



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

Dipartimento per l'Innovazione nei sistemi
Biologici, Agroalimentari e Forestali

Tesi di Dottorato in

ECOLOGIA FORESTALE - XXII Ciclo

Analisi sperimentale, produttiva e finanziaria
dell'arboricoltura multifunzionale da biomassa e
legname pregiato (Alley Coppice)

Settore scientifico-disciplinare AGR/05

Coordinatore

Prof. Paolo De Angelis

Tutor

Dott. Pierluigi Paris

Dottorando

Luca Tosi

Sommario

Prefazione.....	5
1. I combustibili legnosi	6
2. La coltivazione di Pioppo nel mondo	8
3. L'arboricoltura da legno.....	9
3.1 Piantagioni miste	9
3.2 Il ceduo composto	14
3.3 Alley cropping	15
3.4 Short Rotation Coppice (SRC)	17
3.5 Alley Coppice (AC)	19
Progettazione del sistema AC per la produzione di legname pregiato.....	20
Progettazione del sistema AC per la produzione di biomassa.....	21
Sviluppo e stadi di accrescimento del sistema AC	22
Interazioni tra le specie consociate nel sistema AC.....	24
AC e servizi ecosistemici	25
4. Il progetto AgroCop	26
5. Alley Coppice: accrescimento e produttività del campo sperimentale di Casale Monferrato (AL)	27
5.1 Introduzione.....	27
5.2 Obiettivi	28
5.3 Materiali e metodi	28
Il campo sperimentale.....	28
Accrescimento e produttività delle piante	30
Competizione idrica	31
Competizione luminosa.....	31
Analisi statistica dei dati.....	33
5.4 Risultati e Discussione.....	33
Produttività SRC	33
Accrescimento Standard trees	35
Competizione idrica	37

Competizione luminosa.....	38
Conclusioni	39
6. Analisi finanziaria del sistema alley coppice	41
6.1 Introduzione.....	41
6.2 Obiettivi	43
6.3 Materiali e metodi	44
Modello di simulazione YDEAL	44
Definizione degli scenari ambientali	45
Definizione del sistema colturale	46
Land Equivalent Ratio (LER).....	49
Analisi finanziaria	49
Raccolta dati finanziari	51
Simulazioni finanziarie	52
6.4 Risultati e Discussione.....	54
Simulazione YDEAL.....	54
Analisi scenari di partenza	55
Analisi variazioni dei sussidi.....	57
Analisi variazione dei costi	59
Analisi variazione dei ricavi	61
Confronto tra le simulazioni.....	63
Valore Attuale Netto (NPV) medio.....	65
6.5 Conclusioni.....	66
7. Conclusioni generali e prospettive future.....	68
Ringraziamenti.....	71
Bibliografia.....	72

Allegato A: Nitrogen removal and its determinants in hybrid *Populus* clones for bioenergy plantations after two biennial rotations in two temperate sites in northern Italy

Allegato B: Innovative Alley coppice Systems-mixing timber and bioenergy woody crops: 7 years growth and ecophysiological results in experimental plots in northern Italy, Po Valley

Allegato C: Comparing early drought responses of italian alder and hybrid poplar in a bioenergy field test in mediterranean Europe (Italy) (poster)

Allegato D: Pioppo, grandi risparmi con la sub-irrigazione

PREFAZIONE

Il Dottorato è stato co-finanziato dal Dipartimento per l'Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali dell'Università della Tuscia (UNITUS DIBAF) e dall'Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR IBAF).

Il lavoro si è svolto nell'ambito del progetto europeo AgroCop, facente parte della WoodWisdom-net. Lo scopo principale del progetto è stato valutare la fattibilità del sistema colturale Alley Coppice, che prevede la consociazione tra specie a legname pregiato (Standard tree) e specie a ciclo breve per la produzione di biomassa da energia (Short Rotation Coppice – SRC).

L'obiettivo principale del dottorato è stato valutare la sostenibilità finanziaria del sistema colturale Alley Coppice. Per far questo è stato necessario sviluppare un modello di accrescimento del sistema colturale l'YDEAL, sviluppato in collaborazione con l'Ing. Jeremy André dell'INRA di Montpellier, uno dei partner del progetto AgroCop. Per comprendere le dinamiche di accrescimento e produttività delle specie consociate e per raccogliere i dati necessari alla calibrazione del modello, sono stati raccolti e analizzati i primi dati di accrescimento e produttività del campo sperimentale di Casale Monferrato (AL).

È stato inoltre studiato l'impatto che hanno le SRC sul suolo in termini di uptake di Azoto, utile anche ai fini dello studio della competizione tra le specie consociate, e sull'ottimizzazione dei sistemi di irrigazione per il pioppo SRC; si è iniziato a valutare la possibilità di utilizzare l'ontano napoletano (*Alnus cordata*) come specie a ciclo breve per la produzione di biomassa, attraverso una prima analisi della risposta allo stress idrico in confronto a dei cloni di pioppo.

Questi studi sono stati aggiunti in allegato alla Tesi, a completamento del lavoro svolto nei tre anni.

1. I COMBUSTIBILI LEGNOSI

La prima crisi energetica degli anni settanta è stata da propulsore per lo sviluppo di fonti di energia alternative ai combustibili fossili basate su risorse rinnovabili, e le coltivazioni per la produzione di biomassa da energia sono tra queste.

Per questo scopo i pioppi e i salici furono la scelta più logica nelle zone temperate, per il loro rapido tasso di accrescimento e la relativa facilità di coltivazione (Anderson et al. 1983). Nel 1978 l'International Energy Agency (IEA) fondò la *IEA Bioenergy organization* con lo scopo di migliorare la cooperazione tra i Paesi che hanno un piano nazionale di ricerca e sviluppo delle bioenergie. Attualmente, 20 Paesi più la Comunità Europea partecipano alla IEA Bioenergy (International Energy Agency, Bioenergy Agreement, 2008).

A partire dagli anni ottanta ci si è dedicati molto ai sistemi forestali per la produzione di biomassa da energie, in particolare alle coltivazioni a ciclo breve (*short rotation coppice, SRC*) (Anderson et al. 1983; Girouard et al. 1995; Armstrong et al. 1999; Hall 2002; Richardson 2002; González-García et al. 2010). Vennero sviluppati anche i sistemi per l'utilizzo delle biomasse da energia, che iniziarono a comprendere tutto il ciclo produttivo: la produzione, la conversione, la distribuzione ed il consumo. La fattibilità economica e tecnica dei sistemi dipende dall'armonizzazione di tutte le sue componenti, specialmente la necessità di avere una riserva sufficiente di materia prima, tecnologia efficiente per la conversione e un rapporto costi/ prezzo di vendita accettabile (Hoffmann & Weih 2005).

La Svezia è stata tra i primi paesi a dimostrare la sostenibilità delle coltivazioni per la produzione di energia tra la fine degli anni settanta e l'inizio degli ottanta usando il Salice (*Salix* spp.). Fu selezionato il salice per vari motivi: aveva un'alta produzione potenziale; era facile da mettere a dimora tramite talea; aveva un'elevata capacità di rigenerazione dopo la ceduzione; aveva una notevole variabilità genetica e un breve ciclo riproduttivo (Balatinecz et al. 2014).

Successivamente ai primi campi sperimentali, vennero piantati 25 000 ha di piantagioni di Salice commerciali a governo ceduo che vennero utilizzate per la produzione di energia fino agli anni novanta. Le proiezioni indicano che oltre 100 000 ha di salice verranno piantati in Svezia a questo scopo. La ragione principale di questo successo in Svezia risiede nella scelta di politiche a lungo termine per la sostituzione dei combustibili fossili, insieme a sussidi e incentivi sulle tasse.

Le accurate analisi eseguite su tutti i parametri di produzione indicano che le coltivazioni di Salice per la produzione di energia possono considerarsi sostenibili in quanto *CO₂ neutral* (Volk et al. 2004).

La produzione di biomasse da energia utilizzando pioppo e salice si sta sviluppando in molti altri Paesi, come Canada, Regno Unito, Irlanda, Belgio, Danimarca, Germania, Polonia, Finlandia, Italia e gli stati Balcanici (Szcukowski et al. 2002; Ericsson & Nilsson 2006; Balatinez et al. 2014).

La conversione delle biomasse legnose in energia può avvenire in tre modi:

- I. Termico;
- II. Biologico o biochimico;
- III. Fisico.

I processi termici o termochimici possono essere la combustione diretta (calore come prodotto finale), la gassificazione o la pirolisi. Per i processi biologici si usano enzimi o batteri che decompongono e convertono la biomassa in liquidi, come ad esempio l'etanolo, attraverso la fermentazione anaerobica. Per i processi fisici o fisico-chimici si utilizza l'idrolisi, insieme a calore e pressione, per rompere i legami chimici della biomassa e trasformarla in zuccheri e lignina, che possono essere processati successivamente per arrivare al prodotto desiderato, come potrebbe essere l'etanolo (Balatinez et al. 2014).

In Europa, su scala industriale, le coltivazioni di pioppo da biomassa per la produzione di energia stanno aumentando rapidamente, andando nella direzione della co-combustione di biomasse con il carbone, per migliorare la qualità dell'aria e diminuire i costi di produzione dell'energia (Tillman 2000; De & Assadi 2009).

Secondo Eaton (2008) per ottenere il rendimento massimo dai pioppi a rapido accrescimento, è preferibile utilizzare un metodo di gestione integrato e multiproduttivo, ovvero scegliere diversi cicli di rotazione per produrre sfogliati e altri prodotti legnosi, come i chips per la produzione pasta da carta ed utilizzare gli scarti per la produzione di biomassa da energia. In questo modo si rende la piantagione più flessibile, e si può variare il prodotto finale in base alle condizioni di mercato più vantaggiose in un determinato momento per quel prodotto. Eaton ha previsto quindi la gestione agroforestale per la coltivazione di SRC per la produzione di biomassa, come pioppi e salici, su terreni agricoli, con il vantaggio di poter tagliare la biomassa anche annualmente.

Uno dei maggiori vantaggi delle biomasse da energia è che non hanno produzione netta di CO₂, poiché la quantità di diossido di carbonio rilasciato in atmosfera è la stessa che le piante hanno assimilato dall'atmosfera durante la loro vita. Si può quindi contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici.

2. LA COLTIVAZIONE DI PIOPPA NEL MONDO

Pioppi e salici sono coltivazioni comuni in molti Stati. L'*International Poplar Commission* (IPC) stima che nel mondo ci siano 2.6 milioni di ettari coltivati con pioppo o salice, di cui 0.8 milioni ha (31%) con lo scopo principale di fornire prodotti legnosi, 1.7 milioni ha (65%) per la protezione dell'ambiente, 0.1 milioni ha (4%) per altri scopi (International Poplar Commission (IPC) 2008).

Il 96% della superficie mondiale (circa 2.5 milioni ha) coltivata con pioppo o salice appartiene alla Repubblica Popolare Cinese. Altri Paesi con vaste superfici coltivate a pioppo o salice sono l'India (60 000 ha), l'Argentina (20 500 ha), il Canada (14 000 ha) e la Nuova Zelanda (11 000 ha) (International Poplar Commission (IPC) 2008; Kollert et al. 2014).

E' stato dimostrato come l'utilizzo del Pioppo come coltura consociata ad un'altra coltura erbacea o ad un pascolo (*sistemi agroforestali*) ne migliori la resa grazie al miglioramento delle condizioni stagionali dovuto alla presenza degli alberi, come ad esempio la protezione dal vento per le colture o l'ombreggiamento per i capi di bestiame. Se consociata all'allevamento di bestiame, può avere un impatto positivo anche sulla fertilità del suolo (Kollert et al. 2014).

In India, il pioppo è la coltivazione agroforestale maggiormente utilizzata, dove più di 30 000 ha di piantagioni hanno fornito per anni legname per produrre fiammiferi e compensato. Anche in Cina, dove sia la domanda di legno che la pressione antropica sui terreni sono elevate, i sistemi agroforestali giocano un ruolo importante. Molte aree rurali sono state convertite in sistemi agroforestali come ad esempio i filari di protezione dei terreni agricoli, consociando coltivazioni erbacee ai pioppi (Carle & Ma 2005).

Negli Stati Uniti pioppi e salici stanno ricevendo un'attenzione crescente per la prevenzione dell'erosione lungo i corsi d'acqua, la fitodepurazione, l'incremento della biodiversità e per produrre energia e prodotti legnosi per sviluppare l'economia rurale (Isebrands & Richardson 2014).

3. L'ARBORICOLTURA DA LEGNO

È stato dimostrato come le foreste naturali del mondo non hanno la capacità di sostenere la richiesta di legno da opera e per produrre energia (Fenning & Gershenzon 2002). In risposta al crescente interesse verso le energie rinnovabili nel mondo sono stati piantati migliaia di ettari di cedui a turno breve (*Short Rotation Coppice, SRC*) per soddisfare la domanda crescente di biomassa per fini energetici (Fiala & Bacenetti 2012; Schweier & Becker 2012), così come la crescente domanda per il legname da opera ha superato le scorte disponibili.

Per ottimizzare in modo sostenibile il consumo del suolo si può combinare la coltivazione di SRC e legname pregiato sulla stessa unità di terreno, migliorando anche l'utilizzo della luce disponibile (Morhart et al. 2014).

Questo sistema combinato, chiamato *Alley Coppice*, non ha ricevuto molte attenzioni sia in teoria che in pratica (Clinch et al. 2009; Cardinael et al. 2012). Tuttavia l'*Alley Coppice* ha molte similarità con diversi sistemi ben noti in arboricoltura, come le piantagioni miste e il ceduo composto, le piantagioni da biomassa (SRC) e le piantagioni agroforestali (agroforestry).

3.1 Piantagioni miste

Le piantagioni forestali comportano notevoli rischi da un punto di vista sia economico che ecologico, specialmente quando si tratta di monoculture. Per ridurre questi rischi le piantagioni miste possono essere una valida alternativa alla monocultura, offrendo una serie di benefici sia da un punto di vista produttivo che ambientale (DeBell et al. 1997; Forrester et al. 2005). Non mancano tuttavia risultati negativi riguardo queste piantagioni, come mostrato da Parrotta (1999).



Figura 1. Esempi di piantagione mista -di noce da legno con ontano napoletano, nocciolo ed olivello (Biagio, campi sperimentali del CNR IBAF di Porano, TR).

Realizzare impianti misti può stimolare la crescita delle specie consociate attraverso due effetti: *competitive production* e *facilitation* (Forrester et al. 2006; Piotto 2008). Si parla di *competitive production* quando si utilizza una specie meno competitiva in modo che la competizione interspecifica sia minore della intraspecifica, ad esempio utilizzando piante eliofile a rapido accrescimento che possono condizionare l'accrescimento di specie a più lenta crescita e maggiormente tolleranti all'ombreggiamento. Nel caso di *facilitation* si utilizzano una o più specie in grado di stimolare positivamente la crescita di un'altra specie ad esse consociata, come ad esempio l'utilizzo di specie azotofissatrici (Bianchetto et al. 2013). Si utilizzano quindi quelle piante sono in grado di condizionare positivamente l'ambiente dove vivono (Hansen & Dawson 1982).

Le specie accessorie possono variare le condizioni ecologiche e stagionali anche da un punto di vista fisico del suolo e di spazio a disposizione (Bianchetto et al. 2013). La produttività delle piantagioni miste dipende da un'appropriata selezione delle specie da utilizzare nella consociazione, considerando gli aspetti di interazione ecologica, tra le specie e con l'ambiente, e gli aspetti selvicolturali (Piotto 2008). Storicamente, si è iniziato a studiare le piantagioni miste negli anni 80, con la messa a dimora dei primi campi sperimentali per una estesa raccolta dati (Kelty 2006). La maggior parte degli studi sulle piantagioni miste utilizzava degli impianti in cui la proporzione tra le specie consociate variava ma la densità totale delle piante rimaneva costante in tutte le parcelle oggetto degli studi (Harper 1977; Kelty & Cameron 1995; Nichols et al. 2006).

Le piantagioni miste non portano solo ad un aumento della produttività ma dovrebbero anche migliorare la qualità del legname, elemento fondamentale quando si parla di legno pregiato. Questo tipo di piantagione porterebbe ad un miglioramento

significativo della linearità del fusto a causa della stratificazione della canopy in risposta alla competizione luminosa, sopprimendo eventuali getti epicormici, migliorando lo sviluppo dei rami. Bianchetto et al. (2013) mostra come le consociazioni possano influire sulla qualità del fusto. Nello studio citato infatti il 51.1% di piante di noce (*Juglans regia*) consociate con il platano (*Platanus* spp.) abbiano sviluppato un fusto di qualità, appartenente alle classi A e B secondo la classificazione proposta da Nosenzo et al. (2011), a fronte della monocoltura di noce dove il 100% delle piante appartiene alla classe C e D. Anche nelle consociazioni con altre specie (*Ulmus minor*, *Salix alba*, *Alnus Cordata*, *Acer campestre*, *Eleagnus umbellata*) sono presenti dal 18 al 39% di fusti appartenenti alle classi A e B.

Nello studio di Loewe et al.(2013) si evidenzia come la consociazione influisca anche su un'altra importante caratteristica che definisce la qualità del legno prodotto: la biforcazione del fusto (Tabella 1).

Stem form (% of non-forked trees)		
	site3	
Wild Cherry Plantation Monoculture	66.6 b	
Mixed Plantation	100.0 a	T17
	100.0 a	T18
	100.0 a	T19
	83.3 a	T16
	83.3 a	T21
	66.7 b	T14
	66.7 b	T20
	50.0 b	T15

Tabella 1. Piantagione miste da legno. Effetto della consociazione sulla forma del fusto, come percentuale (%) di alberi di ciliegio privi di biforcazione del tronco (non-forked trees) in un sito sperimentale sudamericano. Le lettere indicano le differenze significative tra i gruppi, la T sta per i diversi trattamenti, ossia le diverse consociazioni del ciliegio con due o più specie effettuate nel sito sperimentale (Loewe et al. 2013).

In questo caso le consociazioni sembrano avere nella maggior parte dei casi un effetto positivo sulle piante di ciliegio, con tre casi (T17 – *P. avium* consociato con *Q. rubra*, *Corylus avellana*, *Quercus robur* e *Embothrium coccineum*; T18 - *P. avium* consociato con *Q. rubra*, *C. avellana*, *Q. robur* e *Fabiana imbricata*; T19 - *P. avium* consociato con *Q. rubra*, *C. avellana*, *Q. robur*, *R. pseudoacacia* e *Fabiana imbricata*) in cui il 100% dei ciliegi è privo i biforcazione.

Utilizzare specie diverse contemporaneamente aumenta la biodiversità, diminuendo il rischio di attacchi di patogeni e, qualora dovessero esserci, riducendone l'impatto sulla piantagione. Nelle piantagioni miste infatti si abbassa la densità della eventuale pianta ospite e la diversificazione dell'habitat facilita l'insediamento di popolazioni di predatori naturali del patogeno.

L'aumento della biodiversità dovuto alla diversificazione dell'habitat genera inoltre un importante servizio ecosistemico, soprattutto per il recupero di terreni degradati.

Le piantagioni miste sono inoltre molto efficaci per il sequestro del Carbonio. Alcune ricerche (Forrester et al. 2006; Redondo-Brenes & Montagnini 2006; Wang et al. 2009) mostrano come le piantagioni miste hanno il potenziale per immagazzinare più Carbonio rispetto le monocolture in un lasso di tempo minore. Secondo Redondo-Brenes & Montagnini (2006), la capacità di stoccaggio di Carbonio a lungo termine sembrerebbe dipendere dalla riuscita interazione tra gli alberi a rapido accrescimento e specie ad accrescimento più lento.

Wang et al. (2009) mostrano come in Cina una piantagione mista *Cunninghamia/Alnus* (mix2) aumenta lo stoccaggio di Carbonio dell'11% sia nella biomassa che nel suolo rispetto ad un impianto puro di abete cinese (*Cunninghamia lanceolata*) (Figura 2). La differenza tra la piantagione mista *Cunninghamia/Kalopanax* (mix1) e la monocoltura forestale non è significativa anche se comunque evidenzia una tendenza all'aumento di stoccaggio del carbonio nella biomassa.

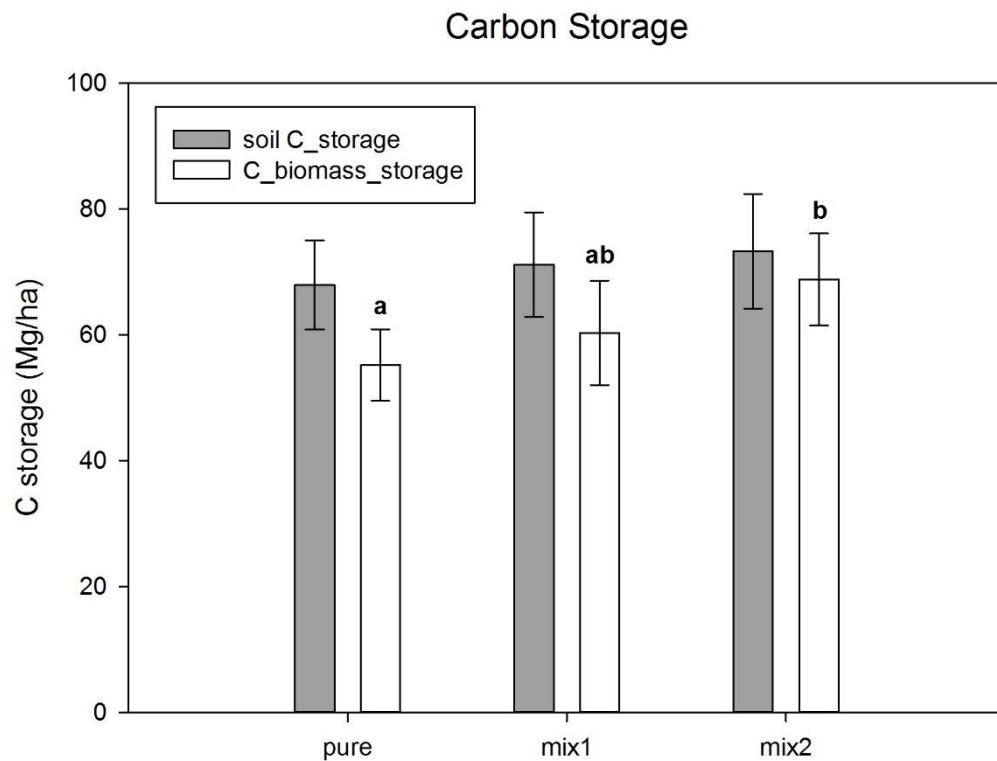


Figura 2. Piantagioni miste e stoccaggio di Carbonio (Mg ha^{-1}) nella biomassa totale, ipogea ed epigea (C biomass storage) e nel suolo (soil C storage) nei tre trattamenti: la monocoltura (pure) e i due tipi di consociazione (mix1 e mix2). Le lettere evidenziano la significatività delle differenze. Wang et al. (2009).

La pressione esercitata sulle foreste naturali per la raccolta di legname può essere ridotta sviluppando piantagioni forestali e agroforestali su terreni agricoli marginali, utilizzando le specie arboree locali, maggiormente adattate alle condizioni climatiche del sito (Hall et al. 2011).

Le piantagioni miste possono quindi combinare l'utilizzo ottimale delle risorse con il beneficio della coltivazione di diversi prodotti variando la rotazione

3.2 Il ceduo composto

Nel ceduo composto la maggioranza degli alberi forma un bosco dominato coetaneo di una determinata età e segue alla gestione a ceduo tradizionale, in associazione con alcuni alberi selezionati disetanei gestiti ad altofusto. Per la rigenerazione di questo sistema i metodi più utilizzati sono la propagazione e la rigenerazione da seme.



Figura 3. Esempio di ceduo composto con matricine (standard tree).

Il metodo consiste nella ceduazione di tutti gli alberi ad eccezione di alcuni alberi selezionati lasciati per accrescersi ad altofusto, gestiti con una rotazione lunga con il fine non solo di produrre legname pregiato ma anche per produrre i semi necessari alla rigenerazione del ceduo (Morgenstern 1991). Il numero di alberi lasciati ad altofusto varia a seconda dell'obiettivo di produzione che si intende raggiungere: la regola generale prevede generalmente il rilascio di 30-100 alberi ad altofusto per ettaro divisi tra le varie classi diametriche (Evans 1997). Il ciclo di taglio dei cedui dipende dalle specie scelte e dalla loro tolleranza all'ombreggiamento causato dalle piante ad altofusto. La durata del ciclo per le piante per la produzione del legname da opera è solitamente pari ad un multiplo della durata della rotazione del ceduo. Le specie maggiormente utilizzate in questo sistema sono: querce (*Quercus* spp), pioppi (*Populus* spp.), noccioli (*Corylus avellana*), ontani (*Alnus* spp.) per il governo a ceduo; ciliegi (*Prunus avium*), noce (*Juglans* spp.), raramente alcune conifere (Morgenstern 1991) per la gestione ad altofusto.

Negli anni settanta e ottanta l'utilizzo di questo sistema è andato riducendosi, a causa della diminuzione della domanda di legname per la produzione di energia, spesso convertiti in boschi ad altofusto, inserendo conifere a rapido accrescimento con lo scopo

di produrre legname pregiato. Negli ultimi anni si è però riscoperta l'utilità di questo tipo di gestione, e la sua importanza da un punto di vista ecologico.

3.3 Alley cropping

L'alley cropping è una pratica agroforestale che consiste nella piantagione di file di colture agrarie o pascoli in corridoi (alley) che separano dei filari, singoli o multipli, di alberi o arbusti (Gene Garrett & Buck 1997; Benjamin et al. 2000).



Figura 4. Esempio di sistema agroforestale (alley cropping) di pioppo consociato ad erba medica. Azienda Sperimentale Mezzi, CRA, Casale Monferrato (AL).

Le file di alberi garantiscono diversi benefici, come legname di qualità se vengono portati a maturità (solitamente chiamati sistemi silvoarabili) (Dupraz 1994), fertilizzazione delle colture attraverso alberi azotofissatori (Kang et al. 1981), o biomassa per la produzione di energia (Tsonkova et al. 2012).

Per la produttività del sistema la competizione luminosa tra le specie consociate gioca un ruolo chiave (Talbot & Dupraz 2012).

I sistemi silvoarabili in Europa sono stati recente oggetto di ricerche con lo scopo di sviluppare dei modelli di simulazione (Figura 5) (Graves et al. 2007; van der Werf et al. 2007; a. R. Graves et al. 2010; Keesman et al. 2011) per identificare e quantificare i benefici principali economici ed ambientali e per determinare come gli agricoltori potrebbero rispondere a queste innovazioni (Rigueiro-Rodriguez et al. 2009).

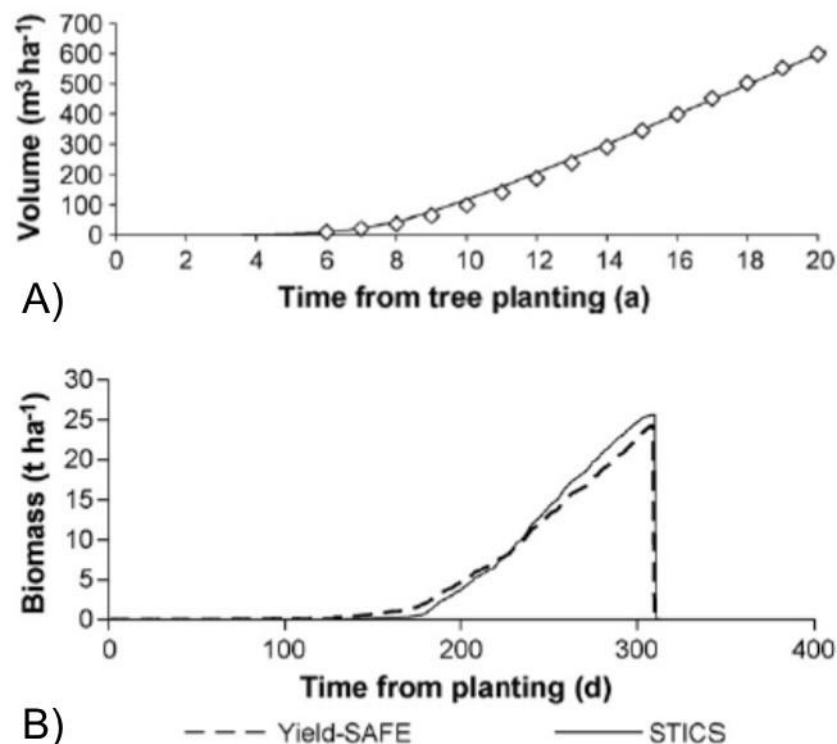


Figura 5. Sistemi agroforestali. Esempi di output del modello Yield-SAFE da van der Werf et al. (2007). A) rappresenta una ipotesi di accrescimento su 20 anni di pioppi standard trees consociati ad una coltura erbacea. B) rappresenta la produzione di grano consociato generato dallo Yield-SAFE (linea tratteggiata) calibrata rispetto a modello STICS.

L'aumento della domanda di legname pregiato in Europa, con la contemporanea diminuzione di disponibilità di legname tropicale, ha stimolato lo sviluppo di sistemi silvoarabili con lo scopo primario di produrre legname da opera (Dufour et al. 2013). A differenza degli alberi da frutto, sembra che non ci siano stadi critici nella crescita degli alberi da legno che possano essere compromessi dalla competizione con le colture erbacee (Dupraz 1994).

I sistemi silvoarabili sembrano essere ecologicamente più efficienti rispetto alle monocolture, con una maggiore efficienza nell'utilizzo della luce quando si utilizzano specie con fenologia differente (colture erbacee invernali consociate a latifoglie) (a. R. Graves et al. 2010; Talbot & Dupraz 2012) e nell'utilizzo di acqua e nutrienti, grazie alla diffusione delle radici delle specie consociate su orizzonti diversi (Mulia & Dupraz 2006).

I filari degli alberi dovrebbero essere lontani di una distanza pari a due volte l'altezza attesa a maturità, in modo che la produttività delle coltivazioni erbacee non diminuisca troppo, nella prima metà del ciclo di crescita degli alberi, a causa della competizione luminosa. Questa spaziatura permetterebbe anche di avere una produttività ridotta, ma sufficiente a generare un profitto, delle coltivazioni erbacee nella seconda metà del ciclo di crescita degli alberi (Talbot & Dupraz 2012; Dufour et al. 2013). Da un punto di vista ecologico (J. H N Palma et al. 2007), gli alberi sono in grado di

assimilare i nutrienti dagli orizzonti più profondi del suolo rispetto alle erbacee e riducono la contaminazione delle acque di falda causata dall'eccesso di nutrienti (Allen et al. 2004). I sistemi agroforestali, in particolare quelli silvoarabili, sono stati identificati come efficace mezzo per ridurre l'inquinamento da nitrati delle acque di falda (Jose et al. 2004; Palma et al. 2007). Le file di alberi infine forniscono un habitat adatto a molte specie animali e vegetali, contribuendo così a diversificare il paesaggio agrario e a proteggere e migliorare la sua biodiversità (Palma et al. 2007).

3.4 Short Rotation Coppice (SRC)

Gli impianti da arboricoltura a ciclo breve (Short rotation coppice - SRC) su terreni agricoli sono caratterizzati da un rapido tasso di accrescimento, un breve ciclo di crescita e la gestione a ceduo. Il fine è quello di produrre quantità adeguate di biomassa per la produzione di energia.



Figura 6. Esempi di SRC di pioppo a Viterbo, azienda Ascenzi (sx), alla prima stagione di accrescimento, ed a Torreimperia (Azienda Carandini, Roma), al momento del taglio raccolta della biomassa.

Rispetto ad altri sistemi di produzione di biomassa per fini energetici, come la colza per la produzione di olio o il mais per la gassificazione, le SRC sono caratterizzate da un bilancio netto positivo di emissione di gas serra (Petzold et al. 2014). Le SRC hanno anche un effetto positivo sull'ecologia del suolo (Makeschin 1994), la qualità dell'acqua (Schmidt-Walter & Lamersdorf 2012) e l'aumento della biodiversità (Rowe et al. 2011).

Da un punto di vista economico le SRC dovrebbero essere incentivate per sviluppare un elevato potenziale di produzione di bioenergie in Europa (Berndes & Hansson 2007; de Wit & Faaij 2010). Ad oggi l'area dedicata alle SRC in Europa è di circa 50 000 ha, una superficie abbastanza ridotta in confronto agli altri sistemi per la produzione di biomassa da energia (Don et al. 2009). Le cause di questo scarso impiego sono molteplici, ad esempio (Petzold et al. 2014):

- La competizione con la produzione di cibo. La bassa disponibilità di terreni agricoli mette in competizione la produzione di cibo con quella delle biomasse;
- Pregiudizi da parte dell'opinione pubblica contro le modificazioni di uso dei terreni;
- Una legislazione restrittiva e poco chiara rispetto questo tipo di coltivazioni;
- Difficoltà per gli imprenditori agricoli di variare le produzioni agricole nel lungo periodo, in relazione agli input del Mercato;
- Scarsa considerazione delle SRC da parte degli imprenditori agricoli.

Le SRC sono solitamente piantate su terreni agricoli, ed ogni ciclo dura tra i 2 e i 5 anni, a seconda delle condizioni ambientali e dei cloni utilizzati.

Le specie utilizzate per questo tipo di coltivazioni sono principalmente diversi cloni di pioppo (*Populus* spp.) e salice (*Salix* spp.) specificatamente selezionati per essere gestiti a SRC.

Gli impianti SRC sono stati ampiamente studiati (Verwijst & Nordh 1992; Brown et al. 1996; McCracken et al. 2001; Aylott et al. 2008; Wickham et al. 2010; Filat et al. 2010; Paris et al. 2011; Morhart, Sheppard, Seidl, et al. 2013).

3.5 Alley Coppice (AC)

L'Alley Coppice (AC) è un sistema di coltivazione agroforestale che prevede la coltivazione di filari di piante per la produzione di legname pregiato (Timber trees) molto distanziati tra loro e consociati con alberi SRC coltivati nei corridoi (alley) tra le file di timber trees (Figura 8).



Figura 7. Esempio di impianto Alley Coppice in Irlanda con ciliegio da legno consociato a salice SRC, appena messo a dimora (dx) e dopo un anno (sx). Foto: Rory.Lunny.

Questo sistema prende spunto da tutti quelli precedentemente elencati, differendo dal ceduo composto perché le piante da legno sono allineate lungo filari e non distribuite casualmente e per la minore durata del ciclo di taglio delle SRC rispetto ai cedui tradizionali. L'Alley Coppice è un sistema gestito destinato a terreni agricoli più che a quelli forestali (Morhart et al. 2014).

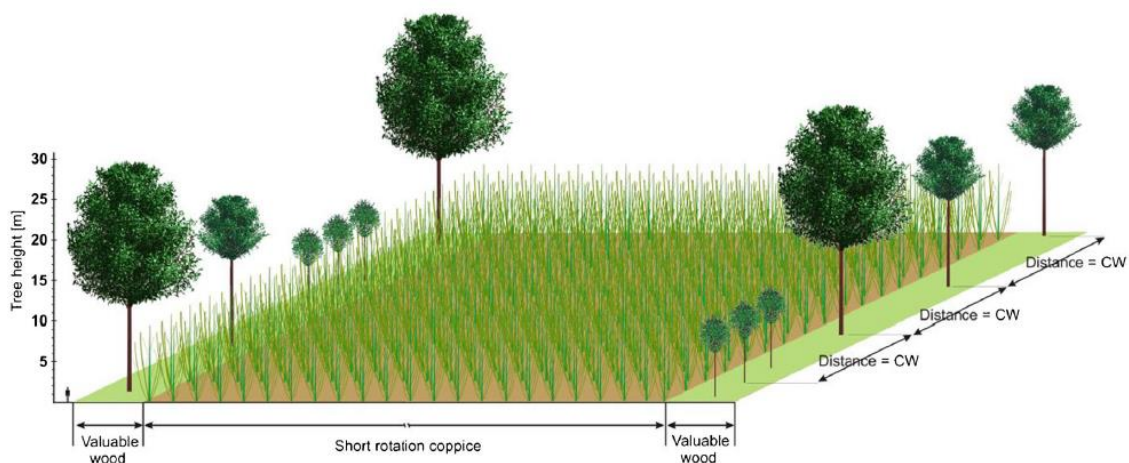


Figura 8. Il sistema Alley Coppice combina la produzione di timber tree in stretti filari con alberi SRC nello spazio tra i filari. La distanza dei timber tree lungo la fila è pari all'ampiezza della chioma (CW = crown width) attesa a maturità (Morhart et al. 2014)

Progettazione del sistema AC per la produzione di legname pregiato

Per produrre legname pregiato è necessario avere a fine ciclo un tronco dritto e privo di rami. Le specie proposte per questo scopo sono principalmente ciliegio (*Prunus avium*), noce (*Juglans regia* ma anche alcuni ibridi specializzati), sorbo (*Sorbus* spp), ontano (*Alnus* spp) (Morhart et al. 2014).

Per permettere anche la crescita e lo sviluppo delle SRC consociate, è importante utilizzare una corretta spaziatura, sia lungo le file timber che per la distanza dalle SRC. Le distanze sono calcolate in base all'area di proiezione della chioma (Spiecker & Hein 2009).

