ethanol	80	15	22.4
Ethanol	130	15	25.8
Ethanol	180	15	34.8
SC-CO ₂	70	30	2.5
SC-CO ₂ -ethanol (80:20, v/v)	70	30	3.3

Fig. 4.4 – Peso dell'estratto (wt%) tramite metodo PLE dalla corteccia di abete rosso con diversi solventi e temperature di estrazione (Co, M, 2012).

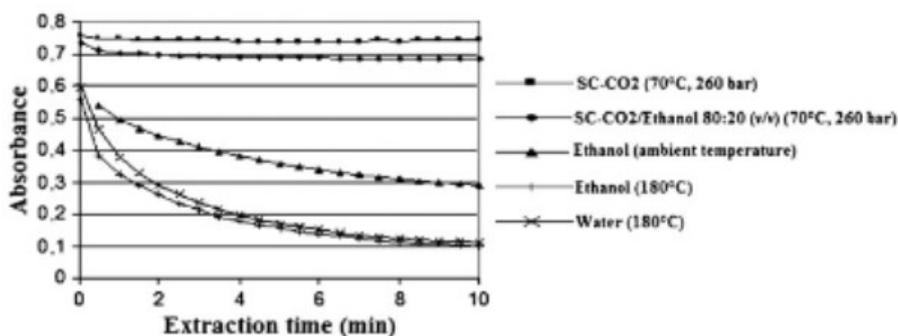


Fig. 4.5 - I valori di lettura dell'assorbanza sono stati tracciati in base ai diversi tempi di estrazione per gli estratti di corteccia di abete rosso ottenuti mediante diverse tecniche di estrazione. Un basso valore di lettura dell'assorbanza corrisponde ad un'elevata capacità antiossidante (Co, M, 2012).

Nel terzo studio preso in considerazione, (Nisca A, 2021) viene valutata e confrontata la composizione fitochimica di alcuni estratti idroalcolici di corteccia di abete rosso ottenuti tramite estrazione assistita da ultrasuoni (UAE) ed estrazione assistita da microonde (MAE) e i loro effetti antiossidanti e antibatterici.

Procedura di estrazione	Materiale estratto (corteccia di abete rosso)	Solvente (etanolo)	Temperatura (°C)	Tempo di estrazione (min)	Potenza ultrasuoni/microonde (W)	Frequenza degli ultrasuoni (kHz)
Emirati Arabi Uniti	1g	70%	65	30	240	40
MAE	2g	50%	-	4	300	-

Fig. 4.6 – Parametri di estrazione (Nisca A, 2021).

I risultati hanno indicato che gli estratti prodotti da UAE avevano contenuti più elevati di polifenoli e tannini e anche un contenuto più elevato dei principali composti fenolici identificati, catechina ed epicatechina, rispetto agli estratti MAE. Al contrario, il contenuto più elevato di terpeni volatili (principalmente α - e β -pinene) è stato trovato negli estratti MAE. Tutti gli estratti testati hanno mostrato attività antiossidante relativamente elevata (in particolare gli estratti UAE) e basse MIC (minima concentrazione inibente) contro i batteri Gram-positivi, ma erano moderatamente efficaci contro i batteri Gram-negativi. Questi risultati mostrano che la corteccia di abete potrebbe essere un'importante fonte di composti bioattivi che possono essere facilmente estratti da prodotti secondari industriali. Possono emergere vari usi di questo materiale vegetale, grazie ai suoi effetti antiossidanti e antibatterici.

Dalle conclusioni dei tre studi appena citati, si può osservare come, confrontando diverse tecniche per l'estrazione di composti antiossidanti dalla corteccia di abete rosso, l'estrazione assistita da ultrasuoni (UAE) risulti sempre la migliore, come quantità e qualità dell'estratto: PLE risulta più efficiente di SFE e SLE, ma UAE risulta più efficiente di PLE, MAE, SFE e di conseguenza anche di SLE.

