

Intensificazione sostenibile nella filiera del pioppo

Vacchiano G.¹, Ancona V.², Badiani M.³, Chiarabaglio P.⁴, Faccoli M.⁵, Fini A.¹, Minotta G.⁶, Marchetti M.⁷, Nervo G.⁴, Paris P.⁸, Proto A.³, Sperandio G.⁹, Zanuttini R.⁶, Zimbalatti G.³

¹Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Torino, via Celoria 2, 20133 Milano.

²Istituto di Ricerca sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche, via De Blasio 5, 70132 Bari

³Dipartimento di Agraria, Università Mediterranea di Reggio Calabria, via dell'Università 25, 89124 Reggio Calabria

⁴Centro di Ricerca Foreste e Legno, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Strada Frassineto 35, 15033 Casale Monferrato (AL)

⁵Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente, Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)

⁶Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino, Largo Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO)

⁷Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise, via De Sanctis 1, 86100 Campobasso

⁸Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale, Consiglio Nazionale delle Ricerche, via Marconi 2, 05010 Porano (TR)

⁹Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Via Milano 43, 24047 Treviglio (BG)

Riassunto

La pioppicoltura in Italia è un comparto di eccellenza per la produzione di legno ad uso industriale ed energetico. Questo contributo intende analizzare lo stato della filiera produttiva del pioppo in Italia, illustrando le principali prospettive per la crescita della produttività e della sostenibilità del settore, in coerenza con una prospettiva di intensificazione sostenibile.

Oltre all'aspetto produttivo, la pioppicoltura ha anche una elevata valenza ambientale. Lo sviluppo e la diffusione di cloni a maggiore sostenibilità ambientale, i nuovi moduli colturali, le prospettive offerte dalla meccanizzazione e dalla selvicoltura di precisione, i prodotti della bioeconomia e della bioraffineria, e i benefici ambientali in termini di sequestro della CO₂ e contrasto all'inquinamento dell'aria e dei suoli rendono la pioppicoltura una tessera importante della filiera forestale italiana.

Abstract

Poplar cultivation in Italy is a sector of excellence for the production of wood for industrial and energy use. This contribution intends to analyze the state of the poplar production chain in Italy, illustrating the main prospects for increased productivity and sustainability of the sector, in line with a perspective of sustainable intensification. In addition to the productive aspect, poplar cultivation also has a high environmental value. The development and use of clones with greater environmental sustainability, the new cultivation modules, the perspectives offered by high mechanization and precision forestry, the products of the bioeconomy and biorefinery, and the environmental benefits in terms of CO₂ sequestration and remediation to air and soil pollution make poplar cultivation an important sector of the Italian forestry chain.

Keywords: *poplar, arboriculture, sustainability, bioeconomy, forest products*

La pioppicoltura in Italia

La pioppicoltura in Italia è un comparto di eccellenza per la produzione di legno ad uso industriale ed energetico (Corona et al., 2018). Coprendo meno dell'1% della superficie forestale nazionale, fornisce circa 1 milione di m³ di legno tondo all'anno, pari al 45% del tonnage domestico lavorato in Italia (Coaloe et al., 2020). L'area di produzione è localizzata per il 94% nella pianura Padana con prevalenza in Lombardia e Piemonte (70%). Oltre il 50% della superficie ricade in aree golenali, poco meno del 30% in Zone a Protezione Speciale (ZPS), mentre il restante 20% è ricadente in Siti di Interesse Comunitario (SIC) e in aree a parco. I pioppeti, per l'80% realizzati con il clone 'I-214', sono gestiti con turni di 10-12 anni, con produzioni che raggiungono i 200-220 m³ ha⁻¹ (18-20 m³ ha⁻¹ anno⁻¹).

Oltre all'aspetto produttivo, la pioppicoltura ha anche una valenza ambientale, sia per il minore apporto di input energetici rispetto alle altre colture agrarie, sia per il potenziale di mitigazione dei cambiamenti climatici grazie al sequestro CO₂ nel legno. Questi aspetti positivi vengono esaltati dalla recente disponibilità di cloni a Maggiore Sostenibilità Ambientale (MSA) permettono di adottare modelli colturali più sostenibili e ridurre il numero degli interventi colturali e di difesa fitosanitaria. L'attenzione del settore verso gli aspetti ambientali è dimostrata anche dall'incremento delle adesioni dei pioppicoltori agli standard di certificazione della gestione forestale sostenibile (PEFC e FSC) su una superficie complessiva di 6000 ettari.

Il futuro della pioppicoltura, dopo decenni di decrescita negli investimenti e nella redditività, dà segnali di ripresa con una timida tendenza alla crescita sia nelle superfici reinvestite sia nell'andamento dei prezzi di mercato (Coaloe et al., 2020). Questo contributo intende analizzare lo stato della filiera produttiva del pioppo in Italia, illustrando le principali prospettive per la crescita della produttività e della sostenibilità del settore, in coerenza con una prospettiva di intensificazione sostenibile.

La filiera produttiva del pioppo

La pioppicoltura italiana rappresenta uno dei rari casi di integrazione tra il comparto della prima trasformazione e quello della produzione di materia prima (Fig. 1). Questo è reso possibile dalla grande versatilità del pioppo nel fornire assortimenti destinati a più segmenti della filiera produttiva. Tramite sfogliatura, segazione o triturazione è possibile realizzare semilavorati e prodotti che interessano tutto il settore manifatturiero del legno. Se nel tempo alcuni assortimenti hanno perso interesse (come la carta e la triturazione per pannelli), altri se ne sono aggiunti, quali quelli per l'impiego energetico o l'OSB. Il legname da sfogliatura per l'industria del compensato resta comunque la destinazione prevalente e più remunerativa. Come risultato di una pioppicoltura di qualità, il 60% del volume di una pianta è destinato a sfogliatura e segazione e circa il 40% ad assortimenti da triturazione (Cielo e Zanuttini, 2004).