La distanza tra le specie consociate dipende dall'accrescimento medio radiale degli alberi timber: dovrebbe essere tra le 20 e le 28 volte il diametro atteso a maturità. La distanza lungo la fila dovrebbe essere compresa tra i 4 e i 10 metri, a seconda della larghezza attesa della chioma a maturità (Morhart et al. 2014). Per garantire un maggior tasso di successo, gli alberi timber potrebbero essere piantati a gruppi da due o tre piante a distanza minore, in modo da poter selezionare quelle con il migliore accrescimento e forma. La densità iniziale comunque la minore possibile, con l'obiettivo di far arrivare a maturità tra le 50 e le 80 piante/ha (Balandier 1997).

Il rapido accrescimento delle SRC rispetto potrebbe renderle dominanti sulle piante a legname pregiato, soprattutto nei primi anni della piantagione. È consigliabile quindi lasciare almeno 3m tra le due coltivazioni. In alternativa si può considerare una consociazione differenziata nel tempo, con le SRC piantate quando gli standard tree sono sufficientemente alte da non risentire della competizione luminosa.

Le potature giocano un ruolo fondamentale nel corretto accrescimento e sviluppo di un tronco di qualità, e dovrebbero essere effettuate finché non si è raggiunta la lunghezza del tronco privo da rami voluta, solitamente compresa tra i 5 e i 10 metri (Balandier 1997; Balandier & Dupraz 1999). La competizione luminosa tra le specie potrebbe quindi portare ad un effetto positivo sulla disposizione dei rami, facendoli tendere verso la parte alta dell'albero e potenzialmente riducendo la necessità di interventi di potatura.

Progettazione del sistema AC per la produzione di biomassa

Se lo scopo principale è quello di produrre biomassa, le file degli alberi timber dovrebbero essere piantate il più largo possibile per massimizzare la superficie utilizzabile per la piantagione SRC.

Le specie consigliate sono quelle che vengono utilizzate maggiormente nelle monocolture SRC, a seconda dell'area geografica e della composizione del suolo: i cloni di pioppo sono quelli generalmente utilizzati in Europa centro-meridionale, mentre i cloni di salice vengono utilizzati soprattutto nel nord Europa. Altre specie utilizzate in maniera minore sono gli eucalipti (*Eucalyptus* spp.) e la robinia (*Robinia pseudoacacia*) (Rédei 2002; Reed et al. 2003).

La coltivazione è generalmente completamente meccanizzata, dalla messa a dimora al taglio, e comprende trattamenti contro le infestanti all'impianto e dopo ogni taglio. Gli interventi di fertilizzazione e di irrigazione vengono effettuati quando necessario (Morhart et al. 2014).

Se il suolo è povero di nutrienti, la fertilizzazione diventa essenziale a causa dei frequenti tagli e la notevole asportazione di biomassa, che porta un ulteriore impoverimento del suolo (Lars 2002; Guidi et al. 2008; Morhart, Sheppard & Spiecker 2013). Altro elemento importante per avere un buon rendimento dalle colture SRC è la disponibilità idrica nel suolo. L'irrigazione quindi diventa fondamentale in quelle aree dell'Europa meridionale dove le precipitazioni non sono sufficienti (Guidi et al. 2008; Pistocchi et al. 2009). Per questo tipo di colture è solitamente raccomandata l'irrigazione a goccia, possibilmente sotterranea, considerata più efficiente ed economica (Ayars et al. 1999).

Il ciclo di taglio delle SRC consociate è solitamente di 2-3 anni e la cippatura diretta in campo la forma prevalente di taglio. Il cippato con un'umidità maggiore del 50% dovrebbe essere essiccato in stufa per poter migliorare la resa durante la combustione. In alternativa, si possono lasciare sul campo i polloni interi ad essiccare, per poi cipparli una volta secchi.

Il numero di rotazioni delle SRC con un rendimento sufficiente è solitamente compreso tra le 4 e le 6 (Afas et al. 2008; Geyer 2006). Successivamente, le ceppaie vanno rimosse per rendere il terreno disponibile ad una nuova coltura.

Sviluppo e stadi di accrescimento del sistema AC

Sono stati individuati quattro stadi di sviluppo critici durante l'accrescimento delle specie consociate nel sistema Alley Coppice (Morhart et al. 2014) (Figura 9). Ogni stadio è illustrato in maniera proporzionale al precedente. Per questo esempio sono stati utilizzati il ciliegio (*Prunus avium*) come specie per la produzione di legname pregiato (timber) e il pioppo (*Populus* spp.) a taglio triennale come specie per la produzione di biomassa (SRC). All'impianto, si considerano i ciliegi alti 2 m e gli astoni di pioppo di 20cm.

L'obiettivo principale è quello di produrre legname pregiato, per cui alla fine del ciclo si dovrebbe avere dei ciliegi con un tronco di 10 m privo di rami e un diametro di 60 cm. I tassi di accrescimento, sia in altezza che in diametro, lo sviluppo delle chiome per entrambe le specie sono stati presi dalla letteratura (Rohle & Ali 2009; Spiecker & Hein 2009).

a) Primo stadio: un anno dalla messa a dimora (Figura 9a)

Le specie consociate crescono senza che la competizione luminosa le abbia influenzate. È essenziale il controllo delle infestanti, meccanico o per mezzo di erbicidi.

b) Secondo stadio: tre anni dalla messa a dimora (Figura 9b)

I pioppi SRC dovrebbero aver raggiunto una altezza di circa 6 m e saranno tagliati, dando maggior spazio ai ciliegi timber, che dovrebbero aver raggiunto una altezza di circa 3 m. L'esposizione improvvisa alla luce senza l'ombreggiamento dei pioppi potrebbe stimolare lo sviluppo di rami epicormici, con conseguente intervento di potatura selettiva per la loro rimozione (Springmann et al. 2011).

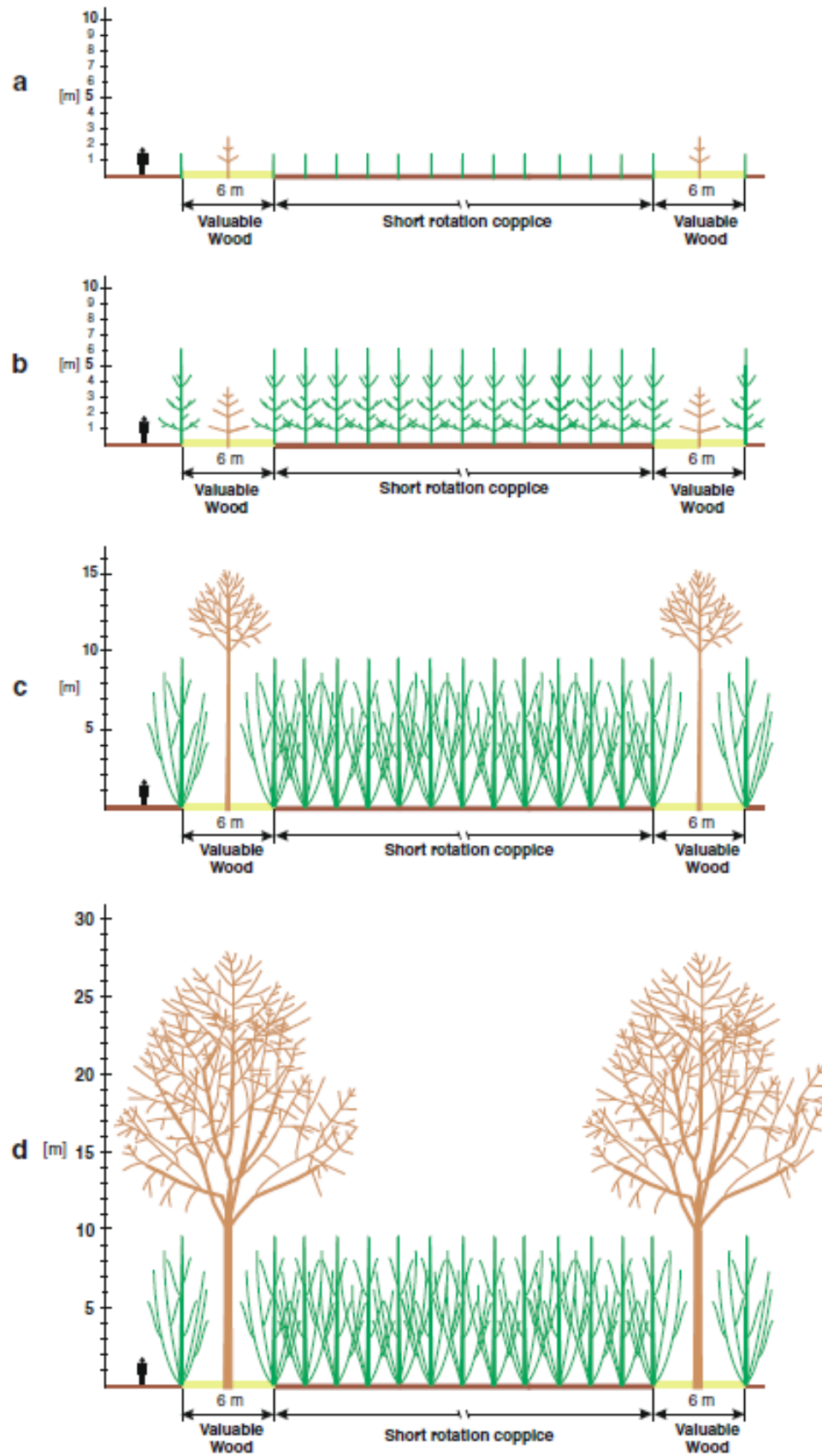


Figura 9. Ipotesi di accrescimento del sistema Alley Coppice dopo il primo anno (a), dopo il terzo anno (b), dopo il ventesimo (c) e al sessantesimo (fine ciclo) (d) (Morhart et al. 2014).

c) Terzo stadio: venti anni dalla messa a dimora (Figura 9c)

Se i ciliegi sono stati piantati a gruppi, saranno necessari dei diradamenti tra il 5° e il 15° anno per selezionare i tronchi migliori. Dopo venti anni, se potati regolarmente i ciliegi dovrebbero aver sviluppato un tronco di circa 10m privo di rami, e non dovrebbero essere necessari ulteriori interventi di potatura.

Le ceppaie di pioppo SRC andranno sostituite, consentendo all'agricoltore di scegliere se continuare con un nuovo ciclo SRC, cambiare coltura o lasciare solo la monocoltura forestale, tenuto conto anche della situazione economica e ambientale sicuramente diversa rispetto l'inizio dell'impianto. Nel caso in cui si vogliano ripiantare i pioppi SRC, si può decidere di variare densità e spaziatura a seconda dell'ombreggiamento causato dai ciliegi.

d) Quarto stadio: sessanta anni dalla messa a dimora (Figura 9d)

I ciliegi dovrebbero aver raggiunto le dimensioni cercate, con un diametro di circa 60 cm. Contemporaneamente le SRC dovrebbero aver raggiunto la fine del terzo ciclo produttivo. Il campo è così libero e disponibile ad una nuova coltivazione.

Interazioni tra le specie consociate nel sistema AC

Attualmente non esistono piantagioni alley coppice mature, solo alcuni impianti sperimentali di recente impianto. È quindi necessario far riferimento a dei modelli di simulazione per comprendere quali potrebbero essere le interazioni tra le due specie consociate e le eventuali criticità. Nel tempo sono stati sviluppati alcuni modelli di simulazione per i sistemi agroforestali (van Noordwijk & Lusiana 1999; van der Werf et al. 2007; A. R. Graves et al. 2010), ma nessuno di questi è validato per il sistema AC.

Per quel che riguarda la competizione luminosa, le piante timber utilizzano pochissima parte di tutta la luce disponibile nei primi anni di vita, considerato anche la bassa densità di impianto. Utilizzare la luce in eccesso per una piantagione consociata è uno dei vantaggi dei sistemi agroforestali. Negli anni successivi la competizione per la luce potrebbe risultare limitante per l'accrescimento degli alberi: se nei primi 20 anni la specie utilizzata come standard tree potrebbe crescere più lentamente a causa dell'ombreggiamento causato dalla specie SRC, nei successivi cicli potrebbe avvenire il contrario, con le SRC dominate dagli standard tree ormai maturi. Se non eccessivo, l'ombreggiamento delle SRC potrebbe avere un effetto positivo riducendo

l'evapotraspirazione delle piante e di conseguenza il loro consumo idrico (Clinch et al. 2009).

Per quel che riguarda i nutrienti, entrambe le specie consociate hanno necessità molto simili, ma potrebbero essere in grado di esplorare orizzonti diversi del suolo, come mostrato già per altri sistemi agroforestali (van Noordwijk et al. 1996). Specie azotofissatrici come SRC (ontano o robinia ad esempio) potrebbero essere da stimolo per la crescita degli standard tree. I rapidi e continui tagli di biomassa SRC sul lungo periodo potrebbero causare un deficit di nutrienti per gli standard tree.

AC e servizi ecosistemici

A causa del loro stretto rapporto con l'ambiente, le colture agrarie generano una serie di effetti collaterali sull'ambiente e sul paesaggio. Questi effetti vengono chiamati servizi ecosistemici. Negli ultimi anni sono stati molto studiati, in particolare per trovare un modo di valorizzare, anche economicamente, questi servizi resi dall'agricoltore alla collettività e all'ambiente (Duraiappah & Naeem 2005; Fisher et al. 2009).

L'utilizzo delle monocolture SRC o dei sistemi agroforestali in sostituzione dei sistemi di coltivazione intensiva determina un aumento della biodiversità (Quinkenstein et al. 2009; Baum et al. 2012; Tsonkova et al. 2012). Di conseguenza è probabile che anche l'alley coppice abbia lo stesso effetto positivo sull'ambiente, aumentando la biodiversità. Il sistema AC potrebbe giocare un ruolo chiave nella costruzione della cosiddetta "green network", una rete di corridoi ecologici che connetterà le porzioni naturali negli paesaggi agricoli intensivi, con lo scopo di facilitare lo spostamento degli animali (Rigueiro-Rodriguez et al. 2009).

I sistemi agroforestali, grazie alla consociazione di specie diverse, dovrebbero essere più resistenti delle monocolture ai disturbi abiotici causati dai cambiamenti climatici, grazie alla complessa interazione tra le specie che compongono il sistema, fornendo una maggiore capacità di resistenza agli stress ambientali.

4. IL PROGETTO AGROCop

Questo studio è stato eseguito all'interno del progetto Europeo AgroCop (Agroforestry systems and short rotation Coppice), nell'ambito della WoodWisdom-net. Lo scopo principale del progetto è la ricerca di un nuovo modo di produrre legname da opera e biomassa per la produzione di energia su terreni agricoli, utilizzando le coltivazioni arboree a turno breve con i sistemi agroforestali. Il progetto di ricerca, iniziato nel 2012 e conclusosi nel 2014, ha visto coinvolti cinque Stati europei (Irlanda, Francia; Germania, Italia, Regno Unito) e sei istituti di ricerca (FVA e IWW – Germania; INRA – Francia; CNR-IBAF – Italia; Teagasc – Irlanda; AFBI – Irlanda del Nord).

5. ALLEY COPPICE: ACCRESCIMENTO E PRODUTTIVITÀ DEL CAMPO SPERIMENTALE DI CASALE MONFERRATO (AL)

5.1 Introduzione

In Europa il legname da opera di elevato valore è in larga parte di importazione, principalmente di origine tropicale. Negli ultimi anni sono stati fatti molti tentativi per incoraggiare gli imprenditori agricoli a mettere a dimora delle piantagioni forestali per la produzione di legname da opera utilizzando specie endemiche e/o naturalizzare europee come il ciliegio (*Prunus avium*), il noce (*Juglans* spp.), le querce (*Quercus* spp.), i frassini (*Fraxinus* spp.) (Fady et al. 2003; Magagnotti et al. 2011). Sfortunatamente questi tentativi non sono andati a buon fine per alcune criticità mostrate da questo tipo di coltivazione, che ne hanno limitato l'interesse da parte degli imprenditori agricoli, come:

- la necessità di terreni a media-alta fertilità per ottenere un buon accrescimento delle specie a legname pregiato (Lauteri et al. 2006; Mohni et al. 2009);
- la lunghezza del ciclo colturale (minimo 30 anni) scoraggia gli agricoltori, dubbiosi sull'idea di occupare un terreno agricolo per così tanto tempo, con la prospettiva di un guadagno troppo lontana nel tempo (Palma et al. 2007);
- le pratiche colturali di gestione dell'impianto finalizzate al miglioramento del fusto e della qualità del legno, come le potature e i diradamenti, sono costose e poco redditizie (Bisoffi et al. 2009).

Una soluzione al problema potrebbero essere gli impianti misti, che però hanno creato ulteriori problemi di gestione a causa della difficile meccanizzazione delle attività di gestione dell'impianto, con conseguente aumento dei costi (vedi paragrafo 3.1). Si è pensato quindi di testare un nuovo sistema di coltura, denominato *Alley Coppice* (AC) che sfrutta la consociazione tra gli alberi a ciclo breve per la produzione di biomassa da energia (Short rotation Coppice – SRC) e piante per la produzione di legname pregiato (Standard tree) (Morhart et al. 2014). La consociazione è strutturata come un sistema silvoarabile, con le SRC a sostituire le coltivazioni erbacee (vedi paragrafo 3.3).

Questo metodo di coltivazione offre alcuni vantaggi, come ad esempio:

- la possibilità di avere un ritorno economico più o meno costante grazie al taglio e la vendita e/o utilizzo della biomassa SRC per la produzione di energia;

- la possibilità di mettere a dimora gli standard tree ad una densità più bassa rispetto alla moncoltura forestale, riducendo i costi di diradamento
- l'aumento della biodiversità e una riduzione dell'erosione del suolo grazie alla consociazione tra le specie;
- l'effetto protettivo delle SRC rispetto gli standard tree da eventuali danni causati dal vento.

Le SRC sono specie selezionate per rapido accrescimento, e andranno consociate con gli standard tree, con un accrescimento più lento. Per far sì che la consociazione sia efficace, bisogna scegliere accuratamente il sesto d'impianto e le specie da consociare (Guidi et al. 2008; Lars 2002; Pistocchi et al. 2009; Morhart, Sheppard & Spiecker 2013; Loewe et al. 2013).

5.2 Obiettivi

Scopo di questo studio è migliorare la conoscenza del sistema Alley Coppice attraverso la raccolta e l'analisi dei primi dati produttivi raccolti nel campo sperimentale di Casale Monferrato (AL), analizzando anche la competizione idrica e luminosa tra le specie consociate. I dati di accrescimento e produttività raccolti nel sito sono stati utilizzati per la calibrazione del modello YDEAL (vedi capitolo 6).

5.3 Materiali e metodi

Il campo sperimentale

La piantagione è stata messa a dimora nel 2007, consociando Pero e Sorbo per la produzione di legname da opera con Pioppo a ciclo breve (SRC – Short Rotation Coppice) per la produzione di biomassa da energia. Nello specifico, sono stati piantati il clone PVC 74/15/53 per il Pero e tre differenti cloni di Sorbo: Tosca 3, Tosca 10/5, Tosca 10/16. Il sesto di impianto per le specie da legname pregiato è di 8 x 8 m, utilizzando piantine di un anno micropropagate in vaso. Per la biomassa sono stati selezionati tre cloni di pioppo: Oglio, Triplo e Lux. L'impianto è a fila binata, con una distanza di due metri tra le bine. Gli astoni, lunghi 1.20 m sono state messe a dimora in continuo e in

orizzontale utilizzando un prototipo DEIAFA. All'impianto, la distanza tra i filari delle due specie è di tre metri.

Data la particolarità del sistema di impianto della biomassa, per definire la densità di impianto si fa riferimento al numero di polloni per metro lineare presenti dopo ogni taglio (Tabella 2).

Shoots m ⁻¹				
Clone	R2S2	R4S2	R6S2	R8S2
Triplo	0.67	1.76	0.88	0.57
Oglio	0.55	0.79	0.73	0.46
Lux	0.37	0.31	0.62	0.29

Tabella 2. Polloni per metro lineare per ogni clone di pioppo ad ogni taglio. R = root age, età della ceppaia al taglio; S = shoot age, età del pollone al taglio

Il campo sperimentale è diviso in quattro parcelle, due consociate e due di controllo con la monocoltura di pero e sorbo (Figura 10).



Figura 10. Il campo sperimentale di Alley coppice con pero/sorbo (standard tree) e pioppo SRC, presso l'azienda Mezzi, Casale Monferrato (AI)

Fin ora sono stati eseguiti quattro tagli biennali dei pioppi per la produzione di biomassa da energia. Il terzo taglio (2012) è stato eseguito tardivamente, quando i

pioppi erano in ripresa vegetativa, causando una perdita di produttività nel taglio successivo (2014).

Accrescimento e produttività delle piante

Per stimare la quantità di biomassa prodotta dai pioppi SRC prima di ogni taglio sono stati eseguiti campionamenti distruttivi di 30 piante rappresentative delle classi diametriche, misurandone l'altezza del pollone dominante, l'altezza media e il peso sia fresco che dopo averle seccate tre giorni in stufa a 105°C. Dalla curva altezza-peso così costruita si è stimata le tonnellate di biomassa anidra prodotta da ogni singolo clone per ettaro di Alley Coppice. I dati poi sono stati confrontati utilizzando il test della varianza (ANOVA) per stabilire se ci fossero differenze significative tra i tre cloni utilizzati.



Figura 11. Impianto di Casale Monferrato nell'autunno del terzo anno di crescita, un anno dopo il primo taglio del pioppo SRC. Foto:Gianni Facciotto.

Per studiare l'accrescimento dei peri e dei sorbi sono state definite tre tesi:

1. Monocoltura (*Forestry*)
2. Pianta con le SRC solo su un lato (*Near*)
3. Pianta consociata su ambo i lati con le SRC (*Between*).

Per ogni tesi sono presenti due repliche, dove sono state misurate le altezze per ogni anno della coltivazione e i diametri per ogni anno a partire dal quinto anno di impianto (2012) (Figura 12). Il maltempo del 2013 ha abbattuto alcune piante, soprattutto di pero, riducendo il numero di alberi a disposizione per le analisi.

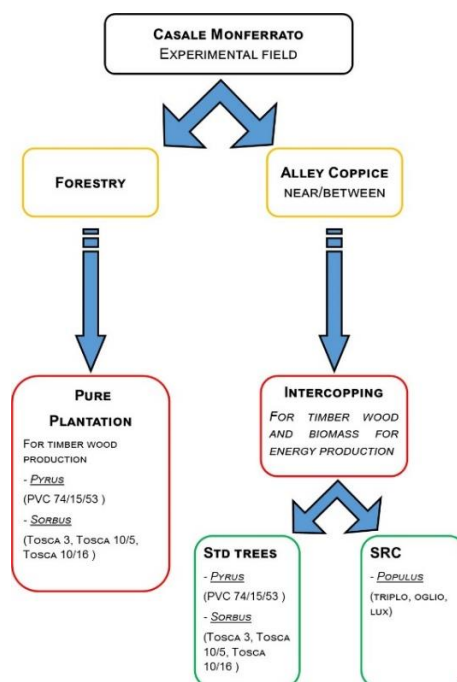


Figura 12. Sintesi dei trattamenti e le specie utilizzate nel campo sperimentale. Tra parentesi i cloni messi a dimora per ogni specie.

Competizione idrica

Nel 2014, ottavo anno di crescita del campo sperimentale, sono stati eseguiti dei rilievi sull'umidità del suolo per analizzare la competizione idrica tra le specie consociate.

Per la raccolta dati è stata utilizzata la sonda PR2 della DELTA-T Devices, che rileva la percentuale di umidità del suolo (Soil moisture content) a sei diverse profondità del suolo (10 – 20 – 30 – 40 – 60 – 100 cm).

Per ogni parcella sono stati scelti tre punti, in prossimità delle standard trees, nei quali sono stati eseguiti quindici rilievi da aprile a dicembre.

Competizione luminosa

Il successo o il fallimento di una piantagione mista dipende in parte dalla competizione luminosa tra le specie (Forrester et al. 2005): a volte l'eccessiva competizione contribuisce al fallimento dell'impianto (Snowdon et al. 2003), altre ne definisce il successo attraverso una corretta stratificazione della canopy (DeBell et al. 1985; DeBell et al. 1997; Bauhus et al. 2004; Forrester et al. 2004). Questo discorso è valido anche per l'Alley Coppice. È necessario quindi studiare la competizione luminosa tra le specie consociate.

Nel caso di Casale Monferrato, nel 2013 è stata stimata la percentuale di trasmittanza totale della luce (Percentage Total Light Transmittance – PTLT, %) con il

metodo delle foto emisferiche (HPs). È stata utilizzata una fotocamera digitale NIKON Coolpix 995 con obiettivo grandangolare estremo (NIKON fisheye converter FC-E8 0.21x) (Paris et al. 2014). Il protocollo prevede che le foto vengano scattate con luce diffusa (alba o tramonto), con la camera parallela al suolo ed orientata verso il nord magnetico, l'obiettivo puntato verso il cielo.

Sono state eseguite due serie di rilievi, con cinque foto scattate per ogni trattamento e per ogni parcella. Il primo rilievo, il 29 Aprile 2013, per la stima del PTLT per gli standard trees consociati con le SRC, poco prima del taglio del terzo ciclo di accrescimento della biomassa, con i pioppi in piena stagione vegetativa e le foglie completamente espanse. La camera è stata posizionata ungo la fila degli standard trees, a metà strada tra due piante, ad un'altezza di 1.5 m dal suolo, con lo scopo di simulare la parte mediana della canopy degli alberi per la produzione di legame pregiato.

Il secondo rilievo è stato fatto il 7 Agosto dello stesso anno, dopo quasi due mesi dal terzo taglio della biomassa. I rilievi sono stati effettuati al di sopra della canopy dei pioppi SRC, per valutare eventuali effetti di ombreggiamento degli standard trees sui pioppi.



Figura 13. Rilievi per la misurazione della luminosità con foto emisferiche al di sopra della canopy.

Le immagini così acquisite sono state elaborate utilizzando il software Gap Light Analyser (Frazer et al. 1999), correggendo i dati in base ai parametri della regione. Il calcolo del PTLT è stato simulato per il periodo che va da Aprile ad Ottobre, cercando di coprire tutta la stagione vegetativa delle specie consociate.

Analisi statistica dei dati

Le tesi sono state confrontate attraverso un test della varianza (ANOVA ad una via) per evidenziare eventuali differenze significative tra i trattamenti. Per prima cosa per ogni set di dati confrontati si è proceduto con il test per verificare la Normalità (Shapiro –Wilk). Successivamente si è proceduto al test ANOVA ad una via con una confidenza del 95% ($p < 0.05$). Nel caso in cui fosse evidenziata una differenza statistica questa è stata valutata con una procedura di comparazione multipla a coppie (Hold-Sidak Method).

Le analisi e i grafici sono stati realizzati con il software Sigmaplot for Windows Version 12.5.

5.4 Risultati e Discussione

Produttività SRC

È stata valutata la produzione di biomassa da energia (Mg ha^{-1}) e l'accrescimento come altezza media dei polloni e altezza del pollone dominante (cm).

ANOVA	Poplar SRC Yield		H _{dom}		H _m	
	F	P	F	P	F	P
Clone	7.634	0.022	8.339	0.019	4.804	0.057 ^{n.s.}
Harvest	26.750	3.1E-08	-	-	-	-
Clone x Harvest	4.577	0.003	-	-	-	-

Tabella 3. Riassunto dei risultati del test statistico ANOVA sui dati di accrescimento e produzione del pioppo SRC dell'ultimo anno di crescita; Production = test basati sui valori di produttività dei cloni (dt/ha); H_{dom} = test basati sulle altezze del pollone dominante; H_m = test basati sulle altezze medie dei polloni; ns = non significativo.

Nell'ultimo anno di crescita (R8S2) non ci sono differenze significative tra le altezze medie dei cloni, mentre per l'altezza del pollone dominante (H_{dom}, Tabella 3) il clone Oglio risulta significativamente più alto del clone Lux (Figura 14).

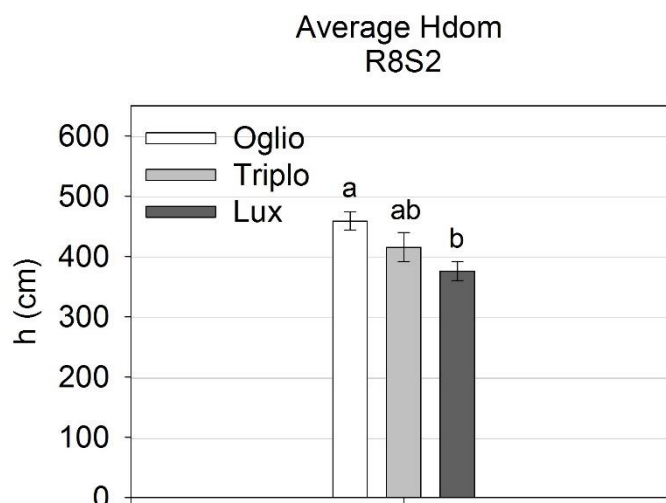


Figura 14. Pioppo SRC. Altezze medie dei polloni dominanti per ogni clone nell'ultimo anno di rilievi sulla piantagione (R8S2). Le lettere indicano differenze significative per $P \leq 0.05$.

Ad ogni taglio biennale è stata calcolata la produzione di biomassa anidra per ettaro di Alley Coppice per ogni clone (Figura 15)

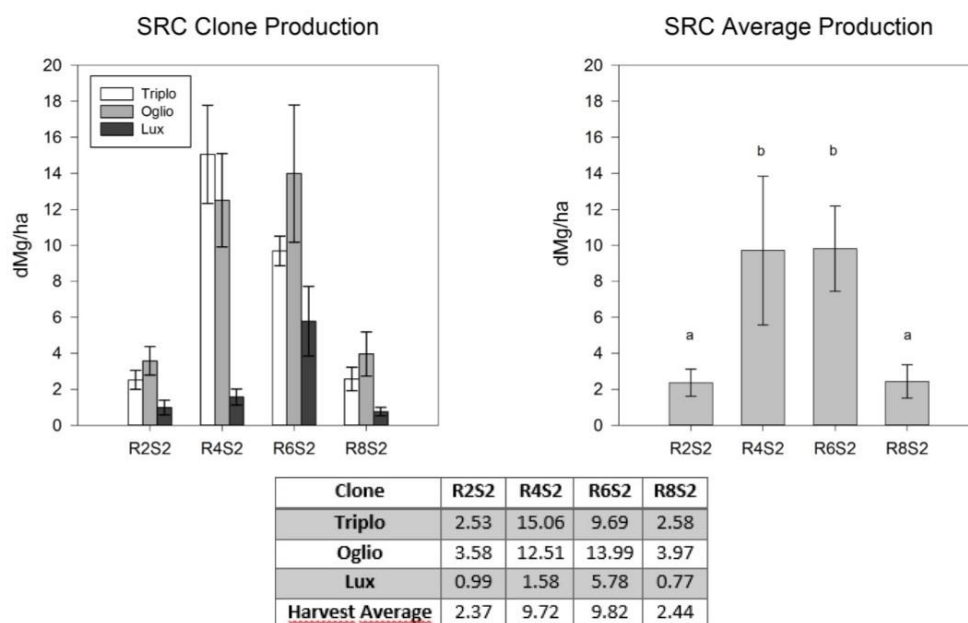


Figura 15. Pioppo SRC. a) Produttività di ogni clone ad ogni taglio espressa in tonnellate di biomassa anidra per ettaro di Alley Coppice (dMg/ha) b) Produttività media per ogni taglio espressa in tonnellate di biomassa anidra (dMg/ha).

La produttività nell'ultimo taglio (R8S2) è influenzata negativamente dal taglio tardivo precedente. Il clone Lux è il clone meno produttivo in tutti e quattro i tagli, mentre non ci sono differenze significative di produttività tra il Triplo e l'Oglio (Figura 15a). L'ANOVA ha evidenziato anche differenze significative di produttività tra i turni (Figura

15b). Il crollo della produttività al quarto taglio (R8S2) è probabilmente legato al taglio tardivo precedente, effettuato quando le piante erano già in ripresa vegetativa.

La differenza di accrescimento, sia in altezza che in produttività, tra i cloni conferma lo scarso adattamento del clone Lux alle condizioni pedoclimatiche del campo sperimentale.

Accrescimento Standard trees

Sono state misurate altezze dei peri e dei sorbi ogni anno ed ogni tesi dall'inizio della coltivazione (Figura 16, Tabella 4). Le misure dei diametri, prese a 130cm di altezza del tronco dal suolo, sono state effettuate solo negli ultimi tre anni dell'impianto (Figura 18, Tabella 4).

ANOVA	Tree Height		DBH	
	F	P	F	P
Treatment	0.169	0.846 ^{n.s.}	2.224	0.133 ^{n.s.}
Species	1.264	0.273 ^{n.s.}	5.872	0.024 ^{n.s.}

Tabella 4 Standard tree. Tabella riassuntiva delle ANOVA sugli accrescimenti degli standard tree. Non risultano differenze significative tra i parametri analizzati (n.s. = non significativo).

Le analisi statistiche effettuate non hanno evidenziato significatività nelle differenze per specie o trattamento (Tabella 4).

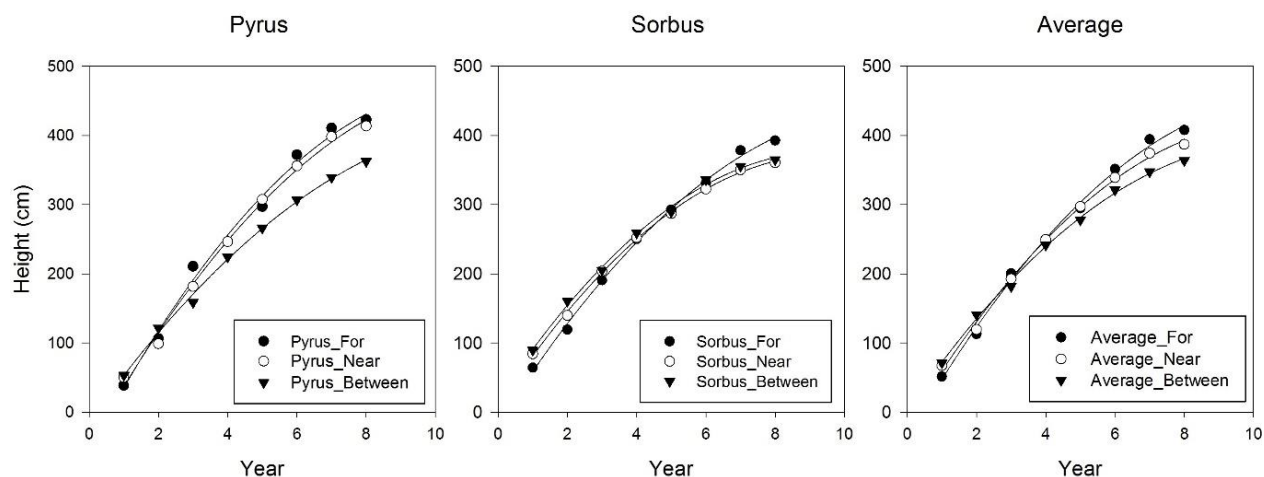


Figura 16. Standard tree. Accrescimenti in altezza (cm) nelle tre tesi in analisi negli otto anni di impianto. Il grafico Average mostra l'accrescimento medio in ogni tesi senza differire tra le specie.

Non risultano differenze significative nell'accrescimento in altezza sia tra le due specie. Considerando l'altezza media dell'ultimo anno di crescita delle piante consociate (between) rispetto alla monocoltura (forestry) (Figura 17), pur non essendoci significatività statistica, si evidenzia una differenza nell'accrescimento. La mancata significatività è probabilmente dovuta al basso numero di repliche per il pero, a causa del temporale del 2013 che ha abbattuto delle piante.

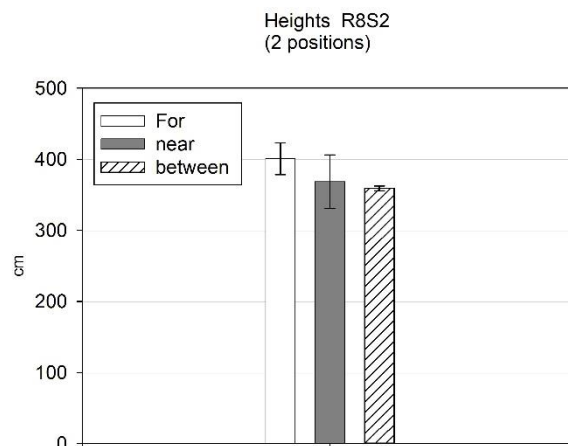


Figura 17. Standard tree. Altezze medie (cm) dell'ottavo anno di crescita nei trattamenti monocolturali (forestry) rispetto ai consociati su un solo lato (near) o su entrambi i lati (between).

Sembrerebbe quindi che andando verso la maturità gli standard trees comincino a risentire negativamente della competizione luminosa delle SRC consociate.