UAE ha ottenuto i risultati migliori in termini di composti fenolici totali, capacità antiossidante e quantità di trans-resveratrolo estratto. Sono però da tenere anche in considerazione i metodi PLE per l'estrazione di flavonoidi totali (Spinelli S, 2019) e MAE per l'estrazione di terpeni volatili (Nisca A, 2021).

I risultati non devono sorprendere, infatti l'estrazione assistita da ultrasuoni (UAE) era stata definita come una delle tecniche all'avanguardia per l'estrazione di composti. Ancora più interessante risulta il fatto che, oltre ad essere la tecnica più efficiente, rientra anche nelle tecniche definite "green", ecosostenibili.

L'obiettivo ad inizio capitolo era proprio quello di trovare una tecnica efficiente ed ecosostenibile da poter utilizzare per l'estrazione di composti biologicamente attivi, come i polifenoli, a partire dalle 6-8 milioni di tonnellate di biomassa di scarto dall'industria del legname (Nastić, 2020). La tecnica che può rispondere a questo quesito può essere proprio l'estrazione assistita da ultrasuoni (UAE).

4.3 Smart chain extraction

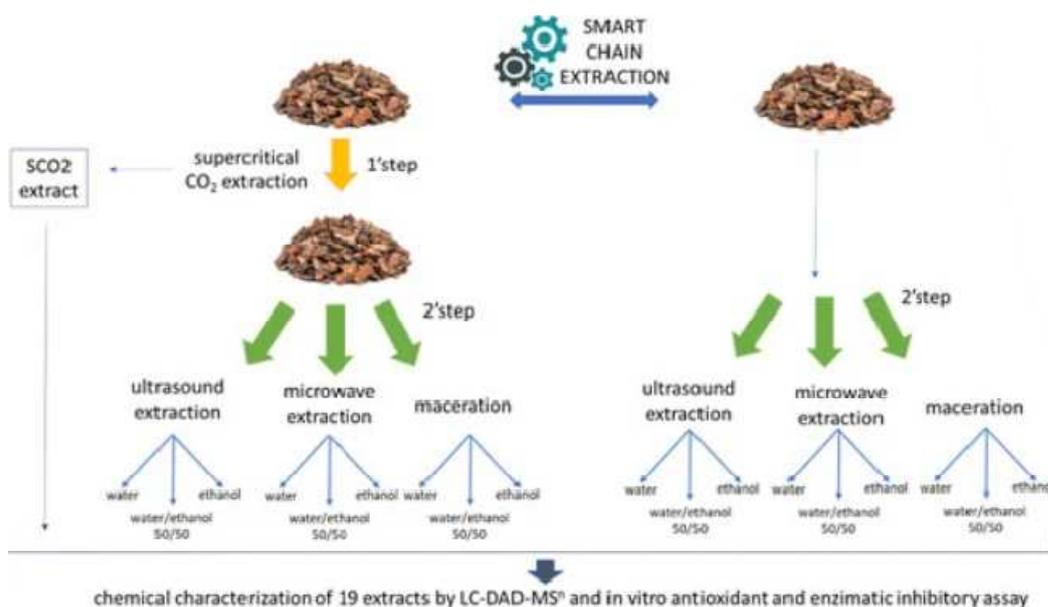


Fig.4.7 – Schema riassuntivo dei processi di estrazione seguendo la “*smart chain extraction*” (Sut S, 2022).

Nell’articolo (Sut S, 2022), si va oltre al semplice confronto tra diverse tecniche. Il materiale della corteccia di *P. abies* viene estratto utilizzando diverse tecniche in sequenza seguendo lo schema della “*smart chain extraction*”. L’ipotesi alla base di questo lavoro è di utilizzare l’estrazione con CO₂ supercritica (S CO₂) come approccio ecologico per estrarre il materiale resinoso dalla corteccia. Questo primo passaggio dovrebbe consentire una penetrazione più facile del solvente nel passaggio successivo di estrazione. Inizialmente, il materiale viene sottoposto a estrazione S CO₂, nel secondo passaggio, il materiale viene estratto utilizzando l’estrazione a base di solvente. Per il secondo passaggio, sono state confrontate tre diverse tecniche di estrazione, ovvero estrazione assistita da ultrasuoni (UAE), estrazione assistita da microonde (MAE) e macerazione (M).