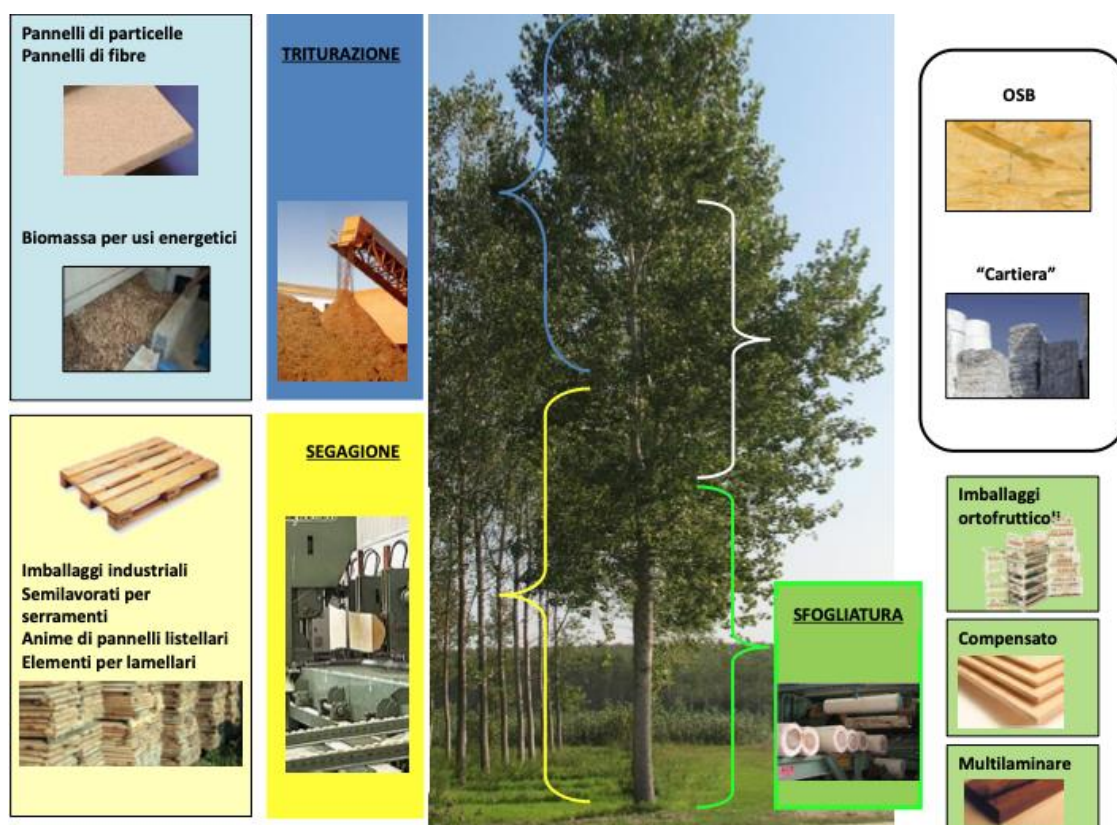


Figura 1. Possibili destinazioni del legno di pioppo ricavabile dagli impianti di tipo tradizionale, con turni compresi tra (8)10-15 anni (da Castro e Zanuttini, 2008).

Le potenzialità di innovazione del compensato di pioppo sono legate soprattutto alla sua diversificazione per impieghi alternativi e prodotti a maggior valore aggiunto. È possibile prevedere un maggior impiego del legno di pioppo per la realizzazione di materiali per l'edilizia (non solo strutturali e anche in abbinamento con altre specie), caratterizzati da elevate prestazioni in termini di isolamento termico, acustico, e stabilità anti-sismica, e da un lungo ciclo di vita che assicura un più efficace sequestro di carbonio. Per i semilavorati destinati al comparto dell'arredamento, si segnala invece il sempre più ampio impiego di adesivi a basso impatto ambientale e sistemi di incollaggio a basse emissioni o privi di formaldeide, nonché la diffusione di trattamenti chimici o fisici (come quelli ad alta temperatura) che ne migliorano la durabilità naturale, fornendo una valida alternativa all'uso del legname tropicale (con ricadute che spaziano da una minor pressione nei confronti delle foreste di origine naturale, alla riduzione di pratiche illegali e delle emissioni dovute ai trasporti su lunga distanza).

Tuttavia, le stime sulla disponibilità del legname di pioppo di produzione nazionale evidenziano un crescente divario rispetto al consumo (Tab. 1) e alle esigenze del settore di prima trasformazione, che richiederebbe una superficie coltivata di ben maggiore estensione rispetto agli attuali 46.000 ettari (Corona et al., 2018). La quota mancante proviene dall'estero e in particolare da Francia, Ungheria e Spagna, sia sotto forma di legno tondo che di semilavorati. Nell'ultimo periodo, almeno a giudicare da alcune aree della pianura padano-veneta, sembra peraltro in atto un'inversione di tendenza e una ripresa di nuovi impianti che in molti casi sono realizzati senza attendere o ricorrere ai finanziamenti regionali.