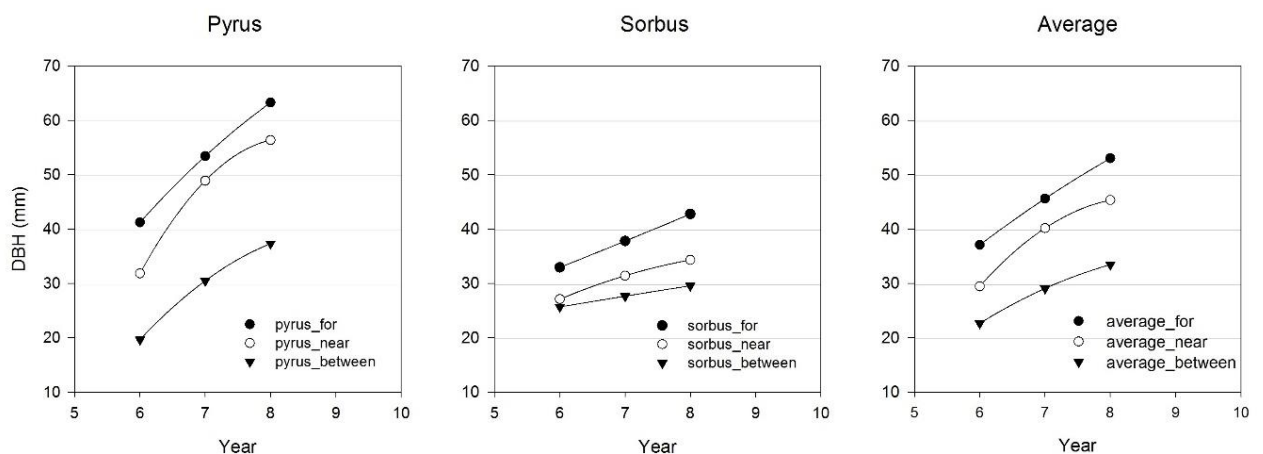


Figura 18. Standard tree. Accrescimento diametrico (mm). Il grafico Average mostra l'accrescimento medio in ogni tesi senza differire tra le specie.

All'ottavo anno di crescita non si evidenziano differenze statisticamente significative di accrescimento tra le specie, ne tra i diversi trattamenti, anche se si nota

un ridotto accrescimento dei sorbi rispetto ai peri (Figura 18, Tabella 4). L'assenza di una significatività dell'ANOVA è probabilmente legata alle poche repliche disponibili per ogni tesi. Già al sesto anno di crescita si nota un ridotto accrescimento delle piante consociate rispetto a quelle in monocoltura, specialmente per il pero. Questa riduzione, pur non avendo una significatività statistica, evidenzia la possibilità che la competizione con le SRC (a rapido accrescimento) nei primi anni di crescita delle piante a legname pregiato (con un accrescimento più lento) influisca sensibilmente sull'accrescimento diametrico. Il sesto anno di impianto corrisponde anche all'anno successivo al terzo ciclo di crescita delle SRC, con produzioni ed altezze elevate (Figura 15) e condizioni di dominanza da dei pioppi sugli standard trees (vedi in seguito la competizione luminosa Tabella 5).

Competizione idrica

Le analisi effettuate non hanno evidenziato differenze significative nel contenuto idrico del suolo tra la monocoltura forestale e l'Alley Coppice (Figura 19).

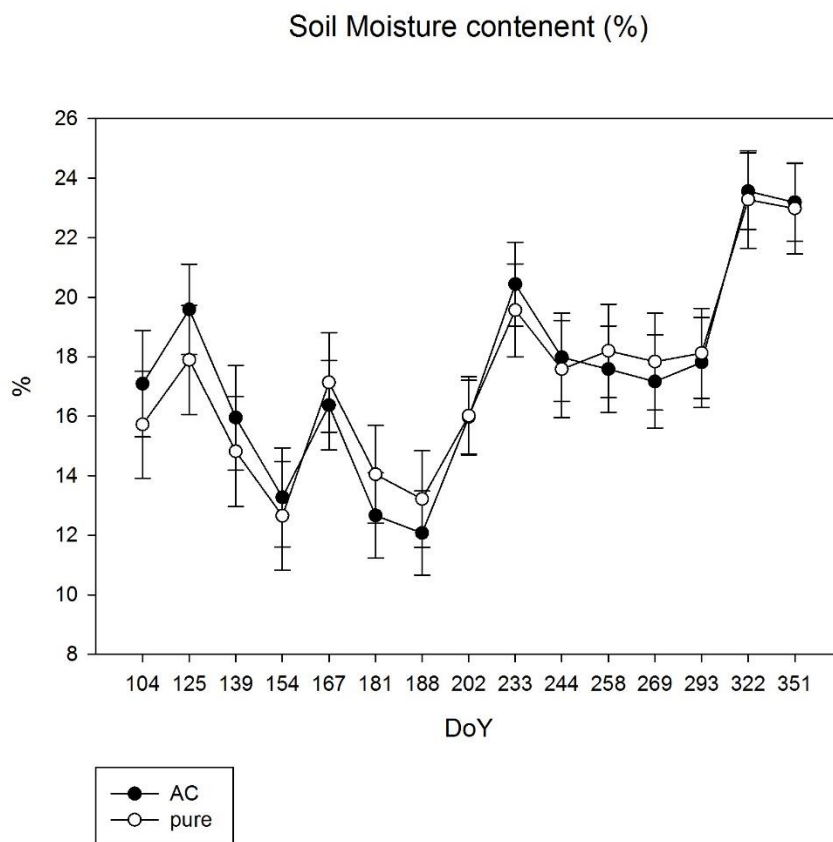


Figura 19. Valori medi di umidità del suolo (percentuale volumetrica) lungo il profilo per ogni rilievo per i due sistemi colturali in analisi. DoY = Day of Year, giorni dell'anno espressi consecutivamente. Il periodo dei rilievi è compreso tra aprile e dicembre 2014 (8° anno di crescita della piantagione).

Sono stati effettuati dei confronti anche tra i vari orizzonti del suolo, ma le differenze riscontrate sono imputabili più alla disomogeneità del suolo che alle differenze di trattamento.

Competizione luminosa

Il ridotto accrescimento dei timber trees consociati rispetto alla monocoltura potrebbe essere in parte giustificata dall'elevata competizione luminosa tra le specie (Tabella 5, filare standard trees).

Total light transmittance (%)	Camera position (date)	
Treatments	Standard trees rows (29 Apr 2013)	Top canopy Poplars (7 Aug 2013)
Alley coppice	66.05 (2.35)	98.52 (0.15)
Forestry	99.45 (1.3)	-

Tabella 5. Trasmittanza totale della luce, in percentuale rispetto alla condizione di pieno sole (PTLT). I valori tra parentesi indicano gli errori standard dalla media.

Prima del taglio della biomassa del terzo ciclo di crescita (Aprile 2013) gli standard trees, con un'altezza media intorno ai 3.5 m, risultano dominati dai pioppi (altezza media di circa 5 m) (Figura 20).

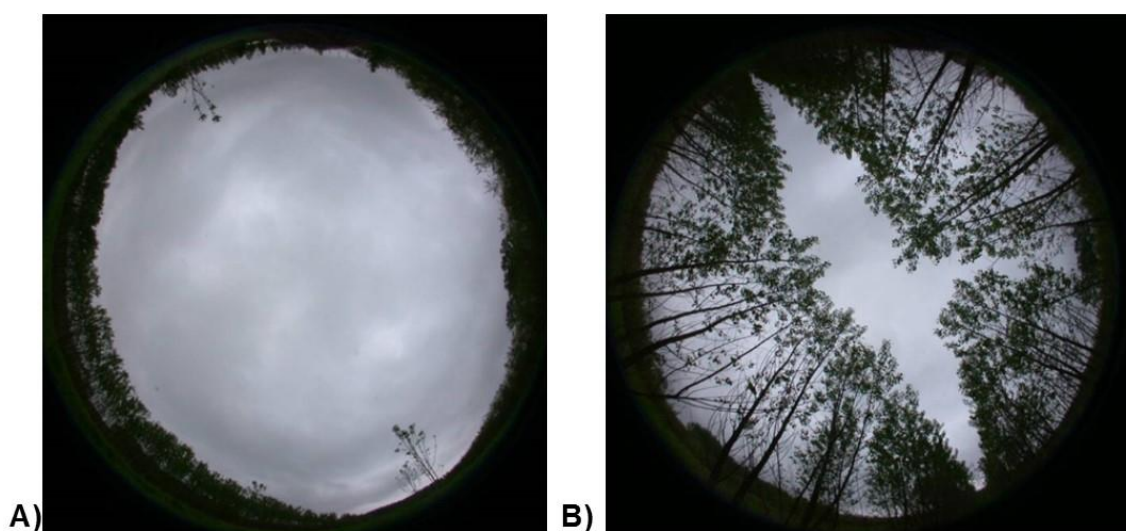


Figura 20. Foto emisferiche scattate lungo la fila degli standard tree (Apr 2013). A) forestry; B) Alley coppice between.

Nel secondo rilievo, non è stato rilevato alcun effetto di ombreggiamento da parte dei peri e sorbi sui pioppi, che avevano un'altezza media intorno ai 2 m (Tabella 5, top canopy pioppi). L'altezza maggiore degli standard trees, circa 1.5 m superiore ai pioppi, non sembra influenzare la luce disponibile per quest'ultimi, vista anche la bassa densità di impianto dei peri e sorbi.

Conclusioni

La coltura SRC in fila binata nel sistema AC sembra influire significativamente sull'accrescimento degli standard tree, soprattutto su quello diametrico, in misura meno marcata sull'accrescimento in altezza. L'Alley Coppice quindi andrebbe ottimizzato riducendo la densità delle SRC e aumentando la distanza tra le specie consociate.

I primi anni di crescita degli standard tree sono critici per il futuro sviluppo della pianta, e si potrebbe pensare alla variazione del taglio delle SRC per ridurre l'ombreggiamento, tenendo conto però che la produzione di biomassa per energia deve essere sufficiente a generare un profitto.

La competizione luminosa tra le specie non sembra influire particolarmente sull'accrescimento in altezza degli standard trees, mentre potrebbe avere un impatto sull'accrescimento diametrico, soprattutto nei primi anni del ciclo colturale.

Tra i cloni SRC, il Lux sembra essere quello meno produttivo. Il taglio ritardato del terzo ciclo ha causato una notevole perdita di produttività in tutti i cloni nel taglio successivo.

Dai rilievi effettuati non sembra esserci competizione per l'acqua tra le specie, probabilmente anche perché durante i rilievi non si sono registrati periodi di stress idrico prolungati. L'abbondanza di acqua dovrebbe ridurre la possibilità di competizione tra le specie. Sono comunque necessarie ulteriori analisi a riguardo, come ad esempio lo studio del Water Use Efficiency delle specie consociate (Forrester et al. 2010).

La forma del fusto è un parametro fondamentale nella produzione di legname da opera, e gli standard tree ancora troppo giovani non hanno permesso una corretta stima della qualità del legno della pianta in piedi, anche se le prime stime sembrano indicare una migliore forma del fusto delle piante consociate rispetto alla monocoltura (Figura 21).



Figura 21. Effetto della consociazione sulla forma del fusto e ramosità. Pero gestito nella monocoltura (sx) e pero consociato (dx). Azienda Mezzi, Casale Monferrato.

E' necessario mettere a punto strumenti adeguati per quantificare l'effetto dei trattamenti colturali sulla qualità della produzione legnosa, fondamentale per la riuscita tecnica ed economica della piantagione d'arboricoltura da legno. La maggior parte delle latifoglie pregiate hanno cicli produttivi lunghi e difficoltà di propagazione agamica, presupposti fondamentali per attuare programmi di miglioramento genetico.

Le esperienze pregresse indicano che è più semplice incidere sulla forma del fusto delle latifoglie nobili tramite i trattamenti selvicoltura li rispetto al miglioramento genetico. E' necessario individuare indici precoci di forma del fusto e qualità della produzione legnosa di qualità.

Questo studio è un primo approccio allo studio di questo sistema colturale, svolto utilizzando tutti i dati fin ora a disposizione per il sistema Alley Coppice. I risultati fin qui ottenuti sono preliminari e dovranno essere completati e migliorati nel tempo.

Come prospettive future, sarà necessario continuare a monitorare gli accrescimenti delle specie consociate, oltre che studiarne la competizione per le risorse. Non solo l'acqua ma anche la luce e i nutrienti.

6. ANALISI FINANZIARIA DEL SISTEMA ALLEY COPPICE

6.1 Introduzione

I sistemi agroforestali sono sistemi colturali che prevedono la gestione congiunta di due o più specie, arboree ed erbacee, con la presenza o meno di una componente zootecnica (bestiame al pascolo, allevamenti ovi-cunicoli), sullo medesima unità territoriale di gestione, in modo che le diverse componenti interagiscano tra di loro e sviluppino sinergie con vantaggi economici ed ambientali. I vantaggi economici dei sistemi agroforestali possono essere due categorie: quelli legati direttamente alla produzione e le attività di gestione ad essa connesse e le esternalità generate dalla coltivazione, noti anche come servizi ecosistemici.

I costi e i benefici generati da una coltivazione sono generati dagli effetti di tre tipi di interazioni diverse: biologiche, fisiologiche ed agronomiche (Dyack et al. 1999). Tutti e tre i tipi di interazione influiscono sugli aspetti economici influenzando i rendimenti delle colture, i costi di produzione, o i vantaggi dei servizi ecosistemici.

Gli effetti delle interazioni biologiche per le colture agroforestali comprendono ad esempio la riduzione dei danni da patogeni alle colture consociate e la riduzione della competizione delle erbe infestanti. Gli effetti delle interazioni fisiologiche includono la competizione tra le specie per le risorse (acqua, luce e nutrienti), l'apporto di sostanza organica nel suolo grazie alla lettiera e al *turnover* radicale, la riduzione dei danni da vento, la riduzione della contaminazione delle falde acquifere (Ong et al. 1996). Gli effetti delle interazioni agronomiche comprendono la variazione degli input necessari alla coltura (come ad esempio le fertilizzazioni), i differenti tempi di utilizzo delle macchine agricole, le variazioni delle potature (Magagnotti et al. 2012; Morhart et al. 2014).

Alcune di queste interazioni potrebbero essere negative, e portare quindi ad un aumento dei costi rispetto ad una monocoltura, altre potrebbero essere positive e portare dei vantaggi o in termini di aumentati guadagni o come riduzione dei costi. Se il valore netto ad ettaro degli effetti delle interazioni non è inferiore alla migliore opportunità alternativa alla coltura agroforestale, allora questa sarà una soluzione economicamente sostenibile, e tutti i servizi ecosistemici che ne deriveranno andranno a beneficio della Comunità. Se il bilancio non è positivo, non c'è alcun guadagno nell'utilizzare un sistema agroforestale (Dyack et al. 1999).

Il Land Equivalent Ratio (LER, Mead & Willey 1980; Vandermeer 1992) è un indice che definisce la superficie di terreno a monocoltura per ottenere, a parità di operazioni colturali, la stessa produttività di un sistema agroforestale.

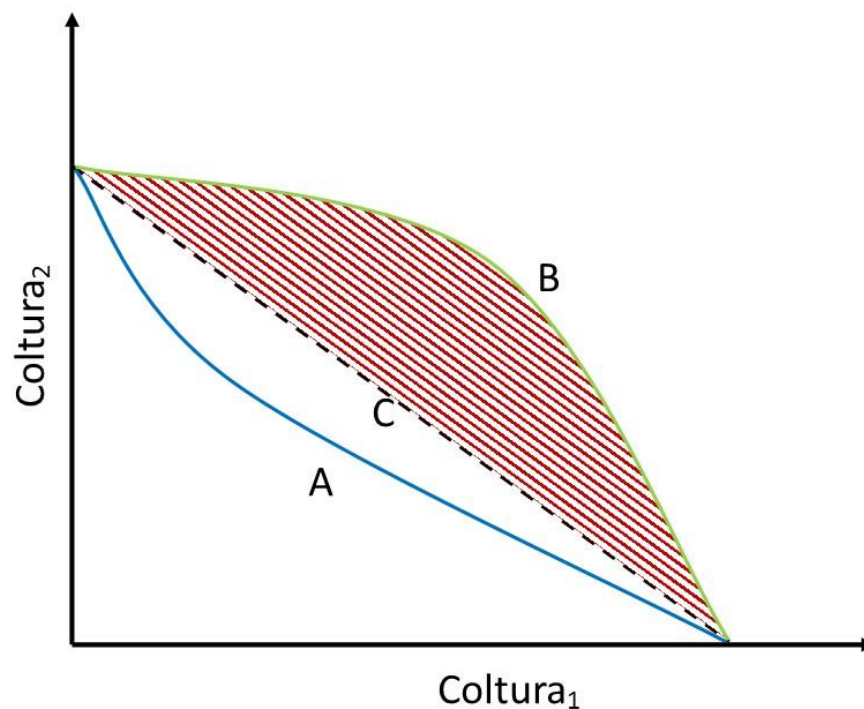


Figura 22. Esempi di interazioni tra le specie consociate (C_1 e C_2). L'area evidenziata di rosso rappresenta il LER.

È possibile ipotizzare delle curve di interazione tra le colture consociate, come riportato in Figura 22.

Le curve A, B e C sono tre potenziali relazioni che illustrano la variazione del rendimento delle colture quando vengono consociate. Le intercette, sui due assi cartesiani, rappresentano la produttività quando tutta la superficie è dedicata alla monocoltura C_2 (intercetta verticale) o C_1 (intercetta orizzontale). I punti intermedi indicano la produttività delle colture consociate con differenti proporzioni di terreno dedicate ad una o all'altra coltura.

La curva A rappresenta il caso in cui l'effetto netto delle interazioni è negativo, con conseguenti perdite economiche. La curva B rappresenta l'interazione netta che risulta quando il sistema agroforestale produce di più rispetto alla monocoltura, mentre la curva C rappresenta un effetto completamente neutrale delle interazioni. In quest'ultimo caso scegliere di utilizzare un sistema monocolturale o agroforestale non comporterebbe alcuna differenza. La curva C è lineare o perché le interazioni non generano alcun effetto o perché il valore economico netto di qualsiasi interazione è pari a zero (Dyack et al. 1999). Il LER è un rapporto che quantifica la superficie di differenza tra una ipotetica curva di interazione tra le specie, ad esempio la curva B, e la curva C di interazione neutra (Figura 22) (Terreaux & Chavet 2004).

La forma delle curve può variare in base ad una serie di fattori: la scelta delle specie consociate, la densità d'impianto, il sesto d'impianto, le caratteristiche pedoclimatiche stazionali.

Ne consegue che il LER sarà positivo solo per un determinato intervallo di condizioni ambientali e di scelte gestionali della coltura. Questo discorso si estende a tutti i sistemi agroforestali, compreso quindi il sistema Alley Coppice.

È inoltre possibile ridisegnare il grafico riportato in Figura 22 moltiplicando le quantità di prodotto per il loro prezzo (Vandermeer, 1992). Questo infatti non va a modificare la forma della curva (concava o convessa) se consideriamo i prezzi indipendenti dalla quantità prodotta.

Da un punto di vista finanziario, l'indice utilizzato per il calcolo della redditività delle coltivazioni è il valore attuale netto (*Net Present Value* – NPV), che indica il valore attualizzato del flusso di cassa, ovvero i futuri ricavi meno i futuri costi. L'NPV è un indice ampiamente usato in letteratura per le colture pluriennali, particolarmente negli investimenti di tipo forestale (El Kasmoui & Ceulemans 2012; Schweier & Becker 2013; Testa et al. 2014) .

Esistono vari metodi per il calcolo della produttività e la redditività dei sistemi agroforestali (Dyack et al. 1999; Terreaux & Chavet 2004; Bright 2004); la peculiarità dell'Alley Coppice nel tipo di consociazione effettuata (tra due specie arboree) e la mancanza di un *dataset* che possa fornire le informazioni necessarie rendono questi metodi di difficile applicazione per il caso oggetto di studio. Si è scelto quindi di utilizzare il valore attuale netto per la stima finanziaria e il Land Equivalent Ratio per la stima della resa delle colture.

6.2 Obiettivi

Lo scopo di questo studio è valutare la sostenibilità finanziaria del sistema *Alley Coppice*, in diverse condizioni ambientali. Questo lavoro è stata condotta nell'ambito del progetto europeo AgroCop (www.agrocop.com), indirizzato nello studio e la valorizzazione del sistema Alley Coppice (vedi paragrafo 3.5).

6.3 Materiali e metodi

Modello di simulazione YDEAL

Per il sistema AC i dati reali a disposizione non sono sufficienti per impostare e validare un modello matematico in grado di simulare correttamente i processi biofisici e le relazioni competitive tra le specie consociate. I pochi dati a disposizione sono stati raccolti nei campi sperimentali del progetto, e si riferiscono tutti ai primi anni di crescita delle colture consociate. Non sono noti campi coltivati con il sistema AC al di fuori di quelli sperimentali.

Si è cercato quindi di sviluppare un modello semplificato, con soli tre parametri per ogni specie consociata, che permettesse di stimare il comportamento generale del sistema. Il modello in questione è stato chiamato YDEAL (Yields Dynamic Estimation for Alley-Coppice Land use) (André et al. 2014) ed è ispirato al modello ecologico di successione forestale (Barnes et al. 1997), con la differenza che nel sistema AC la specie pioniera (ovvero la specie SRC per la produzione di biomassa di energia) non viene sostituita da quella matura (la specie coltivata per la produzione di legname da opera) (Eq. (1) (2)).

$$(1) \quad \frac{DY(i)}{dt} = \alpha(i) Y(i) \frac{1-(Y(i)+\gamma(j)Y(j))}{K(i)}$$

$$(2) \quad \frac{DY(j)}{dt} = \alpha(j) Y(j) \frac{1-(Y(j)+\gamma(i)Y(i))}{K(j)}$$

L'equazione (1) calcola la produttività della specie i influenzata dalla specie j , l'equazione (2) calcola la produttività della specie j influenzata dalla specie i . Il modello simula la biomassa cumulata per ettaro in funzione del tempo e rappresenta un approccio preliminare alla comprensione del sistema Alley Coppice.

I parametri necessari allo sviluppo del YDEAL (Tabella 6) sono tre: il tasso di accrescimento, il potenziale di competizione e il rendimento massimo.

Per il calcolo dei parametri, è possibile suddividere le specie secondo un gradiente che va dalle specie ad elevata competitività a quelle a rapido accrescimento (Grime 1977; Aplin 2002).

Si definiscono quindi le specie SRC (pioppo, salice) come specie a rapido accrescimento e conseguente bassa competitività e le specie per la produzione di legname da opera (ciliegio, noce) a lento accrescimento ed elevata competitività.

Parameter	Meaning	Calibration
A	Growth rate	Literature review (SCR); Hi-sAF _e (Std)
K	Monoculture max yield	Literature review
γ	Interaction between species	AgroCOP experimental data

Tabella 6. Parametri del modello YDEAL (André et al. 2014)

I parametri sono calibrati a partire dalla analisi bibliografica (André et al. 2014) per quel che riguarda le SRC e sulla curva di simulazione del Noce ibrido generata con il modello Hi-SAFE per una densità di 100 piante ha⁻¹. Il coefficiente di interazione tra le specie è stimato in base alle analisi dei dati dei siti sperimentali del progetto AgroCOP.

Per le SRC, un algoritmo calcola il rendimento ad ogni taglio in funzione della durata del ciclo di taglio a partire dalla curva della biomassa cumulata.

Definizione degli scenari ambientali

Sono stati definiti tre differenti scenari ambientali, per poter calcolare il valore della sostenibilità finanziaria in tre condizioni pedoclimatiche contrastanti (André et al. 2014). Nello specifico:

- Optimum scenario: siti con le condizioni pedoclimatiche ideali per le specie coltivate, senza limitazione di disponibilità idrica e di nutrienti.
- Poor scenario. Basato sui siti marginali, meno adatti alle coltivazioni, con almeno una delle risorse necessarie fortemente limitante per l'accrescimento adeguato delle colture.
- Average scenario. Scenario intermedio, in cui si riesce ad avere una buona produttività in condizioni in cui c'è disponibilità idrica e di nutrienti sufficiente ma non ideale.

Ad ogni scenario corrispondo diversi valori dei parametri del modello YDEAL (Tabella 7) in relazione alle differenti condizioni pedoclimatiche.

specie	param.	optimum	poor	average
SRC (pioppo)	$\alpha(i)$ (dt/ha/y)	1.2	1.2	1.2
	$K(i)$ (dt/ha)	15(20y)	6(20y)	10(20y)
	$\gamma(ij)$	0.2	0.2	0.2
For (noce ibrido)	$\alpha(j)$ (m ³ /ha/y)	0.109	0.109	0.109
	$K(j)$ (m ³ /ha)	96	48	70
	$\gamma(ji)$	2.1	2.1	2.1

Tabella 7. Valori dei parametri del modello YDEAL per i tre scenari ambientali in analisi.

Per questo primo approccio è stato scelto di far variare solo il rendimento massimo delle colture (K) in funzione dell'ambiente.

Definizione del sistema colturale

Per ogni scenario sono stati simulati tre diversi sistemi colturali della durata di 60 anni: il sistema Alley Coppice e due sistemi monocolturali (pioppo SRC e noce per legname pregiato) di controllo.

Per la produzione della biomassa da energia si è suddiviso i sessanta anni di piantagione in tre cicli da venti anni ciascuno, con taglio triennale, con una densità di 10000 piante/ha. Sono previsti due diserbi meccanici e un diserbo chimico ad ogni impianto. Non sono previsti interventi di irrigazione o fertilizzazione.

Per la piantagione forestale la simulazione si basa sui dati presenti nel modello Hi-SAFE. All'impianto si ipotizzano 200 piante/ha, con due diradamenti di 50 piante/ha al nono e ventesimo anno, per una densità al sessantesimo anno di 100 piante/ha. Sono previsti un diserbo meccanico all'anno per i primi tre anni, e un diserbo chimico solo all'impianto. Si sono ipotizzati inoltre quattro interventi di potatura, intorno al quarto, settimo, decimo e tredicesimo anno. Non sono previsti interventi di fertilizzazione o irrigazione (Tabella 8).

Per il modello colturale *Alley Coppice* sono state ipotizzate due diverse modalità di piantagione: la prima con la messa a dimora contemporanea delle specie consociate (*simultaneous planting*) (Figura 23); la seconda con la specie SRC piantata 20 anni dopo quella per la produzione di legname da opera (*lagged planting*) (Figura 23).



Figura 23. I modelli colturali di Alley Coppice (AC) oggetto dello studio: AC lagged (sx) e AC simultaneous (dx). Nel primo modello colturale (con noce ibrido e pioppo SRC) la SRC è consociata agli Standard tree alcuni anni dopo la loro messa a dimora. Gli Standard tree, ad accrescimento più lento, risentono meno significativamente della competizione delle SRC. Nell'AC simultaneous (con sorbo/pero e pioppo SRC) le due colture legnose sono impiantate contemporaneamente.

In entrambi i casi è previsto lo stesso calendario degli interventi colturali per le monocolture di ognuna delle specie previste, con l'unica differenza di un solo diradamento per il noce, al nono anno di 70 piante/ha, a fronte di una densità iniziale sarà di 140 piante/ha, per avere a 60 anni 70 piante/ha. Per le SRC la densità sarà di 8500 piante/ha, sempre tre cicli di 20 anni con taglio triennale (Tabella 8).

SYSTEM		TIMELINE (YEAR)																														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	60	
FORESTRY		P 	M.W.	M.W.	M.W.	P r			P r		T h	Pr		Pr			Th														H	
SRC		P 		H			H			H			H		H	H	Rp 	H	H	H	H	H	H	H	Rp 	H	H	H	H	H	H	
ALLEY COPPIC E	SR C	P 		H			H			H			H		H	H	Rp 	H	H	H	H	H	H	H	Rp 	H	H	H	H	H	H	
	FOR	P 	M.W.	M.W.	M.W.	P r			P r		T h	Pr		Pr																		H

Tabella 8. Calendario delle operazioni colturali previste nella simulazione: Pl=plantation, comprende tutte le operazioni preparatorie e la messa a dimora delle piante; M.W.=Mechanical weeding, diserbo meccanico; Pr= pruning, potature; Th=thinning, diradamento; Rp=replanting, comprende tutte le operazioni per l'eliminazione delle vecchie ceppaie la messa a dimora delle nuove piante; H=harvesting, taglio e raccolta della biomassa/legno da opera

Land Equivalent Ratio (LER)

Per descrivere le differenze di produttività del sistema AC rispetto ai sistemi monocolturali si è deciso di utilizzare il *Land Equivalent Ratio* (LER) (Mead & Willey 1980; Vandermeer 1992; A. R. Graves et al. 2010). Il LER è definito come quantità di superficie occupata da una monocoltura necessaria per avere la stessa produttività, a parità di gestione, della coltura agroforestale (Eq. (3)):

$$(3) \quad LER_t = \frac{\text{produttività coltura consociata}_{i(t)}}{\text{produttività monocoltura}_{i(t)}} + \frac{\text{produttività coltura consociata}_{j(t)}}{\text{produttività monocoltura}_{j(t)}}$$

Teoricamente, se non ci sono differenze tra i due sistemi colturali l'indice sarà pari ad 1.0. Quando il LER è maggiore di 1.0 indica la presenza di una interazione positiva tra le specie consociate e un conseguente aumento della produttività rispetto alle monocolture. Ad esempio, un valore del LER pari a 1.20 indica che per avere la stessa produttività del sistema agroforestale sarebbe necessaria una superficie piantata a monocoltura maggiore del 20% rispetto quella agroforestale.

Nel caso dell'Alley Coppice, il LER è stato calcolato come valore medio su tutto il ciclo produttivo (60 anni). Per la specie per la produzione di legname pregiato si è considerato il rendimento alla fine del ciclo, per le SRC un rendimento medio durante tutto il ciclo.

Analisi finanziaria

L'indice utilizzato per il calcolo della redditività delle coltivazioni è il valore attuale netto (*Net Present Value* – NPV), che indica il valore attualizzato del flusso di cassa, ovvero i futuri ricavi meno i futuri costi. L'attualizzazione avviene attraverso l'utilizzo di un tasso di sconto adeguato (Eq. (4)).

$$(4) \quad NPV = \sum_{t=0}^n \frac{I_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Dove n è la durata della piantagione in anni (60 anni nel caso in analisi), I_t i ricavi nell'anno t , C_t i costi nell'anno t , espressi entrambi in euro; $(1+r)^t$ è il fattore di attualizzazione, con r uguale al tasso di sconto scelto. Un NPV positivo indica che il sistema in analisi, alla fine del ciclo, porterà ad un guadagno netto pari al valore dell'indice.

Il valore attuale netto è un indice ampiamente usato in letteratura per le colture pluriennali, particolarmente negli investimenti di tipo forestale. È un indice che ha alcuni limiti nell'utilizzo (Terreaux & Chavet 2004):

- Il Mercato deve essere considerato in regime di concorrenza perfetta, ossia in un regime (ideale) di concorrenza nella quale beni e servizi vengono scambiati in maniera da massimizzare gli introiti per i singoli compratori e venditori, aperto a tutti i potenziali compratori e venditori e nel quale ogni singolo individuo può determinare i termini di scambio.
- Non vengono considerati i rischi dell'investimento
- Non vengono considerate le esternalità e l'unico obiettivo è quello di massimizzare i profitti.

Nella realtà queste condizioni non si realizzano, il Mercato non è perfetto, gli investimenti comportano dei rischi, le esternalità possono essere preponderanti.

Ulteriore punto critico di questo indice è la scelta del tasso di sconto. Secondo Price (2011), data l'enorme variabilità e incertezza dei mercati per periodi di tempo superiori ai 30 anni è possibile utilizzare un tasso di sconto decrescente. Nello specifico, per i primi 30 anni il tasso è pari al 3.5% per poi scendere al 3% nei successivi 30.

Nonostante i suddetti limiti, l'indice rimane uno dei più semplici indicatori a cui far riferimento. Si cercherà di utilizzare l'NPV insieme al LER per riuscire a dare un quadro generale che possa creare un'ipotesi plausibile di redditività dell'investimento.

Dal valore attuale netto si può ricavare il valore annuo equivalente (*Annual Equivalent Value* – *AEV*) che rappresenta il reddito medio annuale ricavato da un determinato NPV, secondo la seguente formula (Eq. (5)):

$$(5) \quad AEV = \frac{NPV}{\sum_{t=0}^n \frac{1}{(1+r)^t}}$$

Il valore dell'AEV è indicativo della profittabilità media annua di un sistema, anche se nei casi oggetto di questo studio si ha effettivamente un reddito solo negli anni in cui si interverrà con un taglio.

Raccolta dati finanziari

Per realizzare la simulazione finanziaria è stato necessario raccogliere dati riguardo i costi delle singole operazioni colturali, del materiale impiegato, i prezzi di vendita della biomassa e del legname da opera.

La variabilità dei costi e le differenze sia tra i vari Stati partner del progetto (Germania, Italia, Francia, Irlanda, Regno unito) che tra le diverse regioni di ogni Stato hanno reso difficile trovare uno scenario unico di partenza. La volatilità dei prezzi, per la biomassa ma soprattutto per il legname da opera, rende molto difficile definire quali valori utilizzare in una simulazione sul medio-lungo periodo. I dati sono stati raccolti direttamente attraverso contatti con alcuni agricoltori italiani, francesi e tedeschi e utilizzando esperienze dirette dei partner del progetto nella gestione dei diversi campi sperimentali, anche esterni al progetto AGROCOP.

Per il sistema Alley Coppice, non essendoci nessun impianto commerciale a cui far riferimento, i costi sono stati stimati considerando la percentuale di copertura del terreno di ogni singola specie (80% SRC, 20% Forestry) o, dove possibile, in base alla densità delle singole specie.

Elaborando i dati così raccolti si è definito uno scenario “start” di riferimento per tutta la parte finanziaria (Tabella 9).

Farming operations	Costs (€/ha)		
	Forestry	SRC	Alley Coppice
soil preparation	€ 400	€ 100	€ 160
plantation (labour + planting material)	€ 3.014	€ 2.400	€ 3.370
mech. weeding	€ 70	€ 140	€ 126
herbicide	€ 165	€ 165	€ 165
pruning 4y	€ 900	-	€ 630
pruning 7y	€ 1.500	-	€ 1.050
pruning 10y	€ 1.350	-	€ 630
pruning 13y	€ 1.350	-	€ 630
thinnig 9y	€ 368	-	€ 515
thinnig 20y	€ 817	-	-
Biomass harvest	-	€ 630	€ 504
Wood harvest	€ 4.900	-	€ 3.430

Tabella 9. Costi (€/ha) per le operazioni colturali (Farming Operations) nei tre sistemi in analisi

Non sono considerati i costi amministrativi e i costi di un eventuale trasporto dei prodotti legnosi perché le differenze notevoli tra i vari Stati partner del progetto non hanno permesso di definire uno scenario comune.

Per i ricavi, nello scenario start è stato assegnato un prezzo di 70 € per tonnellata di biomassa secca e per metro cubo di biomassa legnosa da ardere. Per il legname da opera il prezzo assegnato è di 500 €/m³. I valori sono stati indicati da collaboratori esperti del settore nel contesto del progetto AgroCop.

Simulazioni finanziarie

Data la suddetta difficoltà nel reperire i dati necessari per le colture in analisi, sono state effettuate diverse simulazioni variando di volta in volta i costi e i ricavi. Si è valutato anche il peso e l'incidenza di eventuali sussidi (*grants*) da proporre per il CAP (Common Agricultural Policy), il programma di sostegno e sviluppo dell'agricoltura in Europa. È importante infatti cercare di stabilire se e come si può intervenire con contributi pubblici a favore del sistema AC, in modo da ottimizzare e giustificare un eventuale suo inserimento nel CAP.

Partendo dalla simulazione iniziale (Tabella 9), sono state quindi effettuate le seguenti simulazioni:

- I. GRANTS. Sono state effettuate tre simulazioni, testando dei sussidi che coprissero rispettivamente il 30, 50 e 70 per cento dei costi di impianto delle tre le piantagioni in analisi
- II. COSTS. Sono state effettuate sei simulazioni aumentando i costi del 10, 30 e 50 per cento e riducendoli della stessa quantità.
- III. REVENUES. Sono state effettuate sei simulazioni aumentando e riducendo i prezzi di vendita della stesse percentuali utilizzate per la simulazione sui costi.

Riassumendo, tenendo conto anche dei scenari illustrati in precedenza, sono state eseguite le simulazioni riportate in figura (Figura 24).

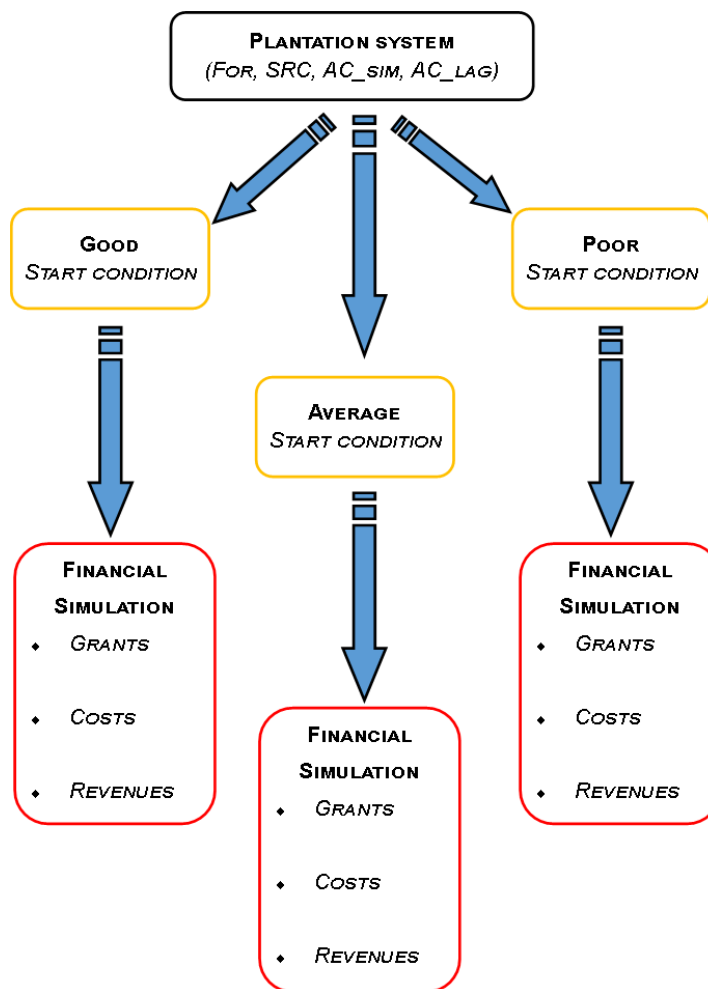


Figura 24. Schema delle simulazioni effettuate per ogni sistema colturale in esame. For = Forestry, piantagione forestale; SRC = Short Rotation Coppice, piantagione a ciclo breve; Ac_sim = Alley Coppice simultaneous planting, piantagione Alley Coppice con messa a dimora simultanea delle specie consociate; Ac_lag = Alley Coppice lagged planting, piantagione Alley Coppice con messa a dimora della specie SRC al ventesimo anno di coltivazione degli alberi per la produzione di legname da opera.