Ognuno di questi approcci di estrazione ha alcune caratteristiche uniche.

L’estrazione con S CO₂ può essere una tecnica preziosa per l’estrazione di composti lipofili, evita l’uso di solventi e consente l’estrazione di frazioni lipofile in condizioni di temperatura blande. Nello specifico, S CO₂, grazie alla sua temperatura critica più bassa (31 °C), produce estratti con meno prodotti di ossidazione. S CO₂ è lipofilo, utile per l’estrazione di composti non polari. Per ottenere l’estrazione di metaboliti secondari polari, si è eseguito un secondo passaggio utilizzando solventi verdi a base di acqua ed etanolo.

M è la tecnica più utilizzata per l’estrazione da prodotti naturali, è un metodo di estrazione molto semplice ampiamente documentato e con una lunga tradizione di utilizzo, con lo svantaggio di un lungo tempo di estrazione e di una bassa efficienza di estrazione, elevato consumo di solvente. Potrebbe essere utilizzato per l’estrazione di componenti termolabili.

Per migliorare l’efficacia dell’estrazione seguendo un approccio sostenibile, abbiamo confrontato la macerazione con UAE e MW. UAE è utile per ottenere composti di alto valore da materiali vegetali. Gli ultrasuoni nel solvente producono cavitazione, accelerano la dissoluzione e la diffusione del soluto, così come il trasferimento di calore, migliorando l’efficienza di estrazione. I principali vantaggi di UAE sono legati al

consumo di energia, vale a dire l'uso di temperature moderate, che è vantaggioso per i composti sensibili al calore. La velocità di estrazione più elevata si ottiene solitamente nei primi minuti, che è il periodo più redditizio.

In MAE, le microonde generano calore interagendo con composti polari come l'acqua a causa dei meccanismi di conduzione ionica e rotazione dipolare. I trasferimenti di calore e massa sono nella stessa direzione in MAE, generando un effetto sinergico per accelerare l'estrazione migliorando la resa di estrazione. L'applicazione di MAE offre molti vantaggi, come l'aumento della resa di estrazione, la riduzione della degradazione termica.

4.4 Le potenzialità dell'industria per la trasformazione di aghi e gemme d'abete rosso

Un interessante studio (Jyske T, 2020), ha vagliato nel dettaglio le potenzialità dell'industria per la trasformazione di aghi e gemme di abete rosso in *superfood*, integratori e polveri aromatizzanti. I germogli in via di sviluppo, vale a dire germogli e aghi più vecchi dell'abete rosso norvegese sono stati tradizionalmente utilizzati per scopi medicinali a causa dell'elevato contenuto di vitamine e antiossidanti. Attualmente, i germogli sono disponibili, come *superfood* e integratori. Tuttavia, la qualità del prodotto finale e il valore nutritivo potrebbero diminuire nella catena del valore dall'approvvigionamento delle materie prime alla lavorazione e allo stoccaggio. Nell'articolo sono stati studiati gli impatti di diversi metodi di essiccazione ed estrazione sulla composizione nutrizionale e sulle proprietà antiossidanti di germogli e aghi, le differenze tra germogli e aghi nella composizione nutrizionale e nella qualità microbiologica e la qualità su scala di produzione dei germogli. Inoltre, la polvere di germogli è stata applicata nei prodotti (gelato e sorbetto) ed è stata valutata l'accettazione da parte dei consumatori.

I risultati dello studio, molto promettenti, hanno mostrato che gli aghi più vecchi hanno un contenuto più elevato di sostanza secca, energia e calcio, ma una qualità microbica inferiore rispetto ai germogli. I germogli presentavano una concentrazione più elevata di vitamina C, magnesio, potassio e fosforo rispetto agli aghi più vecchi. La liofilizzazione è il metodo di essiccazione migliore per preservare la qualità sia dei germogli che degli aghi, ad esempio il contenuto di vitamina C. L'attività antiossidante degli estratti di germogli era inferiore a quella degli aghi. L'estrazione con etanolo e acqua ha portato a un contenuto di composti attivi nell'estratto più elevato rispetto all'estrazione con acqua. La valutazione sensoriale dei prodotti alimentari ha rivelato che in media il 76% dei consumatori considerava i prodotti contenenti germogli molto buoni o buoni, e un prodotto cremoso era preferito a un sorbetto a base d'acqua.

