



## **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova  
Dipartimento TERRITORIO e SISTEMI AGRO-FORESTALI

Scuola di Dottorato di Ricerca in  
TERRITORIO, AMBIENTE, RISORSE E SALUTE  
Indirizzo: ECOLOGIA  
Ciclo XXII

### **La Short Rotation Forestry in Nord Italia. Limiti e potenzialità del suo impiego sotto differenti scenari: produzione di biomassa e prove di fertilizzazione.**

Direttore della scuola: Ch.mo Prof. Vasco Boatto  
Coordinatore d'indirizzo: Ch.mo Prof. Tommaso Anfodillo  
Supervisore: Ch.mo Prof. Mario Pividori

Dottoranda: CHIARA CANESIN  
965281-DR

ANNO ACCADEMICO 2009 - 2010



## INDICE

Riassunto	3
1. Introduzione	5
2. Analisi dello stato di fatto di piantagioni di pioppo da biomassa in pieno campo in Friuli Venezia Giulia.	7
2.1 Introduzione	9
1.1.1 SRF: definizioni e sviluppo	9
1.1.2 Il pioppo nella SRF	11
1.1.3 La SRF in Italia	12
1.1.4 Vantaggi e problematiche legate alla SRF	13
1.1.5 Obiettivi della ricerca	14
2.2 Materiali e metodi	15
2.2.1 L'indagine sincronica	20
2.2.2 L'area di studio	20
2.3 Risultati	21
2.3.1 Modello colturale e superfici investite	21
2.3.2 Realizzazione e gestione degli impianti	21
2.3.3 Analisi delle limitazioni pedologiche stazionali	22
2.3.4 Cloni impiegati e confronto clonale	24
2.3.5 Mortalità delle ceppaie	25
2.3.6 Emissione di getti dalla ceppaia	26
2.3.7 Analisi dendrometrica	28
2.3.8 Caratteristiche fisiche dei cloni	39
2.3.9 Produttività degli impianti	42
2.4 Discussione	48
2.4.1 Modello colturale e superfici investite	48
2.4.2 Realizzazione e gestione degli impianti	48
2.4.3 Analisi delle limitazioni pedologiche stazionali	51
2.4.4 Cloni impiegati e confronto clonale	51
2.4.5 Mortalità delle ceppaie	51
2.4.6 Emissione di getti della ceppaia	52
2.4.7 Analisi dendrometrica	53
2.4.8 Caratteristiche fisiche dei cloni	55
2.4.9 Produttività degli impianti	56
2.5 Conclusioni	60
3. Smaltimento di reflui zootecnici in Short Rotation Forestry	65
3.1 Introduzione	67
3.1.1 Lo smaltimento di reflui zootecnici in agricoltura	68
3.1.2 I reflui zootecnici	70
3.1.3 Problematiche nello smaltimento di reflui zootecnici in agricoltura	71
3.1.4 Scopo	72
3.2 Materiali e metodi	73
3.2.1 Disegno sperimentale	73
3.2.2 Trattamenti e rilievi	74
3.2.3 L'area di studio	76
3.3 Risultati	78
3.3.1 Analisi dendrometrica	78

3.3.2 Caratteristiche fisiche	85
3.3.3 Produzione	86
3.4 Discussione	88
3.4.1 Analisi dendrometrica	88
3.4.2 Produzione	89
3.5 Conclusioni	90
4. Conclusioni generali	91
Bibliografia	93
Allegati	107

## Riassunto

Nel corso dell'ultimo decennio la SRF da biomassa ha iniziato a diffondersi in Italia grazie alla presenza di cospicui finanziamenti. Al fine di evidenziare le reali potenzialità produttive e le problematiche della SRF realizzata in pieno campo in impianti produttivi non sperimentali è stata condotta un'analisi sincronica in 52 aree di saggio in impianti di SRF realizzati in pieno campo in Friuli Venezia Giulia. Sono stati analizzati il tasso di mortalità, l'emissione di getti dalla ceppaia a seguito della ceduzione, le principali caratteristiche dendrometriche e qualitative dei getti di due cloni di pioppo selezionati per la produzione di biomassa, Sirio e Pegaso, al fine di determinarne la produzione di biomassa e la sua relazione con le caratteristiche pedologiche. Al termine del primo ciclo colturale è stata registrata una produzione media di sostanza secca di  $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ , e di  $9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  al termine del secondo ciclo colturale, valori che risultano in linea con quelli evidenziati per piantagioni condotte con modelli colturali caratterizzati da bassi *input* o su terreni caratterizzati da limitata fertilità stazionale, mentre rese sensibilmente maggiori sono riportate per impianti soggetti a fertilizzazione ed irrigazione. È stata quindi condotta una seconda sperimentazione in un impianto di SRF in provincia di Cuneo composto da tre specie, pioppo, robinia e salice, testando tre differenti tipologie di spandimento di refluo zootecnico, apportando elevati quantitativi di nutrienti. Le rese in termini di biomassa sono risultate essere elevate, ma il pioppo non ha risposto ai trattamenti con un incremento significativo delle rese, probabilmente a causa di un eccesso di nutrienti. Il salice e la robinia hanno presentato un aumento della produzione di biomassa nei trattamenti con i reflui rispetto le prove non trattate, a dimostrazione che apporti di nutrienti possano influenzare positivamente la resa della SRF, senza ulteriori aggravii di costi.

## Parole chiave

Short rotation forestry, biomassa, analisi sincronica, reflui zootecnici, smaltimento

## Abstract

During the last decades, short rotation forestry (SRF) plantations have become attractive for Italian farmers due both to their capacity to produce large quantities of woody biomass for energy purposes and to the considerable amount of public incentives allowed.

The present study quantifies in a chronosequence 52 plantations in the Italian region of Friuli Venezia Giulia in order to acquire extensive knowledge of the productivity potential of SRF plantations in Northern Italy, their mortality rate, shoot sprouting capacity after coppicing and above-ground biomass production. Two newly selected clones of hybrid poplar, Pegaso and Sirio, specific for biomass production were employed under intensive biennial coppice management, planted at  $3,0 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ . Experimental plots were measured during the winter 2007/2008. Average yields during the first cutting cycle are of  $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  of dry matter, and at the end of the second cutting cycle average yields are of  $9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  for both clones. Constraining factors were found in all plantation soils. Yields of SRF plantation are lower than the values reported in literature for experimental plots, but are similar to the results of SRF in marginal areas. In 38,5% of experimental plantations, yields are insufficient for economic purposes. In order to improve yield, SRF plantations need high input management like fertilization and irrigation. An alternative to chemical fertilization is disposing of animal farm effluents. A test on swine effluent disposal effects on SRF of poplar, willow and black locust was carried out in order to evaluate yields capacity under different effluent management. Black locust's and willow's yields increase after one treatment. Poplar does not show any yield differences under different effluent management, probably because of a nutrient excess. Swine effluent disposal could prove useful in increasing biomass yield, but should be calibrated on a species' phytoextraction potential to avoid pollution.

## Keywords

Short rotation forestry, poplar, black locust, willow, biomass production, swine, effluent disposal.



# 1. Introduzione

La coltivazione di specie arboree a rapida crescita condotta su terreni agricoli con elevata densità d'impianto (6.000-15.000 piante all'ettaro), ceduzioni ripetute nel breve periodo (1-6 anni) e con tecniche colturali simili a quelle utilizzate per le colture agrarie (Buresti Lattes e Mori 2005b) o "*Short Rotation Forestry*", è una pratica colturale che negli ultimi decenni ha trovato ampia diffusione come impiego alternativo del suolo agrario rispetto le tradizionali colture produttive di carattere alimentare (ARSIA 2004).