Date tutte le diverse condizioni economiche analizzate, come ultima analisi è stato calcolato un NPV medio per ogni sistema in ogni condizione ambientale. Questo valore è dato dalla media di tutti gli NPV calcolati per ogni sistema colturale analizzato nelle differenti simulazioni economiche. Successivamente è stata calcolata anche la variabilità media dell'indice, ovvero la media delle variazioni dell'NPV al variare dei parametri economici (sussidi, costi, ricavi).

6.4 Risultati e Discussione

Simulazione YDEAL

I risultati del modello YDEAL (Figura 25) riflettono quanto è stato osservato sui campi sperimentali attraverso l'impostazione dei coefficienti di interazione, effettuata in base a due punti: il campo sperimentale di Casale Monferrato (ITA) (Cap.5), per il coefficiente della piantagione AC simultanea, e il campo sperimentale di Restinclières (FRA) per la piantagione AC lagged.

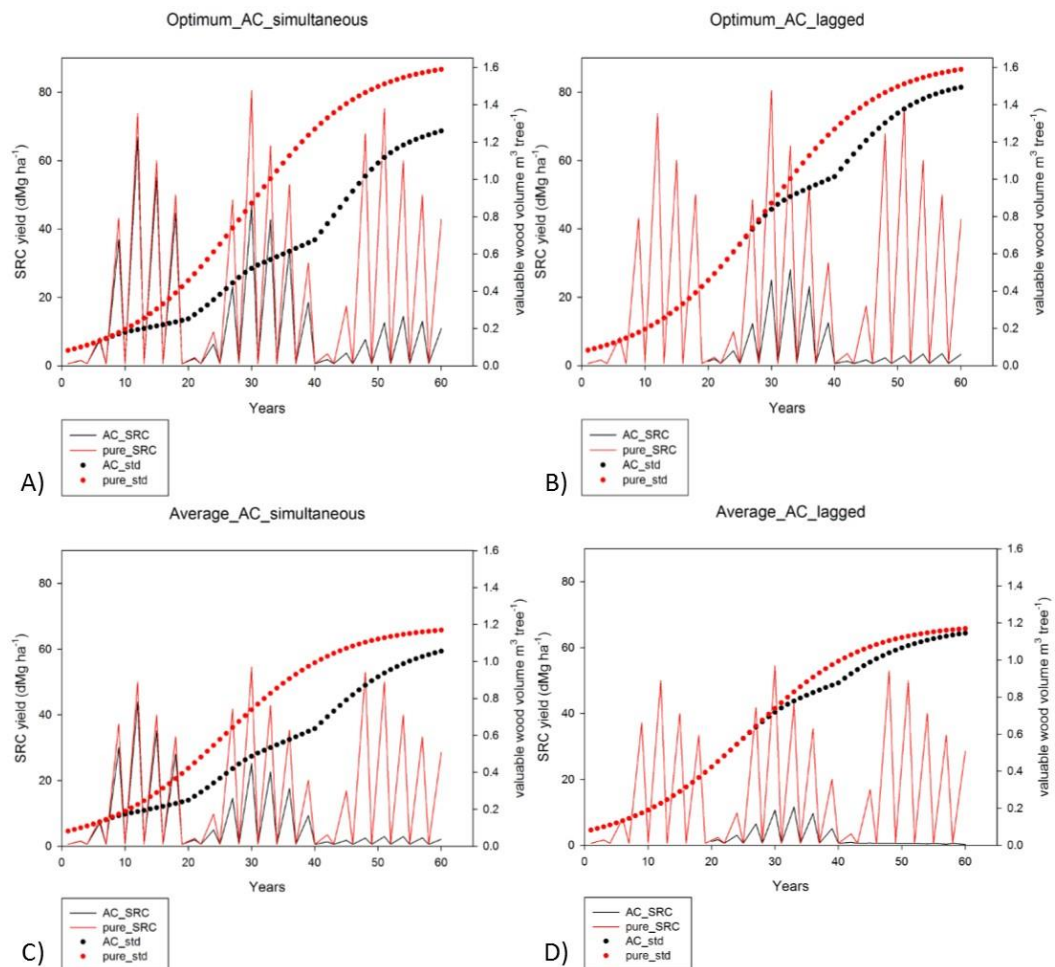


Figura 25. Risultati del modello YDEAL. A) scenario optimum, AC simultanea; B) scenario optimum, AC lagged C) scenario medium, AC simultanea; D) scenario medium, AC lagged.

Da questi risultati si può vedere come le specie si influenzino tra di loro: con la piantagione AC simultanea (Figura 25, A) e C)), l'accrescimento del noce è ridotto dalla competizione luminosa con le SRC, nei primi venti anni, soprattutto nello scenario optimum. Dal 41° al 60° anno della piantagione lo scenario si inverte e sono le SRC consociate a risentire della competizione per la luce, in particolare nell'ultimo ciclo.

Nel caso del sistema AC lagged (Figura 25 B) e D)), l'assenza di competizione da parte delle SRC e una bassa densità di impianto fanno sviluppare più velocemente le piante per la produzione di legname da opera, e il rendimento delle SRC piantate dopo il 20° anno sarà molto basso. Negli ultimi 20 anni la competizione sarà eccessiva per permettere un accrescimento delle SRC sufficiente alla produzione.

I valori del LER così ottenuto variano tra 1.22 e 1.10 per il sistema AC simultaneo e 1.13 e 1.05 per il sistema AC lagged, mostrando così una maggiore produttività del sistema simultaneo rispetto alle monocolture (Tabella 10).

Scenario	LER	
	sim	lag
Optimum	1.22	1.13
Poor	1.10	1.05
Average	1.13	1.07

Tabella 10. LER per il sistema AC, simultaneous e lagged, nei tre scenari ambientali in analisi

Analisi scenari di partenza

La prima analisi effettuata è stata il calcolo del valore attuale netto per ettaro (NPV/ha) considerate le condizioni finanziarie iniziali (Tabella 7) nei tre diversi scenari ambientali (Figura 26). Nelle condizioni peggiori (*poor scenario*) i valori del NPV sono molto bassi per tutti i sistemi colturali, pari praticamente a zero per i pioppi SRC e l'Alley Coppice simultaneo ($SRC=628 \text{ €/ha}$ e $AC_{sim}=289 \text{ €/ha}$). In questo scenario il valore maggiore è quello del *Forestry* pari a 3696 €/ha . Per l'Alley Coppice, sia *lagged* che *simultaneous*, gli ultimi venti anni del ciclo non sarebbe possibile coltivare i pioppi SRC a causa della forte competizione tra le specie consociate per le già limitate risorse.

Vista la bassa produttività delle SRC, il valore attuale netto dell'Alley Coppice lagged ($Ac_{lag}=1682 \text{ €/ha}$) risulta maggiore rispetto al simultaneous a causa dei mancati costi per l'impianto e la gestione delle short rotation consociate nei primi venti anni del ciclo.

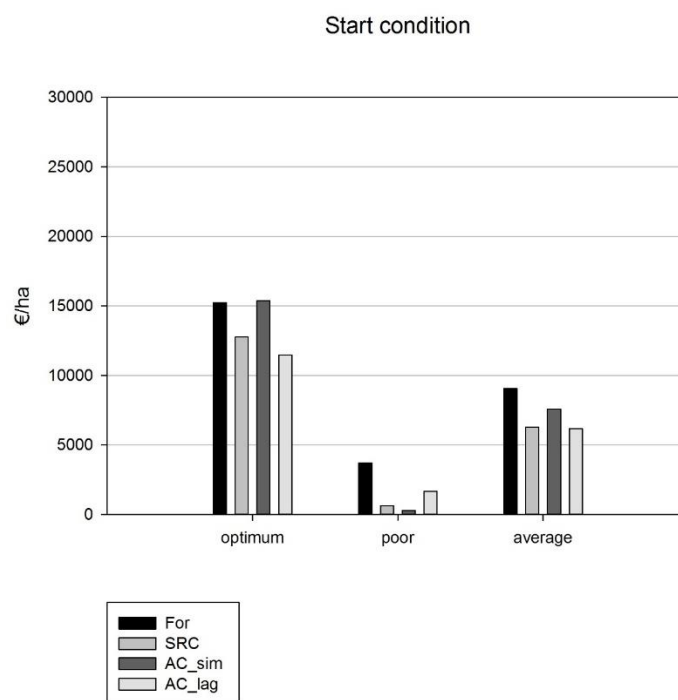


Figura 26. Valore attuale netto (NPV) per i sistemi di coltivazione in analisi nei tre scenari ambientali. Condizioni finanziarie di partenza.

Nello scenario *optimum*, l'NPV migliori sono per i sistemi Forestry ($For=15238$ €/ha) e Alley Coppice simultaneous ($Ac_{sim}=15385$ €/ha). Il valore attuale netto per Ac_{lag} (11470 €/ha) è notevolmente inferiore rispetto al simultaneo, probabilmente a causa della bassa produttività dei pioppi consociati, messi a dimora al ventesimo anno di crescita dei Noci, dovuta alla forte competizione luminosa con piante ormai adulte. La monocoltura di pioppi SRC ha un NPV molto simile a quello dell'Alley coppice lagged (12758 €).

Nello scenario *average* l'andamento dell'indice nei diversi sistemi colturali rimane pressoché lo stesso di quello in condizioni ottimali, anche se con valori inferiori. L'NPV più alto rimane quello del sistema forestry con 9057 €/ha.

In queste condizioni finanziarie il sistema Forestry sembra essere quello più redditizio.

In tutti gli scenari analizzati e per tutti i sistemi colturali i ricavi previsti su un ciclo di 60 anni non sembrerebbero così alti da giustificare l'impegno di un terreno per un periodo di tempo abbastanza lungo, come dimostrano anche i valori dell'AEV (Tabella 11), che indica il valore medio annuo di reddito per ogni sistema colturale in ogni scenario ambientale.

Scenario	System	Starting
optimum	For	€ 555
	SRC	€ 467
	AC_sim	€ 560
	AC_lag	€ 418
poor	For	€ 135
	SRC	€ 23
	AC_sim	€ 11
	AC_lag	€ 61
average	For	€ 330
	SRC	€ 231
	AC_sim	€ 276
	AC_lag	€ 225

Tabella 11. AEV per ogni sistema colturale in ogni scenario ambientale in analisi.

Analisi variazioni dei sussidi

Partendo dalle condizioni finanziarie iniziali (*start*, Tabella 9) sono stati calcolati gli indici per tutti i sistemi colturali in esame nelle differenti condizioni ambientali ipotizzando tre diverse ipotesi di contributo pubblico per la messa a dimora della coltura:

- Rimborso del 30% dei costi di impianto
- Rimborso del 50% dei costi di impianto
- Rimborso del 70% dei costi di impianto

Confrontando i risultati (Figura 27) risulta un aumento massimo del valore dell'NPV che varia tra i 2400 € del sistema Forestry e 3460 € dei entrambi i sistemi Alley Coppice in tutti e tre gli scenari ambientali, corrispondente al sussidio che copre il 70% dei costi di impianto. L'aumento di redditività maggiore si avrebbe quindi per i sistemi Alley Coppice, anche nello scenario ambientale peggiore (*poor*).

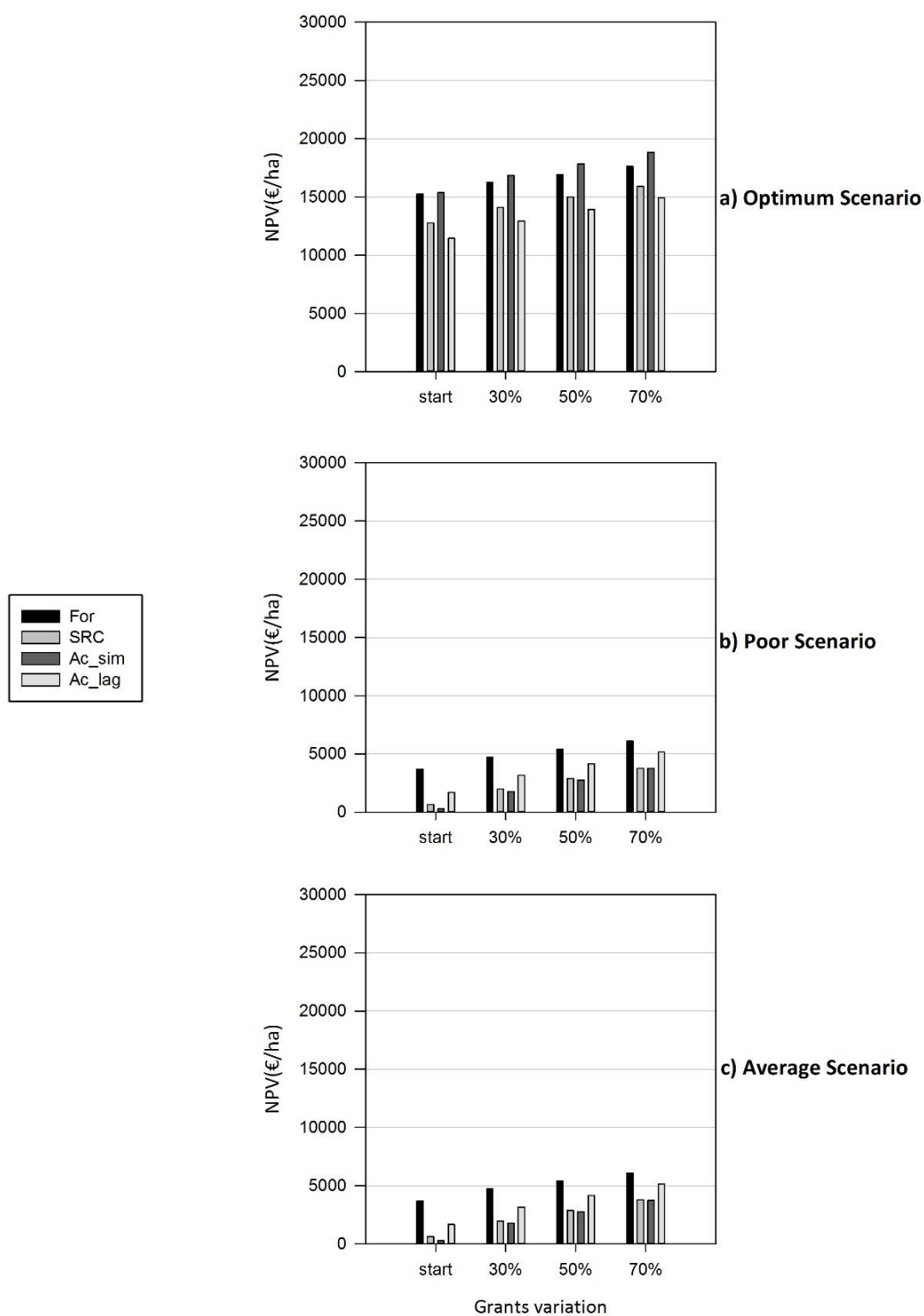


Figura 27. Variazioni del valore attuale netto (NPV) rispetto alle tre ipotesi di sussidio (grants variation) nei tre scenari ambientali.

Analisi variazione dei costi

Il confronto effettuato tra i sistemi colturali variando i costi (Figura 28). Alla variazione dei costi è corrisposta una riduzione dell'NPV che oscilla tra i 700 e gli 4500 €/ha tra gli scenari. Nello scenario *poor* questa riduzione ha portato un NPV negativo nella maggior parte dei casi in analisi, fatta eccezione per il sistema Forestry, dove il valore attuale netto è minimo ma pur sempre positivo (dai 3000 ai 382 €/ha).

Alle variazioni dovute ad una riduzione dei costi sono corrisposti aumenti dell'NPV di pari entità. Nell'ipotesi di riduzione dei costi del 50%, nello scenario ottimale, il sistema *Alley Coppice simultaneous* diventa il più redditizio con un NPV pari a 20000 € e raggiunge lo stesso valore del sistema forestry (circa 12000€/ha) nello scenario Average.

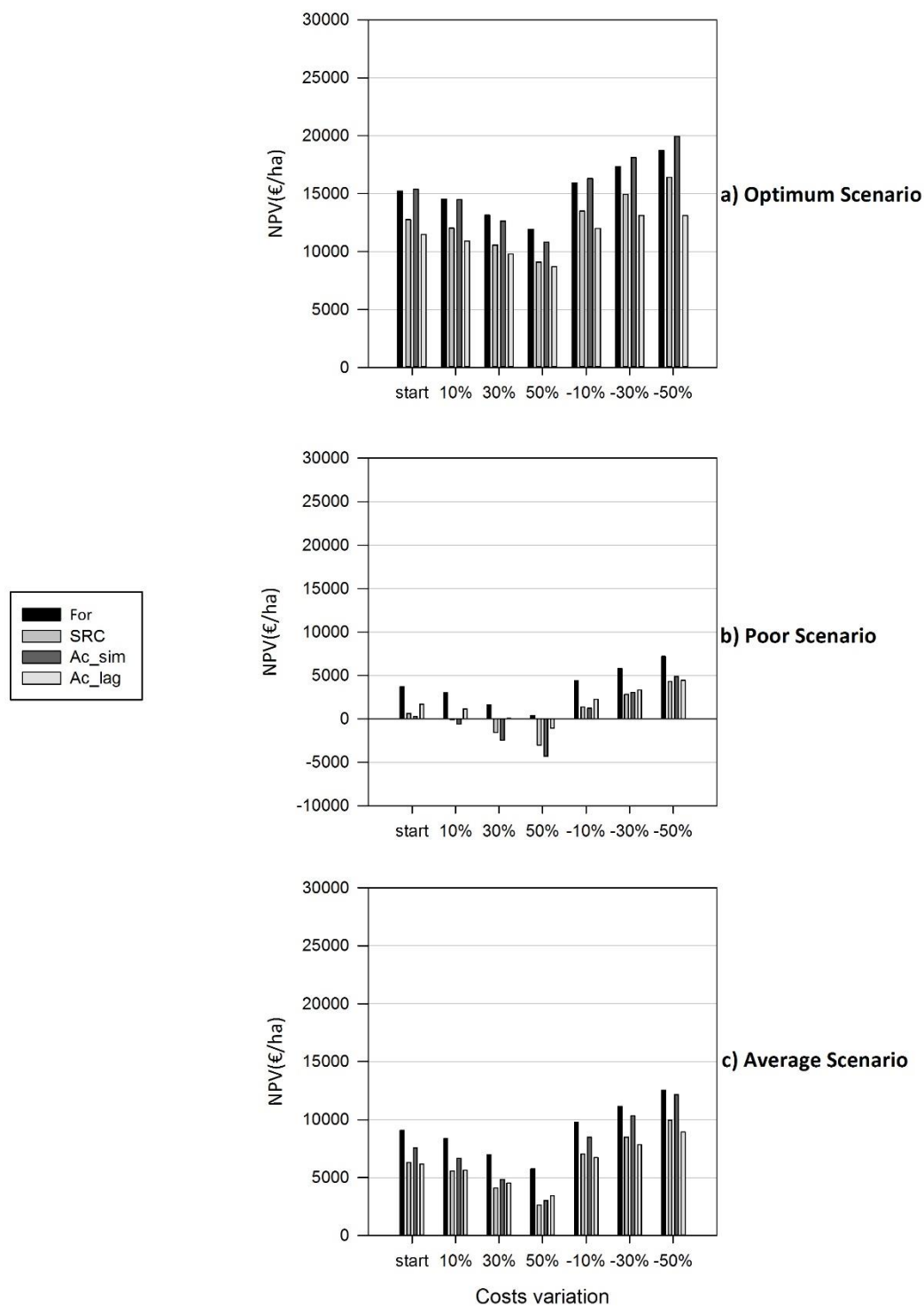


Figura 28. Variazioni del valore attuale netto (NPV) rispetto alle ipotesi di variazione dei costi (costs variation) nei tre scenari ambientali.

Analisi variazione dei ricavi

Alla variazione del prezzo di vendita dei prodotti legnosi, ovvero biomassa e legno da opera, è corrisposta la maggiore variazione del valore attuale netto, in termini assoluti, in tutti i casi oggetto di studio (Figura 29). La differenza rispetto le condizioni iniziali arriva fino ad un massimo di 14400 €/ha per il sistema *Alley Coppice simultaneous* a fronte di una variazione del prezzo di vendita del 50%. Nello scenario *Optimum* il sistema AC simultaneous raggiunge lo stesso valore di NPV della monocoltura *Forestry* (NPV pari a circa 18000 €/ha in entrambi i sistemi colturali) e diventando il sistema più redditizio quando i prezzi di vendita aumentano del 30 e 50%.

Nello scenario *Average* la monocoltura forestale rimane la più redditizia, raggiunta dall'AC_sim quando il prezzo aumenta del 50%. Quando i prezzi si riducono del 50% il valore attuale netto diventa negativo in tutti i sistemi colturali.

Nello scenario *Poor* Quando i prezzi si riducono le perdite sono notevoli, causando un valore negativo dell'NPV per Short rotation e Alley coppice simultaneous già con una riduzione del 10%. All'incremento della riduzione corrisponde un NPV negativo per tutti i sistemi colturali.

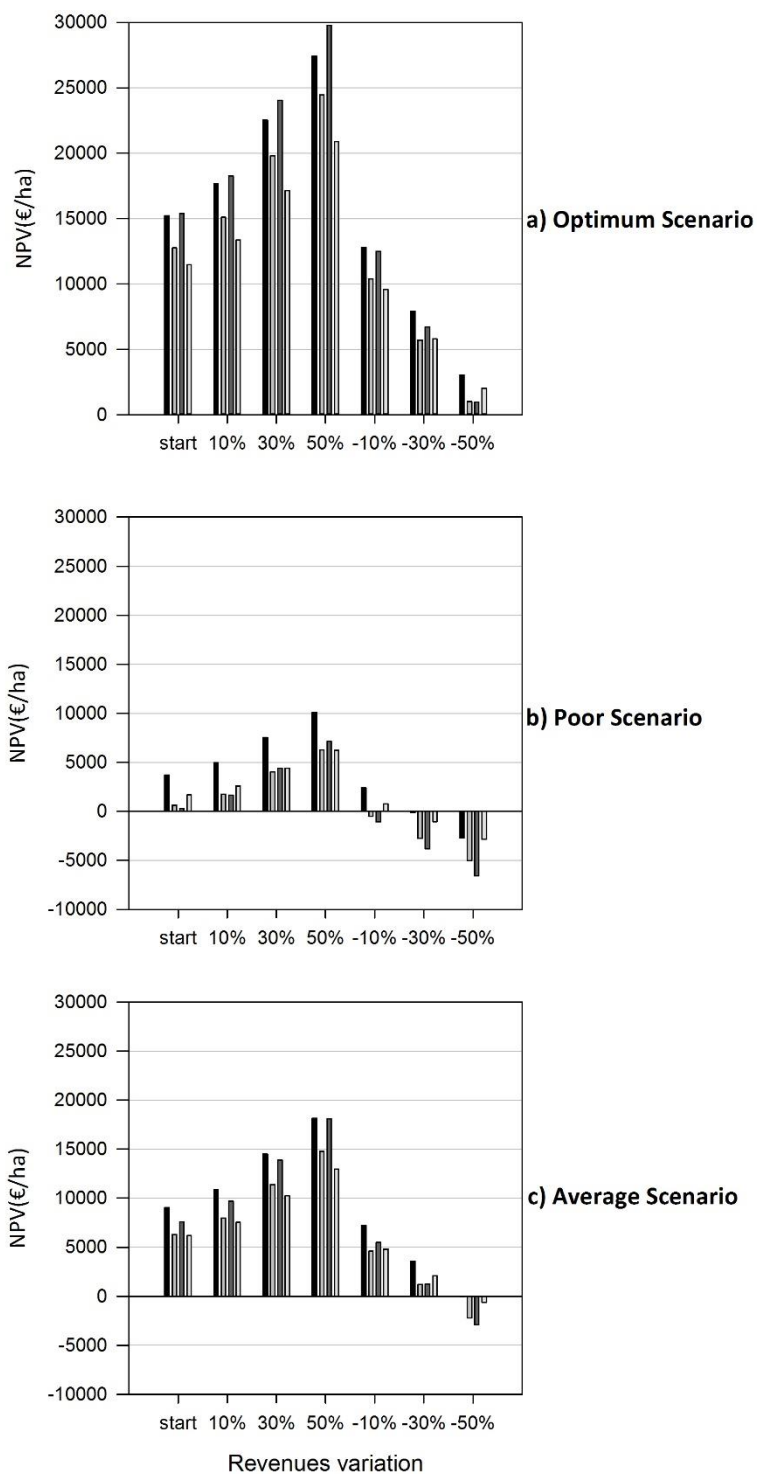
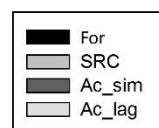


Figura 29. Variazioni del valore attuale netto (NPV) rispetto alle ipotesi di variazione dei ricavi (revenues variation) nei tre scenari ambientali.

Confronto tra le simulazioni

Confrontando le simulazioni più vantaggiose, le condizioni migliori si hanno con l'aumento dei prezzi di vendita dei prodotti (Figura 30).

In tutte le simulazioni il sistema più redditizio è la monocoltura forestale, tranne che nello scenario *Optimum* dove si ha l'incremento maggiore per tutti i sistemi colturali, con l'Alley Coppice simultaneous che diventa il sistema più redditizio.

In tutti gli scenari per il sistema lagged, contrariamente a tutti gli altri sistemi, sembrerebbe più conveniente il sussidio che copre il 70% dei costi di impianto rispetto alla riduzione del 50% di tutti i costi. In Tabella 12 sono riportati i valori di AEV corrispondenti alle simulazioni effettuate. In tutti i casi nell'arco dei sessanta anni l'incasso medio per anno non è molto alto. Solo in due casi si superano i 1000 €/ha/y, entrambi quando si applica la maggiorazione del 50% dei ricavi.

Tabella 12. Annual Equivalent Value per le simulazioni più vantaggiose effettuate in tutti gli scenari ambientali.

Scenario	System	Starting	GRANTS 70%	COST -50%	REV +50%
optimum	For	€ 555	€ 642	€ 681	€ 1,014
	SRC	€ 467	€ 583	€ 601	€ 897
	AC_sim	€ 560	€ 686	€ 726	€ 1,084
	AC_lag	€ 418	€ 544	€ 478	€ 761
poor	For	€ 135	€ 222	€ 261	€ 383
	SRC	€ 23	€ 138	€ 157	€ 230
	AC_sim	€ 11	€ 136	€ 177	€ 260
	AC_lag	€ 61	€ 187	€ 161	€ 227
average	For	€ 330	€ 417	€ 456	€ 676
	SRC	€ 231	€ 346	€ 365	€ 542
	AC_sim	€ 276	€ 402	€ 442	€ 658
	AC_lag	€ 225	€ 351	€ 325	€ 472

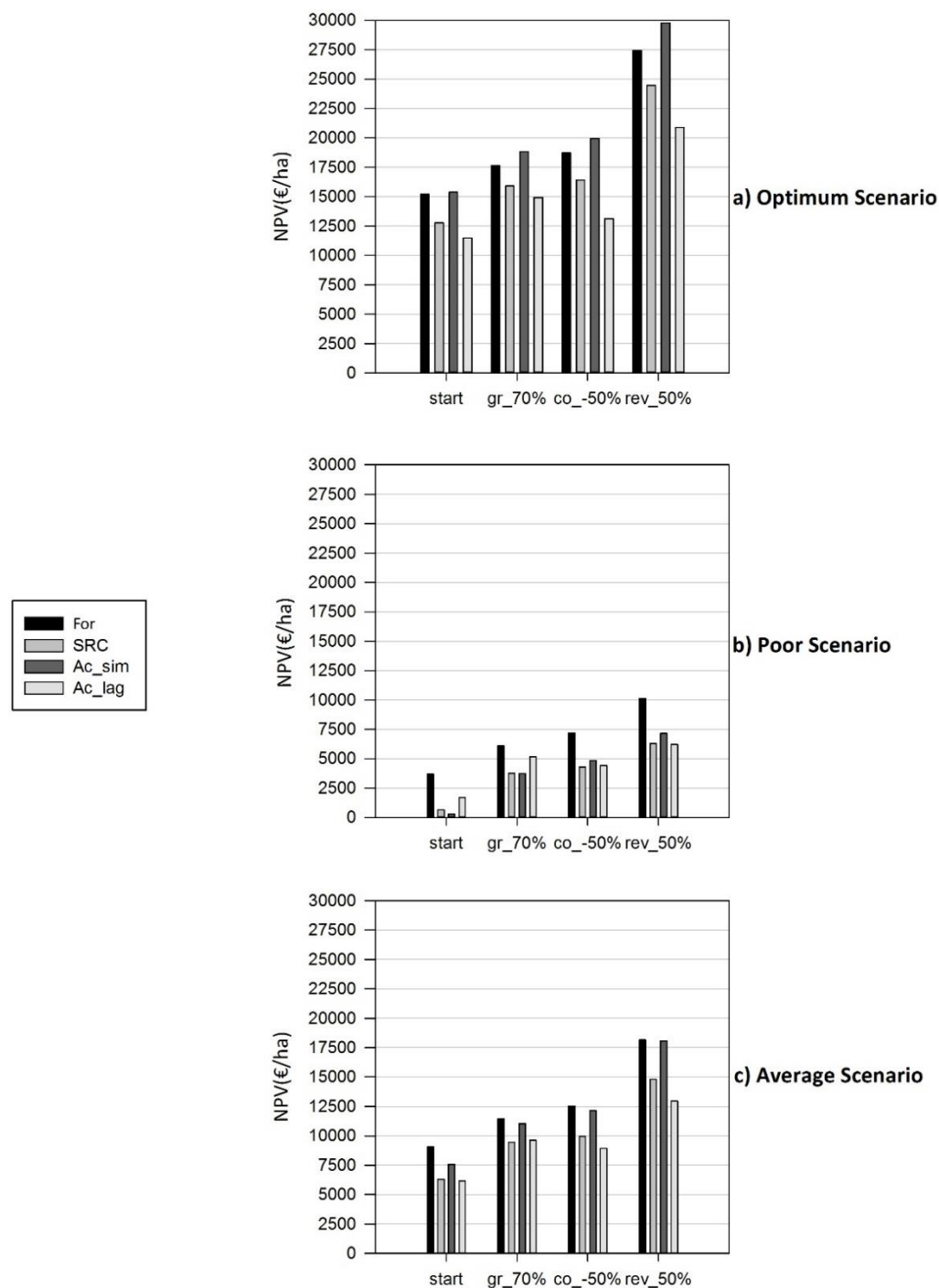


Figura 30. Confronto delle variazioni del valore attuale netto (NPV) rispetto alle migliori ipotesi analizzate nei tre scenari ambientali. Start = simulazione iniziale; gr_70% = rimborso del 70% dei costi di impianto; co_-50% = riduzione del 50% dei costi; rev_50% = aumento del 50% dei prezzi di vendita dei prodotti legnosi.

Valore Attuale Netto (NPV) medio

È stato calcolato un valore medio dell'NPV per ogni sistema colturale analizzato nelle diverse condizioni ambientali (Figura 31), in modo da rappresentare una sintesi di quanto fin ora analizzato.

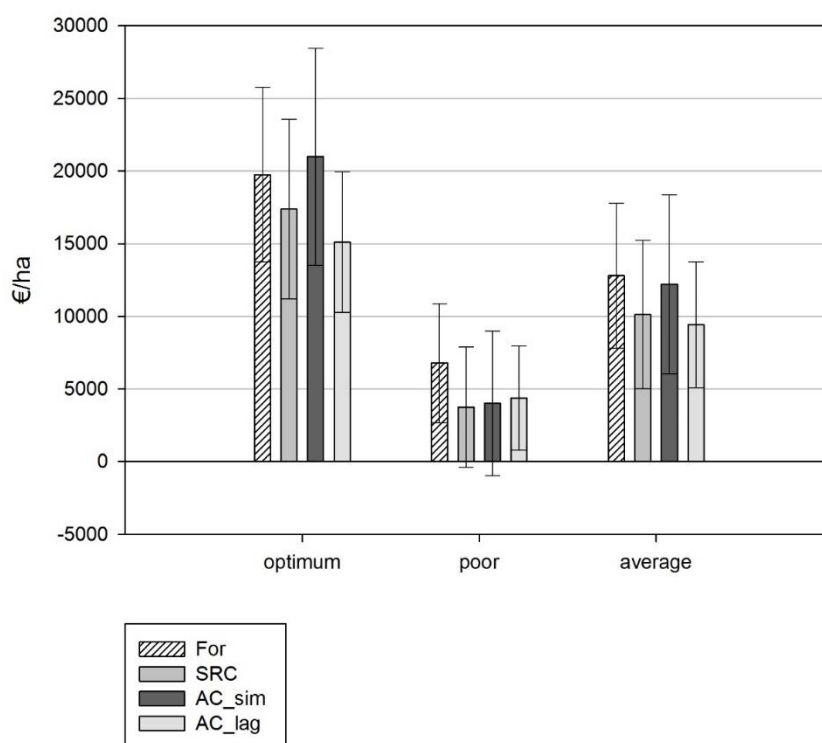


Figura 31. NPV medio per ogni sistema colturale analizzato nei diversi scenari ambientali. Le barre di errore rappresentano la variabilità media per ogni sistema colturale, ovvero di quanto varia mediamente l'indice rispetto a tutte le simulazioni economiche effettuate.

Il sistema AC simultaneo potrebbe il sistema più redditizio, alla pari del sistema Forestry, eccezion fatta per lo scenario *poor*. Le barre di errore, che rappresentano la variabilità media dovuta alla variazione dei parametri economici, sottolineano l'incertezza del risultato e quanto questo sia influenzato dalle variazioni del Mercato. Nello scenario *poor* la variazione è maggiore del valore stesso dell'NPV.

6.5 Conclusioni

Nella maggior parte dei casi consociare alle piante per la produzione di legname da opera una specie a ciclo breve per la produzione da biomassa da energia sembra ridurre il reddito atteso alla fine del ciclo rispetto la monocoltura forestale, ma a differenza di questa il sistema AC può dare un guadagno più o meno costante durante i 60 anni grazie alla vendita della biomassa prodotta dalle SRC.

Il sistema Alley Coppice lagged non sembra avere valori di NPV tali da giustificare l'utilizzo rispetto all' AC simultaneous.

La notevole variabilità del mercato, in particolare per quel che riguarda i prezzi di vendita dei prodotti legnosi (sia cippato che legname da opera), non offre sicurezze agli imprenditori agricoli che volessero utilizzare questo sistema, che occupa un terreno agricolo per un lungo periodo. In queste condizioni diventa difficile utilizzare i terreni più produttivi (quelli che potrebbero essere associati allo scenario *optimum*) con questo sistema colturale a discapito di colture agrarie annuali. Il valore di mercato dei prodotti legnosi è un fattore chiave, che può avere un impatto sul reddito persino maggiore di quello dovuto alla produttività (Schweier & Becker 2013). In un contesto simile, se si vuole incentivare la produzione di prodotti legnosi fuori foresta, è importante migliorare ed ottimizzare le pratiche colturali, nonché organizzare una filiera breve e certa che vada dalla produzione all'utilizzo finale del prodotto, per ridurre le incertezze dovute al Mercato. L'organizzazione di una filiera permette anche di poter intervenire con incentivi o finanziamenti in modo più mirato, ottimizzando anche l'utilizzo delle risorse pubbliche.

In terreni marginali, associabili quindi allo scenario poor, l'Alley Coppice potrebbe avere la duplice funzione di migliorare la qualità del terreno (copertura del terreno, input di sostanza organica) e garantire un minimo di introito all'imprenditore da un terreno altrimenti non utilizzato. In questo caso però ci devono essere le condizioni economiche tali da garantire che il sistema non sia in perdita, quindi prezzi di vendita adeguati e/o sussidi statali, evidenziando e valorizzando i servizi ecosistemici che l'Alley Coppice potrebbe fornire.

Se l'intenzione è quella di estendere ed incrementare la produzione europea dei prodotti legnosi, i sussidi saranno necessari almeno finché il valore di Mercato aumenti a tal punto da rendere redditizia la coltivazione e la produzione di cippato e/o legname da opera (Ericsson et al. 2009; Schweier & Becker 2013; Wolbert-Haverkamp & Musshoff 2014; Testa et al. 2014). In quest'ottica un sistema integrato come l'Alley Coppice, che permette una variabilità della produzione legnosa, potrebbe avere qualche garanzia in più agli imprenditori agricoli che volessero investire in questa direzione.

In prospettiva, si potrebbe pensare ad un sistema agroforestale integrato che preveda un primo ciclo di 20 anni di Alley Coppice, per poi sostituire negli anni successivi la coltura SRC con una erbacea che più si adatta alle condizioni di competizione luminosa con le piante da legname pregiato (Dupraz 1994; Dufour et al. 2013).