Metodo di essiccazione	Materia prima	Sostanza secca %
nessuno, congelato	germogli	16,58
liofilizzazione	germogli	95,35
asciugatrice ad aria calda	germogli	93,18
nessuno, congelato	aghi	54,75
liofilizzazione	aghi	96,43
asciugatrice ad aria calda	aghi	84,49

Fig. 4.6 - Contenuto di sostanza secca dei germogli e degli aghi più vecchi di abete rosso freschi e dopo diversi trattamenti di essiccazione (Jyske T, 2020).

Materia prima	Enterobatteri	Conteggio delle piastre aerobiche	Lieviti	Stampi
germogli	<10	2.4	3.6	3.0
aghi	<10	4.2	4.4	4.3

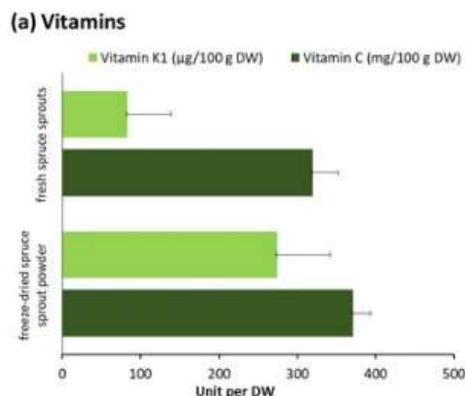


Fig. 4.7 - Qualità microbica dei germogli di abete rosso appena raccolti e degli aghi più vecchi. Conteggio delle colonie $\log_{10}(\text{ufc/g})$ peso fresco (N=1) (Jyske T, 2020).

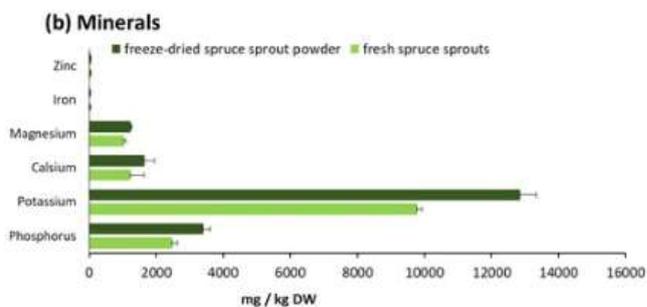


Fig 4.8 - Le composizioni medie di vitamine (a) e minerali (b) dei germogli di abete rosso freschi e della polvere di germogli di abete rosso liofilizzata nel 2018-2019 (mg/kg DW) (Jyske T, 2020).

Questo approfondimento ha prodotto una nuova conoscenza di base per migliorare la qualità delle materie prime e la composizione nutritiva dei germogli e degli aghi di abete rosso nella filiera, dalla raccolta alla lavorazione e allo stoccaggio, fino all'accettazione da parte dei clienti dei prototipi di prodotti da dessert. I risultati hanno mostrato che con un'essiccazione appropriata della materia prima, le proprietà antiossidanti dei germogli e degli aghi possono essere ben conservate. Ciò aggiungerà valore sia all'industria alimentare che ai clienti. Gli aghi più vecchi hanno generalmente mostrato un'attività antiossidante più elevata, ma un contenuto di vitamine e minerali inferiore rispetto ai germogli. In futuro, tuttavia, anche gli aghi più vecchi potrebbero essere sempre più utilizzati per determinati prodotti, ad esempio nella produzione industriale di bevande, dove è possibile applicare l'estrazione della materia prima. Sono necessarie ulteriori ricerche e sviluppi per migliorare l'utilizzo e il controllo di qualità nella filiera sia dei germogli che degli aghi, ma ci sono tutti i presupposti perché tali miglioramenti possano avvenire e affinché la filiera dei germogli e degli aghi di abete rosso diventi un'importante fonte di approvvigionamento di composti biologicamente attivi.

Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro consiste nel ricercare i processi per la valorizzazione dei prodotti non legnosi dell'abete rosso. Si sono evidenziate le parti di tale pianta tradizionalmente utilizzate (aghi, gemme e resine) per la produzione di sciroppi, marmellate, grappe, birre e gomme da masticare. Si è introdotto un nuovo possibile utilizzo della corteccia d'abete rosso: ne vengono prodotte dai 6 agli 8 milioni di tonnellate l'anno. Questa grandissima quantità di biomassa viene già sfruttata nella produzione di biocombustibili, ma potrebbe essere utilizzata in un ulteriore ambito: l'estrazione di composti biologicamente attivi, dalle proprietà antiossidanti, antimicrobiche, antinfiammatorie e antitumorali. Tra questi composti spicca il limonene, composto terpenico noto come insetticida naturale.

La parte centrale dello studio si concentra sulla ricerca di una tecnica efficiente ed ecosostenibile per l'estrazione di composti biologicamente attivi dalla corteccia di *Picea abies*. La tecnica corrispondente a tali requisiti, secondo gli studi citati, risulta essere l'estrazione assistita da ultrasuoni (UAE), una tecnica all'avanguardia ed ecosostenibile. Si è introdotto anche il concetto di "*smart chain extraction*", metodo di estrazione composto di più tecniche di estrazione in sequenza, tra cui UAE: ha il vantaggio di permettere una maggior estrazione di composti, rispetto alle varie tecniche prese singolarmente, inoltre è specifico per il composto da estrarre, infatti in base al composto di interesse si sceglie una specifica sequenza di tecniche di estrazione.

Riferimenti

- Cornell, m.. A short history of spruce beer in Britain. *The Journal* is © 2016 The Brewery History Society *Brewery History* (2016) 165, 2-14
https://www.researchgate.net/profile/Martyn-Cornell/publication/377661970_A_short_history_of_spruce_beer_in_Britain/links/65b1d10c9ce29c458bad46be/A-short-history-of-spruce-beer-in-Britain.pdf
- Svanberg, Ingvar, et al. "Uses of tree saps in northern and eastern parts of Europe." *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 81.4 (2012): 343-357.
https://iris.unive.it/retrieve/e4239ddc-8319-7180-e053-3705fe0a3322/Treesaps_ASPB.pdf
- Childs, S. (2007). Chemistry of maple syrup. *Cornell Maple Bulletin*, 202, 1-4.
https://archive.chicagoacs.net/ChmShort/attachments/CMB_202_Chemistry_of_Maple_Syrup1.pdf
- Bryan, A. H., Sherwood, S. F., & Hubbard, W. F. (1924). *Production of maple sirup and sugar* (No. 1366). US Department of Agriculture.
<https://books.google.com/books?hl=it&lr=&id=nCa0X1Uj2fsC&oi=fnd&pg=PA5&dq=+production+of+maple+butter&ots=zS26bqZkJ2&sig=zNZKI7U20gtxcN8fOM76Dh0V7g#v=onepage&q=production%20of%20maple%20butter&f=false>
- Timothy D. Perkins, Abby K. van den Berg. Chapter 4 Maple Syrup—Production, Composition, Chemistry, and Sensory Characteristics. *Advances in Food and Nutrition Research*. Academic Press. Volume 56. 2009. Pages 101-143.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043452608006049>
- Helfferich, D. (2004). Birch: white gold in the boreal forest.
https://scholarworks.alaska.edu/bitstream/handle/11122/2696/MP_04_02.pdf
- Amirante, Paolo. (2021). MACCHINE ED IMPIANTI PER LA COLTIVAZIONE DELLA PIANTA DI BETULLA. https://www.researchgate.net/profile/Paolo-Amirante-2/publication/350545380_MACCHINE_ED_IMPIANTI_PER_LA_COLTIVAZIONE DELLA_PIANTA_DI_BETULLA/links/6065856c458515614d27a9bb/MACCHINE-ED-IMPIANTI-PER-LA-COLTIVAZIONE-DELLA-PIANTA-DI-BETULLA.pdf
- Bacandritsos, Nicolaos. "Establishment and honeydew honey production of *Marchalina hellenica* (Coccoidea Margarodidae) on fir tree (*Abies cephalonica*)." *Bulletin of Insectology* 57.2 (2004): 127-130.
<http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol57-2004-127-130bacandritsos.pdf>
- Ünal, S., Ayan, S., Karadeniz, M., & Yer, E. N. (2017). Some forest trees for honeydew honey production in Turkey.
<https://www.sibran.ru/upload/iblock/cb1/cb1537d3aa9bdafd0f3d331cec51595e.pdf>
- Ülgentürk, S., Özdemir, İ., Kozar, F., Kaydan, M., et al. (2014). Honeydew producing insect species in forest areas in Western Turkey. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 3(4).
<https://dergipark.org.tr/en/pub/entoteb/issue/5546/75053>