La recente diffusione europea della SRF deriva prevalentemente da tre ragioni: (1) essere una fonte di biomassa per l'energia e l'industria (Herve and Ceulemans 1996), (2) essere in grado di sequestrare dall'atmosfera biossido di carbonio (Lagomarsino *et al.* 2009) riducendo in tal modo i gas serra (Nixon *et al.* 2001; Facciotto e Mughini 2003; Piccioni e Bonari 2006), e ultima ma non meno importante (3) per il positivo impatto ambientale che queste colture arboree sono in grado di avere all'interno dell'ecosistema agrario (Laureysens *et al.* 2003; Hoffmann *et al.* 2005) in termini di biodiversità (Sage 1998), protezione (Perttu 1995; Laureysens *et al.* 2003; Pellis *et al.* 2004), diversificazione del paesaggio e fitodepurazione (Mertens *et al.* 2004; Karacic 2005; Laureysens *et al.* 2005c; Borjesson *et al.* 2006; French *et al.* 2006; Scarascia Mugnozza e Paris 2007).

Nonostante numerose ricerche siano state condotte sia a livello nazionale che internazionale sperimentando: (a) l'impiego di differenti specie o cloni (Bongarten *et al.* 1992; Converse *et al.* 1995; Ceulemans *et al.* 1999; Pellis *et al.* 2004; Dickmann 2006; Facciotto *et al.* 2006a; Gruenewald *et al.* 2007; Minotta e Muzzi 2007; Verani *et al.* 2007; Al Afas *et al.* 2008), (b) modelli colturali (Geyer 1989; Armstrong *et al.* 1999; Liesebach *et al.* 1999; Facciotto e Mughini 2006; Geyer 2006; Piccioni e Bonari 2006; Facciotto *et al.* 2007; Baldini *et al.* 2009; Covarelli *et al.* 2009; Giorcelli 2009), e (c) tipologie di substrato (Hoffmann-Schielle 1999; Proe *et al.* 1999; Benetka *et al.* 2002) al fine di valutare rese produttive (Ceulemans 1999), problematiche gestionali (Barani *et al.* 2000; Allegro *et al.* 2007), dinamiche (Corona *et al.* 1998; Laureysens *et al.* 2005a), impatto ambientale (Perttu *et al.* 1998; Sage 1998; Nixon *et al.* 2001; Vandenhove *et al.* 2001; Karacic 2005; Mirck *et al.* 2005; Zalesny *et al.* 2007; Lagomarsino *et al.* 2009), ottimizzazione di sistemi di meccanizzazione (Culshaw *et al.* 1995; Spinelli *et al.* 2007c) e rese economiche (Rosenqvist *et al.* 1997; Mitchell *et al.* 1999; Balsari *et al.* 2002; Pari e Civitarese 2005; Hoffmann *et al.* 2006) di questa coltura, si ritiene che manchino informazioni specifiche relative alle reali potenzialità della SRF realizzata in pieno campo in impianti produttivi condotti da aziende agricole a carattere non sperimentale.

Inserita nel contesto agricolo produttivo dell'Italia settentrionale, la SRF viene infatti condotta avendo come principali obiettivi gestionali la massimizzazione produttiva della biomassa legnosa e la minimizzazione degli *input* colturali (Pellis *et al.* 2004), cercando quindi di raggiungere un compromesso tra quelle che sono le dimostrate esigenze in interventi di irrigazione e fertilizzazione, l'impiego di terreni fertili per garantire rese elevate (Frison 1986; Armstrong *et al.* 1999; Ceulemans

and Deraedt 1999; Proe *et al.* 1999; Pointellar *et al.* 1999; Heinsoo 2002; Laureysens *et al.* 2003; Agostinetto 2004a; Mareschi *et al.* 2005; Karacic 2005; Verani *et al.* 2007), e la necessità di minimizzare i costi di conduzione a causa del basso valore economico del prodotto finale (Pettenella 2000; Sperandio e Verani 2000; Facciotto *et al.* 2003; Pari e Civitarese 2005; Giorcelli *et al.* 2009).

L'elevata produttività della coltura e l'asportazione periodica della totalità della biomassa epigea prodotta rendono gli impianti di SRF dei sistemi colturali particolarmente esigenti in termini di nutrienti del suolo (Perttu and Kowalik 1997; Regione Lombardia 1999; Borin 2003; Uri *et al.* 2007).

L'apporto di nutrienti mediante lo spandimento di reflui zootecnici potrebbe essere una soluzione a questo problema (Osservatorio agroambientale 1997; Heinsoo 2002; Regione Lombardia 2004; Spinelli *et al.* 2004; Rockwood *et al.* 2004; Mirck *et al.* 2005; Bisoffi *et al.* 2009), consentendo al contempo di smaltire i reflui in modo efficace dal punto di vista ambientale (Laureysens *et al.* 2005c; Borjesson *et al.* 2006; Scarascia Mugnozza e Paris 2007) grazie alla spiccata capacità fitodepurativa della SRF (Rosenqvist *et al.* 1997; Vandenhove *et al.* 2001; Mertens *et al.* 2004; French *et al.* 2006; AA.VV. 2008; Rossignolo 2008) ovviando in tal modo alle pressanti esigenze del sistema zootecnico italiano, caratterizzato da forti eccedenze di reflui e da seri problemi per il loro smaltimento a causa della mancanza di terreni agrari disponibili (Bassanino *et al.* 2006) e da forti limitazioni di tipo normativo (Sangiorgi 2003; Ecosse *et al.* 2007).

Alla luce di tali premesse, nel corso del triennio 2007/2009 sono stati condotti due studi: (1) il primo incentrato su un'indagine conoscitiva delle reali potenzialità produttive della SRF condotta in impianti produttivi in pieno campo attraverso l'analisi strutturale di un campione di impianti di SRF di pioppo realizzati in Friuli-Venezia Giulia grazie al regime di finanziamenti previsti dal PSR 200/2007, la caratterizzazione del materiale legnoso ritraibile e l'analisi della produzione di biomassa ottenibile in relazione alle condizioni pedologiche stazionali; ed il secondo (2), condotto in un impianto sperimentale in Italia nord-occidentale, volto a valutare l'idoneità all'impiego di SRF per lo smaltimento di reflui zootecnici, mediante l'analisi della risposta produttiva di tre specie a differenti tipologie di trattamento.



**2. Analisi dello stato di fatto di piantagioni di pioppo da biomassa  
in pieno campo in Friuli Venezia Giulia.**

*Short Rotation Coppice Culture of poplar in Friuli Venezia Giulia (Italy).*



## 2.1 Introduzione

Nell'ultimo decennio si è andata consolidando nella realtà italiana una visione multifunzionale dell'agricoltura (ARSIA 2004), destinata non solo alla promozione ed alla conservazione di pratiche atte a tutelare il paesaggio rurale e l'impiego di modelli colturali a basso *input*, ma anche a favorire lo sviluppo di produzioni caratterizzate da finalità non alimentari che permettano di derivare materie prime a sostituzione dei prodotti di sintesi e dei combustibili fossili, quali le biomasse.

Per biomassa si intende quel complesso di materie prime rinnovabili e prodotti energetici che traggono origine da materiale organico generato da un processo biologico (APAT 2003); in questa categoria ricadono sia i residui agroforestali, i rifiuti solidi urbani, i rifiuti di processi biologici industriali che i prodotti derivati da coltivazioni arboree od arbustive dedicate, cosiddetti "vergini" (ANPA 2001).