7. CONCLUSIONI GENERALI E PROSPETTIVE FUTURE

Biomassa legnosa da energia e legname pregiato per l'industria del mobile sono due risorse fortemente deficitarie in Italia ed Europa, con importanti interazioni economiche ed ambientali (Ericsson et al. 2009; El Kasmioui & Ceulemans 2012; Kollert et al. 2014). Da decenni la ricerca e la politica agricola comunitaria stanno tentando di colmare il deficit di produzione legnosa con ambiziosi programmi di ricerca e di aiuti agli imprenditori per l'utilizzo dei terreni agricoli con diverse forme di arboricoltura da legno. In Italia, negli anni '90 del secolo scorso ci sono stati massicci investimenti per la riforestazione dei terreni agricoli marginali con le latifoglie di pregio (noce, ciliegio, etc.). Successivamente, le risorse si sono indirizzate sulle piantagione arboree da biomassa a turno breve (Short Rotation Coppice-SRC). I risultati al momento sono ancora modesti, spesso fallimentari (Minotta et al. 2015). Coltivare le latifoglie pregiate richiede terreni fertili, in condizioni stazionali non limitanti (Wolbert-Haverkamp & Musshoff 2014). La biomassa da energia da colture legnose dedicate risente ancora di un mercato delle biomasse legnose incerto e variabile. Gli ibridi di pioppo sono al momento l'unica scelta plausibili per le SRC, e risentono spesso della competizione con le colture erbacee ad uso agroalimentare od energetico (mais da biogas).

Sono quindi necessari nuovo modelli d'arboricoltura da legno.

Per le latifoglie pregiate la loro coltivazione deve essere condotta in ambito agricolo, senza entrare in contrasto con le attività agricole preesistenti. L'agroselvicoltura studia e promuove modelli colturali di consociazione tra colture erbacee e piante legnose. Per le SRC, sono necessarie altre specie oltre il pioppo, come la robinia (Medinski et al. 2015; Sixto et al., 2015; Rédei et al, 2012; Paris et al, 2006) e gli ontani (entrambi azotofissatori) e gli olmi (Perez et al, 2015), e pratiche colturali il meno possibile depauperanti delle risorse ambientali (acqua, nutrienti del terreno) (Pérez-Cruzado et al, 2014).

L'attività di dottorato si è principalmente focalizzata sulla sperimentazione e valutazione di un nuovo modello d'arboricoltura da legno, chiamato Alley Coppice. L'Alley Coppice (AC) è un assoluta novità, sia a livello sperimentale, sia a livello operativo-commerciale. In soli tre anni sono stati raggiunti importanti risultati con l'acquisizione di nuove conoscenze e strumenti di lavoro. E' stato seguito lo sviluppo di una piantagione sperimentale di AC (pioppo SRC e sorbo/pero) in Pianura Padana in collaborazione con il CRA di C. Monferrato. La competizione luminosa del pioppo SRC, a rapido accrescimento, limita lo sviluppo delle latifoglie pregiate, ad accrescimento più lento. La competizione luminosa agisce soprattutto sullo sviluppo radiale del fuso, molto meno su quello in altezza, contenendo la ramosità delle latifoglie pregiate. L'AC potrebbe

essere usato come sistema transitorio di consociazione, per formare il futuro tronco da lavoro delle latifoglie pregiate e quindi agire positivamente sulla qualità del legno. La qualità della produzione legnosa è molto spesso alla base dell'insuccesso dell'arboricoltura da legno pregiato (Minotta et al. 2015). Una volta terminata l'AC (dopo 10-20 anni), si può passare alla consociazione con colture erbacee, secondo modelli agroforestali, per favorire lo sviluppo radiale della latifolia pregiata.



Figura 32. Tronco di noce da legno con una buona conformazione per la successiva utilizzazione industriale. L'arboricoltura di latifoglie pregiate risente negativamente dei lunghi tempi necessari per il miglioramento genetico. Sistemi arboricoltura da legno con piantagioni miste od Alley Coppice potrebbero ovviare al problema alla mancanza di genotipi con spiccata dominanza apicale e ramosità contenuta, mediante sistemi colturali che utilizzano la competizione luminosa tra specie consociate come pratica colturale per migliorare la qualità del legno

Sono stati valutate le proiezioni economiche dell'AC, con simulazioni biofisiche ed economiche su di un ciclo di 60 anni, su tre scenari stazionali (poor, average, optimum). Nelle simulazioni finanziarie l'AC è risultata spesso ugualmente conveniente rispetto alla monocoltura di noce da legno. L'AC assicurerebbe però all'imprenditore di flussi di cassa anticipati, con il tagli e vendita della biomassa legnosa da energia del pioppo SRC. L'incertezza del Mercato e il lungo ciclo colturale rendono comunque il sistema poco attrattivo per gli imprenditori agricoli. Una filiera delle biomasse da energia corta ed efficiente potrebbe contribuire a stabilizzare il prezzo di vendita dei prodotti legnosi e ottimizzare i costi. Sarebbe utile inoltre cercare di monetizzare i servizi ecosistemici forniti dall'AC. Ad oggi sono necessari dei sussidi pubblici per rendere l'AC, come anche gli impianti di SRC, economicamente convenienti.

Rispetto ai suddetti aspetti positivi dell'AC, permangono numerose criticità.



Figura 33. Sistema di alley cropping con fasce di robinia e pioppo SRC alternate a colture erbacee (Cottbus, Germania). La ricerca forestale fatica a trovare specie alternative al pioppo per la produzione di biomassa da energia da piantagione cedue.

Tra queste criticità, le principali sono la scelta di specie da SRC alternative al pioppo, e l'uso efficiente delle risorse naturali e culturali. Queste criticità non sono state trascurate dalla ricerca, coordinandosi con pre-esistenti attività dell'IBAF. E' stato studiato l'ontano napoletano come specie da SRC, confrontando l'adattamento alla carenza idrica rispetto al pioppo (Allegato C). Sono state quantificate le asportazioni di azoto dal terreno con la raccolta frequente ed integrale della biomassa legnosa nelle SRC. Sono state individuate differenze di *Nitrogen Use Efficiency* tra cloni di pioppo (Allegato A). Sono in corso ricerche sull'uso dell'irrigazione a goccia sotterranea per il pioppo SRC in una zona a clima mediterraneo (Allegato D). Tutte le suddette ricerche sono state divulgate e discusse con la comunità scientifica e gli stakeholder, mediante pubblicazioni su riviste ISI (Allegato A), riviste divulgative (Allegato D)) ed atti di convegni scientifici (Allegato C). E' stato organizzato nell'ottobre 2015 un convegno internazionale di agroforestry, incentrato sul trilemma cibo, biomasse da energia e tutela dell'ambiente (<http://www.agrocop.com/home/agrocop-conference>).

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio Piero, tutti i colleghi del progetto Agrocop per il lavoro svolto, la pazienza e l'aiuto, tutti i colleghi dell'IBAF di Porano che mi hanno accolto nel migliore dei modi. Grazie a Gianni Facciotto e Sara Bergante del CRA - PLF di Casale Monferrato e Massimo Tarchi della W2 Agency per la preziosa collaborazione.

Grazie a Gregorio, Walter, Emanuele, Enrica, Guglielmo, Marcello, Michele (spero di non essermi scordato nessuno!). Senza la vostra amicizia e supporto questi tre anni sarebbero stati molto diversi.

Grazie alla mia Famiglia, Liliana e i miei fantastici quattro nipoti. Se sono arrivato fin qui è grazie a Voi.

BIBLIOGRAFIA

- Afas, N.A. et al., 2008. Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). *Forest Ecology and Management*, 255(5-6), pp.1883–1891.
- Allen, S.C. et al., 2004. Safety-net role of tree roots: Evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)-cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Forest Ecology and Management*, 192(2-3), pp.395–407.
- Anderson, H.W., Papadopol, C.S. & Zsuffa, L., 1983. Wood energy plantations in temperate climates. *Forest Ecology and Management*, 6(3), pp.281–306.
- André, J. et al., 2014. *Projet AgroCop Production de biomasse énergie en modélisation*,
- Aplin, D., 2002. Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties. *Biological Conservation*, 107(2), pp.260–261.
- Armstrong, A., Johns, C. & Tubby, I., 1999. Effects of spacing and cutting cycle on the yield of poplar grown as an energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 17(4), pp.305–314.
- Ayars, J.E. et al., 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, 42(1), pp.1–27.
- Aylott, M.J. et al., 2008. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytologist*, 178(2), pp.358–370.
- Balandier, P., 1997. A method to evaluate needs and efficiency of formative pruning of fast-growing broad-leaved trees and results of an annual pruning. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(6), pp.809–816.
- Balandier, P. & Dupraz, C., 1999. Growth of widely spaced trees . A case study from young agroforestry plantations in France. *Agroforestry Systems*, 43, pp.151–167.
- Balatinecz, J. et al., 2014. Properties, processing and utilizzazione. In *Poplars and willows*. CABI, pp. 527–561.
- Barnes, B.V. et al., 1997. *Forest ecology*., John Wiley and Sons.
- Bauhus, J., van Winden, A.P. & Nicotra, A.B., 2004. Aboveground interactions and productivity in mixed-species plantations of *Acacia mearnsii* and *Eucalyptus globulus*. *Canadian Journal of ...*, 694, pp.686–694. Available at: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/x03-243>.
- Baum, S., Bolte, A. & Weih, M., 2012. High value of short rotation coppice plantations for phytodiversity in rural landscapes. *GCB Bioenergy*, 4(6), pp.728–738.

Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1757-1707.2012.01162.x> [Accessed May 24, 2015].

- Benjamin, T.J. et al., 2000. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA; 4. The economic return of ecological knowledge. *Agroforestry Systems*, 48(1), pp.79–93.
- Berndes, G. & Hansson, J., 2007. Bioenergy expansion in the EU: Cost-effective climate change mitigation, employment creation and reduced dependency on imported fuels. *Energy Policy*, 35(12), pp.5965–5979.
- Bianchetto, E. et al., 2013. Effects of different intercropping on walnut growth and stem quality in a plantation close to Pesaro (Marche Region). Effetto di differenti tipologie di consociazione sull ' accrescimento e sulla qualità del noce comune (Juglans regia L .) in un impiant. *Annals of silvicultural Research*, 37(1), pp.38–44.
- Bisoffi, S., Minotta, G. & Paris, P., 2009. Indirizzi culturali e valorizzazione delle produzioni legnose fuori foresta. In *Atti III Congresso Nazionale di Selvicoltura*. Taormina, Italy: O. Ciancio Ed., pp. 723–736.
- Bright, G., 2004. Exploring the Economics of Agroforestry Systems Using a. *Economic Theory*, pp.79–93.
- Brown, K.R., Beall, F.D. & Hogan, G.D., 1996. Establishment-year height growth in hybrid poplars; relations with longer-term growth. *New for*, 12(2), pp.175–186.
- Cardinael, R. et al., 2012. Growing woody biomass for bioenergy in a tree-based intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*, 86(2), pp.279–286.
- Carle, J. & Ma, Q., 2005. Challenges of translating science into practice: Poplars and other species in the Three North Region of China. *Unasylva*, 56(221), pp.31–37.
- Clinch, R.L. et al., 2009. Biophysical interactions in a short rotation willow intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131(1-2), pp.61–69.
- De, S. & Assadi, M., 2009. Impact of cofiring biomass with coal in power plants - A techno-economic assessment. *Biomass and Bioenergy*, 33(2), pp.283–293.
- DeBell, D., Cole, T. & Whitesell, C., 1997. Growth, development, and yield in pure and mixed stands of Eucalyptus and Albizia. *Forest Science*, 43(2), pp.286–298.
Available at:
<http://www.ingentaconnect.com/content/saf/fs/1997/00000043/00000002/art00014>
- DeBell, D.S., Whitesell, C.D. & Schubert, T.H., 1985. *Mixed plantations of Eucalyptus and leguminous trees enhance biomass production*, US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
- Don, A. et al., 2009. Impact of afforestation-associated management changes on the carbon balance of grassland. *Global Change Biology*, 15(8), pp.1990–2002.

- Dufour, L. et al., 2013. Assessing light competition for cereal production in temperate agroforestry systems using experimentation and crop modelling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(3), pp.217–227.
- Dupraz, C., 1994. Combining trees with annual intercrops in temperate climates. *Agroforesterie en zone temperee. Revue Forestiere Francaise*, 46, pp.72–83
ST – Combining trees with annual intercrops.
- Duraiappah, A.K. & Naeem, S., 2005. Millennium Ecosystem Assessment, 2005 . *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. , p.100.
- Dyack, B.J., Rollins, K. & Gordon, a M., 1999. A model to calculate ex ante the threshold value of interaction effects necessary for proposed intercropping projects to be feasible to the landowner and desirable to society. *Agroforestry Systems*, pp.197–214.
- Eaton, J., 2008. Poplar Bioenergy in China.
- Ericsson, K. & Nilsson, L.J., 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy*, 30(1), pp.1–15.
- Ericsson, K., Rosenqvist, H. & Nilsson, L.J., 2009. Energy crop production costs in the EU. *Biomass and Bioenergy*, 33(11), pp.1577–1586. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953409001627> [Accessed February 11, 2014].
- Evans, J., 1997. Silviculture of hardwoods in Great Britain. *Forestry*, 70(4), pp.309–314.
- Fady, B. et al., 2003. Walnut demonstrates strong genetic variability for adaptive and wood quality traits in a network of juvenile field tests across Europe. *New Forests*, 25(3), pp.211–225.
- Fenning, T.M. & Gershenzon, J., 2002. Where will the wood come from? Plantation forests and the role of biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 20(7), pp.291–296.
- Fiala, M. & Bacenetti, J., 2012. Economic, energetic and environmental impact in short rotation coppice harvesting operations. *Biomass and Bioenergy*, 42, pp.107–113.
- Filat, M. et al., 2010. First year development of poplar clones in biomass short rotation coppiced experimental cultures. *Annals of Forest Research*, 53(2), pp.151–160.
- Fisher, B., Turner, R.K. & Morling, P., 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), pp.643–653. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800908004424> [Accessed July 9, 2014].
- Forrester, D.I. et al., 2010. Enhanced water use efficiency in a mixed Eucalyptus globulus and Acacia mearnsii plantation. *Forest Ecology and Management*, 259(9), pp.1761–1770. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112709005143> [Accessed January 28, 2014].

- Forrester, D.I., Bauhus, J. & Cowie, A.L., 2006. Carbon allocation in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*, 233(2-3), pp.275–284.
- Forrester, D.I., Bauhus, J. & Cowie, A.L., 2005. On the success and failure of mixed-species tree plantations: Lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. In *Forest Ecology and Management*. pp. 147–155.
- Forrester, D.I., Bauhus, J. & Khanna, P.K., 2004. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*, 193(1-2), pp.81–95.
- Frazer, G., Canham, C. & Lertzman, K., 1999. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. *Program*, p.36.
- Gene Garrett, H.E. & Buck, L., 1997. Agroforestry practice and policy in the United States of America. *Forest Ecology and Management*, 91(1), pp.5–15.
- Geyer, W.A., 2006. Biomass production in the Central Great Plains USA under various coppice regimes. *Biomass and Bioenergy*, 30(8-9), pp.778–783.
- Girouard, P., Henning, J.C. & Samson, R., 1995. *Economic assessment of short-rotation forestry and switchgrass plantations for energy production in central Canada*,
- González-García, S. et al., 2010. Environmental profile of ethanol from poplar biomass as transport fuel in Southern Europe. *Renewable Energy*, 35(5), pp.1014–1023.
- Graves, a. R. et al., 2007. Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. *Ecological Engineering*, 29(4), pp.434–449. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925857406002333> [Accessed February 18, 2014].
- Graves, a. R. et al., 2010. Implementation and calibration of the parameter-sparse Yield-SAFE model to predict production and land equivalent ratio in mixed tree and crop systems under two contrasting production situations in Europe. *Ecological Modelling*, 221(13-14), pp.1744–1756. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380010001420> [Accessed February 18, 2014].
- Graves, A.R. et al., 2010. Implementation and calibration of the parameter-sparse Yield-SAFE model to predict production and land equivalent ratio in mixed tree and crop systems under two contrasting production situations in Europe. *Ecological Modelling*, 221(13-14), pp.1744–1756.
- Grime, J.P., 1977. Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory. *The American Naturalist*, 111(982), p.1169.
- Guidi, W. et al., 2008. Bark content estimation in poplar (*Populus deltoides* L.) short-rotation coppice in Central Italy. *Biomass and Bioenergy*, 32(6), pp.518–524.

- Hall, J.P., 2002. Sustainable production of forest biomass for energy. *The Forestry Chronicle*, 78(3), pp.391–396. Available at: <http://dx.doi.org/10.5558/tfc78391-3>.
- Hall, J.S. et al., 2011. The ecology and ecosystem services of native trees: Implications for reforestation and land restoration in Mesoamerica. *Forest Ecology and Management*, 261(10), pp.1553–1557.
- Hansen, E.A. & Dawson, J.O., 1982. Effect of *Alnus glutinosa* on hybrid *Populus* height growth in a short-rotation intensively cultured plantation. *Forest Science*, 28(1), pp.49–59.
- Harper, J.L., 1977. *Population Biology of Plants*, Available at: <http://www.cabdirect.org/abstracts/19782321379.html;jsessionid=E0719119401F11EF4335FA38DE10522E>.
- Hoffmann, D. & Weih, M., 2005. Limitations and improvement of the potential utilisation of woody biomass for energy derived from short rotation woody crops in Sweden and Germany. *Biomass and Bioenergy*, 28(3), pp.267–279.
- International Poplar Commission (IPC), 2008. *Poplars, Willows and people's wellbeing. Synthesis of county progress reports, 23rd Session of IPC, Beijing*,
- Isebrands, J.G. & Richardson, J., 2014. *Poplars and willows: trees for society and the environment*, CABI.
- Jose, S., Gillespie, A.R. & Pallardy, S.G., 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. In *Agroforestry Systems*. pp. 237–255.
- Kang, B.T., Wilson, G.F. & Sipkens, L., 1981. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam) in southern Nigeria. *Plant and Soil*, 63(2), pp.165–179.
- El Kasmioui, O. & Ceulemans, R., 2012. Financial analysis of the cultivation of poplar and willow for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 43, pp.52–64.
- Keesman, K.J. et al., 2011. A system identification approach for developing and parameterising an agroforestry system model under constrained availability of data. *Environmental Modelling and Software*.
- Kelty, M.J., 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest Ecology and Management*, 233(2-3), pp.195–204.
- Kelty, M.J. & Cameron, I., 1995. Plot designs for the analysis of species interactions in mixed stands. *The Commonwealth Forestry Review*, 74(4), pp.322–332. Available at: <http://www.jstor.org/stable/42608326>.
- Kollert, W., Carle, J. & Rosengren, L., 2014. Poplars and Willows for Rural Livelihoods and Sustainable Development. In *Poplars and willows: trees for society and the environment*. CABI, pp. 577–604.
- Lars, R., 2002. Nutrient content in stems of hybrid aspen as affected by tree age and tree size, and nutrient removal with harvest. *Biomass and Bioenergy*, 23(1), pp.13–25.

- Lauteri, M. et al., 2006. Using Oxygen Stable Isotopes to Investigate the Soil-Plant-Atmosphere Hydraulic Continuum in Complex Stands of Walnut. In *Vth International Walnut Symposium*. pp. 223–230.
- Loewe, V., González, M. & Balzarini, M., 2013. Wild cherry tree (*Prunus avium* L.) growth in pure and mixed plantations in South America. *Forest Ecology and Management*, 306, pp.31–41.
- Magagnotti, N. et al., 2012. Energy biomass from the low-investment fully mechanized thinning of hardwood plantations. *Biomass and Bioenergy*, 47(0), pp.195–200. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.042>.
- Magagnotti, N. et al., 2011. Mechanized thinning of walnut plantations established on ex-arable land. *Agroforestry Systems*, 82(1), pp.77–86.
- Makeschin, F., 1994. Effects of energy forestry on soils. *Biomass and Bioenergy*, 6(1-2), pp.63–79.
- Medinski T.V., Freese D., Böhm C., 2015. Soil CO₂ flux in an alley-cropping system composed of black locust and poplar trees, Germany. *Agroforest Syst* (2015) 89:267–277.
- McCracken, A.R., Dawson, W.M. & Bowden, G., 2001. Yield responses of willow (*Salix*) grown in mixtures in short rotation coppice (SRC). *Biomass and Bioenergy*, 21(5), pp.311–319.
- Mead, R. & Willey, R.W., 1980. The Concept of a “Land Equivalent Ratio” and Advantages in Yields from Intercropping. *Experimental Agriculture*, 16(03), pp.217–228. Available at: http://journals.cambridge.org/article_S0014479700010978.
- Minotta G, Facciotto G, Paris P, Pelleri F., 2015. Tree farming, Agroforestry and the New Green Revolution. A necessary alliance. Proceedings of the II International Congress of Silviculture, Organized by Italian Academy of Forest Sciences, Firenze-Italy, 26-28 nov. 2014. Proceedings will be published on the Italian Journal of Forest and Mountain Environments (<http://ojs.aisf.it/index.php/ifm>).
- Mohni, C., Pelleri, F. & Hemery, G.E., 2009. The modern silviculture of *Juglans regia* L.: A literature review. *Die Bodenkultur*, 60(3), pp.21–34.
- Morgenstern, E.K., 1991. Silvicultural systems. *Forest Ecology and Management*, 40(3-4), pp.310–311.
- Morhart, C., Sheppard, J., Seidl, F., et al., 2013. Influence of different tillage systems and weed treatments in the establishment year on the final biomass production of short rotation coppice poplar. *Forests*, 4(4), pp.849–867.
- Morhart, C., Sheppard, J. & Spiecker, H., 2013. Above ground leafless woody biomass and nutrient content within different compartments of a *P. maximowiczii* ?? *P. trichocarpa* poplar clone. *Forests*, 4(2), pp.471–487.
- Morhart, C.D. et al., 2014. Alley coppice-a new system with ancient roots. *Annals of Forest Science*, 71, pp.527–542.

- Mulia, R. & Dupraz, C., 2006. Unusual fine root distributions of two deciduous tree species in southern France: What consequences for modelling of tree root dynamics? *Plant and Soil*, 281(1-2), pp.71–85.
- Nichols, J.D., Bristow, M. & Vanclay, J.K., 2006. Mixed-species plantations: Prospects and challenges. *Forest Ecology and Management*, 233(2-3), pp.383–390.
- Van Noordwijk, M. et al., 1996. Root distribution of trees and crops: competition and/or complementarity. Available at: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB2012108740> [Accessed May 24, 2015].
- Van Noordwijk, M. & Lusiana, B., 1999. WaNuLCAS , a model of water , nutrient and light capture in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 43, pp.217–242.
- Nosenzo, A. et al., 2011. Impianti di ciliegio per arboricoltura da legno in Piemonte: analisi della qualità basata sugli assortimenti ritraibili. In *Convegno Nazionale del Ciliegio*. Vignola, pp. 153–154.
- Ong, C.K., Huxley, P. & others, 1996. *Tree-crop interactions: a physiological approach.*, CAB INTERNATIONAL.
- Palma, J.H.N. et al., 2007. Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119(3-4), pp.320–334.
- Palma, J.H.N. et al., 2007. Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(3-4), pp.320–334. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880906002945> [Accessed February 18, 2014].
- Paris P., Sacchetti R., Scarascia Mugnozza G., Pisanelli A., Cannata F., Todaro L., 2006. La robinia a turno breve vince nelle zone marginali. *Terra e Vita*, 48: 79-82.
- Paris, P. et al., 2011. Comparing hybrid *Populus* clones for SRF across northern Italy after two biennial rotations: Survival, growth and yield. *Biomass and Bioenergy*, 35(4), pp.1524–1532. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953410005088> [Accessed February 7, 2014].
- Paris, P. et al., 2014. Innovative Alley coppice Systems-mixing timber and bioenergy woody crops: 7 years growth and ecophysiological results in experimental plots in northern Italy, Po Valley. In *The 11th European IFSA Symposium, Berlin, Germany*. pp. 1968–1976.
- Pérez I., Pérez J., Carrasco J., Ciria P., 2015. Siberian elm responses to different culture conditions under short rotation forestry in Mediterranean areas. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, Turk J Agric For (2014) 38: 652-662
- Pérez-Cruzado C., Sanchez-Ron D., Rodríguez-Soalleiro R., Hernández M. J., Mario Sánchez-Martín M., Cañellas, I. and Sixto H. (2014). Biomass production assessment from *Populus* spp. short-rotation irrigated crops in Spain. *GCB Bioenergy*, 6: 312–326. doi: 10.1111/gcbb.12061

- Parrotta, J.A., 1999. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 124(1), pp.45–77.
- Petzold, R. et al., 2014. Linking biomass production in short rotation coppice with soil protection and nature conservation. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, (1), pp.353–362.
- Piotto, D., 2008. A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. *Forest Ecology and Management*.
- Pistocchi, C. et al., 2009. Water requirements of poplar and willow vegetation filters grown in lysimeter under Mediterranean conditions: Results of the second rotation. *Desalination*, 246(1-3), pp.137–146.
- Price, C., 2011. Optimal rotation with declining discount rate. *Journal of Forest Economics*, 17(3), pp.307–318.
- Quinkenstein, A. et al., 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science and Policy*, 12(8), pp.1112–1121.
- Rédei, K., 2002. Management of black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands in Hungary. *Journal of Forestry Research*, 13(4), pp.260–264. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/BF02860087> [Accessed May 23, 2015].
- Rédei K., Csiha I., Keserű Z., Kamandiné Végh Á, Győri, J., 2012. The silviculture of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary: a review. *SEEFOR (South-East European Forestry)*, 2(2): 101-107.
- Redondo-Brenes, A. & Montagnini, F., 2006. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 232(1-3), pp.168–178.
- Reed, D.D. et al., 2003. Models of potential height and diameter for *Eucalyptus globulus* in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 172(2-3), pp.191–198.
- Richardson, J., 2002. *Bioenergy from sustainable forestry: guiding principles and practice*, Springer Science & Business Media.
- Rigueiro-Rodriguez, A. et al., 2009. *Agroforestry Systems in Europe: Productive, Ecological and Social Perspectives*, Available at: <Go to ISI>://BCI:BCI200900313317.
- Rohle, H. & Ali, W., 2009. Production Potential of Poplar in Short Rotation Plantations in Saxony. *Rural Development 2009 Proceedings, Vol 4, Book 2, Proceedings*, pp.190–195. Available at: <Go to ISI>://WOS:000274845700033.
- Rowe, R.L. et al., 2011. Potential benefits of commercial willow Short Rotation Coppice (SRC) for farm-scale plant and invertebrate communities in the agri-environment. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), pp.325–336.

- Schmidt-Walter, P. & Lamersdorf, N.P., 2012. Biomass Production with Willow and Poplar Short Rotation Coppices on Sensitive Areas-the Impact on Nitrate Leaching and Groundwater Recharge in a Drinking Water Catchment near Hanover, Germany. *Bioenergy Research*.
- Schweier, J. & Becker, G., 2013. Economics of poplar short rotation coppice plantations on marginal land in Germany. *Biomass and Bioenergy*.
- Schweier, J. & Becker, G., 2012. Harvesting of short rotation coppice-harvesting trials with a cut and storage system in Germany. *Silva Fennica*, 46(2), pp.287–299.
- Sixto H, Cañellas I, van Arendonk J, Ciria P., Camps F, Sánchez M, Sánchez-González M, 2015. Growth potential of different species and genotypes for biomass production in short rotation in Mediterranean environments. *Forest Ecology and Management* (in press).
- Snowdon, P., Wichienopparat, W. & Khanna, P.K., 2003. Growth, above-ground biomass and nutrient content of eucalypts and acacias grown in mixture in a tropical environment: evaluation for one full rotation. In *International Conference on Eucalypt Productivity, Hobart, Australia*. pp. 57–58.
- Spiecker, H. & Hein, S., 2009. *Valuable Broadleaved Forests in Europe*, Brill, Leiden and Boston. Available at: <https://books.google.it/books?id=FV6ug-GVPL0C>.
- Springmann, S., Rogers, R. & Spiecker, H., 2011. Impact of artificial pruning on growth and secondary shoot development of wild cherry (*Prunus avium* L.). *Forest Ecology and Management*, 261(3), pp.764–769.
- Szczukowski, S. et al., 2002. Productivity and chemical composition of wood tissues of short rotation willow coppice cultivated on arable land. *Water*, 2002(9), pp.413–417.
- Talbot, G. & Dupraz, C., 2012. Simple models for light competition within agroforestry discontinuous tree stands: Are leaf clumpiness and light interception by woody parts relevant factors? *Agroforestry Systems*, 84(1), pp.101–116.
- Terreaux, M. & Chavet, J., 2004. *An intertemporal approach of Land Equivalent Ratio for agroforestry plots*,
- Testa, R. et al., 2014. Economic evaluation of introduction of poplar as biomass crop in Italy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Tillman, D.A., 2000. Biomass cofiring: The technology, the experience, the combustion consequences. *Biomass and Bioenergy*, 19(6), pp.365–384.
- Tsonkova, P. et al., 2012. Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: A review. *Agroforestry Systems*, 85(1), pp.133–152.
- Vandermeer, J.H., 1992. *The ecology of intercropping*, Cambridge University Press.
- Verwijst, T. & Nordh, N.E., 1992. Non-destructive estimation of biomass of *salix dasyclados*. *Bioresource Technology*, 41(1), pp.59–63.

- Volk, T.A. et al., 2004. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(8), pp.411–418.
- Wang, Q., Wang, S. & Zhang, J., 2009. Assessing the effects of vegetation types on carbon storage fifteen years after reforestation on a Chinese fir site. *Forest Ecology and Management*, 258(7), pp.1437–1441.
- Van der Werf, W. et al., 2007. Yield-SAFE: A parameter-sparse, process-based dynamic model for predicting resource capture, growth, and production in agroforestry systems. *Ecological Engineering*, 29(4), pp.419–433. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092585740600231X> [Accessed January 23, 2014].
- Wickham, J. et al., 2010. *A review of past and current research on short rotation coppice in Ireland and abroad Report prepared for COFORD and Sustainable Energy Authority of Ireland by, COFORD, Dublin.*
- De Wit, M. & Faaij, A., 2010. European biomass resource potential and costs. *Biomass and Bioenergy*, 34(2), pp.188–202. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.07.011>.
- Wolbert-Haverkamp, M. & Musshoff, O., 2014. Are short rotation coppices an economically interesting form of land use? A real options analysis. *Land Use Policy*.

Nitrogen removal and its determinants in hybrid *Populus* clones for bioenergy plantations after two biennial rotations in two temperate sites in northern Italy

Pierluigi Paris⁽¹⁾, Leonardo Mareschi⁽²⁾, Maurizio Sabatti⁽³⁾,
Luca Tosi⁽¹⁻³⁾, Giuseppe Scarascia-Mugnozza⁽³⁾

The sustainability of bioenergy coppice plantations is strongly affected by the Nitrogen (N) balance, whose removal is very high due to the frequent harvest of large quantities of biomass composed of small-sized shoots. Poplar bioenergy coppice plantations could have a Nitrogen removal comparable to herbaceous crops. In this study, five hybrid poplar genotypes ("AF2", "AF6", "Monviso", "83.148.041", "I214") were compared for tree morphological traits related to yield, N removal in the harvested biomass and Nitrogen wood concentration (N %) after two biennial coppice rotations in two experimental plantations located in northern Italy. N removal was primarily influenced by biomass production, and linear positive relationships between biomass yield and N removal were established. N removal also varied greatly among genotypes due to clonal differences in yield and in N%, in relation to significant differences among clones for their branching and sprouting habits. In the first rotation, branchiness was positively correlated to N% with a significant coefficient of determination ($R^2=0.813$), while at the end of the second rotation it was also significantly correlated to the shoots per stool ratio ($R^2=0.804$). "Monviso" and "83.148.041" were the clones showing the highest yield, but also a high N% associated to an high level of branchiness and shoots per stool ratio. Our results highlight that poplar genotype selection for sustainable N management should be aimed at genotypes with low wood N concentration, coupling high yield with low branching and sprouting habits as in the case of the clone "AF2".

Keywords: Branching Habit, Coppice Plantations, Fertilization, Growth Traits, Sprouting Habit

Introduction

Tree bioenergy plantations have the potential to produce large quantities of biomass to partially replace fossil fuels, as well as to mitigate the global warming (Chum et al. 2011), provided that they are environmentally and socially sustainable. Compared to herbaceous energy crops, tree bioenergy plantations may be more sustainable for bio-fuel conversion in terms of energy and CO₂

balance (Blanco-Canqui 2010, Scharlemann & Laurance 2008). In many temperate countries, bioenergy coppice plantations of fast growing trees have been established with a short harvesting period of 2-3 years (Christersson & Verma 2006, El Kasmioui & Ceulemans 2012). Such plantations are frequently referred to as short rotation coppices (SRCs). Tree species most frequently used for temperate SRCs include hybrids of wil-

lows (*Salix* spp.), poplars (*Populus* spp.), eucalyptus (*Eucalyptus* spp.) and robinia species (*Robinia pseudoacacia* L.). The use of clones of such species with improved yield traits is very common.

SRC plantations are most frequently established on agricultural arable soils, and their cultivation cycle is fully mechanized, from establishing trees to harvesting the biomass. Despite this high level of mechanization, their energy balance is generally very positive (Djomo et al. 2011, Manzone et al. 2009), with more than 60% of the crop energy balance represented by nitrogen (N) fertilization.

The importance of N fertilization depends on two main factors. Firstly, similar to other plant nutrient elements, N is largely removed with the frequent and complete cyclical harvest of the aboveground biomass. Nutrient removal in SRCs is far greater than in conventional forestry (Lars 2002, Hansen et al. 1988, Van Miegroet et al. 1994), due to the high density of the shoot population, characterized by very small sized stems and a high bark volume (wood/bark ratio - Klasnja et al. 2002, Adler et al. 2005, Guidi et al. 2009). Secondly, the chemical synthesis of N fertilizers is an industrial process requiring an enormous quantity of energy (Kaltschmitt & Reinhardt 1997).

A third element highlighting the importance of nitrogen fertilization for bioenergy sustainability lies in its environmental impact (Erisman et al. 2010, Heller et al. 2003), in terms of groundwater pollution by nitrate leaching and ozone depletion by the emission of nitrous oxides after the combustion of biomass with a relative high N concentration. Low requirements of N fertilizer and high efficiency of N utilization are therefore desirable crop traits, especially for energy crops. This is relevant to achieve a favorable, positive energy balance for the SRC crops (Scholz & Ellerbrock 2002).

Nevertheless, little is known about the nutrient use and efficiency of poplar SRCs, and how they vary according to factors such as site conditions, biomass yield and genetic origin of the planting material. Significant variations in N uptake and N use efficiency (NUE) have been found among clones of important fast-growing tree species such as poplars (Berthelot et al. 2000, Heilman & Stettler 1986), willows (Adegbiidi et al. 2001), and eucalypts (Safou-Matondo et al. 2005). According to Vitousek (1982), NUE indicates the net primary productivity (NPP) to total N uptake in a certain period. However, studying N balance in fast growing tree plantations, the aforementioned authors calculated NUE as the ratio between the harvested biomass over its N content, concluding that NUE is an important factor for the selection of planting material for SRCs. No

□ (1) C.N.R. - Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, v. G. Marconi 2, I-05010 Porano (TR - Italy); (2) Corpo Forestale dello Stato, v. A. Pacinotti 5, I-01100, Viterbo (Italy); (3) Di.B.A.F. - Università degli Studi della Tuscia, v. S. Camillo de Lellis, I-01100 Viterbo (Italy)

@ Pierluigi Paris (piero.paris@ibaf.cnr.it)

Received: Jan 28, 2014 - Accepted: Oct 30, 2014

Citation: Paris P, Mareschi L, Sabatti M, Tosi L, Scarascia-Mugnozza G, 2015. Nitrogen removal and its determinants in hybrid *Populus* clones for bioenergy plantations after two biennial rotations in two temperate sites in northern Italy. iForest (early view): e1-e9 [online 2015-02-02] URL: <http://www.sisef.it/forest/contents/?id=ifor1254-007>

Communicated by: Gianfranco Minotta

Tab. 1 - Main characteristics of the Vinovo and Bigarello study sites with experimental plots of hybrid poplar clones under short rotation coppicing management in northern Italy. (a): Köppen & Greiger classification (Kottek et al. 2006)

Characteristics	Vinovo	Bigarello
Long /Lat	7° 38' 20.40" E 44° 57' 25.03" N	10° 53' 11" E 45° 11' 26.93" N
Climate ^a	Cfb (Warm temperate, fully humid with warm summer)	Cfa (Warm temperate, fully humid with hot summer)
May to August Prec. (mm)	60 mm in 2003; 143 mm in 2004; 233 in 2005; 198 in 2006	67 mm in 2003; 216 mm in 2004; 292 in 2005; 181 in 2006
Soil (0-20 cm depth)	(14.4% clay, 19.9% sand); pH _{water} 7; tot N soluble 10.1 mg N kg ⁻¹	(43.3% clay, 16.8% sand); pH _{water} 8.34; tot N soluble 10.6 mg N kg ⁻¹
Cultivation model	Planting date: April 2003; planting density 5900 cuttings ha ⁻¹ ; biennial harvestings in Jan. 2005 and Dec. 2006; No fertilization	Planting date: March-April 2003; planting density 5900 cuttings ha ⁻¹ ; biennial harvestings in Dec. 2004 and Jan. 2007; No fertilization

attempts were made to connect the NUE of clones with clonal biomass yield characteristics, such as the distribution among stem/shoot populations with different dimensions, the allocation ratio between branch and stem woody biomass, the shoot density or the number of shoots on the stools. Indeed, all these parameters may vary significantly among poplar clones. Such variability could affect N removal and NUE at a clonal level in poplar hybrids, altering the percentage of bark and young woody tissues in the total harvested woody biomass (Paris et al. 2006). This resulted from a high absorption of N, along with many other plant nutrients, by poplar trees, resulting in a higher N concentration in the bark than wood (Laureysens et al. 2004), and the percentage of bark to the total aboveground woody biomass strongly increases with decreasing stem dimensions (Guidi et al. 2009, Klasnja et al. 2002) and increasing branchiness (Paris et al. 2006).