Tabella 1. Stime dei consumi annuali di legno di pioppo da parte del comparto industriale di prima trasformazione (Pra e Pettenella, 2019)

Prodotto	Fabbisogno (m³ legno tondo)
Compensato	820 000
Carta	350 000
Pannello truciolare	242 000
OSB	250 000
Imballaggi ortofrutticoli	140 000
Legno segato	120 000
Energia	330 000
Totale	2 252 000

In aggiunta alle produzioni già citate, è in crescita la sperimentazione e la commercializzazione di prodotti del pioppo nell'ambito della bioeconomia e della bioraffineria. Devappa et al. (2015) hanno identificato oltre 160 principi attivi estraibili dai residui di lavorazione dei vari tessuti di pioppo con un possibile impiego biofarmaceutico. A titolo di esempio, Rivas et al. (2020) hanno dimostrato come estrarre da emicellulosa di pioppo oligosaccaridi e composti fenolici naturali (con una resa di oltre 16 kg di prodotto per 100 kg di legno di pioppo) dalle proprietà bioattive antiossidanti, con un interesse per le industrie alimentari e farmaceutiche. Inoltre, estraendo selettivamente la lignina e sostituendola con una resina epossidica, il legno di pioppo può acquisire nuove caratteristiche di resistenza alle intemperie, al fuoco e assumere un aspetto traslucido, con promettenti impieghi nel settore edile, automotive, e dei pannelli fotovoltaici (Lu et al., 2020). Un ulteriore sviluppo della bioeconomia è auspicabile in tutti i Paesi europei, inclusa l'Italia, con l'obiettivo di produrre linee di prodotto diversificate, innovative e redditizie utilizzando biorisorse locali (legno e residui di alberi) e sostituendo prodotti e lavorazioni maggiormente clima-impattanti.

Innovazione nei modelli colturali

Il modello di pioppicoltura tradizionale per la produzione di topi da sfogliato per l'industria dei pannelli compensati prevede densità di impianto di 200-280 piante ha⁻¹ e turni variabili da 8 a 12 anni (Tab. 2). Il clone più utilizzato (70% degli impianti) è l'I214, un genotipo che necessita di trattamenti fitosanitari potenzialmente impattanti ma particolarmente gradito per la leggerezza ed il colore chiaro del legno.

Negli ultimi decenni, l'evoluzione di nuovi sistemi di raccolta con unità semoventi specializzate o attrezzature combinate per il taglio e l'allestimento ha favorito l'aumento della produttività e della sicurezza nei cantieri, raddoppiando e talvolta triplicando i quantitativi di legname raccolti e allestiti rispetto ai metodi tradizionali. I costi di raccolta diminuiscono sensibilmente con una meccanizzazione avanzata (da 19-21 a 14-15 € ton⁻¹) (Corona et al., 2018), ma è necessario comunque ottimizzare il loro utilizzo garantendo un elevato numero di giorni annui di impiego. Per tale motivo, la meccanizzazione spinta può essere applicata principalmente nelle coltivazioni di medie e grandi dimensioni.

La pioppicoltura include anche i cedui a corta rotazione (Short Rotation Coppices, SRC) che, con turni più brevi rispetto alla pioppicoltura tradizionale, hanno come obiettivo la produzione di materiale di piccole dimensioni per energia o altri usi industriali. Gli impianti SRC hanno un rapporto energetico output/input superiore a quello delle tradizionali colture erbacee, nonché un prelievo di nutrienti dal terreno inferiore alle colture cerealicole (Hofmann-Schielle et al., 1999, Djomo et al., 2015). Per questo tipo di impianti oggi si distinguono due principali modalità realizzative: a) SRC a densità elevata, con 1100-1600 piante ha⁻¹ e turni di 5 anni per la produzione di tronchetti da sega per l'industria degli imballaggi o dei pannelli OSB e di biomassa per usi energetici; b) SRC a densità molto elevata, con 6000-8000 piante ha⁻¹ e turni di 2 anni per ottenere biomassa ad uso energetico o per pannelli di particelle. Ricerche recentemente condotte in Italia hanno evidenziato una produttività sostanzialmente simile nelle due tipologie di SRC (Facciotto et al., 2020). Tuttavia il passaggio dai turni biennali ai turni quinquennali può migliorare il rapporto energetico output/input della coltura (Nassi et al., 2010), il livello di biodiversità (Weger et al., 2013) e la qualità del suolo (Pellegrino et al., 2011).

Tabella 2. Principali modelli colturali della moderna pioppicoltura in Italia (da Facciotto et al., 2015)

Modello colturale		SRF	SRC	SRC
Obiettivo		compensati	pannelli OSB, imballaggi, biomassa	biomassa
Densità di impianto	(ha ⁻¹)	200-280	1100-1600	5000-8000
Durata dell'impianto	(anni)	10	10	10
Turno	(anni)	10	5	2
D _{1,30} medio alla fine del turno	(cm)	28-33	16-18	5-7
H media alla fine del turno	(m)	24	15	8
Provvigione alla fine del turno	(t ha ⁻¹)	140-180	145	20-55

La biomassa prodotta da SRC si presta alla valorizzazione energetica volta a generare composti gassosi (da processi di gassificazione), liquidi (che possono partecipare a biocombustibili, quali l'etanolo), e solidi, con particolare riferimento al biochar, che può essere inviato a filiere di utilizzo agricolo o industriale (per esempio nell'edilizia). Recenti sviluppi mostrano una buona potenzialità del legno di pioppo anche per la produzione biogenica di idrogeno "verde" (Patel et al., 2020).