Quella legnosa rappresenta quindi solamente la componente lignocellulosica della biomassa propriamente detta ed è impiegabile, sotto diverse forme ed attraverso molteplici processi, per la produzione di energia (APAT 2003).

La biomassa legnosa vergine può avere origini diverse, sono infatti distinguibili: le formazioni boschive, gli impianti produttivi lineari di pianura (siepi campestri e bande boscate polivalenti) e gli impianti produttivi a pieno campo di pianura (arboreti specializzati per la produzione da biomassa legnosa) oggetto di questo studio.

Considerando esclusivamente gli arboreti specializzati per la produzione di biomassa realizzati in ambiente agricolo secondo il modello della corta rotazione (Buresti Lattes e Mori 2005a), questi vengono definiti con termine anglosassone *Short Rotation Forestry* (di seguito indicati con l'acronimo SRF) (Minotta e Muzzi 2007).

Le SRF costituiscono una fonte di biomassa slegata dal poco prevedibile andamento di altri settori agricoli o industriali, e sono realizzabili "fuori foresta", senza quindi andare ad incidere sul delicato equilibrio bio – ecologico delle cenosi forestali (AA.VV. 2006; Minotta e Muzzi 2007).

Dagli inizi di questo secolo ha avuto grande diffusione la realizzazione di impianti fuori foresta per la produzione di biomassa legnosa in Italia settentrionale (Salvati *et al.* 2007), con impiego prevalente di *Salicaceae*, e del genere *Populus* nello specifico dell'ambito friulano, aprendo la strada a molteplici interrogativi riguardo la realtà produttiva attuale di tale coltura e le sue potenzialità produttive e di sviluppo.

### 1.1.1 SRF: definizioni e sviluppo

Le selvicoltura basata sul modello di piantagioni in pieno campo viene indicata nella letteratura internazionale in molteplici modi (Laureysens I. *et al.* 2005b; Dickmann 2006; Al Afas *et al.* 2008): *short - rotation woody crops*, *short – rotation intensive culture*, *short – rotation forestry*, *short -*

*rotation coppice, intensive culture of forest crops, intensive plantation culture, biomass and/or bioenergy plantation culture*; generalmente e comunemente definita come “*a silvicultural system based upon short clear-felling cycles, generally between one and 15 years, employing intensive cultural techniques such as fertilization, irrigation and weed control, and utilizing genetically superior planting material, relying on coppice regeneration*” (Drew *et al.* 1987; Dickmann 2006).

In Italia, il termine più frequentemente impiegato per indicare gli impianti produttivi a pieno campo specializzati per la produzione da biomassa legnosa è quello di SRF, quale “*coltivazione di specie arboree a rapida crescita condotta su terreni agricoli con elevata densità d’impianto (6.000-15.000 piante all’ettaro), ceduzioni ripetute nel breve periodo (1-6 anni) e con tecniche colturali simili a quelle utilizzate per le colture agrarie*” (Buresti Lattes e Mori 2005b).

Spostando l’ambito di appartenenza di questa pratica colturale da quello prettamente agronomico-industriale (Frison 1974; Frison 1975; Spinelli 2003) a quello forestale, alcuni Autori propongono la SRF come una forma di selvicoltura “*a breve rotazione che prevede la gestione di cedui con densità d’impianto comprese tra 1.100 e 16.000 piante all’ettaro e turno da 1 a 5 anni, proporzionale alla densità d’impianto*” (Facciotto e Mughini 2003).

Le basi tecnico-scientifiche della SRF industriale sono state approfondite prevalentemente a partire dal XX secolo, mentre la coltivazione delle *Salicaceae* a corta rotazione affonda le sue origini in epoche remote grazie alla molteplicità di funzioni che queste potevano ricoprire (Paiero e De Battisti 1984).

La pioppicoltura produttiva moderna da biomassa si può affermare abbia avuto inizio negli anni ’60 del secolo scorso con sperimentazioni adottate in Italia dall’Istituto Sperimentale per la Pioppicoltura di Casale Monferrato (Avanzo 1974; Frison 1974), in nord Europa ed in nord America (Bisoffi *et al.* 2009), cui diedero significativo slancio la scarsa disponibilità di materia prima legnosa e l’aumentata richiesta di legname da triturazione negli anni successivi alla seconda guerra mondiale (Frison 1974; Giordano 1974) e la crisi petrolifera degli anni ’70 (Heinsoo 2002; Bonari e Piccioni 2006; Dickmann 2006; Salvati *et al.* 2007).

Il rinnovato attuale interesse per l’impiego e la produzione di biomassa legnosa fuori foresta deriva dal forte impatto economico, sociale e mediatico che stanno avendo l’effetto serra (DEFRA 2002; Lagomarsino *et al.* 2009) ed i cambiamenti climatici in atto, una cui concausa viene individuata nell’emissione in atmosfera di gas serra derivanti dall’impiego di fonti energetiche non rinnovabili e dall’impiego di combustibili fossili, e dalla conseguente necessità di aumentare il consumo di fonti energetiche rinnovabili a scapito di quelle fossili (Laureysens *et al.* 2005a).

### 1.1.2 Il pioppo nella SRF

Diverse specie arboree sono potenzialmente idonee all'impiego nella SRF, ma le latifoglie a rapido accrescimento appartenenti alle *Salicaceae*, quali i generi *Populus* e *Salix*, sono considerate essere le maggiormente adatte allo scopo (Al Afas *et al.* 2008).

Il genere *Populus* per le sue caratteristiche di rapidità di accrescimento in fase giovanile (Dickmann 2006), facilità di propagazione agamica per mezzo di talea (Sekawin e Avanzo 1980; Al Afas *et al.* 2008), facilità di selezione genetica ed ibridazione con creazione di numerosissimi incroci o ibridi, elevata produzione di biomassa legnosa (Frison 1974), capacità di emissione di numerosi polloni dopo la ceduzione (Giordano 1974) comportanti l'incremento della produzione di biomassa (Laureysens *et al.* 2005a), discreta resistenza a attacchi di parassiti e patogeni, elevato tasso di sopravvivenza delle ceppaie a ceduzioni ripetute frequentemente nel tempo (Herve and Ceulemans 1996), buona capacità adattativa a differenti condizioni stagionali (Mitchell *et al.* 1999; Ceulemans and Deraedt 1999; Salvati *et al.* 2007). I pioppi risultano essere maggiormente idoneo all'impiego in SRF per la produzione da biomassa in molteplici condizioni ambientali, rispetto altre specie arboree impiegabili in SRF in ambiente mediterraneo quali *Salix*, *Robinia pseudoacacia*, *Eucalyptus* (Facciotto e Mughini 2003; Bergante *et al.* 2006; Spinelli e Magagnotti 2006a) o altre specie arboree in corso di valutazione per impianti quali ontano, platano, paulownia, acero, olmo siberiano (Bergante *et al.* 2006).

Dalla fine del XCIII secolo ebbe inizio la diffusione in Europa di specie di pioppo nordamericane, con la registrazione formale, registrata nel 1775, della presenza spontanea e l'impiego di pioppi euramericani (*P. x canadensis* Moench.), originati dall'incrocio di *P. nigra* L. X *P. deltoides* Marsh., caratterizzati da accrescimenti superiori rispetto ai pioppi europei e da facilità di propagazione agamica per talea (Karacic 2005); solamente dal 1912 è ritrovabile documentazione sui primi incroci di parentali di pioppo selezionati da A. Henry (Dickmann 2006).