The objective of this work was to examine the effects of coppicing cycles and hybrid poplar clones on stool morphology yield traits, wood N concentration (N%), NUE and N removal, with the aim of assessing clone suitability for bioenergy production and helping to refine the criteria of N fertilization for the woody crop in temperate plantation forestry.

In 2003, a network of three experimental plantations on arable soils was established in

Italy in order to test new clones of poplar hybrids for SRC, by studying their biomass productivity and growth in relation to site characteristics and genetic background. Data on the first three biennial rotations were published in Paris et al. (2011) and Sabatti et al. (2014). In two plantations, woody samples were collected during the first two harvests from representative trees/shoots in order to determine the N concentration in woody tissue and to estimate the amount of N removed with harvesting.

Our aims were: (1) to investigate the effect of coppicing on N removal in the harvested biomass; (2) to test whether the studied poplar clones differed in their N use; and (3) to determine whether the morphological parameters of trees could be determinants in affecting wood N% at the clonal level.

Material and methods

Locations and experimental settings

This study was conducted in two experimental plantations established in spring 2003 aimed at comparing hybrid poplar clones under SRC conditions. Both plantations, Bigarello and Vinovo, are located in the Po valley, northern Italy, and their main characteristics are summarized in Tab. 1. Detailed information on the experimental plantations are reported by Paris et al. (2011). The two plantations were subject to very similar es-

tablishment and cultural practices, as reported in Tab. 1. The list of poplar clones compared in this study is reported in Tab. 2. Clone I-214 is a traditional selection developed in Italy for timber production. The other clones are new cultivars recently developed in Italy, specifically for biomass production under SRC management. These clones are currently under evaluation in Italy, as well in other European countries with various site conditions, such as Spain (Sixto et al. 2010) and Romania (Filat et al. 2010).

The experimental design consisted in a randomized block with three-four replications per clone. Each replication was made up of homogenous plots with 60 trees organized in 5 rows (inter-row distance 280 cm), each with 12 trees (intra-row spacing 60 cm), with an inner sampling area of one row with 12 trees (20.16 m²).

No fertilization was supplied at any point along the cultural cycle of plantations, either before planting or during cultivation. Biomass harvesting, in biennial cycles, was performed mechanically in winter after leaf shedding.

Field sampling

Sampling and measurements were carried out at both plantations soon before mechanical harvesting in winter 2004/2005 and 2006/2007, at the end of the first and second biennial rotation cycle, respectively. Measurements were aimed at determining the main growth traits of the clones, *i.e.*, stem dimensions and the number of shoots per stool. More details on the sampling procedures adopted and the allometric regression equations used are reported by Paris et al. (2011).

The field sampling for nitrogen content was organized as follows. In each experimental site, the diameter at 100 cm above the ground (D) of all individual shoots was measured, and the shoot population of each clone recorded into diameter classes (diametric classes 1 cm wide; the numeric value of each class represented the central value, *i.e.*, class 1 included all sections whose diameter ranged from 0.5 to 1.5 cm). Thereafter, 10-cm thick stem discs were obtained from 10-15 undamaged sample shoots (stem and branches with no evident damages such as wounds, pest and disease attacks) per each clone. The sampled shoots were randomly selected so that the diameter range in each experimental site and clone was well representing the whole variation across sites and clones.

For each sample shoot, D and total height (H) were recorded with a caliper (precision 0.1 mm) and tape (precision 0.1 cm), respectively, and the fresh weight of both stem and branches was directly measured in the field with an electronic portable hanging scale (HBC 20K 50, KERN, Germany - precision

Tab. 2 - List of hybrid poplar clones studied in northern Italy. (a): denotes where and by whom the crosses were made; (M) male; (F) female; (Yr): year of cross.

Genotype	Sex	Parentage	Yr	Breeder ^a	Selection for
AF2	M	<i>P. × canadensis</i>	1992	F. Alasia, Savigliano (Italy)	biomass
AF6	F	<i>(P. × generosa) × P. nigra</i>	1993	F. Alasia, Savigliano (Italy)	biomass
Monviso	F	<i>(P. × generosa) × P. nigra</i>	1991	F. Alasia, Savigliano (Italy)	biomass
83.148.041	M	<i>P. × canadensis</i>	1983	CRA-PLF, Casale M. (Italy)	biomass
I-214	F	<i>P. × canadensis</i>	1929	G. Jacometti, Villafranca P. (Italy)	plywood

50 g).

The stem discs were collected at three different heights above the ground (Fig. 1) measured with a tape (precision 0.1 cm): (i) 20 cm (disc D20, with R radius); (ii) at half of the total stem height (disc H/2); (iii) and at the height where the stem diameter was 2 cm (disc D2, with r radius). These discs represent 3 stem sections of the sample shoot: (i) the basal section, with a cylindrical shape and volume V_{cy} ; (ii) the intermediate section (H/2), whose volume (V_f) can be estimated as a frustum of cone; (iii) the top section (D2) with a conic shape and volume V_c . Branches were sampled separately for each sample shoot, collecting 3 discs from their basal, median and apical part. Three average branches per shoot were selected along its entire height. Disc samples represented approx. 5% of the total weight of each individual sample shoot.

Percentage branchiness (branch %) of each sample shoot was calculated as the branch weight to total shoot weight ratio.

Immediately after sampling, the radius of each disc was recorded by cross-measurement with a digital caliper (precision 0.1 mm). Each disc was then placed into a plastic bag for minimizing moisture loss.

Laboratory procedures and nitrogen analysis

One week after field collection, sample disc volume over bark was estimated by the water displacement method, thereby obtaining individual density estimates. Each disc was then split into two equal parts, one used for dry weight determinations (at 105 °C, to constant weight), and the other for N determinations.

Discs for N determinations were dried at 40 °C to constant weight, and then ground by a laboratory mill (M10 Basic Microfine Grinder, IKA, Staufen, Germany), obtaining a homogeneous dust which was dried again overnight at 40 °C, and subsequently analyzed by CHN gas chromatography (Carlo Erba NA 1500, Italy) to determine the relative percentage N concentration (N%).

Stem volume over bark was estimated for each sample shoot by summing the volumes of the 2 stem sections and the top section, using the formulas for the basal cylinder ($V_{cy} = (\pi r^2 h_1)$), for the intermediate frustum of a cone ($V_f = 1/3 \pi h_2 [R^2 + Rr + r^2]$), and for the top cone ($V_c = [\pi h_3 r^2]/3$), respectively, where V is the volume, $h_{1,2,3}$ are the height of the three stem sections, R the lower radius, and r the upper radius (see also Fig. 1). Conversion of fresh stem volume to stem dry weight was done using the recorded density of each stem disc.

Regarding the N content of three 3 stem sections, N concentrations were averaged over the discs at the basal (D20), intermediate (DH/2) and top (D2) sections, respective-

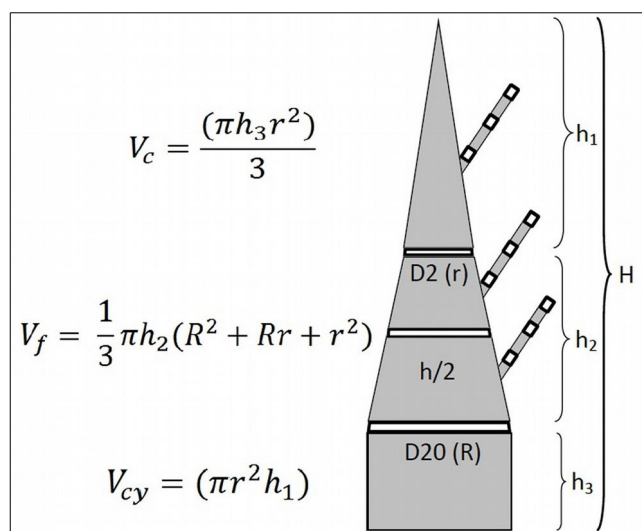


Fig. 1 - Schematic layout of wood discs sampled from the stem (D20; h/2, D2) and branches of sample shoots and the three main sections for the stem volumetric determination (basal, median and apical sections). (V_c): volume of the apical cone; (V_f): volume of the intermediate frustum of cone; (V_{cy}): volume of the basal cylinder; (h_1, h_2, h_3): heights of the three stem sections considered; (H): total stem height; (R): lower radius; (r): upper radius.

ly. For the remaining branches, the branch N concentration was multiplied for the branch weight. The N content for each sample shoot was obtained by summing the N amounts of the three stem sections, including the branches wood nitrogen. The N uptake was then calculated per weight of each sample shoot according to its diameter class, and used for the estimation of total N uptake for each clone and site (N uptake, kg ha⁻¹). NUE (kg dm kg N⁻¹) was finally obtained dividing the above-ground woody biomass for each clone by its N uptake.

Statistical analysis

In each site, analysis of variance (ANOVA) was used to analyze the main effects of clone and cycle along with their interaction on growth parameters (D; H; Shoots/stool ratio; branch %) and N use parameters (N%; N uptake, NUE). This was carried out using a randomized complete block design with site, clone, cycle and clone × cycle as fixed factors and block as a random factor. Plot means for D, H, N shoots/stool ratio, N%, N uptake and NUE were the units of replication. Individual branchiness of test shoots after angular transformation ($\alpha = \arcsin\sqrt{\%}$), was the unit of replication for branchiness. For significant ANOVA effects, *post-hoc* Duncan's test ($p \leq 0.05$) was used to test for significant differences between treatment means. Pearson's correlation among growth and yield parameters (D; H; shoots/stool ratio; branch %; Yield) and the different N use parameters (N%; N uptake) was also carried out. Average clonal values stratified per site, cycle and clone ($n = 3-4$) of the sampled parameters were used in this analysis. Finally, average plot values were used to analyze the relationship between Yield and N uptake, according to the two rotation cycles studied.

Results

Growth parameters

Results of the ANOVA carried out on growth parameters are shown in Tab. 3. At both sites, clone and cycle effects on stem or shoot dimensions (D and H) were generally highly significant after ANOVA. Coppicing significantly decreased both stem dimensions (D and H) in the two sites, with a more evident effect on D, which was reduced almost by half from the first to the second rotation at both sites (Tab. 4). Clone AF2 had consistently higher values in stem dimensions across the two rotation cycles, in both sites.

At both sites, clone and cycle effects on branchiness were generally highly significant. Coppicing strongly reduced plant branchiness in both sites, *i.e.*, the first coppicing strongly decreased the amount of above-ground woody biomass allocated to branches. At both sites, clones "Monviso", "83.148.041" and "I-214" (at Bigarello) had the highest values of branchiness after the first biennial rotation, while the clone "AF2" had the lowest values. After the second rotation, the clone effect on branchiness was not significant at Vinovo, while a significant clone × cycle interaction in Bigarello, with clones "AF2" and "83.148.041" having the lowest values of branchiness.

At both sites, the shoots/stool ratio was affected by the rotation cycle, strongly increasing from the first to the second rotation as a consequence of coppicing. After the first rotation, no significant differences among clones were found for this parameter at both sites. After the second rotation, the clone effect was very significant in Bigarello. Clones "Monviso" and "83.148.041" had the highest values of the shoots/stool ratio in both sites, while clone "AF2" had the lowest.

Tab. 3 - ANOVA F and p-values for morphological growth traits and Nitrogen (N) status of shoots of hybrid poplar clones after two rotations in the study sites (northern Italy). (1): Total shoot height; (2): Shoot diameter, measured at 100 cm above the ground; (3): percentage allocation ratios between stem and branch woody biomass; (4): number of shoots on the stool; (5): percentage concentration of N in the above ground woody biomass, including wood and bark; (6): N content in the harvestable above ground woody biomass; (7): Nitrogen Use Efficiency.

Site	Source of variation	H ¹		D ²		Branchiness ³		Shoots/stool Ratio ⁴		N% ⁵		N Uptake ⁶		NUE ⁷	
		F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Vinovo	Clone	16.4	<0.0001	5.3	<0.01	4.6	<0.01	0.6	0.696	313.2	<0.0001	16.5	<0.0001	208.3	<0.001
	Cycle	429	<0.0001	396	<0.0001	64.2	<0.0001	360	<0.0001	954.6	<0.0001	34.4	<0.0001	638.2	<0.001
	Site × Clone	1.1	0.383	0.7	0.596	0.8	0.512	1	0.414	107	<0.0001	8.1	<0.01	48.4	<0.0001
Bigarello	Clone	27	<0.0001	6.8	<0.01	6.1	<0.01	6.9	<0.01	45.8	<0.0001	16.5	<0.0001	33.1	<0.0001
	Cycle	258	<0.0001	350	<0.0001	129.3	<0.0001	846.3	<0.0001	38.2	<0.0001	34.4	<0.0001	40	<0.0001
	Site × Clone	12.3	<0.01	0.7	0.602	5.5	<0.01	7.3	<0.01	8.2	<0.01	8.1	<0.01	9.9	<0.0001

Tab. 4 - Means and standard errors (in parenthesis) of total shoot height (H) and diameter (D), shoots/stool ratio, and percentage branchiness of hybrid poplar clones after two biennial rotations in the study sites in northern Italy. (§): Shoot diameter measured at 100 cm above the ground; (†): number of shoots on the stool; (‡): percentage allocation ratios between stem and branch woody biomass. Values within each column followed by different letters are statistically different after Duncan's MR Test ($P \leq 0.05$). (ns): not significant; (*): $P \leq 0.05$; (**): $P \leq 0.01$; (***) : $P \leq 0.001$, levels of significance of the differences between the average value of the first and second rotation cycle of each parameter in each site.

Site	Clone	H (cm)		D (cm) §		Shoots/stool ratio †		Branchiness (%) ‡	
		1 st rotation	2 nd rotation	1 st rotation	2 nd rotation	1 st rotation	2 nd rotation	1 st rotation	2 nd rotation
Vinovo	AF2	844.5 (17.3) ^a	628.0 (10.3) ^a	6.3 (0.3) ^a	3.5 (0.1) ^a	1.2 (0.04) ^{ns}	3.9 (0.29) ^{ns}	15.5 (1.1) ^b	8.5 (1.4)
	AF6	764.2 (22.6) ^{bc}	587.5 (2.7) ^{ab}	5.4 (0.3) ^b	3.1 (0.03) ^{ab}	1.5 (0.06) ^{ns}	4.2 (0.24) ^{ns}	16.9 (1.3) ^b	10.6 (1.3)
	Monviso	731.0 (11.5) ^c	510.7 (15.6) ^c	5.4 (0.2) ^b	2.9 (0.2) ^b	1.3 (0.07) ^{ns}	4.3 (0.34) ^{ns}	24.1 (1.2) ^a	13.2 (1.9)
	83.148.041	816.5 (14.1) ^{ab}	589.7 (17.4) ^{bc}	5.2 (0.2) ^b	3.1 (0.1) ^b	1.1 (0.03) ^{ns}	4.6 (0.31) ^{ns}	19.6 (1.5) ^b	9.8 (1.8)
	I-214	742.5 (3.6) ^{bc}	559.2 (10.5) ^b	5.5 (0.1) ^b	2.9 (0.1) ^b	1.4 (0.1) ^{ns}	4.2 (0.41) ^{ns}	17.5 (1.8) ^b	10.9 (1.8)
	mean	780.0 (11.9) ^{***}	575.0 (10.3)	5.6 (0.1) ^{***}	3.1 (0.1)	1.3 (0.05) ^{***}	4.2 (0.15) ^{ns}	18.7 (0.7) ^{***}	10.6 (0.8)
Bigarello	AF2	536.5 (13.8) ^a	434.0 (9.1) ^c	4.4 (0.2) ^b	2.4 (0.2) ^a	1.0 (-) ^d	4.1 (0.09) ^c	20.7 (1.3) ^b	11.3 (1.5) ^c
	AF6	476.2 (10.7) ^b	319.2 (1.4) ^d	3.8 (0.1) ^{ab}	2.0 (0.1) ^b	1.3 (0.06) ^d	4.6 (0.33) ^c	24.0 (2.3) ^{bc}	19.3 (1.4) ^{bcd}
	Monviso	504.8 (5.4) ^{ab}	259.5 (10.1) ^c	4.2 (0.1) ^a	2.1 (0.1) ^{ab}	1.2 (0.06) ^d	5.3 (0.3) ^b	30.2 (1.4) ^a	14.9 (1.6) ^{de}
	83.148.041	512.0 (7.8) ^{ab}	420.5 (17.5) ^c	3.8 (0.1) ^{ab}	2.0 (0.1) ^b	1.0 (0.02) ^d	6.1 (0.22) ^a	31.3 (1.7) ^a	11.5 (1.2) ^c
	I-214	425.5 (18.1) ^c	338.5 (11.9) ^d	3.4 (0.3) ^b	1.8 (0.3) ^b	1.1 (0.04) ^d	4.6 (0.25) ^c	31.0 (1.7) ^a	17.3 (2.4) ^{cd}
	mean	491.0 (10.1) ^{***}	354.3 (15.4)	3.9 (0.1) ^{***}	2.0 (0.1)	1.1 (0.03) ^{***}	4.9 (0.18)	27.5 (1) ^{***}	14.7 (0.8)

Tab. 5 - Means and standard errors (in parenthesis) of Nitrogen (N) status in the shoots of hybrid poplar clones after two biennial rotations in the study sites (northern Italy). (§): percentage concentration of N in the above ground woody biomass, including wood and bark; (†): N content in the harvestable above ground woody biomass; (‡): Nitrogen Use Efficiency. Values within each column followed by different letters are statistically different after Duncan's MR Test ($P \leq 0.05$). (*): $P \leq 0.05$; (**): $P \leq 0.01$; (***) : $P \leq 0.001$, levels of significance of the differences between the average value of the first and second rotation cycle of each parameter in each site.

Site	Clone	N % §		N uptake (Kg ha ⁻¹) †		NUE ‡	
		1 st rotation	2 nd rotation	1 st rotation	2 nd rotation	1 st rotation	2 nd rotation
Vinovo	AF2	0.59 (0.016) ^f	0.80 (0.003) ^d	165.7 (4.4) ^{de}	210.5 (16.1) ^{cd}	168.8 (43) ^a	125.2 (0.4) ^d
	AF6	0.75 (0.013) ^c	1.05 (0.003) ^b	225.9 (3.7) ^c	286.0 (15.8) ^b	133.2 (2.2) ^{bc}	96.3 (0.3) ^f
	Monviso	0.96 (0.020) ^c	0.96 (0.060) ^c	245.5 (5.1) ^{bc}	250.3 (16.7) ^{bc}	104.2 (2.2) ^c	103.8 (0.6) ^c
	83.148.041	0.73 (0.016) ^c	1.15 (0.002) ^a	164.5 (3.6) ^{de}	340.8 (18.3) ^a	137.8 (3.0) ^b	87.0 (0.2) ^g
	I-214	0.60 (0.003) ^f	0.78 (0.005) ^d	132.2 (0.7) ^c	172.2 (10.6) ^{de}	165.4 (0.9) ^a	127.5 (0.8) ^{cd}
	mean	0.73 (0.040) ^{***}	0.95 (0.030)	186.8 (11) ^{***}	252.0 (15)	141.9 (6.2) ^{***}	108.0 (3.6)
Bigarello	AF2	0.65 (0.024) ^f	0.86 (-) ^{cd}	73.1 (2.7) ^{bc}	129.3 (14.9) ^{bc}	155.4 (5.61) ^a	116.6 (0.02) ^{cd}
	AF6	0.73 (0.036) ^c	0.89 (0.001) ^{bc}	84.2 (4.2) ^b	102.6 (10.5) ^{bc}	138.0 (7.23) ^b	112.7 (0.08) ^{cd}
	Monviso	0.91 (0.031) ^{bc}	0.93 (0.015) ^b	123.1 (4.2) ^a	175.1 (29.8) ^{ab}	110.7 (3.91) ^{de}	107.4 (1.89) ^{de}
	83.148.041	1.00 (0.004) ^a	1.00 (0.019) ^a	111.3 (0.4) ^a	222.6 (42.5) ^a	100.2 (0.41) ^c	99.8 (2.18) ^c
	I-214	0.75 (0.002) ^c	0.82 (0.012) ^a	54.4 (0.8) ^c	69.8 (14.0) ^c	133.3 (1.85) ^b	121.9 (2.13) ^c
	mean	0.81 (0.030) ^{***}	0.90 (0.020)	89.2 (7.4) ^{**}	139.9 (16.5)	127.5 (5.5) ^{***}	111.7 (1.8)

Nitrogen use

Results of the ANOVA carried out on N use parameters are shown in Tab. 3. At both sites, clone and cycle effects were highly significant for N%, with a significant increment from the first to the second rotation (Tab. 5). “Monviso” and “83.148.041” clones had the highest values of wood N% across the two sites after the first cycle. These two clones showed the highest N% after the second cycle at Bigarello, while at Vinovo the clone “83.148.041” had the highest N% value along with clone “AF6”. After the first rotation, “Monviso” had the highest N uptake in both sites. After the second rotation, “83.148.041” had by far the highest N uptake.

NUE was significantly affected by clone and cycle effects at both sites, with a significant decrease from the first to the second rotation.

Correlations, yield and N uptake

N% and NUE were never correlated with the shoot dimensions (Tab. 6), meaning that D and H did not affect the N use parameters of the studied clones. On the contrary, several significant correlation coefficients were found between the branching and sprouting habits and the N use parameters. Fig. 2 shows the linear regressions between branchiness and wood N% at both sites and across the two rotation cycles. The regression coefficients were never significant after the second rotation cycle, when branchiness remarkably decreases as a consequence of the strong increase of shoot density after coppicing. At the end of the first cycle, with higher values of branchiness, the regression coefficient was $R^2 = 0.813$ ($p \leq 0.05$) at Vinovo and $R^2 = 0.621$ ($p \leq 0.10$) at Bigarello. In both cases, clone “AF2” showed the lowest values of branchiness and the lowest values of wood N%. In contrast, clones “Monviso” and “83.148.041” showed high values of branchiness and high wood N%.

Fig. 3 shows the linear regressions between the shoots/stool ratio and wood N% in the two sites and across the two rotation cycles. The regression was never significant after the first rotation cycle. After the second cycle, with higher values of shoots/stool ratio, the regression coefficient were $R^2 = 0.804$ ($p \leq 0.05$) at Bigarello and $R^2 = 0.56$ ($p \leq 0.10$) at Vinovo. In both cases, the lowest values of shoots/stool ratio and wood N% were observed for clones “AF2” and “I214”. In contrast, “83.148.041” had the highest values of shoots/stool ratio and the highest wood N%.

Yield data as aboveground woody biomass of the studied poplar clones are reported in Tab. 7. N uptake in the aboveground woody biomass of the five clones in relation to the corresponding annual yield across the two study sites and the two rotation cycles are shown in Fig. 4. Data are reported as single

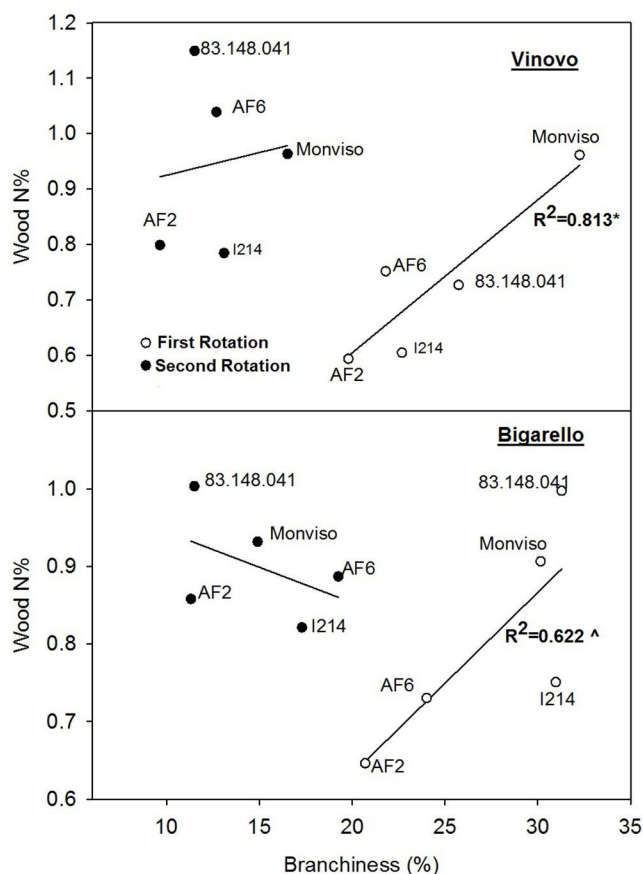


Fig. 2 - Linear regressions between the percentage woody biomass allocated to the branches (branchiness, in %) as the independent variable, and the percentage N concentration in the wood (N%) as the dependent variable, for the five clones in the two study sites (northern Italy), in relation to first and second biennial rotations. Each point represents the mean value of 3 replications. (*): $P \leq 0.05$; (^): $P \leq 0.1$. See Tab. 2, Tab. 4 and Tab. 5 for additional information.

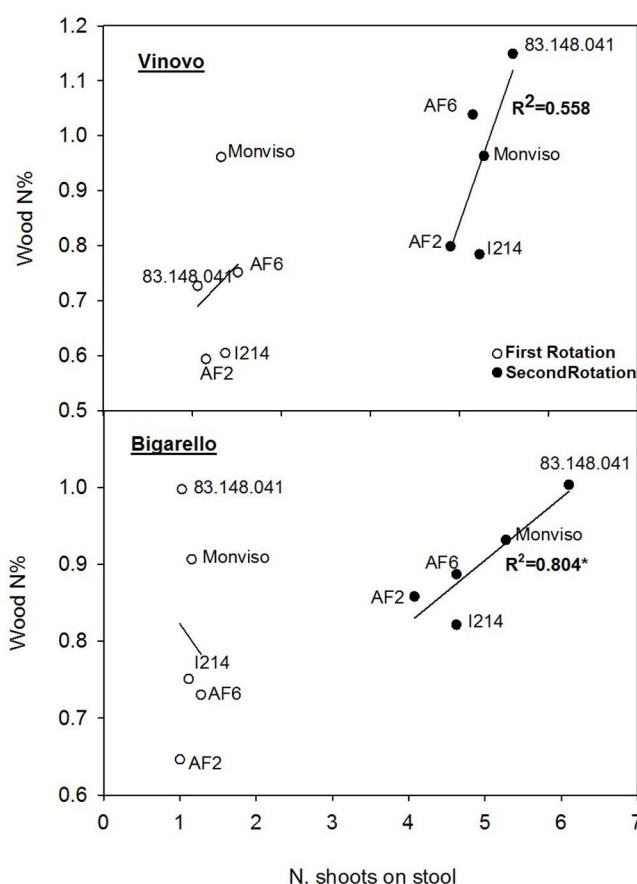


Fig. 3 - Linear regressions between the shoots/stool ratio (the number of shoots on the stool) as the independent variable, and the percentage N concentration in the wood (N%), as the dependent variable, for the five clones in the two study sites (northern Italy), in relation to first and second biennial rotations. Each point represents the mean value of 3 replications. (*): $P \leq 0.05$; (^): $P \leq 0.1$. See Tab. 2, Tab. 4 and Tab. 5 for additional information.

Tab. 6 - Pearson's correlation coefficients (R^2) between Nitrogen use parameters and morphological yield traits of hybrid poplar clones after two biennial rotations in the study sites (northern Italy). (1): Shoot diameter, measured at 100 cm above the ground; (2): total shoot height; (3): percentage allocation ratios between stem and branch woody biomass; (4): number of shoots on the stool; (5): percentage concentration of N in the above ground woody biomass, including wood and bark; (6): N content in the harvestable above ground woody biomass; (7): Nitrogen Use Efficiency.

Variable	Vinovo				Bigarello			
	1 st rotation		2 nd rotation		1 st rotation		2 nd rotation	
	N% ⁶	NUE ⁷	N%	NUE	N%	NUE	N%	NUE
D ¹	0.298	0.385	-0.055	0.065	0.040	-0.076	0.004	0.001
H ²	-0.299	0.271	-0.006	0.018	0.014	0.0003	0.012	-0.006
Branchiness (%) ³	0.813*	-0.747**	0.017	-0.039	0.622	-0.701**	-0.205	0.192
Shoots/stool ratio ⁴	0.041	0.045	0.558	-0.505	-0.012	0.001	0.804*	-0.761*
Biennial Yield ⁵	0.014	-0.018	0.708 [^]	-0.694	0.097	-0.074	0.839*	-0.844*

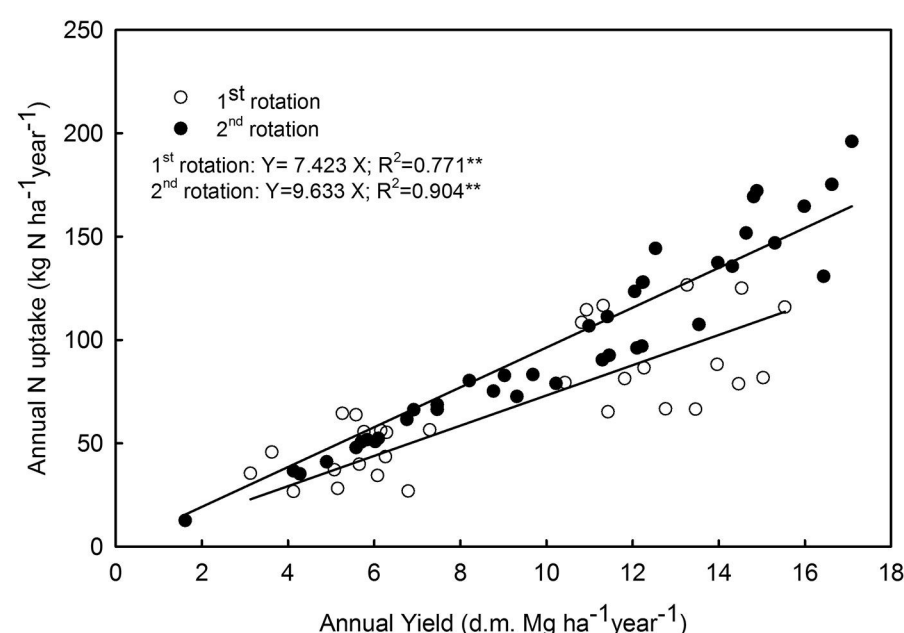


Fig. 4 - Linear regressions between annual yield in dry matter (d.m.) woody biomass as independent variable and Nitrogen (N) uptake in the harvestable biomass as dependent variable for the 5 clones in the two study sites in northern Italy, in relation to first and second biennial rotations. Each point represents a single replication (plot) value. (**): $P \leq 0.01$.

Tab. 7 - Means and standard errors (in parenthesis) of dry matter (d.m.) biennial above ground woody biomass yield (Mg dm ha^{-1}) of hybrid poplar clones after two biennial rotations in the study sites in northern Italy. Readapted from Paris et al. (2011). Within each column, values followed by different letters are statistically different according to Duncan's MR Test ($P \leq 0.05$). (ns): not significant difference between the yield average values of the first and second rotation cycle in each site.

Clone	Vinovo		Bigarello	
	1 st rotation	2 nd rotation	1 st rotation	2 nd rotation
AF2	27.93 (3.81) ^{ab}	26.37 (2.40) ^a	11.31 (1.78) ^{ab}	15.07 (2.01) ^{ab}
AF6	30.07 (2.50) ^a	27.56 (1.86) ^a	11.52 (1.58) ^{ab}	11.57 (1.36) ^{ab}
Monviso	25.53 (3.26) ^{ab}	26.02 (2.13) ^a	13.58 (1.73) ^a	18.62 (3.26) ^a
83.148.041	22.64 (1.63) ^b	29.66 (1.86) ^a	11.16 (0.50) ^{ab}	22.24 (8.87) ^a
I214	21.86 (1.58) ^b	21.93 (1.43) ^b	7.25 (1.69) ^b	8.40 (1.87) ^b
Mean	25.60 (2.55) ^{ns}	26.31 (1.94)	10.96 (1.46) ^{ns}	15.18 (3.46)

replication values. These data are well stratified into two different linear regressions for the first and the second rotation cycle.

Discussion

Nitrogen removal by harvest and its implications for assessing N fertilization in SRCs

Bioenergy plantations of hybrid poplars, under short rotation coppicing (SRC) management are intensive systems of forestry plantation, requiring optimal site conditions in terms of soil quality, nutrient availability and soil moisture balance, as well intensive cultural practices such as weed control, irrigation and fertilization (Heilman & Norby 1988, Guidi et al. 2009, Pistocchi et al. 2009, Bergante et al. 2010, Sabatti et al. 2014). Consequently, poplar SRC should be considered and managed as a system closer to agriculture than to silviculture. The importance of N in promoting poplar tree nutrition, growth and biomass yield has often been demonstrated in different site conditions and management options (Czapowskyj & Safford 1993, Heilman & Xie 1993, Brown & van den Driessche 2005, Coyle & Coleman 2005, Bilodeau-Gauthie et al. 2011). In this study, we obtained high values of N removal in the woody biomass harvested in the first and second biennial cycles (Fig. 4). Comparison with similar studies in the literature is difficult (Adegbedi et al. 2001, Jug et al. 1999, Tzanakakisa et al. 2009, Tzanakakisa et al. 2009), mainly because N removal with SRC harvesting is affected by many factors, such as the yield, the rotation cycle, the fertilization and irrigation regime. Indeed, all of the aforementioned authors did not develop a relationship between annual yield and N removal.

The two plantations considered in this study were established on alluvial arable soils with contrasting soil qualities within a larger network of plantations aimed at testing SRC poplar clones across Italy (Paris et al. 2011, Sabatti et al. 2014). Annual clonal yields ranged between 5-25 dry matter (dm) $\text{Mg ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ (Mareschi et al. 2005, Paris et al. 2011). The clones chosen for this study are among the best performing in SRC in Italy, along with the clone "I214" which is the most used for timber plantations across Italy, mainly in the continental northern part. Both the study sites are located in the Po plain, the largest and most fertile agricultural area in northern Italy. Bigarello was the poorest site in the plantation network, with soil texture (43.3% clay) and pH (8.34) outside of the optimal range for hybrid poplar cultivation in Italy. Contrastingly, Vinovo was an average site in terms of biomass yield and site characteristics. Total soluble N in the soil of the two study sites is quite similar, and no fertilization was carried out at both

sites during the study.

Using the data collected in these experiments, we established a relationship between the annual yield of aboveground biomass and N removal for poplar SRC in Italy (Fig. 4). This relationship may be considered a useful tool for assessing the fertilization balance of poplar SRC plantations for nitrogen. However, these data must be used with caution and fertilization needs to be tailored to the specific poplar SRC plantation. Although N removal by harvest is relevant, it is just one factor affecting N cycling, which mainly depends on the balance between N losses (leaching, denitrification and N uptake in stumps/root biomass) and inputs (N from natural depositions, annual leaf fall and fine root mortality - Heilman & Norby 1988). Generalization is hard to achieve both for N inputs and outputs, since many of these factors are site- and/or crop-specific.

Three main general observations regarding tailoring N fertilization in poplar SRC plantations may be highlighted here. Firstly, N uptake values in the aboveground woody biomass of poplar SRCs are comparable to those of many temperate agricultural crops (Maynard & Hochmuth 2007). Secondly, at the same level of productivity, the need for N input increases considerably between the first and the second cycle of poplar SRC plantations (Fig. 4). In fact, shoot density increased dramatically during the second cycle due to coppicing, thus reducing shoot dimensions (Tab. 4). This has also been observed by other authors on shoot density and shoot diameter after coppicing, both in hybrid poplar and willow SRC plantations (Adegbi et al. 2001, Al Afas et al. 2008). The third general observation is that in SRCs coppicing led to a significant shift in shoot population density and dimensions, thus altering the bark and nutrients percentages in the above ground woody biomass, with a concomitant increment in N% in the harvest.

Contribution of yield traits and determinants of N removal

We found an extremely high variability in average annual removal of N amongst the studied clones (Tab. 5). This clonal variability was determined more by annual yield than N%. For each clone, the coefficient of variation (CV%) for biomass yield was always higher than 28.5%, while the CV% for N% was never higher than 18.2% (data not shown). This is in agreement with Adegbi et al. (2001) who studied biomass yield and nutrient uptake and concentrations on the woody biomass of willow and poplar clones for SRC in the USA. In our study, clone "1214" had the lowest N uptake always and the lowest yield. The clone with the highest N uptake was "83.148.041", which was also the most productive clone in our experiments. This means that N% is a secondary

parameter as compared with biomass yield in affecting clonal variability in N uptake amongst the hybrid poplar clones for SRC. N% varied between a minimum of 0.59% for "AF2" in Vinovo during the first rotation to a maximum of 1.15% for "83.148.041" in Vinovo during the second rotation. These values are extremely high when compared with those reported by other authors who studied N% in the woody biomass of Salicaceae clones under SRC management. For example, Jug et al. (1999) reported a variation range in N% between 0.27-0.69% for three clones (two poplars and one willow) in Germany under a short rotation management with a 5-year coppicing cycle and biomass yield ranging between ca. 10-14 Mg dm ha⁻¹ year⁻¹ (Hofmann-Schielle et al. 1999). In this case, the low N% in woody biomass may be explained by a rotation cycle longer than that adopted in our study. Moreover, Adegbi et al. (2001) also investigated nutrient concentrations in the woody biomass of five willow and one hybrid clones in the New York State, with N% ranging from 0.38 to 0.93, according to 1-3 year coppicing rotation cycles. Such values were surprisingly lower as compared with our study, mainly considering the shorter rotation cycles and the higher number of sprouts per stool of willow SRCs. However, no detailed information on sampling for chemical analysis were reported therein.