Per la realizzazione degli impianti SRC in Italia sono state proposte, oltre al pioppo, anche altre specie quali i salici (nell'Italia settentrionale), la robinia (nell'Italia settentrionale e centrale), gli eucalipti (nell'Italia meridionale). Per i salici in Italia vengono proposti cloni di *S. alba*, *S. caprea* ed ibridi di *S. babylonica*; per la robinia una provenienza ungherese (Energy) selezionata per questo modello colturale (Facciotto et al., 2020). Queste specie possono essere utilizzate in contesti ambientali dove il pioppo risulta sfavorito. Allo stato attuale la loro diffusione è però ancora sporadica, Tra le altre specie in fase di sperimentazione per questo tipo di impianti presso il centro CREA di Casale Monferrato si segnalano il gelso (*Morus* spp.), l'olmo siberiano (*Ulmus pumila*) e la Paulownia. Le produttività ottenibili con queste specie vanno da 3-15 t s.s. ha⁻¹ anno⁻¹ nel caso della robinia, a 5-35 per l'eucalipto (Minotta et al., 2018).

Sostenibilità ambientale

L'impatto ambientale della pioppicoltura in aree sensibili, quali le golene e i siti Natura 2000, può essere ridotto anzitutto ottimizzando le tecniche di gestione degli impianti. Il protocollo di gestione sostenibile dei pioppeti, messo a punto ai fini della ecocertificazione della pioppicoltura (PEFC, 2017), indica gli interventi colturali più utili per la salvaguardia della biodiversità, della qualità del suolo e delle acque, dello stoccaggio del carbonio. Un ulteriore aspetto innovativo delle colture pioppicole è legato allo sviluppo della "precision forestry" (Corona et al., 2017), che consente di realizzare interventi sito-specifici per ottimizzare l'uso dei fattori colturali aumentando la produttività e contemporaneamente la sostenibilità delle piantagioni da legno.

Per ridurre l'impiego dei pesticidi, sono stati selezionati cloni di pioppo a Migliore Sostenibilità Ambientale (MSA), resistenti alle principali fitopatie che colpiscono questa specie. La migliore sostenibilità ambientale dei nuovi cloni MSA è legata alla definizione di appropriati disciplinari e all'ottimizzazione degli interventi di difesa (che non vengono più programmati "a calendario" ma solo se necessari) e di eventuale irrigazione di emergenza (Coaloa et al., 2016). I cloni MSA presentano caratteristiche tecnologiche diverse rispetto al clone di riferimento I214, ad esempio una maggiore massa volumica, e pur permettendo la generazione di prodotti in legno ingegnerizzati (Berti et al., 2018), il loro impiego necessita di alcuni processi di adattamento da parte dell'industria di trasformazione. Inoltre, sebbene siano più di 20 i cloni MSA registrati per la commercializzazione, solo alcuni di essi hanno raggiunto una diffusione soddisfacente, non ultimo a causa di una limitata disponibilità del materiale di propagazione presso i vivai.

L'introduzione di nuovi cloni dovrebbe tuttavia favorire un più ampio ricorso alla certificazione della gestione degli impianti e di tracciabilità del legno, soddisfacendo i requisiti delle politiche di acquisto pubblico (Green Public Procurement e Criteri Ambientali Minimi). I nuovi modelli colturali, unitamente ad un rinnovato interesse alla realizzazione di impianti lineari ("a filare") determinano ricadute positive anche dal punto di vista dell'impatto paesaggistico. Inoltre, i nuovi cloni si adattano allo sviluppo di nuovi modelli di impianto (ad es. policiclici) in cui il pioppo è misto ad altre specie a turni differenziati, in grado di consentire al proprietario di ottenere redditi intermedi e, per le specie principali, raggiungere diametri medi elevati con conseguenti maggiori rese di lavorazione.

Gli impianti policiclici rappresentano la più recente evoluzione delle piantagioni di latifoglie realizzati in Italia a partire dagli anni '80 del secolo scorso nel quadro della politica di imboschimento dei terreni agricoli. Sono costituiti dalla consociazione di diverse specie arboree e arbustive caratterizzate da una differente lunghezza del ciclo produttivo (Buresti Lattes e Mori, 2016; Buresti Lattes et al., 2017), con specie a legno di pregio (noce, ciliegio, frassino, etc..) a turni di 30-35 anni, pioppi da sfogliato a ciclo breve di 10-12 anni e/o specie a rapida crescita allevate a ceduo a ciclo molto breve di 2-5 anni per la produzione di biomassa. Le piante devono essere messe a dimora secondo schemi prefissati per consentire il pieno sviluppo di tutte le specie presenti senza diradamenti intercalari. I punti di forza di questi impianti sono: la varietà dei prodotti ottenibili sulla medesima superficie, che può ridurre il rischio economico; la facilitazione tra le diverse specie, che può ridurre l'intensità delle cure colturali necessarie e migliorare la resa del fusto in assortimenti di pregio (Tab. 3); la maggiore

biodiversità rispetto agli impianti puri, alla quale si accompagna una minore sensibilità alle avversità biotiche e quindi una minore necessità di trattamenti fitosanitari; il maggiore pregio paesaggistico rispetto agli impianti puri. Il bilancio economico può essere più favorevole rispetto agli impianti puri (Coaloe et al., 2020). Le difficoltà legate alla necessità di una accurata progettazione e alla maggiore complessità delle operazioni di impianto possono essere superate mediante l'erogazione di appositi contributi, già prevista da molte regioni con i fondi PSR, e fornendo ai proprietari una adeguata assistenza tecnica.