La selezione genetica di materiale di pioppo idoneo alla produzione industriale di biomassa ebbe inizio già dagli anni '60 in Italia ad opera dell'ENCC (Avanzo 1974; Karacic 2005) a partire da una base già consolidata e costituita dal materiale genetico selezionato per le coltivazioni tradizionali: i primi cloni di pioppo selezionati per le produzioni di biomassa furono infatti i cloni derivanti dalla selezione condotta per la pioppicoltura tradizionale come l'I-214 (Bergante e Facciotto 2006). La selezione genetica del pioppo ricercò non solo genotipi che presentassero maggiori produzioni, ma anche resistenti alla siccità ed alle principali fitopatie (Karacic 2005).

Nonostante la selezione genetica sia stata in grado di selezionare cloni resistenti alle principali avversità, la monocoltura di pioppo a breve rotazione per la produzione di biomassa legnosa da energia, proprio per le sue modalità colturali di impiego di un unico clone e il trattamento con ceduzioni ripetute in tempi brevissimi, tende a determinare delle condizioni di forte suscettibilità ad attacchi fitosanitari non risolvibili esclusivamente con l'impiego di materiale selezionato.

### 1.1.3 La SRF in Italia

Le piantagioni cedue da biomassa si diffusero nel nostro Paese per quattro cause concomitanti (Bisoffi *et al.* 2009): le sovrapproduzioni agricole degli anni '90 e della prima metà dell'ultimo decennio; la necessità di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera e di sostituire i combustibili fossili per l'attenuazione dell'effetto serra; i cospicui finanziamenti erogati a favore degli agricoltori con i Piani di Sviluppo Rurale 2001-07 per la costituzione di piantagioni da bioenergia.

In Italia già a partire dagli anni '60 l'Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato iniziò le prime sperimentazioni di pioppo a ciclo annuale di tipo barbatellaio o biennale di tipo vivaio (Frison 1974). Successivamente, fino agli anni '90 l'Ente Nazionale Cellulosa e Carta promosse studi sulla coltivazione di pioppo, salice ed eucalipto con turno di 2-5 anni, finalizzata alla produzione di legno per l'industria della carta (ENCC 1974). Dal 1994 al 1998 l'ENEL finanziò progetti di studio di applicazione della SRF per la produzione di biomassa quale combustibile legnoso, con individuazione delle specie e delle zone principalmente vocate a questa tipologia colturale: andando ad individuare il pioppo come genere impiegabile nelle fertili pianure dell'Italia settentrionale, l'eucalipto come specie impiegabile prevalentemente in Italia meridionale e la robinia come specie impiegabile nelle zone collinari; successivamente, vari altri progetti di ricerca furono promossi dal MiPAF (Facciotto e Mughini 2003).

La coltivazione in pieno campo delle SRF iniziò a diffondersi spontaneamente sul territorio nazionale solamente verso la fine degli anni '80 del secolo scorso come conseguenza di un movimento definibile "dal basso", derivante dall'interazione diretta ed attiva di tutta la filiera legno-energia.

Solamente dalla fine degli anni '90 l'affinamento delle tecniche colturali e soprattutto la ricerca compiuta a livello di miglioramento genetico consentirono l'innalzamento delle rese produttive portando la coltura a valori economicamente sostenibili (Salvati *et al.* 2007); ciò permise alla SRF di essere valutata come una possibile alternativa alla pioppicoltura tradizionale, che negli ultimi decenni stava attraversato un momento di crisi di mercato (Famiglietti 1973; Frison 1974; Giorcelli *et al.* 2009), contestualmente all'impiego del pioppo nel fitorimedio e nelle piantagioni di arboricoltura da legno nella nuova concezione policiclica e polifunzionale (Buresti *et al.* 2001). Gli impianti di SRF con finalità prettamente produttiva sono stati realizzati nel nostro Paese prevalentemente nell'ultimo decennio grazie ad interventi di finanziamento europeo o regionale; attualmente la superficie investita risulta essere di circa 5.000 ha, prevalentemente localizzati nel nord del Paese mentre solamente poche centinaia di ettari risultano essere stati realizzati nel meridione (Boccasile 2007; Salvati 2007; Verani e Sperandio 2008). Recenti studi volti ad individuare le aree maggiormente vocate per la SRF hanno proposto per questa coltura le pianure dell'Italia settentrionale ed in particolare la Pianura Padana; il Friuli Venezia Giulia risulta essere la regione con il più alto grado di diffusione potenziale, con una superficie di 540 ha di ambiti territoriali idonei e più di 262.000 ha di terreni marginalmente idonei (Salvati *et al.* 2007).

### 1.1.4 Vantaggi e problematiche legate alla SRF

L'investimento sul territorio di impianti di arboricoltura a corta rotazione destinata alla produzione di biomassa da energia (agrienergia) può determinare una lunga serie di vantaggi a livello economico, territoriale, sociale, ambientale (Baxter *et al.* 1996; Perttu 1998; Sage 1998; Proe *et al.* 1999; Facciotto e Mughini 2003; Regione Lombardia 2004; Spinelli *et al.* 2006b; Laureysens *et al.* 2005a; Pari e Civitarese 2005; Piccioni e Bonari 2006; Ciccarese *et al.* 2007; Fabbri 2007; Al Afas *et al.* 2008; IPLA 2008), tra i quali si possono ricordare l'aumento delle opportunità di sviluppo per le zone marginali e/o la riduzione dei surplus agricoli attraverso sostituzione delle colture tradizionali, la possibilità di sviluppo di nuove iniziative industriali, la possibilità di garantire autonomia energetica locale, la diminuzione dell'impatto ambientale rispetto altre colture agrarie derivante da un il minor impiego di pesticidi, un benefico effetto sul ciclo del carbonio nel sistema suolo-pianta (Laureysens *et al.* 2003), il contenimento delle emissioni dei cosiddetti gas-serra e in particolare della CO<sub>2</sub> (Facciotto e Mughini 2003; Piccioni e Bonari 2006; Lagomarsino *et al.* 2009) ed un loro stoccaggio nella biomassa epigea ed ipogea prodotta, la partecipazione alla mitigazione dell'effetto serra come recentemente riconosciuto dalla U.N.F.C.C.C. (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) nel Protocollo di Kyoto, il favorevole impatto sulla biodiversità e la creazione di nuovi *habitat* (Sage 1998), l'azione di protezione del suolo dall'erosione operata da aria ed acqua (Perttu 1995; Laureysens *et al.* 2003; Pellis *et al.* 2004), il contenimento dell'eutrofizzazione delle acque mediante processi di fitodepurazione e contenimento delle immissioni di nitrati, fosfati e altre sostanze provenienti da attività antropiche (Karacic 2005).