Muhammad Mufti Azis *et al* 2020 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. L'Ing.* 823 012042.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/823/1/012042/meta>

Dunlap, M. (1908). The source and chemical characteristics of commercial oil of turpentine.
<file:///C:/Users/PC-1-/Downloads/DunlapMargaret1908.pdf>

Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea. Parere del Comitato europeo delle regioni sul tema «Quadro legislativo in materia di sistemi alimentari sostenibili». (2023/C 257/05).
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022IR5930>

Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea. REGOLAMENTO (UE) N. 1151/2012 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 21 novembre 2012 sui regimi di qualità dei prodotti agricoli e alimentari. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:343:0001:0029:it:PDF>

[Grizzard, Daniel Howell](#). Maple Syrup in Appalachia: A Sustainable Economic Development Opportunity. 2023. Virginia Tech.
<https://vtechworks.lib.vt.edu/items/9213e703-bfc6-409c-bfd5-73fc599c949f>

Chamberlain J, Small C, Baumflek M. Sustainable Forest Management Beyond the Timber-Oriented Status Quo: Transitioning to Co-production of Timber and Non-wood Forest Products—a Global Perspective. *Current Forestry Reports*. 2019; 11(9):2670.
<https://doi.org/10.3390/su11092670>

Caudullo, G., Tinner, W., & De Rigo, D. (2016). *Picea abies* in Europa: distribuzione, habitat, utilizzo e minacce. https://boris.unibe.ch/80794/1/Picea_abies.pdf

Jeran, Marko & Pečan, Luka & Barrios, Rigoberto. (2022). Interdisciplinary Insight on European Spruce (*Picea abies*): Biologically Active Compounds and their Usage. 10.55295/PSL.2021.D.009.
https://www.researchgate.net/publication/358676316_Interdisciplinary_Insight_on_European_Spruce_Picea_abies_Biologically_Active_Compounds_and_their_Usage

Sandulovici RC, Gălățanu ML, Cima LM, Panus E, Truță E, Mihăilescu CM, Sârbu I, Cord D, Rîmbu MC, Anghelache ȘA, et al. Phytochemical Characterization, Antioxidant, and Antimicrobial Activity of the Vegetative Buds from Romanian Spruce, *Picea abies* (L.) H. Karst. *Molecules*. 2024; 29(9):2128.
<https://doi.org/10.3390/molecules29092128>

Baumflek, M. J., Emery, M. R., & Ginger, C. (2010). Culturally and economically important nontimber forest products of northern Maine. *Gen. Tech. Rep. NRS-68. Newtown Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station*. 74 p., 68, 1-74. <https://research.fs.usda.gov/treearch/36175#>

Cornell, Martyn. (2016). A short history of spruce beer in Britain.
https://www.researchgate.net/publication/377661970_A_short_history_of_spruce_beer_in_Britain

Natalia Bukhanko, Thomas Attard, Mehrdad Arshadi, Daniel Eriksson, Vitaliy Budarin, Andrew J. Hunt, Paul Geladi, Urban Bergsten, James Clark, Extraction of cones, branches, needles and bark from Norway spruce (*Picea abies*) by supercritical carbon dioxide and Soxhlet extractions techniques, *Industrial Crops and Products*, Volume 145, 2020, 112096, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112096>.