Tabella 3. Frequenza relativa delle classi di qualità del fusto (A: legno da trancia, B: legno da sega) in impianti di noce in Italia (da Pelleri et al., 2020)

Tipo di impianto	A %	B %	C %	D %	A+B%
Misto	8.3	22.2	32.0	27.0	30.5
Misto con alberi tutore	11.3	18.5	24.1	38.2	29.7
Policiclico	28.7	38.7	23.3	7.3	67.3
Puro	6.7	21.0	35.4	29.7	27.6
Puro con alberi tutore	0.5	15.2	31.0	48.1	15.7
Media Italia	8.7	21.5	31.5	30.6	30.2

Servizi ecosistemici di regolazione

Secondo i dati del secondo Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi di Carbonio (INFC, 2008), le superfici coltivate a pioppo in Italia contengono un stock epigeo e ipogeo pari a 4.9 milioni di tonnellate di CO₂, con una densità di carbonio di 75 tonnellate di CO₂/ettaro. In ragione del rapido accrescimento, il bilancio complessivo del flusso di carbonio nell'ecosistema varia da 12 a 17 tonnellate di CO₂ ha⁻¹ anno⁻¹ (media sul turno) nei pioppeti a bassa e alta intensità di gestione rispettivamente, e può arrivare a 25-30 nei cedui a rapida rotazione (Tedeschi et al., 2005; Chiarabaglio et al., 2014). I benefici climatici della pioppicoltura (sempre da valutare in relazione agli usi alternativi del suolo) comprendono anche effetti indiretti. Le produzioni contribuiscono a ridurre le emissioni di gas serra legate all'uso di combustibili fossili sostituendo materiali e combustibili climalteranti, mentre l'afforestazione a lungo termine dei terreni agricoli può significativamente aumentare lo stock di sostanza organica rispetto alle colture agrarie annuali (Lagomarsino et al., 2009). Infine, la produzione legnosa fuori foresta può ridurre la pressione sui boschi naturaliformi, permettendo a quest'ultimi di sviluppare in pieno la propria funzione di serbatoi di carbonio

La vegetazione inoltre è un eccellente sink di inquinanti dell'aria. Un m² di superficie alberata può rimuovere da 0.07 a 2.8 grammi di particolato all'anno (Ferrini et al., 2020). Il portamento, le dimensioni e la densità della chioma, le caratteristiche morfo-anatomiche e la persistenza delle foglie influenzano la quantità di inquinanti intercettata per unità di area fogliare, che può variare anche di 10-20 volte (Sæbø et al., 2012; Grote et al., 2016). L'uso di specie e genotipi di *Populus* a foglia fittamente tomentosa (Feodorova e Alexandrov, 2020) è raccomandato per la realizzazione di barriere anti-inquinamento, mentre il pioppo nero ha mostrato scarsa capacità di migliorare la qualità dell'aria rispetto ad altre specie ornamentali

(Fini et al., 2019). Il pioppo, a causa delle foglie anfistomatiche e dell'elevata conduttanza stomatica (Fini et al., 2019), presenta un alto potenziale di assorbimento anche per gli inquinanti gassosi (NO_x , O_3 , SO_2). Tuttavia è anche forte emettitore di isoprene, che, in atmosfere inquinate da NO_x , può preludere alla formazione di ozono troposferico (Fini et al., 2017). La selezione di genotipi non-emettitori o bassi emettitori è auspicabile per l'uso in ambienti antropizzati.

La coltivazione del pioppo dà ottimi risultati anche nei confronti dell'inquinamento del suolo. Il biorimedio fitoassistito (Plant-Assisted BioRemediation, PABR) è una tecnologia che sfrutta l'azione sinergica che si instaura nella rizosfera tra l'apparato radicale delle piante e microorganismi (batteri e funghi) per rimuovere, trasformare o contenere sostanze tossiche presenti nei suoli, sedimenti, acque (Wenzel, 2009). La capacità metabolica della comunità microbica autoctona viene stimolata dalla presenza di una specie vegetale (Gamalero et al., 2012; Ancona et al., 2017a) che, attraverso le radici, rilascia ossigeno ed essudati coadiuvanti del desorbimento e della biodegradazione degli inquinanti (Meggo et al., 2013; Ancona et al., 2017b).

Le Salicacee comprendono alcune tra le specie più idonee per il biorimedio fito-assistito di aree contaminate da composti tossici. Il pioppo, grazie al suo rapido tasso di crescita e all'apparato radicale profondo e diffuso, oltre alla sua capacità di crescere in terreni poveri di nutrienti e di resistere ad alte concentrazioni di metalli (Di Baccio et al., 2003; Sebastiani et al., 2004; Soudek et al., 2004) è stato utilizzato con successo per stimolare la biodegradazione di composti xenobiotici sia in studi in pieno campo (Liu & Schnoor, 2008; Zhai et al., 2011; Massacci et al., 2012; Ancona et al., 2017a, 2020; Barra Caracciolo et al., 2020) che in studi sul microcosmo (Nogues et al., 2019). Tale utilizzo ben si colloca nella visione di intensificazione sostenibile dell'intera filiera del pioppo. Esso, infatti, oltre a produrre i documentati effetti su biodegradazione e fitorisanamento, influisce positivamente su varie proprietà del suolo. Nella rizosfera si osserva infatti un aumento del carbonio organico disponibile, una maggiore areazione, e un incremento della porosità del suolo – cioè alcuni tra gli indicatori della sostenibilità ecologica della gestione del suolo (AISSA 2019).

La biomassa di pioppo prodotta in applicazioni di biorimedio fito-assistito può essere usata per produrre energia, in linea con quanto indicato nella Direttiva Europea sulle Energie Rinnovabili (*Renewable Energy Directive* (EU) 2018/2001) del Dicembre 2018, che ribadisce i criteri di sostenibilità per la produzione di energia da fonti rinnovabili. Il pioppo nelle applicazioni di PABR per la riqualificazione ambientale delle aree numerose contaminate presenti sul territorio nazionale rappresenta una strategia sostenibile sia in termini di bonifica che di recupero di biomassa da destinare alla filiera bioenergetica, avendo cura di catturare preventivamente gli eventuali contaminanti incorporati nel legno e nelle sue emissioni gassose (Ancona et al., 2019).