La coltivazione estensiva delle SRF evidenzia al contempo diverse problematiche e rischi potenziali (Facciotto e Mughini 2003; Pari e Civitarese 2005; Forconi 2007; Ciccarese *et al.* 2007; Fabbri 2007):

- a livello territoriale rischi potenziali sono legati alla conservazione del suolo, al consumo di risorse idriche, alla trasformazione di prati o prato – pascoli in terreno arabile, all'alterazione del suolo con perdita di carbonio stoccato in esso, all'incentivazione di modelli gestionali produttivi intensivi, all'incremento del rischio di incendio;
- a livello aziendale, rischi potenziali sono legati ai conti economici delle colture, al mantenimento della fertilità del suolo, alla stabilità delle rese, alla flessibilità dell'ordinamento produttivo;
- l'uso energetico del cippato ritraibile potrebbe inoltre potenzialmente andare a determinare un aumento della pressione sul comparto agricolo per l'intensificazione delle coltivazioni e va inoltre a competere con l'utilizzo industriale tradizionale per la produzione di carta e pannelli di fibre (Facciotto e Mughini 2003);
- il materiale legnoso ottenibile presenta attualmente un valore economico piuttosto basso a fronte di costi di produzione anche consistenti (Strauss *et al.* 1990; Facciotto e Mughini 2003) che rendono tale coltura legata all'erogazione di contributi (Pari e Civitarese 2005). Tale materiale presenta inoltre caratteristiche qualitative non ottimali per un suo impiego come combustibile a causa dell'elevata

umidità, di un Potere Calorifico Inferiore (P.C.I.) di 19 MJ/kg di s.s. (Bartolini 2007) e dell'elevato contenuto in corteccia (Kenney *et al.* 1990) che, presentando valori elevati, variabili dal 18 al 43% (Adler *et al.* 2005), determina la produzione di elevati quantitativi di ceneri (4,1-4,8%) (Bartolini 2007) con il rischio di causare fenomeni corrosivi nella caldaia (Tharakan *et al.* 2003; Francescato *et al.* 2004) in cui questi dovessero venire impiegati.

### 1.1.5 Obiettivi della ricerca

A fronte di un'ampia diffusione territoriale e delle stime di sviluppo della SRF, le indicazioni relative alle potenzialità produttive sono particolarmente variabili, con un campo di variazione che va da 4-5 fino a 19-20 Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> di sostanza secca producibile (Minotta *et al.* 2007). Già diversi Autori hanno evidenziato la problematica del diverso comportamento riscontrabile in piantagioni sperimentali (Castro *et al.* 1999) con cloni di pioppo selezionati da biomassa, in cui sono riscontrate produzioni (fino a 25-30 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>) che risulterebbero in realtà ottenibili solamente in condizioni di elevata fertilità stagionale e favorevoli condizioni pedoclimatiche, con impiego di elevati *input* colturali quali trattamenti antiparassitari, irrigazioni, concimazioni (Pellis *et al.* 2004): modelli colturali difficilmente riscontrabili in condizioni di coltivazione in pieno campo (Mezzalana 2008; Baldini *et al.* 2009). Questa variabilità nella definizione delle produzioni rende difficoltosa la determinazione della resa potenziale e delle possibilità concrete di diffusione della SRF, con conseguente incertezza nella definizione della convenienza economica degli investimenti e nella valutazione a livello di politiche amministrative per una efficace pianificazione di tali interventi e di investimenti su vasta scala.

Con il presente studio si è inteso quindi contribuire alla conoscenza delle reali potenzialità produttiva della SRF in un ristretto ambito territoriale, quale il Friuli – Venezia Giulia, con individuazione dei fattori ambientali e colturali di maggiore rilievo ai fini del buon esito delle piantagioni SRF nell'Italia nord-orientale, attraverso l'analisi della superficie destinata a questo tipo di coltura grazie al regime di finanziamenti istituito dal PSR 2000-2007 nella Regione Autonoma Friuli - Venezia Giulia, l'analisi dei principali parametri dendrometrici, la caratterizzazione del materiale legnoso, l'analisi della produzione di biomassa ottenibile e la definizione dell'influenza delle caratteristiche pedologiche sulla produzione.



## 2.2 Materiali e metodi

L'indagine è stata svolta sul territorio della Regione Friuli-Venezia Giulia, su un campione di impianti di pioppo da biomassa realizzati grazie al regime di aiuti previsto dal PSR 2000-2007 e finanziati dal Reg. CEE 1257/99 con la "Misura h: imboscamento di superfici agricole" e la "Misura i1: imboscamento di superfici non agricole".

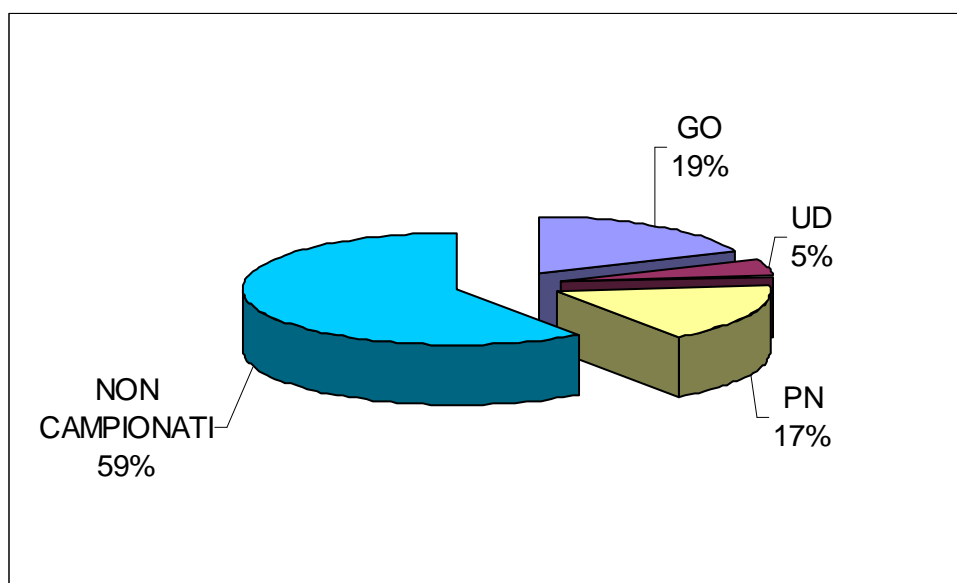
Dall'elenco delle domande di finanziamento ammesse a contributo, realizzato in collaborazione con la "Direzione Centrale risorse agricole naturali e forestali" e gli Ispettorati Ripartimentali delle Foreste delle province di Udine, Pordenone e Gorizia, è emerso come in Regione tra il 2000 ed il 2005 siano state ammesse a contributo 65 domande di finanziamento, cui ha fatto seguito la realizzazione di circa 180 ha di pioppeti da biomassa, realizzati nelle province di Udine (94,15 ha), Gorizia (7,48 ha) e Pordenone (76,30 ha).



Figura 1. Localizzazione degli impianti SRF realizzati in Friuli Venezia Giulia.

Il campione degli impianti da analizzare è stato selezionato applicando un campionamento aleatorio stratificato sulla superficie realizzata per provincia, partendo dalla lista delle domande ammesse a contributo (figura 1).

Sono state estratte casualmente 30 domande di contributo, di cui 3 in provincia di Gorizia (10,48 ha), 14 in provincia di Udine (38,72 ha) e 13 in provincia di Pordenone (34,53 ha), per una superficie complessiva di 79,12 ha corrispondente al 41% della superficie totale realizzata in regione (figura 2).



**Figura 2. Ripartizione della superficie campionata per provincia.**

I proprietari/conduttori sono stati sottoposti a intervista relativa a tipologia del clone impiegato, modalità di realizzazione e di conduzione dell'impianto.

All'interno dell'area omogenea è stata individuata l'area di saggio rappresentativa delle condizioni medie di sviluppo dell'impianto

L'area di saggio è costituita da 5 file contigue con 30 ceppaie ciascuna, per un totale di 150 ceppaie campionate, ed è ubicata nelle file centrali dell'appezzamento per evitare l'effetto bordo (Minotta e Muzzi 2007).