Our study highlighted the importance of productive determinants in Salicaceae clones such as branching and the shoots/stool ratio in affecting N% in the woody biomass produced by SRC plantations (Ceulemans et al. 1990, Scarascia-Mugnozza et al. 1997, Zelezink 2007, Dillen et al. 2009). We found significant and positive regression coefficients between Branch% and N% during the first rotation cycle at both study sites (Tab. 6). After coppicing (second rotation), N% became strongly related to the shoots/stool ratios, with an increment in shoot density and a decrease in branch%. Such evidence can be easily explained by the fact that both branch % and shoots/stool ratio should increase the bark percentage, thus increasing N% in the total woody biomass (Paris et al. 2006).

Two ideotypes of hybrid poplar clones with successful yield performance, but with opposite N% have been identified by this study. Clones like "AF2" combined low N% with low values of branch% and shoots/stool ratio during the first and second cycles, respectively. In contrast, clones like "Monviso" and "83.148.041" presented high N% with high values of the aforementioned morphological traits. Ceulemans et al. (1990) and Scarascia-Mugnozza et al. (1997) demonstrated the importance of sylleptic branches in improving growth and yield of hybrid poplar clones. More recently, several pedigree studies showed that successful genotype

ideotypes in growth and yield can exhibit opposite morphological characteristics as for branching (Tharakan et al. 2001, 2005, Rae et al. 2004, Dillen et al. 2009) and sprouting habits (Rae et al. 2004). Our experiments showed that high yielding clones, such as "Monviso" and "83.148.041" (Paris et al. 2011, Sabatti et al. 2014), combine high branching and sprouting habit with low NUE. In contrast, "AF2" presents moderate to good yield performance (Paris et al. 2011, Sabatti et al. 2014), low branching and sprouting habits, as well as high NUE.

Conclusions

Nitrogen balance is a factor of considerable importance for the sustainability of bioenergy crops, in terms of their energy balance, greenhouse gas emission, environmental contamination, and biofuel quality (Chum et al. 2011). Selecting bioenergy crops with a low need of N fertilization is therefore crucial, as well as a low level of N content in the harvested and processed biomass. Tailoring N application to the real need of the crop is also a viable strategy for reducing N contamination in the environment and N content in the harvested biomass.

The N removal by harvesting was studied in two poplar coppice bioenergy plantations during the first two rotation cycles of new hybrid clones, specifically selected for intensive management with high planting density (about 6000 plants ha⁻¹) and a very short harvesting cycle (2 years). These kinds of agroforestry systems are intensive forms of bioenergy plantations of increasing importance in many countries with temperate climatic conditions (Christersson & Verma 2006, El Kasmoui & Ceulemans 2012). The studied clones are currently used at a commercial level in Italy and other European countries.

N removal was found to be primarily influenced by biomass production. A significant relationship between biomass yield and N removal was detected. Such relationship can be used to refine N fertilization balance for the woody crop, both using chemical fertilizers and organic waste for disposal in bioenergy plantations (phytoremediation - Rosenquist & Dawson 2005, Dimitriou & Rosenqvist 2011). Coppicing improved the amount of N removal dramatically, as a consequence of strong changes in the morphological traits and density of shoot populations. Morphological shoot traits were found to be correlated at a clonal level to N concentration in the woody tissues, as well as to the NUE of the poplar clones. Low branchiness was related to low N concentration in the harvested wood. A low number of shoots per stool after coppicing was also found to be correlated with low N% and high NUE. Clone "AF2" had high NUE, low branchiness and a low shoots/stool ratio, combined with moderate

to good biomass production in the present study. Clone “AF2” is also a productive clone with a stable yield across sites and coppicing cycles, as shown by other experiments in Italy (Minotta & Muzzi 2007, Fecondo et al. 2010, Di Matteo et al. 2012, Sabatti et al. 2014).

Our results demonstrate the feasibility of cultivar selection in poplars for SRC aimed at improving the NUE of genotypes, along with their biomass yield, the low branchiness and a low number of shoots per stool, as in the case of clone “AF2”.

Acknowledgments

This study was funded by the *Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura*, Italy, “BIOENERLEGNO Project 2008-09”, and by the European transnational Project “AgroCop: Maximizing Timber and Energy Wood Production by Innovative Agroforestry Systems with Short Rotation Coppice as Intercrop, 2012-14”, WoodWisdom-Net - ERA-NET Bioenergy. L. Tosi's PhD fellowship was funded in equal parts by the project AgroCop and by the University of Tuscia, Viterbo, Italy. The authors acknowledge two anonymous reviewers for their useful comments on the manuscript.

References

- Adegbidi HG, Volk TA, White EH, Abrahamson LP, Briggs RD, Bickelhaupt DH (2001). Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bio-energy plantations in New York State. *Biomass and Bioenergy* 20 (6): 399-411. - doi: [10.1016/S0961-9534\(01\)00009-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00009-5)
- Adler A, Verwijst T, Aronson P (2005). Estimation and relevance of bark proportion in a willow stand. *Biomass and Bioenergy* 29 (2): 102-113. - doi: [10.1016/j.biombioe.2005.04.003](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.04.003)
- Al Afas N, Marron N, Van Dongen S, Laureysens I, Ceulemans R (2008). Dynamic of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). *Forest Ecology and Management* 255 (5-6): 1883-1891. - doi: [10.1016/j.foreco.2007.12.010](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.010)
- Bergante S, Facciottio G, Minotta G (2010). Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of Short-Rotation-Coppices (SRC) in Northern Italy through stepwise regression analysis. *Central European Journal of Biology* 5 (4): 522-530. - doi: [10.2478/s11535-010-0028-y](https://doi.org/10.2478/s11535-010-0028-y)
- Berthelot A, Ranger J, Gelhaye D (2000). Nutrient uptake and immobilization in a short-rotation coppice stand of hybrid poplars in north-west France. *Forest Ecology and Management* 128 (3): 167-179. - doi: [10.1016/S0378-1127\(99\)00145-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00145-0)
- Bilodeau-Gauthier S, Paré D, Messier C, Bélanger N (2011). Juvenile growth of hybrid poplars on acidic boreal soil determined by environmental effects of soil preparation, vegetation control, and fertilization. *Forest Ecology and Management* 261 (3): 620-629. - doi: [10.1016/j.foreco.2010.11.016](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.016)
- Blanco-Canqui H (2010). Energy crops and their implications on soil and environment. *Agronomy Journal* 102 (2): 403. - doi: [10.2134/agronj2009.0333](https://doi.org/10.2134/agronj2009.0333)
- Brown KR, van den Driessche R (2005). Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the growth and nutrition of hybrid poplars on Vancouver Island. *New Forests* 29 (1): 89-104. - doi: [10.1007/s11056-004-5418-4](https://doi.org/10.1007/s11056-004-5418-4)
- Ceulemans R, Stettler RF, Hinckley TM, Isebrands JG, Heilman PE (1990). Crown architecture of *Populus* clones as determined by branch orientation and branch characteristics. *Tree Physiology* 7 (1-2-3-4): 157-167. - doi: [10.1093/treephys/7.1-2-3-4.157](https://doi.org/10.1093/treephys/7.1-2-3-4.157)
- Christersson L, Verma K (2006). Short-rotation forestry - a complement to “conventional” forestry. *Unasys* 223: 34-39. [online] URL: <http://www.cabdirect.org/abstracts/20063146709.html>
- Chum H, Faaij A, Moreira J, Berndes G, Dhamija P, Dong H, Gabrielle B, Eng AG, Lucht W, Mapako M, Cerutti OM, McIntyre T, Minowa T, Pingoud K, Bain R, Chiang R, Dawe D, Heath G, Junginger M, Patel M, Yang J, Warner E, Paré D, Ribeiro SK (2011). Bioenergy. In: “IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation” (Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Seyboth K, Kadner S, Zwickel T, Eicmeier P, Hansen G, Schlomer S, Von Stechow C, Matschoss P eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1075 - doi: [10.1017/CBO9781139151153](https://doi.org/10.1017/CBO9781139151153)
- Coyle DR, Coleman MD (2005). Forest production responses to irrigation and fertilization are not explained by shifts in allocation. *Forest Ecology and Management* 208 (1-3): 137-152. - doi: [10.1016/j.foreco.2004.11.022](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.11.022)
- Czapowskyj MM, Safford LO (1993). Site preparation, fertilization, and 10-year yields of hybrid poplar on a clearcut forest site in eastern Maine, USA. *New Forest* 7: 331-344. [online] URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00036753>
- Di Matteo G, Sperandio G, Verani S (2012). Field performance of poplar for bioenergy in southern Europe after two coppicing rotations: effects of clone and planting density. *iForest* 5 (5): 224-229. - doi: [10.3832/ifer0628-005](https://doi.org/10.3832/ifer0628-005)
- Dillen SY, Marron N, Sabatti M, Ceulemans R, Bastien C (2009). Relationship among productivity determinants in two hybrid polar families grown during three years at two contrasting sites. *Tree Physiology* 29 (8): 975-987. - doi: [10.1093/treephys/tpp036](https://doi.org/10.1093/treephys/tpp036)
- Dimitriou I, Rosenqvist H (2011). Sewage sludge and wastewater fertilization of Short Rotation Coppice (SRC) for increased bioenergy production. Biological and economic potential. *Biomass and Bioenergy* 35 (2): 835-842. - doi: [10.1016/j.biombioe.2010.11.010](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.010)
- Djomo SN, El Kasmioui O, Ceulemans R (2011). Energy and greenhouse gas balance of bioenergy production from poplar and willow: a review. *GCB Bioenergy* 3 (3): 181-197. - doi: [10.1111/j.1757-1707.2010.01073.x](https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01073.x)
- El Kasmioui O, Ceulemans R (2012). Financial analysis of the cultivation of poplar and willow for bioenergy. *Biomass and Bioenergy* 43: 52-64. - doi: [10.1016/j.biombioe.2012.04.006](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.04.006)
- Erismann JW, Grinsven H, Leip A, Mosier A, Bleeker A (2010). Nitrogen and biofuels; an overview of the current state of knowledge. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86 (2): 211-223. - doi: [10.1007/s10705-009-9285-4](https://doi.org/10.1007/s10705-009-9285-4)
- Fecondo G, Bucciarelli S, Ercole M, Rizzo G (2010). Il pioppo dà più biomassa con turno biennale ed irrigato [Enhanced biomass yield of poplar SRC under 2-year rotation cycle with irrigation]. *L'Informatore Agrario* 32: 27-29. [in Italian]
- Filat M, Chira D, Nica MS, Dogaru M (2010). First year development of poplar clones in biomass short rotation coppiced experimental cultures. *Annals of Forest Research* 53: 151-160. [online] URL: <http://www.afjjournal.org/index.php/afj/article/view/108>
- Guidi W, Piccioni E, Ginanni M, Bonari E (2009). Bark content estimation in poplar (*Populus deltoides*) short-rotation coppice in Central Italy. *Biomass and Bioenergy* 32 (6): 518-524. - doi: [10.1016/j.biombioe.2007.11.012](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.11.012)
- Hansen EA, McLoughlin RA, Pope PE (1988). Biomass and nitrogen dynamics of hybrid poplars on two different soils: implications for fertilization strategy. *Canadian Journal of Forest Research* 18 (2): 223-230. - doi: [10.1139/x88-033](https://doi.org/10.1139/x88-033)
- Heilman P, Norby RJ (1988). Nutrient cycling and fertility management in temperate short rotation forest systems. *Biomass and Bioenergy* 14 (4): 361-370. - doi: [10.1016/S0961-9534\(97\)10072-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10072-1)
- Heilman PE, Stettler RF (1986). Nutritional concerns in selection of black cottonwood and hybrid clones for short rotation. *Canadian Journal of Forest Research* 16 (4): 860-863. - doi: [10.1139/x86-151](https://doi.org/10.1139/x86-151)
- Heilman PE, Xie F (1993). Influence of nitrogen on growth and productivity of short-rotation *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* hybrids. *Canadian Journal of Forest Research* 23 (9): 1863-1869. - doi: [10.1139/x93-236](https://doi.org/10.1139/x93-236)
- Heller MC, Keoleian GA, Volk TA (2003). Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass and Bioenergy* 25 (2): 147-165. - doi: [10.1016/S0961-9534\(02\)00190-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00190-3)
- Hofmann-Schielle C, Jug A, Makeschin F, Rehfuss KE (1999). Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. II. Site-growth relationships. *Forest Ecology and Management* 121 (1-2): 41-55. - doi: [10.1016/S0378-1127\(98\)00555-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00555-6)
- Jug A, Hofmann-Schielle C, Makeschin F, Rehfuss KE (1999). Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. II. Nutritional status and bioelement export by harvested shoot axes. *Forest Ecology and Management* 121 (1-2): 67-83. - doi: [10.1016/S0378-1127\(98\)00555-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00555-6)

- 1127(98)00557-X
- Kaltschmitt M, Reinhardt GA (1997). *Nachwachsende Energieträger - Grundlagen, Verfahren, Ökologische Bilanzierung* [Biofuels: Basics, processes, ecological balances]. Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden, Germany, pp. 527. [in German]
- Klasnja B, Kopitovic S, Orlovic S (2002). Wood and bark of some poplar and willow clones as fuelwood. *Biomass and Bioenergy* 23 (6): 427-432. - doi: [10.1016/S0961-9534\(02\)00069-7](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00069-7)
- Kottek MJ, Grieser C, Beck B, Rudolf C, Rubel F (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3): 259-263. - doi: [10.1127/0941-2948/2006/0130](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130)
- Lars R (2002). Nutrient content in stems of hybrid aspen as affected by tree age and tree size, and nutrient removal with harvest. *Biomass and Bioenergy* 23 (1): 13-25. - doi: [10.1016/S0961-9534\(02\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00029-6)
- Laureysens I, Blust R, De Temmerman L, Lemmens C, Ceulemans R (2004). Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture. I. Seasonal variation in leaf, wood and bark concentrations. *Environmental Pollution* 131 (3): 485-494. - doi: [10.1016/j.envpol.2004.02.009](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.02.009)
- Manzone M, Airolidi G, Balsari P (2009). Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. *Biomass and Bioenergy* 33 (9): 1258-1264. - doi: [10.1016/j.biombioe.2009.05.024](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.05.024)
- Mareschi L, Paris P, Sabatti M, Nardin F, Giovannardi R, Manazzone S, Scarascia Mugnozza G (2005). Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti [The new poplar varieties for bioenergy guarantee attractive productivity]. *L'Informatore Agrario* 18: 49-53. [in Italian]
- Maynard DN, Hochmuth GJ (2007). *Knott's handbook for vegetable growers* (5th edn). John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, USA, pp. 621. - doi: [10.1002/9780470121474](https://doi.org/10.1002/9780470121474)
- Minotta G, Muzzi E (2007). Indagini su cedui di pioppo a turno breve nella pianura ferrarese [Researches on Short Rotation Forestry with poplar in the South-Eastern part of the Po Valley (Italy)]. *L'Italia Forestale e Montana* 5/6: 411-419. [in Italian]
- Paris P, Mareschi L, Sabatti M, Breccia L, De Luca S, Tarchi M, Ecosse A, Scarascia Mugnozza G (2006). Asportazioni di azoto con la raccolta di biomassa [Removal of Nitrogen with biomass harvesting in poplar SRC plantations]. *Linea Ecologica* 4: 2-8. [in Italian]
- Paris P, Mareschi L, Ecosse A, Pisanelli A, Sabatti M, Scarascia Mugnozza G (2011). Comparing hybrid *Populus* clones for SRF across northern Italy after two biennial rotations: survival, growth and yield. *Biomass and Bioenergy* 35 (4): 1524-1532. - doi: [10.1016/j.biombioe.2010.12.050](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.050)
- Pistocchi C, Guidi W, Piccioni E, Bonari E (2009). Water requirements of poplar and willow vegetation filters grown in lysimeter under Mediterranean conditions: Results of the second rotation. *Desalination* 246 (1-3): 137-146. - doi: [10.1016/j.desal.2008.03.047](https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.047)
- Rae AM, Robinson KM, Street NR, Taylor G (2004). Morphological and physiological traits influencing biomass productivity in short-rotation coppice poplar. *Canadian Journal of Forest Research* 34 (7): 1488-1498. - doi: [10.1139/x04-033](https://doi.org/10.1139/x04-033)
- Rosenquist H, Dawson M (2005). Economics of using wastewater irrigation of willow in Northern Ireland. *Biomass and Bioenergy* 29 (2): 83-92. - doi: [10.1016/j.biombioe.2005.04.001](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.04.001)
- Sabatti M, Fabbri F, Harfouche A, Beritognolo I, Mareschi L, Carlini M, Paris P, Scarascia-Mugnozza G (2014). Evaluation of biomass production potential and heating value of hybrid poplar genotypes in a short-rotation culture in Italy. *Industrial Crops and Products* 61: 62-73. - doi: [10.1016/j.indcrop.2014.06.043](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.043)
- Safou-Matondo R, Deleporte P, Laclau J, Bouillet J (2005). Hybrid and clonal variability of nutrient content and nutrient use efficiency in *Eucalyptus* stands in Congo. *Forest Ecology and Management* 210 (1-3): 193-204. - doi: [10.1016/j.foreco.2005.02.049](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.049)
- Scarascia-Mugnozza GE, Ceulemans R, Heilman PE, Isebrands JG, Stettler RF, Hinckley TM (1997). Production physiology and morphology of *Populus* species and their hybrids grown under short rotation. II. Biomass components and harvest index of hybrid and parental species clones. *Canadian Journal of Forest Research* 27 (3): 285-294. - doi: [10.1139/x96-180](https://doi.org/10.1139/x96-180)
- Scharlemann JPW, Laurance WF (2008). How green are biofuels? *Science* 319 (5859): 43-44. - doi: [10.1126/science.1153103](https://doi.org/10.1126/science.1153103)
- Scholz V, Ellerbrock R (2002). The growth productivity, and environmental impact of the cultivation of energy crops on sandy soil in Germany. *Biomass and Bioenergy* 23 (2): 81-92. - doi: [10.1016/S0961-9534\(02\)00036-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00036-3)
- Sixto H, Salvia J, Barrio M, Ciria MP, Cañellas X (2010). Genetic variation and genotype-environment interactions in short rotation *Populus* plantations in southern Europe. *New Forests* 42 (2): 163-177. - doi: [10.1007/s11056-010-9244-6](https://doi.org/10.1007/s11056-010-9244-6)
- Tharakan PJ, Robinson DJ, Abrahamson CA, Nowak CA (2001). Multivariate approach for integrated evaluation of clonal biomass production potential. *Biomass and Bioenergy* 21 (4): 237-247. - doi: [10.1016/S0961-9534\(01\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00038-1)
- Tharakan PJ, Volk TA, Nowak CA, Abrahamson CA (2005). Morphological traits of 3 willow clones and their relationship to biomass production. *Canadian Journal of Forest Research* 35 (2): 421-431. - doi: [10.1139/x04-195](https://doi.org/10.1139/x04-195)
- Tzanakakisa VA, Paranychanakisb NV, Angelakis AN (2009). Nutrient removal and biomass production in land treatment systems receiving domestic effluent. *Ecological Engineering* 35 (10): 1485-1492. - doi: [10.1016/j.ecoleng.2009.06.009](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.06.009)
- Van Miegroet H, Norby RJ, Tschaplinski TJ (1994). Nitrogen fertilization strategies in a short-rotation sycamore plantation. *Forest Ecology and Management* 64 (1): 13-24. - doi: [10.1016/0378-1127\(94\)90123-6](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90123-6)
- Vitousek PM (1982). Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *The American Naturalist* 119 (4): 553. [online] URL: <http://www.jstor.org/stable/2461143>
- Zelezink JD (2007). Effects of apical meristem loss on sylleptic branching and growth of hybrid poplar. *Biomass and Bioenergy* 31 (7): 453-459. - doi: [10.1016/j.biombioe.2007.01.024](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.01.024)



Programme and Book of Abstracts

Farming systems facing global challenges: Capacities and strategies

11th European IFSA Symposium
1-4 April 2014 in Berlin, Germany



Innovative Alley coppice Systems-mixing timber and bioenergy woody crops: 7 years growth and ecophysiological results in experimental plots in northern Italy, Po Valley

Pierluigi Paris², Sara Bergante¹, Luca Tosi^{2, 4}, Gianfranco Minotta³, Massimiliano Biason³, Maurizio Ventura⁵ and Gianni Facciotto¹

¹ *Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, CRA – PLF Casale Monferrato, Italy*

² *C.N.R.-Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, Porano, Italy, Corresponding author: Pierluigi Paris. E-Mail: piero.paris@ibaf.cnr.it*

³ *DI.S.A.F.A., Università di Torino (Italy)*

⁴ *D.I.B.A.F., Università della Tuscia, Viterbo, Italy;* ⁵ *Facoltà di Scienze e Tecnologie, Libera Università Bolzano/Bozen*

Abstract: Land use competition between food/feed and energy crops could exclude the establishment of Short Rotation Coppice (SRC) plantations, as bioenergy woody crop, on productive agricultural land. A solution could be the cultivation of multipurpose plantations producing biomass and logs for industry, as an innovative alley coppice system. This is a mixture between high value timber trees and SRC of poplars and willows. The advantages of this cultural model could be that: i) the farmers can receive payments for biomass every 2-5 years during juvenile phase of the high value timber trees, ii) the timber trees can be planted at final spacing, avoiding plantation thinning, iii) the SRC, with a rapid canopy closure, has a positive environmental impact, reducing soil erosion and increasing biodiversity, iv) the SRC can protect the timber trees from wind and storm, v) a modulated light competition of SRC towards the timber trees causes the correct growth of their stem, reducing pruning intensity. This paper refers preliminary results obtained during the first 7 years in experimental plots, in northern Italy, comparing alley coppice of poplar SRC with *Sorbus* and *Pyrus* trees and sole timber trees without any mixture. Data reported concern on tree growth and stem form, along with some preliminary observation on light competition. The timber trees in the alley coppice treatment reached satisfactory stem dimensions, associated with improved wood quality in comparison to the sole timber trees. Although the timber trees in the alley coppice plots were dominated by the poplar SRC shoots, the light competition was not so intensive for inhibiting the growth of the *Sorbus* and *Pyrus* trees. Research funded by Moproleagno Project (2006-‘09) and “AgroCop” Project”-WoodWisdom-Net - ERA-NET Bioenergy (2012-‘15).

Keywords: *Sorbus*, *Pyrus*, poplar; agroforestry; SRC; light competition; timber quality

Introduction

Energy and valuable timber are two commodities strongly in shortage in Europe. Bioenergy plantations, such as Short Rotation Coppices (SRC), can be established on agricultural land, with rotation cycles of 2-5 years, using fast growing tree species (e.g. *Populus spp.*, *Salix spp.*, *Eucalyptus spp.*, *Robinia pseudoacacia*), with coppicing ability and able to support very high planting density (ca. 6000-10000 plants ha⁻¹) (Bergante and Facciotto, 2011; Paris et al., 2011). In Europe SRC is gaining attention for producing biomass for energy conversion (heat, electricity) in alternative to imported fossil fuels, and for reducing emission of greenhouse gases. SRC can be more attractive than traditional forms of plantation forestry for the short length of rotation cycles, and because cultivation practices are fully mechanized from planting to harvesting (El Kasmoui, Ceulemans, 2012; Faasch, Patenaude, 2012; Manzone et al. 2009).

In Europe there is also a large commercial flux of high quality timber that is mostly imported from developing countries, mostly as tropical hardwoods. In the last two decades many attempts have been done in Europe for encouraging farmers to establish valuable timber plantations with endemic/naturalized tree species, like cherry (*Prunus avium*), walnut (*Juglans spp.*), oaks (*Quercus spp.*), ashes (*Fraxinus spp.*) (Fady et al., 2003; Magagnotti et al., 2010). Unfortunately those attempts have not always been very successful, because timber tree species require soils with medium-high fertility (Lauteri et al., 2006; Mohni et al., 2009). Furthermore the length of the rotation cycle (30-50 years) is scarcely attractive for farmers/landowners (Palma et al., 2007) and the cultural practices for improving stem form and wood quality, such as pruning and thinning, are expensive and un-profitable (Bisoffi et al., 2009).

A solution to these problems can be mixing timber trees with SRC in alley coppice system, as innovative land use management addressing important productive and environmental issues. The main advantages of alley coppice system could be that: i) the farmers can receive payments for biomass from SRC every 2-5 years for 10 or more years when high value timber trees are in the juvenile phase, ii) the high value timber trees can be planted at definitive spacing, so that plantation thinning could be avoided, reducing production cost, iii) the SRC, with a rapid canopy closure, have a positive environmental impact reducing soil erosion and increasing biodiversity (soil fauna, birds and little mammals), iv) the SRC can protect the high value timber trees from wind and storms, v) light competition of SRC towards the high value timber trees causes the correct growth of their stem and the formation of a smaller number of thin branches, in comparison to traditional mono-cultural model of plantation forestry, reducing pruning intensity.

The average duration of a SRC plantation is 10-15 years, with dramatic yield depression after this limit (Dillen et al., 2013; Geyer, 2006). The soil occupied by the SRC therefore needs to be uprooted and used for another crop or for the establishment of a new SRC plantation. Thus, alley coppice system is a specific form of agroforestry system in which the long lasting element is the timber trees population.

In order to achieve the desiderated benefits in alley coppice system, the tree species mixture and the layout of the plantation need to be carefully designed for avoiding competitive interaction for site resources (soil moisture and nutrients, light) between slow growing timber trees and fast growing SRC woody crops. In fact, most of tree species suitable for SRC are well known for their high water and nutrients uptake (Guidi et al., 2008; Lars, 2002; Morhart et al., 2013; Pistocchi et al., 2009). Furthermore, the fast growth along with the high planting density of SRC should rapidly reduce the solar radiation available for companion timber trees in an alley coppice mixture.

A transnational European project named AgroCop (WoodWisdom-Net – ERA-NET Bioenergy - 2012-2015; <http://www.agrocop.com>) is currently investigating alley coppice system in Europe, and a network of experimental sites was set up for studying the correct assumption of the benefits of the studied system. The AgroCop network included an experimental plantation that was estab-

lished in northern Italy, Po Valley, in 2006 within an Italian local project (Moproleigno, 2006-2009), for comparing alley coppice plots and pure timber plots.

Materials and Methods

The experimental site

The experimental field, with a total area of 1.5 ha, was established at Mezzi Farm (45°08'11" N; 8° 30' 50" E, 102 m a.s.l.), located near Casale Monferrato (AL, northern Italy), on a flat agricultural field with alluvial soil. Mezzi is the experimental farm of CRA-PLF research Institute. The climate of the area, according to Köppen-Greiger world climate classification (Kottek *et al.*, 2006), is warm, temperate, fully humid, with an hot/warm summer. Average temperatures are 12.9, 24.4 and 0.5 °C, as annual, maximum and minimum averages of the hottest and coldest months, respectively. Average yearly precipitation is 745 mm, with almost 400 mm distributed during the growing season from April to September (Bergante and Facciotto, 2011). The soil texture is sandy and sandy loam. Experimental plots were established for comparing pure plantation of *Sorbus domestica* L. and *Pyrus* spp. with the mixture of these noble hardwoods with poplar clones under SRC management as alley coppice system, using a randomized block design with two replications for each of the two treatments (pure timber trees and alley coppice). Three micro-propagated clones of *Sorbus domestica* were used: TOSCA 3, TOSCA 10/15, TOSCA 10/16; and one clone for *Pyrus* spp. L. (PVC 74-15-53). One year rooted plantlets, selected and provided by University of Milan (Prof. C. Piagnani and D., Bassi – Piagnani *et al.*, 2009; Facciotto *et al.*, 2009), were used as planting material. Timber trees were planted at a spacing of 8 x 8 m. Three clones of poplar were used for the experiment: Lux and Oglio (*Populus deltoids* Bartr.); Triplo (*P. x canadensis* Mönch). The distance between poplar and noble hardwood trees was 3 m. Poplar was planted as un-rooted stem cuttings, 120 cm long, placed horizontally, 5 cm below the soil surface with an inter-row distance of 2 m. Before the establishment of the plantation, the soil was ploughed to a depth of 40 cm, and then arrowed before planting. Ryegrass (*Lolium perenne* L.) was sown as cover-crop and organic mulch was used on timber tree rows for weed control. During the summer of the first year, three harrowings were carried out between the SRC rows. During the second and following years, the cultural practices were reduced: weed control by disc harrowing was done only once in late spring. Sprinkler irrigation was applied once or twice per year in late July-August, depending of the current precipitation. One or two treatments against leaf beetles *Chrysomela populi* L. were applied in spring and summer. Poplar rows in the alley coppice plots were harvested mechanically at the end of the 2nd, 4th, and 6th year since plantation establishment.

Measurements

At the end of each vegetative season, tree survival, stem diameter at breast height (mm), and total stem height (cm) were recorded both on timber trees and poplars. The total fresh weight of poplar stems and branches were measured on a sample of 10-30 trees per clone at the end of each rotation cycle, for the estimation of poplar yield with allometric regressions between stem diameter and total shoot weight. In 2013, new eco-physiological measurements were carried out in order to study the inter-relationships between timber and poplar trees. The percentage total light transmittance (PTLT, %) was estimated with hemispherical photos (HPs), using a digital camera (Nikon Coolpix 995), equipped with an hemispherical lens (Nikon fisheye converter FC-E8 0.21x). Two sets of hemispherical photos were performed. A first one, on April 29th, for estimating PTTL for timber trees in mixture with SRC, just before the third biennial poplar harvesting, when poplar trees were already in full budburst. The HPs were carried out according to standard procedures: after sunset, with diffusive radiation, levelling the camera and orienting it to the magnetic north. The camera was set at midway between each pairs of timber trees, along the row, to an height of 1.5 m above the ground surface, imitating the light conditions in the mid-canopy of the

timber trees. A second set of HPs were recorded on August, 7th, on the canopy top of poplar-timber mixture, for measuring PTLT of poplar shoots, after almost 2 months of growth since coppicing. On each measurement session, 5 HPs were taken for each treatment and block. Digital photos were then analysed with the Gap Light Analyser software (Frazer et al., 2000), using correct data input for sun and sky parameters of the region. Percentage TLT calculations were made for the period between April 1 and October 30, covering approximately the entire growing season for timber and poplar trees, from budburst to leaf shedding.

Finally on December 2013, measurements were carried out to detect positive effect of the mixture with poplar SRC on the wood quality of timber trees.

The following equation was used (VVAA, 2000):

$$Q = 3H - (E + F + DI + DF + DM + CF + Kn + EB) \quad [\text{eq. 1}],$$

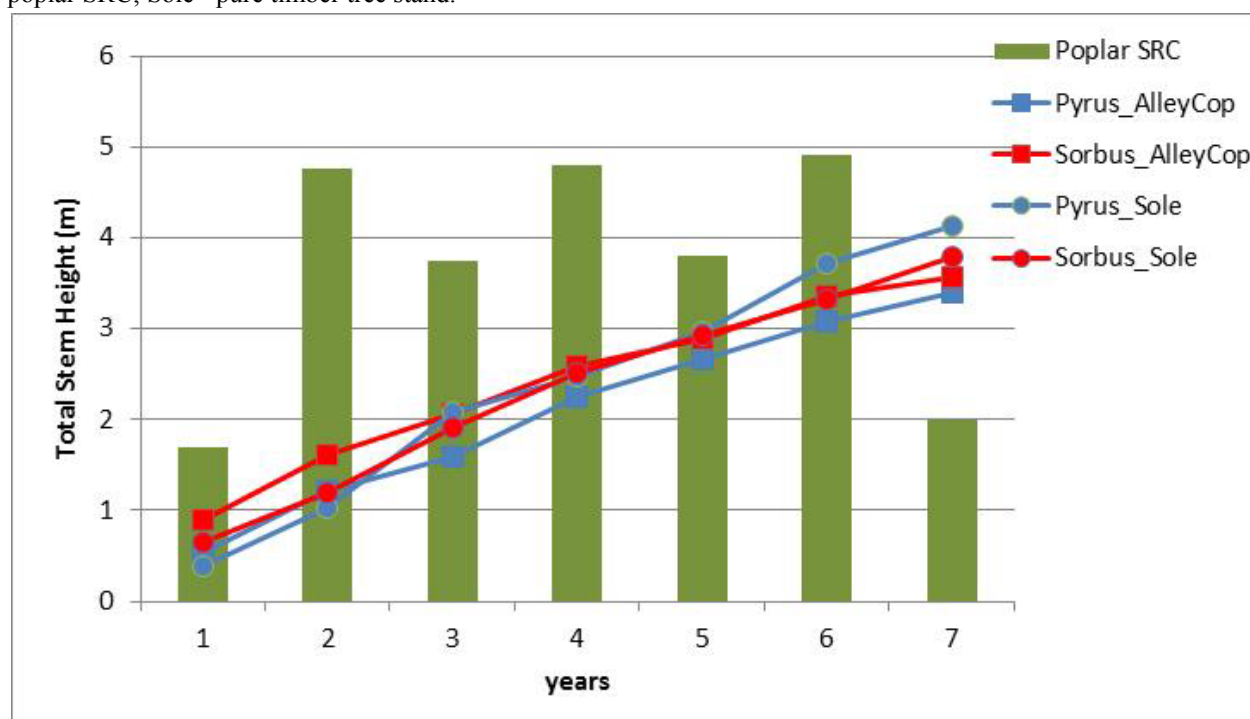
with: Q= index of wood quality; H= log value, as function of log length and straightness index of log axis; E = log eccentricity; F= fiber orientation; DI = absence/presence of insects damages; DF = absence/presence of bacteria/fungi damages; DM= absence/presence of mechanical damages; CF = presence/absence of critical fork; Kn = presence/absence of knots with a diameter ≥ 2 cm; EB= presence/absence of epicormic branches.

In this paper just a part of all observations and measurements are presented and discussed. This with the aim of giving a first picture of the alley coppice functioning in the studied experimental plots. A more complete set of data and information will be presented in further publications.

Results and Discussion

In Figure 1 are reported the growth rates in total stem height (H) for the tree species during the first seven years, since the plantation establishment. Poplar SRC was managed with a biennial coppicing rotation, therefore its values of H reflect the cyclical regrowth after coppicing in the years 3, 5 and 7. The growth rates of poplar SRC in the studied plantation, with biennial rotation, are lower in comparison with the average growth rates of the cultivation in northern Italy (Bergante et al, 2010). The average height of 5 m of poplar shoots in our plantation, in the second year of each biennial rotation, are more similar to the values of the cultivation with annual coppicing, probably due to the twin row planting lay out we used in this experiment. This planting lay out, with very high stem density (>10000 stems ha^{-1}), may have depressed the shoot growth for very high intraspecific competition (Mareschi, 2008). The timber tree species had a continuous growth, reaching a total H at the end of the seventh growing season of 4.1 and 3.8 m for pure *Sorbus* and *Pyrus*, respectively, while the same species reaching an H of 3.4 and 3.6 m, respectively, in the alley coppice mixture. The analysis of variance did not show any significant difference between the treatments for H of timber trees after seven year of growth.

Figure 1: Total height of timber trees (*Sorbus* and *Pyrus*) and poplar SRC, with biennial coppicing rotation, for the first seven years since establishment in the alley coppice experimental field. AlleyCop= mixture of timber trees with poplar SRC; Sole= pure timber tree stand.



The lower growth rates of timber trees in mixture with poplar SRC, in comparison with pure timber tree stands can be explained with the light competition of poplar, as shown by the low percentage total light transmittance (PTTL, %) measured for the timber trees in the alley coppice treatment, at the beginning of the seventh growing season (Table 1). At that moment the timber trees were completely dominated by poplar shoots, whose H was on average 5 m, i.e. 2.5 m higher than the associated timber trees. On the contrary, any shading effect of timber trees was observed on poplar shoots during the middle of seventh growing season (Table 1, August measurement), when the poplar shoots were almost 2 m high. At that moment the timber trees were 1.5 higher than the associated poplar shoots, but the crown of the timber trees was not enough developed for shading poplar.

Table 1: Total light transmittance, in percentage to full sun condition (PTLT), estimated with hemispherical photos, and available for timber trees and poplar SRC, on two dates of the 7th growing season in the alley coppice exp. field. Values in parenthesis are the standard error of means ($\pm$ sem).

Treatments	Camera Position (and date)	Along timber tree row (29 Apr. 2013)	Poplar top canopy (7 Aug. 2013)
		Total light transmittance (%)	
Alley Coppice		66.05 (2.35)	98.52 (0.15)
Sole timber		99.45 (1.3)	-

The light competition of poplar towards the associated timber trees seems positively affecting timber wood quality, as shown by the wood quality index (Q), measured at the end of seventh growing season (Table 2). Light competition has indeed improved the stem form of timber trees, forcing them to grow with a straight log and with thinner branches, in comparison to sole timber

trees. This result is in full agreement with other experiments on mixed timber plantations, demonstrating the positive effect of trees mixture on timber wood quality (Loewe et al., 2013; Mohni et al., 2009).