Prospettive future

La ricerca nel settore pioppicolo e in arboricoltura dovrà continuare ad approfondire le relazioni tra alberi e ambiente, specialmente nella direzione di un continuo miglioramento genetico (Thakur et al., 2021) rivolto a selezionare le varietà e le consociazioni dotate di maggiore resilienza agli stress climatici, che rischiano di vanificare i benefici attesi dagli impianti. I cambiamenti climatici che negli ultimi decenni si stanno presentando con

preoccupante incidenza a livello planetario coinvolgono infatti anche il sistema della pioppicoltura italiana, determinando un prevedibile aumento dello stress evaporativo specialmente nella stagione estiva nella Pianura Padana. Crescenti danni sono prevedibili sia in seguito all'induzione negli alberi di condizioni di forte stress climatico (estremi termici, deficit idrico), sia all'aumento della frequenza e intensità di eventi estremi (forti venti) in grado di uccidere direttamente le piante. Il mutato quadro climatico indebolisce inoltre le piante esacerbando le infestazioni di insetti nativi storicamente legati al pioppo, quali *Melasoma populi* e *Saperda charcarias*, e permette la sopravvivenza di fitofagi esotici introdotti grazie ai veloci commerci internazionali di legname e materiale vivaistico, come nel caso di *Megaplatypus mutatus* e *Halyomorpha halys*. La lotta integrata sembra essere l'unico approccio per un controllo efficace e combinato di vecchi e nuovi parassiti.

Lo sviluppo e la diffusione di cloni a maggiore sostenibilità ambientale, i nuovi moduli colturali, le prospettive offerte dalla meccanizzazione e dalla selvicoltura di precisione, i prodotti della bioeconomia e della bioraffineria, e i benefici ambientali in termini di sequestro della CO₂ e contrasto all'inquinamento dell'acqua e dei suoli rendono la pioppicoltura una tessera importante della filiera forestale italiana, della gestione territoriale (Strategia Forestale Nazionale 2021-2040), delle opportunità di afforestazione a scala nazionale (Lombardi et al., 2019) ed europea (Strategia Europea per la Biodiversità al 2030) e del processo di intensificazione sostenibile (AISSA, 2019) al centro delle politiche nazionali ed europee.

Nell'ottica delle strategie di sviluppo sostenibile e degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'ONU, una pioppicoltura innovativa può essere caratterizzata da elevati valori di sostenibilità economica, ambientale, e anche sociale. Anzitutto per quanto riguarda il dell'occupazione nell'ambito della produzione e trasformazione del legno di pioppo, con possibilità di sviluppare filiere corte e certificate e mettere a punto nuovi semilavorati e compositi destinati ai moderni sistemi costruttivi che alimentano investimenti nel settore dell'edilizia (pubblica e privata, residenziale e delle opere di ingegneria, per nuove progettazioni o il recupero del costruito) e dell'efficienza energetica. Tali sviluppi possono essere facilitati attraverso l'introduzione di accordi di filiera tra diversi soggetti economici (dai pioppicoltori agli industriali, ma anche tra Regioni e *stakeholders* pubblici e privati), finalizzati a promuovere la ripresa in chiave moderna di una risorsa strategica e ripartire in maniera più equilibrata il rischio di impresa e la distribuzione del valore della produzione legnosa considerata. I benefici occupazionali non si limitano all'indotto del comparto arredo, in cui i semilavorati a base di pioppo hanno spesso rappresentato uno strumento per concretizzare e diffondere a livello internazionale l'eccellenza del design italiano, ma si estendono alle nuove opportunità che una pioppicoltura meno intensiva offre al comparto agricolo in aree collinari o del Centro-Sud Italia.

Nuove opportunità sociali e per lo sviluppo delle aree interne, infine, sono da ricercare nella fruizione di benefici ecosistemici e nello sviluppo di iniziative mirate a implementare funzionalità non solo produttive di alcuni modelli di impianti di arboricoltura che interessano anche il pioppo, ad esempio con la costituzione di percorsi agri-turistici e percorsi di mobilità dolce (piste ciclabili) che possono collegare "in rete" diverse aree di pianura e collina.