All'interno dell'area di saggio (Allegato 1.1), tra dicembre 2007 e febbraio 2008, sono stati rilevati i seguenti parametri:

- modulo e distanze d'impianto;
- età dell'impianto, espressa in forma codificata nella forma "F(età del fusto)/R(età della radice)", dove l'età del fusto (F) corrisponde al numero di anni trascorsi dall'ultima ceduzione e l'età della radice (R) coincide con il numero di anni trascorsi dalla piantagione;
- numero di ceppaie vitali;
- numero di polloni vitali per ceppaia.

Su tre polloni vitali aventi altezza minima di 1,30 m sono stati rilevati:

- diametro del fusto a 10 cm e a 130 cm da terra, con nastro metrico con precisione al  $[10^{-2}$  m];
- altezza totale, con Vertex o asta telescopica con livello di precisione di  $[10^{-1}$  m].

CODICE	PROV.	COMUNE	ANNO IMPIANTO	LOCALIZZAZIONE	SUP. (ha)	CLONE
1	GO	San Floriano	2006	Alta pianura friulana	1.48	Pegaso
2	GO	Mossa	2004	Alta pianura friulana	5.50	Sirio
3	GO	Cormòns	2006	Alta pianura friulana	3.50	Pegaso
4	UD	Bordano	2005	Alta pianura friulana	3.00	Pegaso
5	UD	Attimis	2006	Alta pianura friulana	1.70	Sirio
6	UD	Prececnico	2004	Bassa pianura friulana	8.91	Sirio
7	UD	Rive d'Arcano	2004	Alta pianura friulana	1.39	Pegaso
8	UD	Manzano	2004	Alta pianura friulana	1.53	Pegaso
9	UD	Pocenia	2006	Alta pianura friulana	1.80	Pegaso
10	UD	Pocenia	2006	Alta pianura friulana	2.00	Pegaso
11	UD	Artegna	2006	Alta pianura friulana	3.70	Sirio
12	UD	Coseano	2006	Alta pianura friulana	1.00	Sirio
13	UD	Muzzana	2005	Bassa pianura friulana	0.94	Sirio
14	UD	Pavia di Udine	2005	Alta pianura friulana	2.60	Sirio
15	UD	Rivignano	2004	Bassa pianura friulana	5.50	Pegaso
16	UD	Pavia di Udine	2005	Alta pianura friulana	2.60	Sirio
17	UD	Ruda	2005	Alta pianura friulana	2.05	Sirio
18	PN	Brugnera	2003	Alta pianura friulana	3.30	Pegaso
19	PN	Sesto al Reghena	2005	Bassa pianura friulana	2.29	Sirio
20	PN	S Vito al Tagliam	2004	Bassa pianura friulana	0.85	Pegaso
21	PN	Azzano X	2004	Bassa pianura friulana.	0.85	Pegaso
22	PN	Sequals	2004	Alta pianura friulana	7.87	Pegaso
23	PN	S. Vito al Tagliam	2004	Bassa pianura friulana	3.60	Pegaso
24	PN	Pravidomini	2004	Bassa pianura friulana	1.64	Pegaso
25	PN	Pravidomini	2004	Bassa pianura friulana	0.72	Pegaso
26	PN	Brugnera	2005	Bassa pianura friulana	6.99	Sirio
27	PN	Azzano X	2005	Bassa pianura friulana	2.46	Sirio
28	PN	S. Vito al Tagliam	2005	Bassa pianura friulana	0.98	Pegaso
29	PN	Pravidomini	2005	Bassa pianura friulana	1.27	Sirio
30	PN	S. Vito al Tagliam	2006	Bassa pianura friulana	1.73	Sirio

**Tabella 1. Elenco degli impianti campionati. Legenda: Codice: codice identificativo della domanda di contributo considerata; Prov.: sigla della provincia in cui ricade l'impianto; Comune; Anno: anno d'impianto; Localizzazione: distinzione dell'ambito territoriale in cui ricade l'impianto distinguendo tra alta e bassa pianura friulana; Sup (ha): superficie dichiarata dell'impianto; Clone: clone impiegato (Allegato 1.4).**

Contestualmente, una coppia di piante selezionate in base al diametro medio di area basimetrica è stata quindi tagliata e pesata direttamente in campo e sono stati quindi rilevati:

- peso totale fresco, con bilancia elettronica con precisione di  $[10^{-1}$  g],
- altezza totale, rilevata con nastro metrico con precisione al  $[10^{-2}$  m] (di seguito indicata come altezza media).

Da queste piante sono stati quindi prelevati dei campioni legnosi di circa 10 cm di lunghezza (Baldini *et al.* 2009) ogni metro lineare di fusto; tali campioni sono stati successivamente analizzati in laboratorio per la determinazione del peso secco  $[10^{-2}$  g] mediante essiccazione in stufa a  $105^{\circ}$  C fino a

peso costante, impiegando una bilancia digitale di laboratorio (Giordano 1974; Armstrong *et al.* 1999; Minotta e Muzzi 2007).

Il peso secco è stato impiegato per la determinazione delle caratteristiche fisiche del materiale quali l'umidità (U), il contenuto idrico (W) e la densità basale (DB) ed il fattore di correzione per il peso secco (a) (La Marca 1999; Francescato *et al.* 2004; Hellrigl 2006; Minotta e Muzzi 2007).

Il contenuto idrico (W), espresso in percentuale, è stato calcolato come:

$$W = (\text{peso fresco} - \text{peso secco}) / \text{peso fresco} * 100$$

L'umidità (U), espressa in percentuale, è stata calcolata come:

$$U = (\text{peso fresco} - \text{peso secco}) / \text{peso secco} * 100$$

La densità basale (DB), espressa in [g/cm<sup>3</sup>], corrispondente al rapporto tra il peso anidro ed il volume allo stato fresco, è stata ricavata dalla:

$$DB = \text{peso secco} / \text{volume fresco}$$

Le curve ipsometriche coetanee sono state descritte applicando due differenti tipologie di regressione (PROC NLIN di SAS) (La Marca 1999; Verani *et al.* 2007; Verani e Sperandio 2008):

- una curva di tipo parabolico  $H = a + b \text{ DBH} + c \text{ D}^2$
- una curva di tipo logaritmico  $H = a \text{ DBH}^b$

dove (H) corrisponde all'altezza totale [cm], (DBH) è il diametro rilevato a petto d'uomo [cm] mentre (a), (b), (c) sono i coefficienti delle curve di regressione.

Le relazioni allometriche descrittive la produzione di biomassa rispetto parametri dendrometrici sono state calcolate impiegando il modello:

$$PF = a \text{ DBH}^b$$

dove (PF) rappresenta il peso fresco [g], (DBH) è il diametro rilevato a petto d'uomo [cm], mentre (a), (b) sono coefficienti di regressione (Telenius and Verwijst 1994; Telenius e Verwijst 1995; Verwijst e Telenius 1999; Mareschi *et al.* 2005; Minotta e Muzzi 2007; Al Afas *et al.* 2008; Heinsoo 2002; Verani e Sperandio 2008) ed impiegando il modello:

$$PF = a \text{ D10}^b$$

dove (PF) rappresenta il peso fresco [g], (D10) è il diametro rilevato alla base del fusto [cm], mentre (a), (b) sono coefficienti di regressione (Verwijst *et al.* 1999; Laureysens I. *et al.* 2005b; Minotta e Muzzi 2007)

Le relazioni allometriche tra peso fresco (Pf) e peso secco (Ps) dei polloni sono state calcolate impiegando il modello:

$$Pf = a \text{ Ps}$$

con i pesi espressi in [g] ed il coefficiente della retta di regressione (a) è il fattore di correzione per il peso secco (Minotta e Muzzi 2007).