Gupta A, Jeyakumar E, Lawrence R. Journey of limonene as an antimicrobial agent. *J Pure Appl Microbiol.* 2021; 15(3): 1094-1110. DOI: 10.22207/JPAM.15.3.01

Koren J, Scott D, Jeran M, Renin-angiotensin system inhibitors and their implications for COVID-19 treatment. In Kralj-Iglič V, editor. *Socratic lectures: 5th International Minisymposium*. Ljubljana, Slovenia, University of Ljubljana, Faculty of Health Sciences. 2021; pp. 115-123. ISBN 978-961-7112-05-4. Available from https://www.zf.uni-lj.si/images/stories/datoteke/Zalozba/Sokratska_5.pdf

Radulescu, V., Saviuc, C., Chifiriuc, C., Oprea, E., Ilies, D. C., Marutescu, L., & Lazar, V. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil from shoots spruce (*Picea abies* L.). *Rev. Chim*, 62(1), 69-74. https://www.researchgate.net/profile/Diana-Carolina-Visan/publication/267033925_Chemical_Composition_and_Antimicrobial_Activity_of_Essential_Oil_from_Shoots_Spruce_Picea_abies_L/links/5bebc9a6fdcc3a8dd47b10/Chemical-Composition-and-Antimicrobial-Activity-of-Essential-Oil-from-Shoots-Spruce-Picea-abies-L.pdf

Nastić, Nataša & Gavarić, Aleksandra & Vlacic, Jelena & Vidovic, Senka & Acimovic, Milica & Puvača, Nikola & Brkić, Ivana. (2020). Spruce (*Picea abies* (L.). H. Karst): Different Approaches for Extraction of Valuable Chemical Compounds. 3. 437-447. [https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v3_3/03-Nastic_et_al_3\(3\)2020_437-447.pdf](https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v3_3/03-Nastic_et_al_3(3)2020_437-447.pdf)

Spinelli S, Costa C, Conte A, La Porta N, Padalino L, Del Nobile MA. Bioactive Compounds from Norway Spruce Bark: Comparison Among Sustainable Extraction Techniques for Potential Food Applications. *Foods*. 2019; 8(11):524. <https://doi.org/10.3390/foods8110524>

Co, M.; Fagerlund, A.; Engman, L.; Sunnerheim, K.; Sjöberg, PJ; Turner, C. Extraction of Antioxidants from Spruce (*Picea abies*) Bark using Eco-friendly Solvents. *Phytochem. Anal.* 2012, 23, 1–11. <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/pca.1316>

Nisca A, Ștefănescu R, Stegăruș DI, Mare AD, Farczadi L, Tanase C. Phytochemical Profile and Biological Effects of Spruce (*Picea abies*) Bark Subjected to Ultrasound Assisted and Microwave-Assisted Extractions. *Plants*. 2021; 10(5):870. <https://doi.org/10.3390/plants10050870>

Sut S, Maccari E, Zengin G, Ferrarese I, Loschi F, Faggian M, Paolo B, De Zordi N, Dall'Acqua S. "Smart Extraction Chain" with Green Solvents: Extraction of Bioactive Compounds from *Picea abies* Bark Waste for Pharmaceutical, Nutraceutical and Cosmetic Uses. *Molecules*. 2022; 27(19):6719. <https://doi.org/10.3390/molecules27196719>

Jyske T, Järvenpää E, Kunnas S, Sarjala T, Raitanen J-E, Mäki M, Pastell H, Korpinen R, Kaseva J, Tupasela T. Sprouts and Needles of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) as Nordic Specialty—Consumer Acceptance, Stability of Nutrients, and Bioactivities during Storage. *Molecules*. 2020; 25(18):4187. <https://doi.org/10.3390/molecules25184187>

Dario Friso. Ingegneria dell'industria agroalimentare. Vol. 2: Teoria, applicazioni e dimensionamento delle macchine e impianti per le operazioni unitarie. 2018. CLEUP.