Bibliografia

- AISSA, 2019. Intensificazione sostenibile strumento per lo sviluppo dell'agricoltura italiana. 190628_Intensificazione_sostenibile_versione_ecostampa.pdf (aissa.it) (scaricato marzo 2021)
- Ancona V., Barra Caracciolo A., Campanale C., De Caprariis B., Grenni P., Uricchio V.F., Borello D., 2019. Gasification treatment of poplar biomass produced in a contaminated area restored using plant assisted bioremediation. *Journal of Environmental Management*, 239: 137-141.
- Ancona V., Barra Caracciolo A., Grenni P., Di Lenola M., Campanale C., Calabrese A., Uricchio V. F., Mascolo G., Massacci A., 2017a. Plant-assisted bioremediation of a historically PCB and heavy metal-contaminated area in southern Italy. *New Biotechnology*, 38: 65-73.
- Ancona V., Grenni P., Barra Caracciolo A., Campanale C., Di Lenola M., Rascio I., Uricchio V.F., Massacci A., 2017b. Plant-assisted bioremediation: an ecological approach for recovering multi-contaminated areas. In: Lukac M., Grenni P., Gamboni M. (eds.), *Soil biological communities and ecosystem resilience, sustainability in plant and crop protection*, Springer, New York: pp. 291-303.
- Barra Caracciolo A., Grenni P., Garbini G.L., Rolando L., Campanale C., Aimola G., Fernandez-Lopez M., Fernandez-Gonzalez A.J., Villadas P.J., Ancona V., 2020. Characterization of the belowground microbial community in a poplar-phytoremediation strategy of a multi-contaminated soil. *Frontiers in Microbiology*, 11: 2073.
- Berti S., Castro G., Zanuttini R., 2018. Prospettive di impiego industriale dei cloni di pioppo MSA in relazione alle caratteristiche tecnologiche del legno. Nota presentata al IV Congresso internazionale di Selvicoltura, Torino, 5-9 novembre 2018.
- Buresti Lattes E., Mori P., Pelleri F., 2017. Cenni di progettazione e linee guida per il collaudo delle piantagioni policicliche. Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma: 32 pp.
- Buresti Lattes E., Mori P. (eds.), 2016. Progettazione realizzazione e gestione delle piantagioni Policicliche di tipo naturalistico. Progetto Life+InBioWood (life 12 ENV/IT/000153). Compagnia delle Foreste, Arezzo: 112 pp.
- Castro G., Zanuttini R., 2009. Poplar cultivation in Italy: history, state of the art, perspectives. Cost Action E44 "Wood Processing Strategies". Proceeding of the Final Conference – Milan, May 30th – June 3rd 2008.
- Chiarabaglio P.M., Allegro G., Rossi A.E., Savi L., 2014. Studi sulla sostenibilità della pioppicoltura in Lombardia. *Sherwood*, 206: 5-8
- Cielo P., Zanuttini R., 2004. La raccolta del legno nei pioppeti. *L'Italia Forestale e Montana*, 6: 467-482.
- Coaloe D., Chiarabaglio P.M., Giorcelli A., Pelleri F., Plutino M., Rosso L., Corona P., 2020. Redditività di pioppeti ad alto fusto e di piantagioni di latifoglie a legname pregiato in Italia. *Forest@*, 17: 101-108
- Coaloe D., Facciotto G., Chiarabaglio P.M., Giorcelli A., Nervo G., 2016. Cloni di pioppo a Maggior Sostenibilità Ambientale (MSA). Vantaggi della loro coltivazione. *Sherwood*, 216: 31-34.
- Corona P., Chianucci F., Quatrini V., Civitaresse V., Clementel F., Corrado Costa C., Floris A., Menesatti P., Puletti N., Sperandio G., Verani S., Turco R., Bernardini V., Plutino M., Scrinzi G., 2017. Precision forestry, concepts tools and perspectives. *Forest@*, 14: 1-12.
- Corona P., Bergante S., Castro G., Chiarabaglio P.M., Coaloe D., Facciotto G., Gennaro M., Giorcelli A., Rosso L., Vietto L., Nervo G., 2018. Linee di indirizzo per una pioppicoltura sostenibile. Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma: 68 pp.
- Di Baccio D., Tognetti R., Sebastiani L., Vitagliano C., 2003. Responses of *Populus deltoides* x *Populus nigra* (*Populus* x *euramericana*) clone I-214 to high zinc concentrations. *New Phytologist*, 159: 443-52.
- Djomo S.N., Zenone T., De Groot T., Bergante S., Facciotto G., Sixto H., Ciria P.C., Weger J., Ceulemans R., 2015. Energy performances of intensive and extensive short rotation cropping systems for woody biomass production in the EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 845-854.
- Facciotto G., Bergante S., Rosso L., Minotta G., 2020. Comparison between two and five years rotation models in poplar, willow and black locust Short Rotation Coppices (SRC) in North West Italy. *Annals of Silvicultural Research*, 45: 12-20.
- Facciotto G., Minotta G., Paris P., Pelleri F., 2015. Tree farming, agroforestry and the new green revolution, a necessary alliance. In: *Proceedings of the Second International Congress of Silviculture*. Florence, November 26th – 29th 2014: pp. 658-669.
- Feodorova T.A., Alexandrov O.S., 2020. Comparative studying of leaf trichomes, teeth and glands in *Populus nigra* L., *Populus deltoides* W. Bartam ex Marshall and their hybrids. *Forests*, 11: 1267.
- Ferrini, F., Fini, A., Mori, J., Gori, A., 2020. Role of vegetation as a mitigating factor in the urban context. *Sustainability*, 12: 4274.
- Fini A., Brunetti C., Loreto F., Centritto M., Ferrini, F., Tattini, M., 2017. Isoprene responses and functions in plants challenged by environmental pressures associated to climate change. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1281.
- Fini, A., Mori, J., Ferrini, F., Pasquinelli, A., Wezyk, P., Failla, O., Viskanec, P., 2019. Measuring ecosystem services by urban tree species: the LIFE Urbangreen project – preliminary results. *Proceedings of the 95th Annual Congress of the International Society of Arboriculture*, Knoxville, TN, USA, 11th – 14th August 2019.
- Gamalerò E., Cesaro P., Cicutelli A., Todeschini V., Musso C., Castiglione S., Fabiani A., Lingua G., 2012. Poplar clones of different sizes, grown on a heavy metal polluted site, are associated with microbial populations of varying composition. *Science of the Total Environment*, 425: 262-270.
- Grote R., Samson R., Alonso R., Amorim J.H., Cariñanos P., Churkina G., Fares S., Thiec D.L., Niinemets Ü., Mikkelsen T.N., Paoletti E., 2016. Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential. *Frontiers of Ecology and the Environment*, 14: 543-550.
- Hofmann-Schielle C., Jug A., Makeschin F., Rehfuess K.E., 1999. Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. I. Site-growth relationships. *Forest Ecology and Management*, 121: 41-55.
- INFC, 2008. *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio*. www.sian.it/inventarioforestale.
- Lagamarsino A., De Angelis P., Moscatelli M.C., Grego S., Scarascia Mugnozza G., 2009. Accumulo di C nel suolo di una piantagione di *Populus* spp. in condizioni di elevata CO₂ atmosferica e fertilizzazione azotata. *Forest@*, 6: 229-239.
- Liu J., Schnoor J.L., 2008. Uptake and translocation of lesser chlorinated polychlorinated biphenyls (PCBs) in whole hybrid of poplar plants after hydroponic exposure. *Chemosphere*, 73:1608-1616.
- Lombardi F., Tognetti R., Marchetti M., 2019. Il Decreto CLIMA: nuove opportunità per le aree forestali ad elevato valore naturalistico. *Forest@*, 16: 83-85.
- Lu M., He W., Li Z., Qiang H., Cao J., Guo F., Wang, R. Guo Z., 2020. Effect of lignin content on properties of flexible transparent poplar veneer fabricated by impregnation with epoxy resin. *Polymers*, 12: 2602.
- Massacci A, Bianconi D, Paris P., 2012. Pioppicoltura a turno di taglio breve per bioenergia e fitorimediaio. *7:125-144*.