La produzione di biomassa epigea prodotta, espressa in termini di sostanza secca annua all'ettaro [Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>], è stata calcolata applicando una metodologia parzialmente distruttiva (Verwijst e Telenius 1999) come prodotto del peso fresco [g] del pollone medio per il numero di fusti ad ettaro moltiplicato

per il fattore di correzione per il peso secco; dove il numero di fusti ad ettaro corrisponde alle piante realmente presenti (talee attecchite o ceppaie vitali) moltiplicato per il numero medio di polloni per ceppaia (Verani e Sperandio 2008).

All'interno di ogni area di saggio è stato inoltre prelevato un campione di suolo, successivamente analizzato in laboratorio per ricavare: tessitura, contenuto in scheletro, pH, salinità, contenuto in carbonati (MIPAF 1998; MIPAF 1999).

Dalla combinazione dei vari fattori pedologici è stata valutata la presenza di limitazioni dei suoli alla coltivazione del pioppo (tabella 2) come da studi dell'Istituto Sperimentale per il Pioppo (ISP 2002).

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE (1)	GRADO DI IMPORTANZA (2)	GRADO DI INTENSITA' DELLE MODIFICAZIONI		
		ASSENTI O LIEVI (3)	MODERATE (4)	SEVERE (5)
Tessitura (6)	***	Media – grossolana	Moderatamente fine - fine	-
Disponibilità di ossigeno (7)	***	Buona o moderata	Imperfetta	Da scarsa a molto scarsa
Salinità (EC5 mS/cm) (8)	***	< 0,15	0,15 – 0,4	> 0,4
Calcare attivo (%)	***	< 6%	6 – 10 %	> 10 %
Rischi inondazione (durata)	**	< 1 mese	> 1 mese	
Profondità utile alle radici (cm)	**	> 50 cm	-	< 50 cm
Reazione (pH)	*	5,5 – 8,5	4,5 – 5,5	< 4,5 o > 8,5
Rischio di deficit idrico	*	Da assente a moderato	-	Da forte a molto severo

**Tabella 2: Grado di intensità delle limitazioni dei suoli alla coltivazione del pioppo (ISP 2002). Legenda:** (1) riferite allo strato esplorabile dall'apparato radicale; (2) \* poco, \*\*mediamente, \*\*\* molto importante; (3) suoli che assicurano produzioni legnose in genere non inferiori all'80% di quella massima potenziale senza particolari interventi colturali; (4) suoli che possono indurre riduzioni di produzione fino al 60% di quella massima e/o richiedere particolari pratiche colturali; (5) suoli non destinabili a pioppicoltura; (6) media: FLS, F, FL, L; grossolana: S, FS; moderatamente fine: FA, FSA, FLA; fine: A, AS, AL; (7) buona: l'acqua è rimossa dal suolo prontamente; moderata: l'acqua è rimossa lentamente in alcuni periodi e i suoli sono bagnati solo per un breve periodo durante la stagione vegetativa; imperfetta: l'acqua è rimossa lentamente ed il suolo è bagnato per lunghi periodi durante la stagione vegetativa; scarsa e molto scarsa: il suolo è saturo periodicamente o per la maggior parte della stagione vegetativa; (8) valori di conducibilità elettrica dell'estratto 1:5.

I *data set* sono stati analizzati utilizzando il software statistico SAS (SAS Institute Inc. Cary, NC, 2001), impiegando test di analisi della normalità della distribuzione, omogeneità della varianza e di analisi della varianza, considerando un livello di significatività  $P=0,05$ . Le correlazioni sono state verificate impiegando il coefficiente di correlazione di Spearman.

### 2.2.1 L'indagine sincronica

L'analisi della variazione di produttività in piantagioni da legno in successivi cicli colturali e la valutazione di soluzioni gestionali alternative può essere condotta partendo da metodologie di analisi diverse: in un caso possono essere realizzati degli studi prolungati nel tempo sullo stesso popolamento (indagine diacronica) in grado però di fornire un'interpretazione dei fenomeni analizzati solo dopo un periodo di tempo più o meno lungo e possono presentare problematiche derivanti dalla variazione delle condizioni sperimentali; l'approccio sincronico parte invece dal presupposto che una selezione di popolamenti di differenti età possa rappresentare le differenti fasi di sviluppo nel tempo di un unico popolamento (Zewdie *et al.* 2009; Swamy S.L. *et al.* 2004). Tale approccio prevede quindi l'analisi di una cronosequenza, rendendo possibile lo studio di dinamiche senza dover ricorrere a monitoraggi di lungo periodo (Jussy J. *et al.* 2000; Zewdie *et al.* 2009) fermo restando l'affezione dei risultati da errori derivanti dall'eterogeneità ambientale.

### 2.2.2 L'area di studio

La regione Friuli-Venezia Giulia presenta carattere prevalentemente montuoso (43% della superficie), con il 38% della superficie regionale occupato dalla pianura ed il 19% da colline.

La pianura friulana rappresenta la continuazione orientale della pianura veneta, originatasi in periodo quaternario dai depositi di materiali alluvionali trasportati dai principali corsi d'acqua, dei quali i più significativi sono oggi il Tagliamento e l'Isonzo (ARPA); è distinta in due settori, separati dalla linea delle risorgive: l'alta e la bassa pianura friulana (Bortoli *et al.* 1998). L'alta pianura friulana, collocata a nord della linea delle risorgive, trae origine dai depositi fluvioglaciali derivati dallo sfaldamento dei depositi alpini e prealpini operato dai ghiacciai; essa è costituita prevalentemente da depositi grossolani (ciottoli e ghiaie) derivati dal trasporto fluviale, caratterizzati dalla presenza di materiale carbonatico ed arenaceo – marnoso che ne determinano l'elevata permeabilità. La bassa pianura friulana, situata a sud della linea delle risorgive, è costituita da depositi moderatamente fini (sabbie e limi) che consentono la formazione di suoli maggiormente potenti e fertili particolarmente vocati ai seminativi ed è inoltre caratterizzata dall'abbondanza di acqua distribuita da un fitto reticolo idrografico superficiale. Dal punto di vista geologico, sia l'alta che la bassa pianura sono costituite da substrato carbonatico sciolto, ricadendo nel distretto fitogeografico planiziale (Bortoli *et al.* 1998). Per un più dettagliato inquadramento delle unità pedologiche delle aree di saggio si rimanda all'Allegato 1.2. Il clima della pianura friulana è di tipo continentale moderato con connotazione umida, caratterizzato da precipitazioni totali annue di 1.200-1.800 mm ([www.arpa.fvg.it](http://www.arpa.fvg.it)), con precipitazioni medie massime mensili nei mesi di giugno e novembre. Le temperature medie annue variano tra 12 e 14°C, con assenza di mesi con minime inferiori a 0°C (Bortoli *et al.* 1998).

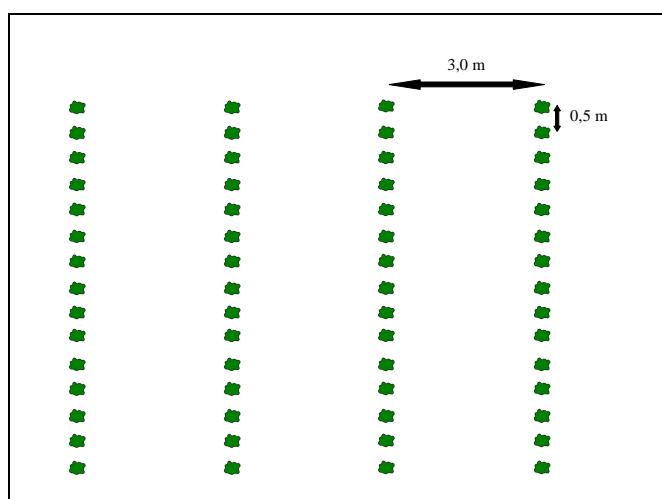
## 2.3 Risultati

Sono state campionate 52 aree di saggio, all'interno delle quali sono state complessivamente rilevate 7.800 ceppaie e 12.050 polloni; sono stati prelevati 650 campioni legnosi dalle 104 piante modello abbattute.