Table 2: Total index of wood quality (Q total) for 7 years old *Sorbus* and *Pyrus* timber trees as affected by mixture with poplar SRC (alley coppice) in the exp. field.

Treatments	Q total
Alley Coppice	55
Sole timber	32

Conclusions

The preliminary results presented in this paper show that the hypothesized beneficial effects of alley coppice mixture can be achieved throughout a balanced mixture between slow growing timber trees and fast growing poplar trees under short rotation coppice management. After seven growing seasons, the timber trees in the alley coppice treatment reached satisfactory stem dimensions, in association with improved stem form and wood quality in comparison to sole timber. We used a distance of 3 m between the timber trees and poplar rows. This distance seems to leave enough room to the timber trees for growing without a too strong, detrimental competition with the adjacent poplar trees. We detected a light competition of poplar shoots towards the timber trees, but so far it has not been so intensive to inhibit the growth of *Sorbus* and *Pyrus* trees.

Mixed timber trees plantations, although strongly recommended for their productive and environmental advantages, are rarely applied at commercial level because their technical management is more complex in comparison to mono-specific timber plantations (Kelty, 2006). Alley coppice design could be an innovative mixture in relation to its management simplicity, especially concerning the mechanization of cultural operations and marketability of final and intermediate products.

Acknowledgments

The research activity was funded by the research project n. 807 “MOPROLEGNO” – Regione Lombardia-Italy (2006-09), and by the transnational European project named “AgroCop” (WoodWisdom-Net – ERA-NET Bioenergy, 2012-2015; <http://www.agrocop.com>), with the financial contribution of the Italian Ministry of Agriculture and Forestry (MiPAAF), concerning the Italian side.

Bibliography

Bergante, S., Facciotto, G. (2011). Nine years of measurements in Italian SRC trial with 14 poplar and 6 willow clones. Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exhibition, 6-10 June 2011, Berlin, Germany.

Bergante, S., Facciotto, G., Minotta, G (2010). Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of Short-Rotation-Coppices (SRC) in Northern Italy through Stepwise regression analysis. Cent Eur J Biol, 5: 522-30.

- Bisoffi, S., Minotta, G., Paris, P. (2009). Indirizzi culturali e valorizzazione delle produzioni legnose fuori foresta. O. Ciancio Ed., Atti III Congresso Nazionale di Selvicoltura, Taormina, Italy, 16-19 Ott. 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, p. 729-736. ISBN 978-88-87553-16-1, doi: 10.4129/CNS2008.099.
- Dillen, S.Y., Djomo, S.N., Al Afas, N., Vanbeveren, S., Ceulemans, R. (2013). Biomass yield and energy balance of a short rotation poplar coppice with multiple clones on degraded land during 16 years. *Biomass and Bioenergy*, 56:157-165.
- El Kasmioui, O., Ceulemans R., (2012). Financial analysis of the cultivation of poplar and willow for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 43:52-64.
- Faasch R.J., Patenaude, G. (2012). The economics of short rotation coppice in Germany. *Biomass and Bioenergy*, 45:2 7-40.
- Facciotto, G., Bergante, S., Gugino, C., Piagnani, C., Lioia., C. (2009). Biomass production in mixed plantation with SRC and noble hardwoods. *Proceedings of the 17th European Biomass Conference and Exhibition*, 29 June-3 July 2009, Hamburg, Germany.
- Fady, B., Ducci, F., Aleta, N., Becquey, J., Diaz Vazquez, R., Fernandez Lopez, F., Jay-Allemand, C., Lefèvre, F., Ninot, A., Panetsos, K., Paris, P., Pisanelli, A., Rumpf, H. (2003). Walnut demonstrates strong genetic variability for adaptive and wood quality traits in a network of juvenile field tests across Europe. *New Forests*, 25: 211-225.
- Frazer, G.W., Canham, C.D., Lertzman, K.P. (2000). Gap light analyzer 2.0. *Bull. Ecol. Soc. Am.* 81, 191–197.
- Geyer, W.A. (2006). Biomass production in the Central Great Plains USA under various coppice regimes. *Biomass and Bioenergy* 30: 778-83
- Guidi, W., Piccioni, E., Ginanni, M., Bonari, E. (2008). Bark content estimation in poplar (*Populus deltoides* L.) short-rotation coppice in Central Italy. *Biomass and Bioenergy* 32: 518–524.
- Kelty, M.J. (2006). The role of species mixture in plantation forestry. *Forest Ecology and Management* 233: 195–204.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006). World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15:259-63.
- Lars, R. (2002). Nutrient content in stems of hybrid aspen as affected by tree age and tree size, and nutrient removal with harvest. *Biomass and Bioenergy* 23: 13-25
- Lauteri, M., Alessio, G.A. and Paris, P. (2006). Using Oxygen Stable Isotopes to Investigate the Soil-Plant-Atmosphere Hydraulic Continuum in Complex Stand of Walnut. *Proc. Vth Int. Walnut Symp.*, Eds. M.E. Malvolti and D. Avanzo, *Acta Hort.* (ISHS) 705: 223-230; http://www.actahort.org/books/705/705_27.htm.
- Loewe, V.M., González, M.O., Balzarini, M. (2013). Wild cherry tree (*Prunus avium* L.) growth in pure and mixed plantations in South America. *Forest Ecology and Management* 306: 31–41.
- Manzone, M., S. Bergante, G. Facciotto, 2014. Energy and economic evaluation of a poplar plantation for woodchips production in Italy. *Biomass and Bioenergy*, 60: 164-170.
- Manzone, M., Airoidi, G., Balsari, P. (2009). Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. *Biomass and Bioenergy*, 33: 1258-64.

- Magagnotti, N., Nati, C., Picchi, G., Spinelli, R. (2010). Mechanized thinning of walnut plantations established on ex-arable land. *Agroforestry Systems*, 82:77–86
- Mareschi, L. (2008). Bioenergy plantations: productive and environmental sustainability of new poplar hybrid clones. PhD Thesis (in Italian), Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, Italy.
- Mohni, C., Pelleri, F., Hemery, G. E. (2009). The modern silviculture of *Juglans regia* L.: A literature review. *Die Bodenkultur* 60: 21-34
- Morhart, C., Sheppard, J., Spiecker, H. (2013). Above Ground Leafless Woody Biomass and Nutrient Content within Different Compartments of a *P. maximowiczii* × *P. trichocarpa* Poplar Clone. *Forests* 4: 471–487. doi:10.3390/f4020471.
- Palma, J.H.N., Graves, A.R., Bunce, R.G.H., Burgess, P.J., de Filippi, R., Keesman, K.J., van Keulen, H., Liagre, F., Mayus, M., Moreno, G., Reisner, Y., Herzog, F. (2007). Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119:320-334.
- Paris, P., Mareschi, L., Ecosse, A., Pisanelli, A., Sabatti, M., Scarascia Mugnozza, G. (2011). Comparing Hybrid *Populus* Clones For SRF Across Northern Italy After Two Biennial Rotations: Survival, Growth And Yield. *Biomass and Bioenergy*, 35:1524-1532. Doi: 10.1016/j.biombioe.2010.12.050.
- Piagnani, M.C., Bassi, D., Maffi, D. (2009). Contributo della micropropagazione alla valorizzazione del sorbo da legno. *Italus Hortus* 16: 5-8.
- Pistocchi, C., Guidi, W., Piccioni, E., Bonari, E. (2009). Water requirements of poplar and willow vegetation filters grown in lysimeter under Mediterranean conditions: Results of the second rotation. *Desalination* 246: 137–46.
- VVAA, (2000). Indagini sugli impianti arborei non da frutto (escluso i pioppeti) effettuati con finanziamenti pubblici nella pianura emiliano-romagnola. Regione Emilia Romagna



INTERNATIONAL POPLAR COMMISSION

24th Session

Dehradun, India, 30 October-2 November 2012

IMPROVING LIVES WITH POPLARS AND WILLOWS



Abstracts of Submitted Papers

Forest Assessment, Management and
Conservation Division
Forestry Department

Working Paper IPC/11
FAO, Rome, Italy

COMPARING EARLY DROUGHT RESPONSES OF ITALIAN ALDER AND HYBRID POPLAR IN A BIOENERGY FIELD TEST IN MEDITERRANEAN EUROPE

Authors: A. Scartazza¹, L. Tosi², M. Tarchi⁴, P. Paris², E. Brugnoli².

1. CNR-IBAF, Via Salaria km 29.3, Monterotondo Scalo, Italy; andrea.scartazza@ibaf.cnr.it

2. CNR-IBAF, Via G. Marconi 2, Porano, Italy

3. DIBAF University of Tuscia, Via S. Camillo de L., Viterbo, Italy; CNR-IBAF, Via G. Marconi 2, Porano, Italy

4. W2 Agency, Via S. Antonio 18, Sirolo, Italy



Fig. 1 Map of the natural distribution area of Italian alder (source www.eurofor.com).

Introduction

In the context of sustainable deployment of bioenergy plantations, it is of primary importance the selection of trees species with low water demand and, possibly, nitrogen fixing capacity. Italian Alder (*Alnus cordata* L.), a fast growing, nitrogen fixing tree, endemic to restricted areas of the north Mediterranean basin of Italy (Fig.1), has been extensively used in Italy in forest plantations, often in mixture with valuable hardwoods. After two decades of on farm experimentation, the species has shown interesting potentialities for producing high biomass yield, under rainfed site conditions, in alternative to hybrid poplars. Although these potentialities, little is known about its drought adaptation in comparison to hybrid poplars, that currently are the preferred choice for the establishment of bioenergy plantations in many southern temperate areas, although water availability is often a limiting factor.

Materials and Methods

An experimental plantation was recently established in central Italy, for comparing Italian alder with the hybrid poplar clone AF2, one of the most interesting new cultivar for short rotation coppice (SRC) plantations in Italy as well as in Europe. Alder seedlings and poplar cuttings were planted in March 2012 in an experimental site, within a network of the European Project AgroCOP (www.agrocop.com). Plant water status, leaf nitrogen concentration and biometric and eco-physiological parameters were monitored in two different periods: the first one, called "drought", after a long period without water, and the second one, called "recovery", after a rainy period in the early September. The soil water content (SWC) was measured with a PR2 soil moisture profile probe (Delta-T device). Plant water status was assessed measuring the predawn and midday leaf water potential with a Scholander pressure chamber. Gas exchange and fluorescence parameters were measured using a Licor 6400 portable gas exchange system (Fig.2). The actual efficiency of PS II electron transport during illumination (Φ_{PSII}) was estimated at steady state as $\Phi_{PSII} = (F_m' - F)/F_m'$ according to Genty et al. (1989), where F_m' is the maximum fluorescence yield with all PSII reaction centers in the reduced state obtained superimposing a saturating light flash during exposure to actinic light, and F is the fluorescence at the actual reduction state of PSII reaction centers during actinic illumination. Nitrogen isotope composition of leaf material ($\delta^{15}N$) was determined with a mass spectrometer (Isoprime, Cheadle, UK) coupled in continuous-flow with an element analyzer as $\delta^{15}N = (R_{sample}/R_{standard} - 1) \times 1000$, where R_{sample} and $R_{standard}$ are the ratio of $^{15}N/^{14}N$ for the sample and the atmospheric air standard respectively.



Fig. 2 Gas exchange measurements with Licor 6400 on Italian alder (upper) and poplar (lower). Experimental field "la Valletta", Todi (PG), central Italy.

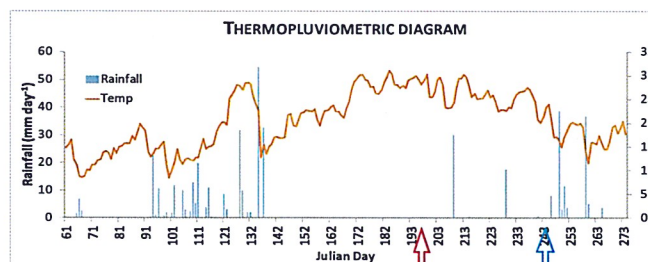


Fig. 3 Average daily temperature and daily precipitation at the study site during the experiment, that was conducted in the establishment year of the plantation.

After a rainy spring, subsequent the plant establishment, it followed a dry period with 70 days without any precipitation, associated with high summer temperatures that deeply depleted the soil moisture. This meteorological pattern was in line with standard climatic parameters of the area, although summer temperatures could had been much higher than the standard ones, as in many areas of Italy

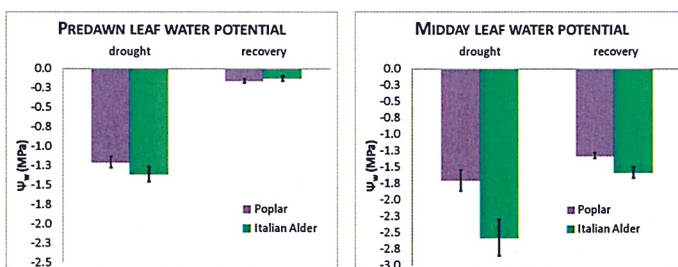


Fig. 4 Predawn (left) and midday (right) leaf water potentials (measured with pressure chamber) of poplar and Italian alder during drought and recovery observations (values are means $\pm$ SE, n=9).

The leaf water potential showed a marked decrease during the drought period in both species, indicating a high stress level. Italian alder showed a more marked decrease of Ψ_w at midday than poplar. However, both species were able to rapidly recover a good water status after the late-summer rains.

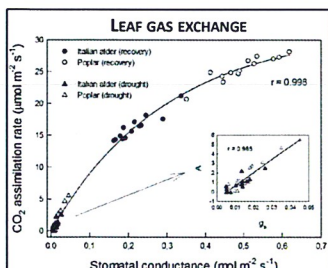


Fig. 5 Relationship between photosynthetic CO_2 assimilation rate (A) and stomatal conductance (g_s) for poplar and Italian alder during drought and recovery periods.

Poplar showed higher values of A and g_s than Italian alder during the well-watered period (recovery). Drought caused a strong stomatal closure associated to a decrease of A in both species, however poplar was able to maintain a higher mean value of A and g_s than Italian alder.

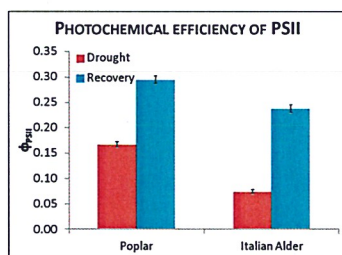


Fig. 6 Photochemical efficiency of photosystem II (Φ_{PSII}) for poplar and Italian alder during the drought and the recovery periods (values are means $\pm$ SE, n=16).

Both poplar and Italian alder showed a drought-induced decrease of Φ_{PSII} , although the last species was able to maintain higher Φ_{PSII} values than Italian alder during both the drought and the recovery period. These results, according to the gas exchange data, suggest a high photosynthetic electron transport rate in poplar than in Italian alder (Genty et al. 1989).

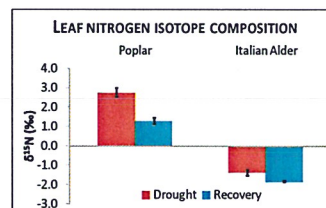


Fig. 7 Leaf nitrogen isotope composition ($\delta^{15}N$) and leaf nitrogen content in poplar and Italian alder during drought and recovery periods (values are means $\pm$ SE, n=16).

Italian alder showed lower $\delta^{15}N$ and higher leaf nitrogen content than poplar during the drought period. These results indicate that Italian alder was actively fixing nitrogen also during drought, maintaining similar values of leaf nitrogen content between drought and recovery. Conversely, poplar showed a drought-induced decrease of both $\delta^{15}N$ and leaf nitrogen content, suggesting that water stress would have limited the uptake and further transport of N to the leaves and/or the enzyme activity, subsequently reducing $\delta^{15}N$ (Lopes and

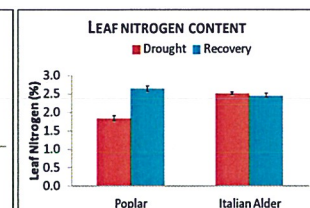
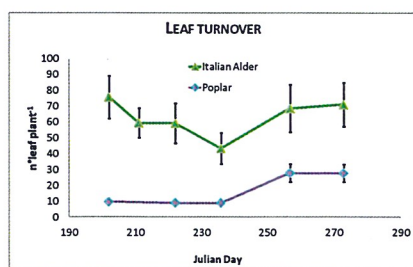


Fig. 8 Leaf turnover of poplar and Italian alder from 18 July to 27 September.

Italian alder was characterized by a much higher number of leaves per plant (Fig. 8) and by smaller leaves (Tab. 1) than poplar. However, the leaf area per plant was higher in the first species than the second one, especially during drought. As a consequence, notwithstanding the strong stomatal closure (Fig. 5), Italian alder was not able to maintain a favorable plant water status (Fig. 4) and showed a partial leaf shedding during the dry season in order to reduce water losses. Subsequently, after the late-summer rains, we observed a re-sprouting with the formation of several new leaves in both Italian alder and poplar, associated to a recovery of both plant water status (Fig. 4) and physiological parameters (Fig. 5).



Treatment	Species	Ave. Leaf Area	Plant Leaf Area
DROUGHT	Poplar	0.0036	0.031
	Italian Alder	0.0010	0.072
RECOVERY	Poplar	0.0024	0.054
	Italian Alder	0.0008	0.060

Tab. 1 Average leaf area per single leaf and per plant for poplar and Italian alder during drought and recovery periods.

Italian alder could be an alternative to poplar under limiting conditions of water regime and soil nitrogen availability.

REFERENCES

- Aosar J, Varik M, Uri V, 2012. Biomass production potential of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) in Scandinavia and Eastern Europe: A review. *Biomass and Bioenergy*, 45: 11-26.
- Binkley D, Cromack K Jr, Baker DD, 1994. Nitrogen Fixation by Red Alder: Biology, rates and Control. In: Hibbs D, De Bell D, Tarrant R (Eds), *Biology and Management of Red Alder*. Oregon State University Press, Corvallis.
- Borghetti M, Cocco S, Lambardi M, Raddi S, 1989. Response to water stress of Italian Alder seedlings from diverse geographic origins. *Can. J. For. Res.*, 19: 1071-76.
- Borghetti E and Farquhar GD, 2000. Photosynthetic fractionation of carbon isotopes. In: Leegood RC, Sharkey TD and van Caemmerer S (eds), *Photosynthesis: physiology and metabolism*. Advances in Photosynthesis, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 399-434.
- Ducci F and Tani A, 2009. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use of Italian Alder (*Alnus cordata*). Biodiversity International, Rome, Italy. 6 pages.
- Farquhar GD, von Caemmerer S, Berry JA, 1980. A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149: 78-90.
- Genty B, Briantais J-M and Baker NR (1989) The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim Biophys Acta* 990: 87-92.
- Gonzalez-Garcia S, Moreira MT, Feijoo G, Murphy RJ, 2012. Comparative life cycle assessment of ethanol production from fast-growing wood crops (black locust, eucalyptus and poplar). *Biomass and Bioenergy*, 39: 378-88.
- Hall RB and Burgess D, 1990. Evaluation of *Alnus* species and hybrids. *Biomass* 22:21-34.
- Ian Valentine AE, Komang D, Jaya IKD, 2009. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. *Agroforest Syst.* 76:363-374.
- Lauteri M, Alessio GA and Paris P, 2006. Using Oxygen Stable Isotopes to Investigate the Soil-Plant-Atmosphere Hydraulic Continuum in Complex Stand of Walnut. *Proc. 5th Int. Walnut Symp.*, Eds. M.E. Malvoti and D. Avanzo, Acta Hort. (ISHS) 705: 223-230; http://www.actahort.org/books/705/705_27.htm
- Lopes MS and Araus JL, 2006. Nitrogen source and water regime effects on durum wheat photosynthesis and stable carbon and nitrogen isotope composition. *Physiologia Plantarum* 126: 435-445.
- Paris P, Mareschi L, Ecosse A, Pisaneli A, Sabatini M, Scarascia Mugnozza G, 2011. Comparing Hybrid Populus Clones For SRC Across Northern Italy After Two Biennial Rotations: Survival, Growth And Yield. *Biomass and Bioenergy*, 35:1524-32.
- Tani A, Maltori A, Mariotti B, Buresi Lattes E, 2006. *Juglans regia* L. tree plantations for wood production in mining area of S. Barbara (AR). Evaluation of N-fixing accessory trees effect. *Forest@ 3* (4): 588-597. [online] URL: <http://www.seset.it/>.

Acknowledgments: this research was founded by WoodWisdom-Net project AgroCOP (<http://www.agrocop.com/>)

Pioppo, grandi risparmi con la sub-irrigazione

[DI PIERLUIGI PARIS*, LUCA TOSI**, MASSIMO TARCHI***, ALESSIO TRANI E FILIPPO ASCENZI****]

Le biomasse sono una potenziale fonte di energia alternativa molto diversificata per matrice biologica e per tecnologia di conversione energetica: - biogas da reflui zootecnici, residui agro-alimentari e colture dedicate (mais, sorgo, triticale); - biocarburanti per autotrazione da colture dedicate (mais, colture oleaginose) e scarti agro-industriali; - legno da residui forestali e industriali e colture legnose dedicate (pioppo da biomassa) per combustione e singas. Quindi, molteplici tipi di biomasse per molteplici realtà economiche e territoriali. Ma anche un unico filo conduttore di sostenibilità ambientale, in cui il bilancio energetico, del Carbonio e degli input culturali rappresentano le principali voci.

Le colture energetiche erbacee hanno, in generale, un bilancio energetico e di input culturali ben peggiore rispetto alle colture energetiche legnose: di quest'ultime ne andrebbe sostenuta una maggiore diffusione, che attualmente in Italia trova una forte limitazione nelle necessità irrigue del pioppo da biomassa o Srf (short rotation forestry) (foto 1), l'unica scelta disponibile al momento per gli agricoltori italiani nell'ambito delle colture legnose a ciclo breve da bioenergia. Per ottenere produzioni di biomassa in quantità significativa dal pioppo Srf è necessario pianificare la piantagione in condizioni idriche ottimali, sia di origine naturale (precipitazioni, falda freatica) sia da somministrazione artificiale, attraverso l'irrigazione. Quest'ultima rappresenta una pratica inderogabile nella maggior parte delle condizioni stagionali dell'Italia peninsulare,

Anche in condizioni di irrigazione subottimale, incrementi significativi per quantità e qualità della biomassa

dove la coltura del pioppo Srf è ancora pochissimo diffusa.

[QUANTA ACQUA AL PIOPPO?]

Il pioppo e la sua coltivazione sono fortemente legati all'acqua. I popolamenti naturali delle principali specie selvatiche, come il pioppo bianco e nero (*Populus alba*, *P. nigra*), sono per lo più limitati a stazioni prossime a corpi idrici (fiumi, laghi, stagni, canali). Le piantagioni degli ibridi da coltura, tradizionalmente dedicate alla produzione di legname

da industria (compensati, pannelli etc.), sono preferenzialmente condotte in aree golenali e/o in fondovalle con falda idrica permanente. Le più recenti piantagioni d'ibridi da bioenergia sono state impiantate sia nelle suddette condizioni stagionali ottimali, ma anche in stazioni meno vocate, spesso senza provvedere alle necessarie irrigazioni, nella vana speranza di utilizzare i terreni marginali per le colture energetiche da biomassa, limitando al minimo gli input culturali. Questi errori sono stati il frutto anche della mancata diffusione su larga scala delle conoscenze sulle reali necessità idriche della coltura.

Queste dipendono sia dalle condizioni pedo-climatiche, sia dalle caratteristiche intrinseche della coltura. Un utile parametro di sintesi delle necessità idriche di una coltura è il suo coefficiente culturale (K_c), che è dato dal rapporto tra ET_c , il consumo idrico della coltura in condizioni reali, e ET_0 , l'evapotraspirazione di riferimento del sito specifico, che è il consumo idrico di un prato di festuca alto 12 cm e cresciuto senza fattori limitanti ($K_c = ET_c / ET_0$). L' ET_c di una coltura

in un sito specifico deve essere individuato sperimentalmente; l' ET_0 è reso disponibile da vari servizi agroclimatici locali, in alternativa può essere calcolato partendo dai dati meteorologici (alcune stazioni meteo commerciali, da installare in azienda, sono in grado di calcolarlo autonomamente). In tabella 1 sono confrontati i valori di K_c max del pioppo Srf rispetto ad altre



[1 - Pioppo da biomassa o short rotation forestry (Srf).]

TAB. 1 - COEFFICIENTE CULTURALE MASSIMO (KC MAX), PER LA STIMA DEL FABBISOGNO IDRICO

COLTURA	KC MAX
Pioppo Srf	3,4
Sorgo	1,5
Girasole	1,12
Mais	1,2
Olivo	0,7
Dati da bibliografia	

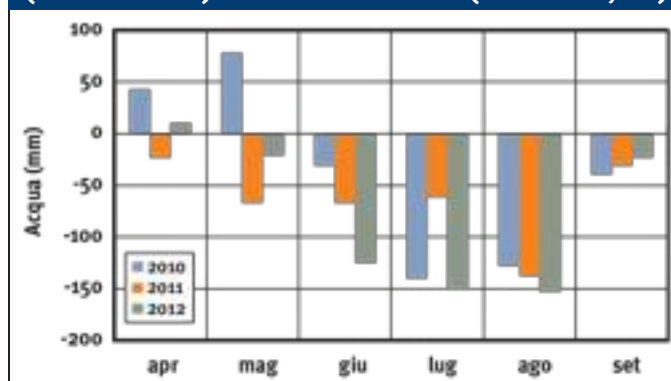
colture nelle fasi di massimo sviluppo. I valori del pioppo sono i più alti in assoluto, indicando un consumo idrico molto elevato per questa coltura. È allora fondamentale razionalizzare l'irrigazione del pioppo srf, mediante l'integrazione tra tecniche irrigue efficienti (irrigazione a goccia sotterranea) e somministrazione oculata dell'acqua alla coltura. Ma cosa succede se i livelli irrigui somministrati sono comunque al disotto delle necessità ottimali della coltura (irrigazione sub-ottimale)?

LA PROVA NELLA MAREMMA VITERBESE

La prova irrigua sul pioppo da biomassa è stata condotta nella provincia di Viterbo, in zona Castel d'Asso, all'interno di una azienda agricola che ha convertito gran parte dei propri terreni da colture erbacee a pioppo Srf. L'area ha una morfologia prevalentemente pianeggiante, con terreni di origine vulcanica, legati all'attività eruttiva del vicino comprensorio dei Monti Cimini. I suoli sono sciolti, molto permeabili, a bassa capacità di ritenzione idrica. Non è presente alcuna falda freatica utilizzabile dalle colture. Il regime climatico è caratterizzato da estati calde e secche che determinano velocemente condizioni di stress idrico sulle colture estive, come mais e varie orticole.

Le prove sperimentali sono state condotte in un impianto di pioppo srf, clone Monviso, messo a dimora nel 2007 con sesto d'impianto 2,5 x 0,5 m, corrispondenti a una densità iniziale di circa 6.000 piante per ettaro (ha). Nel primo anno l'irrigazione è avvenuta per aspersione. Dal secondo anno è stata condotta l'irrigazione a goccia sotterranea, con ala gocciolante auto-compensante (Drip-In

FIG. 1 - DEFICIT IDROCLIMATICO MENSILE (ET₀-PIOGGIA) A CASTEL D'ASSO (VETRALLA, VT)



www.seppi.com

La Rossa

Ideale per la pulizia dopo la raccolta del legno ...

SEPPI M. ti offre

- >>> *velocità di esecuzione*
- >>> *lunga durata negli anni*
- >>> *basso costo di manutenzione*

MIDIFORST di

MIDIFORST drago

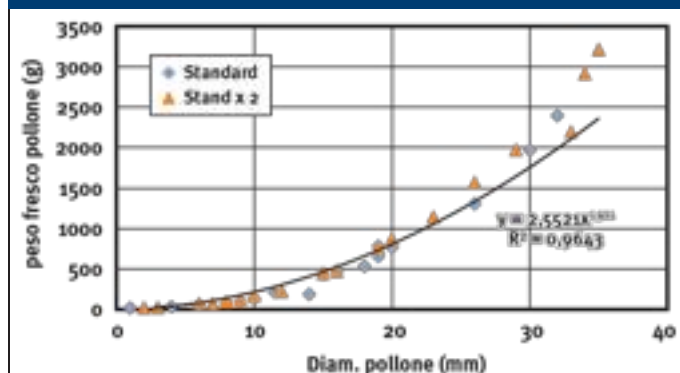
Seguiteci!

SEPPI M. S.p.A.
 39052 Caldaro (Bolzano)
 Tel. +39 0471 96 35 50
sales@seppi.it

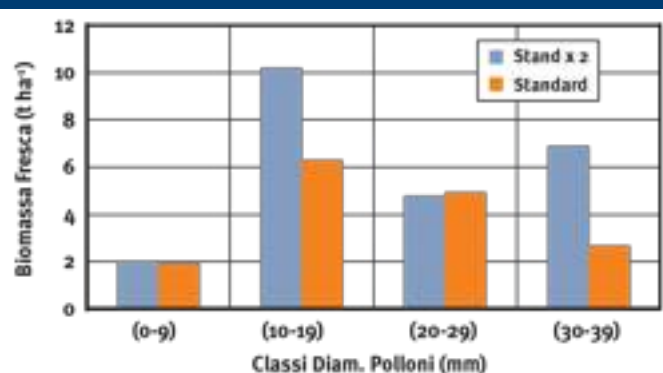
seppi m.®

MULCHING EQUIPMENT SPECIALISTS

[FIG. 2 - DUE TESI IRRIGUE: RELAZIONE TRA DIAMETRO E PESO FRESCO PIANTE DI PIOPPO]



[FIG. 3 - PRODUZIONE FRESCA DI BIOMASSA PER CLASSI DI DIAMETRO DEI POLLONI]



PC della Toro Ag), dotata di gocciolatori da 2 litri/ora con spaziatura 80 cm, interrata alla profondità di 30-40 cm, con distanza delle linee gocciolanti di 5 metri. Ciò significa che l'ala gocciolante è alternata ogni due file di pioppo. L'impianto prevede conta-litri per il monitoraggio costante e puntuale delle portate e sfiati d'aria per prevenire l'aspirazione delle particelle di suolo da parte dei gocciolatori. È stato adottato un impianto di filtrazione a sabbia con sabbia silicea 0,6-1,2 mm. L'impianto è stato gestito per i primi quattro anni con cicli di taglio biennali. Nel 2012, con piante R5/F2 (ceppaia con apparato radicale di 5 anni e fusti/polloni di 2 anni d'età), è stata impostata la presente prova irrigua che prevede parcelle con irrigazione standard commerciale, e parcelle con una somministrazione doppia d'acqua d'irrigazione mediante il raddoppio della linea irrigua con ali gocciolanti superficiali. Nell'inverno 2012-13 sono stati condotti i rilievi di accrescimento e produttività sui polloni di 2 anni al termine del primo anno della prova irrigua, campionando nelle due tesi irrigue 10 ceppaie a random di cui è stato rilevato il numero di polloni a ceppaia, il diametro, altezza e peso fresco di ciascuno dei polloni, e mediante campioni rappresentativi, la percentuale di umidità del legno allo stato fresco, nonché la densità basale del legno fresco (rapporto tra peso fresco del campione e volume dello stesso dopo essiccazione in stufa a 105 °C - volume del legno anidro). In figura 1 è riportato il deficit idroclimatico per gli ultimi tre anni, dal 2010 al 2012, nel semestre primaverile-estivo da aprile a settembre. Il deficit idroclimatico è dato dalla differenza tra i valori di precipitazione cumulata mensile e quelli di ET_0 e rappresenta indicativamente l'acqua da somministrare, attraverso l'irrigazione, per non ingenerare stati di stress idrico sulle colture. Nell'anno di prova, il 2012, il deficit idroclimatico è stato particolarmente elevato, pari a circa 460 mm, nel 2010 era stato meno della metà rispetto al 2012.

[IRRIGAZIONE CONTENUTA PER PRODUZIONI DA MIGLIORARE]

In tabella 2 sono riportati i volumi d'acqua somministrati alle due tesi nell'estate 2012. Il periodo irriguo è stato limitato al solo bimestre luglio-agosto, con un anticipo all'ultima settimana di giugno per la tesi di doppia irrigazione. Per la tesi standard sono stati somministrati circa 110 mm in totale, mentre per quella doppia 228 mm. In ambedue i casi non si è riusciti assolutamente a colmare il deficit idrico del 2012, particolarmente pronunciato data l'estrema scarsità di precipitazioni estive e le alte temperature del periodo. I regimi d'irrigazione non sembrano aver influenzato la relazione allometrica tra diametro e peso dei singoli polloni, come riportato in figura 2. Mentre la produzione totale è stata fortemente influenzata, con una produzione al secondo anno di circa 16 t di biomassa legnosa fresca per ettaro per la tesi standard, e di circa 24 t per quella d'irrigazione doppia. Quindi il raddoppio dell'irrigazione non si traduce in un aumento di pari valore nella produzione della biomassa.

È importante analizzare le caratteristiche della produzione anche dal punto di vista qualitativo della biomassa, cioè come umidità della stessa al momento del taglio, la sua densità basale, e la ripartizione percentuale per classe dimetrica dei polloni. L'umidità della biomassa legnosa allo stato fresco è importante per la logistica post-taglio della stessa (conservazione e combustione della matrice). I due trattamenti irrigui non hanno avuto alcun effetto sull'umidità della biomassa. Così è anche avvenuto per la densità basale del legno, che è risultata pressoché identica tra le due tesi irrigue. I dati medi del legno fresco, umidità del 57% e densità basale di 0,355 kg/dm³, sono in linea con i dati medi del clone Monviso in altre stazioni.

Alcune differenze si sono riscontrate nella ripartizione della biomassa per le classi diametriche dei polloni. La maggior irrigazione ha favorito lo sviluppo di polloni di maggior dimensione, come riportato nella figura 2, per le classi diametriche da 10 e 30 mm. La dimensione dei polloni è importante per la qualità della biomassa. Più i polloni sono piccoli e maggiore è la percentuale di corteccia, con maggiore produzione di ceneri in caldaia di combustione. Inoltre, la maggior percentuale di corteccia determina

[TAB. 2 - TRATTAMENTI IRRIGUI A CONFRONTO E PRINCIPALI RISULTATI DELLA PROVA AL SECONDO ANNO DEL PIOPPO SR]

TRATTAMENTO IRRIGUO	IRRIGAZIONE (FINE GIU.-LUG.-AGO) (MM)	DEFICIT IRRIGAZIONE (%)	PROD. FRESCA (T/HA)	UMIDITÀ DEL LEGNO FRESCO (%)	DENSITÀ BASALE LEGNO (T/M ³)
Standard	110	61	16	57	0,359
Standard x 2	228	18	24	56	0,358



[2 - Polloni di pioppo
nelle parcelle sperimentali.



[3 - Stazione remota
sperimentale per il
monitoraggio a distanza
del bilancio idrico della coltura.

un relativa maggior concentrazione di azoto (N) della biomassa, con sviluppo di ossidi di azoto (NO_x) in combustione. Quest'ultimi, dispersi nell'atmosfera con i fumi di combustione, hanno un "effetto serra" di gran lunga maggiore rispetto alla ben più nota CO_2 .

Nel commentare i suddetti dati dobbiamo considerare che gli apporti idrici sono stati ben al disotto delle necessità della coltura. A luglio e agosto l'evapotraspirazione (ET_0) è stata di circa 4-5 mm al giorno, pari a circa 35 mm a settimana. Il trattamento irriguo standard ha ricevuto 12 mm a settimana, mentre lo Standard x 2 ne ha ricevuti 24 mm, ben al di sotto quindi dei valori dell' ET_0 . Nonostante ciò quest'ultimo trattamento irriguo ha influenzato significativa-

mente la produzione di biomassa per quantità e qualità. Tutto ciò è avvenuto seguendo un regime d'irrigazione a calendario, senza tener conto delle reali necessità della coltura per l'apporto idrico, monitorando l'umidità del suolo con un'apposita rete sensoristica. Sono attualmente in corso prove per rilevare comodamente il deficit idrico, mediante sensoristica collegata in remoto, in modo da poter azionare l'irrigazione nel momento in cui l'umidità del suolo cali sotto i livelli di guardia per lo stato idrico della coltura (foto 3).

Ricerca condotta nell'ambito del progetto Filas Lazio "SIAA" - Sistema Informativo di Automazione in Agricoltura.

Cnr-Ibaf, Porano piero.paris@ibaf.cnr.it; **Cnr-Ibaf, Porano, Unitus, Viterbo; *W2 Agency; ****Polisnet, Roma.*

Il riscatto dello scarto.

Energia termica ed elettrica da caldaie a biomassa

- **abbattiamo** i costi di acquisto del carburante tradizionale utilizzando la biomassa prodotta (cippato, cortecce, trucioli, segature, potature, pellet, bricchetti, ...);
- **azzeriamo** le problematiche e i costi di smaltimento dello scarto;
- **miglioriamo** l'ambiente perché la biomassa è assolutamente ecologica e assicura minori emissioni in atmosfera;
- **vi assistiamo** nella richiesta di agevolazioni attraverso Certificati Verdi e Bianchi, che ripagano il vostro investimento in pochi anni.

Uniconfort Srl - San Martino di Lupari (PD) Italy
Tel. +39 049 5952052 / 9461303 - Fax +39 049 5952099
info@uniconfort.com - www.uniconfort.com