- Meggio R.E., Schnoor J.L., Hu D., 2013. Dechlorination of PCBs in the rhizosphere of switchgrass and poplar. *Environmental Pollution*, 178: 312–321.
- Minotta G, Facciotto G., Bergante S., 2018. Esperienze di SRC in Italia. In: *Piantagioni legnose, imboschimento superfici agricole e sistemi Agroforestali*, Rete Rurale Nazionale, Roma, 12 dicembre 2018.
- Nassi N., Guidi W, Ragagnoli G., Tozzini C., Bonari E., 2010. Biomass production and energy balance of a 12-year-old short-rotation coppice poplar stand under different cutting cycles. *GCB Bionergy*, 2: 89-97
- Nogues I., Grenni P., Di Lenola M., Passatore L., Guerriero E., Benedetti P., Massacci A., Rauseo J., Barra Caracciolo A., 2019. Microcosm experiment to assess the capacity of a poplar clone to grow in a PCB-contaminated soil. *Water*, 11: 2220.
- Patel S.K., Gupta R.K., Das D., Lee J.K., Kalia V.C., 2021. Continuous biohydrogen production from poplar biomass hydrolysate by a defined bacterial mixture immobilized on lignocellulosic materials under non-sterile conditions. *Journal of Cleaner Production*, 287: 125037.
- PEFC, 2017. Norme tecniche PEFC per la Gestione Sostenibile delle piantagioni arboree: norme tecniche PEFC per la Gestione Sostenibile dei Pioppeti. PEFC Italia 1004-1: 35 pp.
- Pellegrino E., Di Bene C., Tozzini C., Bonari E., 2011. Impact on soil quality of a 10-year-old short-rotation coppice poplar stand compared with intensive agricultural and uncultivated systems in a Mediterranean area. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 140: 245-254.
- Pelleri F., Castro G., Marchi M., Fernandez-Moya J., Chiararbaglio P.M., Giorcelli A., Bergante S., Gennaro M., Manetti M.C., Plutino M., Bidini C., Sansone D., Urbán-Martínez I., 2020. The walnut plantations (*Juglans* spp.) in Italy and Spain: main factors affecting growth. *Annals of Silvicultural Research*, 44: 14-23
- Pra A, Pettenella R. (2019). Investment returns from hybrid poplar plantations in northern Italy between 2001 and 2016: are we losing a biobased segment of the primary economy? *Italian Review of Agricultural Economics* 74: 49-71.
- Rivas S., Rigual V., Domínguez J.C., Alonso M.V., Oliet M., Parajó J.C., Rodríguez F., 2020. A biorefinery strategy for the manufacture and characterization of oligosaccharides and antioxidants from poplar hemicelluloses. *Food and Bioproducts Processing*, 123: 398-408.
- Sæbø A., Popok R., Nawrot B., Hanslin H.M., Gawronska H., Gawronski S.W., 2012. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427–428: 347–354.
- Sebastiani L., Scebba F., Tognetti R., 2004. Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides* x *maximowiczii*) and I214 (*P. x euramericana*) exposed to industrial waste. *Environmental and Experimental Botany*, 52: 79–88.
- Soudek P., Tykva R., Vanek T., 2004. Laboratory analyses of ¹³⁷C's uptake by sunflower, reed and poplar. *Chemosphere*, 55:1081–1087.
- Tedeschi V., Zenone T., Facciotto G., Bergante S., Federici S., Matteucci G., Lumicisi A., Seufert G., 2005. Greenhouse gases balance of two poplar stands in Italy: a comparison of a Short Rotation Coppice and a Standard Rotation Plantation. In: *Proceedings of the 14th European Conference & Exhibition, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, Paris, 17th – 21st October 2005, pp. 2014–2016-
- Thakur A.K., Kumar P., Parmar N., Shandil R.K., Aggarwal G., Gaur A., Srivastava D.K., 2021. Achievements and prospects of genetic engineering in poplar: a review. *New Forests*, in press. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09836-3>
- Weger J., Vávrová K., Bubeník J., Kašparová L., Komárek A., 2013. The influence of rotation length on the biomass production and diversity of ground beetles (*Carabidae*) in poplar short rotation coppice. *Biomass and Bioenergy*, 54: 284–292.
- Wenzel W.W., 2009. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. *Plant and Soil*, 321: 385-408.
- Zhai G., Hu D., Lehmler H.J., Schnoor J.L., 2011. Enantioselective biotransformation on chiral PCBs in whole poplar plants. *Environmental Science and Technology*, 45: 2308–2316.