### 2.3.1 Modello colturale e superfici investite

Il modello colturale impiegato in tutte le aree investigate è quello della ceduzione biennale su fila singola: la distanza d'impianto è di 3,0 m tra le file e di 0,5 m sulla fila per una densità d'impianto iniziale di 6.667 ceppaie all'ettaro (figura 3), la durata della coltura è prevista di dieci anni, pari a 5 cicli colturali con eliminazione finale della coltura. La superficie delle aree di saggio è di 150 m<sup>2</sup>.

La superficie media d'impianto è di 2,5 ha, con valori compresi tra 0,70 ha e 8,90 ha.



**Figura 3: Rappresentazione del sesto e delle distanze d'impianto.**

### 2.3.2 Realizzazione e gestione degli impianti

La preparazione del sito è stata eseguita per tutti gli impianti analizzati nella stagione invernale precedente la realizzazione dell'impianto mediante aratura profonda e lavorazione superficiale con contestuale concimazione di fondo (generalmente 150 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 kg/ha di K<sub>2</sub>O); alla ripresa del periodo vegetativo è stata effettuata la messa a dimora del materiale di propagazione, generalmente previa effettuazione di lavorazioni superficiali atte ad eliminare meccanicamente le malerbe ed affinare la struttura del suolo.

Il materiale di propagazione impiegato per la realizzazione di tutti gli impianti considerati era costituito da talee legnose, di 20 cm di lunghezza per un diametro di circa 3-4 cm, interrate orientate

verso l'alto lasciando circa 1-2 cm fuori dal suolo in modo che almeno una gemma risultasse non interrata.

Il controllo meccanico delle infestanti in tutte le aree di saggio è stato effettuato mediante passaggio nell'interfila con fresa o erpice a dischi per due - tre volte all'anno durante la prima stagione vegetativa di ogni ciclo colturale. Dopo il primo anno dall'impianto nelle piantagioni non sono mai state effettuate operazioni di fertilizzazione od interventi di irrigazione; sono stati invece effettuati trattamenti antiparassitari contro la Crisomela del pioppo (*Melasoma populi* L.) nel 76% delle aree di saggio considerate.

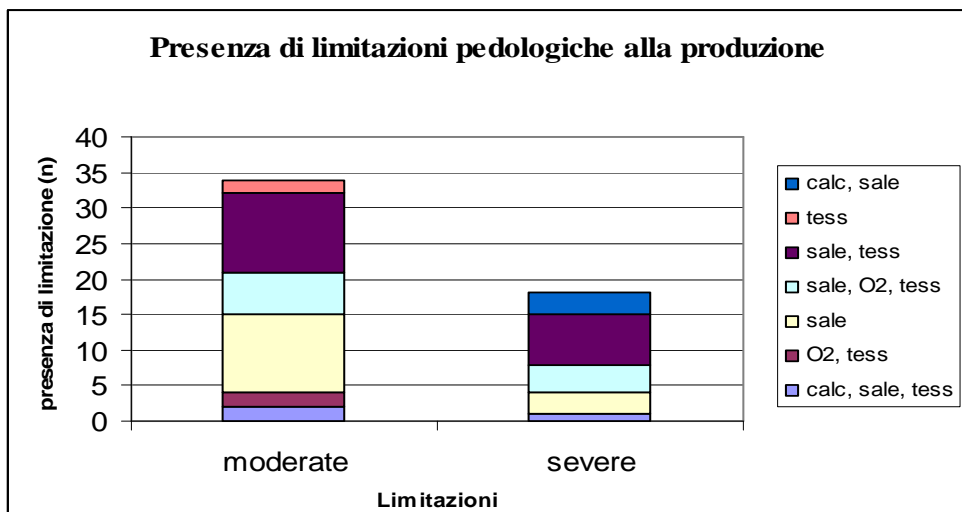
La raccolta è stata realizzata meccanicamente durante il periodo invernale mediante taglio del fusto a 10-20 cm da terra, triturazione e caricamento automatici del materiale legnoso impiegando falcia-trincia-caricatrici di tipo industriale.

### 2.3.3 Analisi delle limitazioni pedologiche stazionali

Dall'analisi delle caratteristiche pedologiche delle aree di saggio considerate (Allegato 1.3), emerge come il 65% della superficie degli impianti analizzati presenti limitazioni pedologiche definibili come "moderate" e quindi in grado di limitare la produzione massima potenziale fino al 60%, mentre il 35% presenta limitazioni pedologiche definibili come "severe" e quindi sconsigliabili all'impiego per la pioppicoltura.

Le limitazioni stazionali risultano derivare prevalentemente dalla presenza di un contenuto eccessivo in sali (valori superiori a 0,15 mS/cm per limitazioni moderate o 0,4 mS/cm per limitazioni severe) o in carbonati (valori superiori al 6% per limitazioni moderate o superiori al 10% per limitazioni severe) e dalla presenza di una tessitura fine, solo marginale rilievo presentano le limitazioni derivanti da una scarsa disponibilità di ossigeno derivante dalla lenta rimozione dell'acqua con presenza di suoli bagnati per periodi più o meno brevi durante la stagione vegetativa (figura 4).





**Figura 4.** Ripartizione delle aree di saggio a seconda delle limitazioni pedologiche ed individuazione dei principali fattori pedologici critici. **Legenda:** Limitazioni moderate; limitazioni severe; calc: limite da contenuto in carbonati attivi superiore al 6-10%, sale: limite da contenuto in sali superiore a valori di 0,15-0,4 mS/cm; tess: limite da tessitura fine; O2: limite da disponibilità di ossigeno imperfetta o scarsa.

### 2.3.4 Cloni impiegati e confronto clonale

Tutti gli impianti presi in esame sono costituiti da due soli cloni di pioppo, entrambi ibridi di *Populus deltoides*, selezionati per la produzione di biomassa ed iscritti nel Registro Nazionale dei Cloni Forestali: il clone Pegaso ed il clone Sirio.

Per una descrizione approfondita dei due cloni si rimanda all'Allegato 1.4.

Il clone Sirio è presente in 28 aree di saggio, corrispondenti a 39,52 ha pari al 47% della superficie investigata, mentre il clone Pegaso è stato impiegato in 24 aree di saggio, corrispondenti a 44,21 ha pari al 53% della superficie investigata.

Delle 52 aree di saggio considerate in questo studio 24 sono al primo ciclo colturale e non sono ancora state ceduate, mentre 28 ricadono nel secondo ciclo colturale e sono state raccolte una volta.

Considerando la ripartizione delle aree di saggio indagate in classi di età, come evidenziato in figura 5, solamente tre classi di età sono rappresentate da entrambi i cloni: al terzo anno del primo ciclo colturale (età F3/R3) e al primo e secondo anno del secondo ciclo colturale (età F1/R3 e F2/R4).

Il confronto del comportamento dei due cloni in condizioni di coetaneità è stato quindi effettuato solo per queste aree.

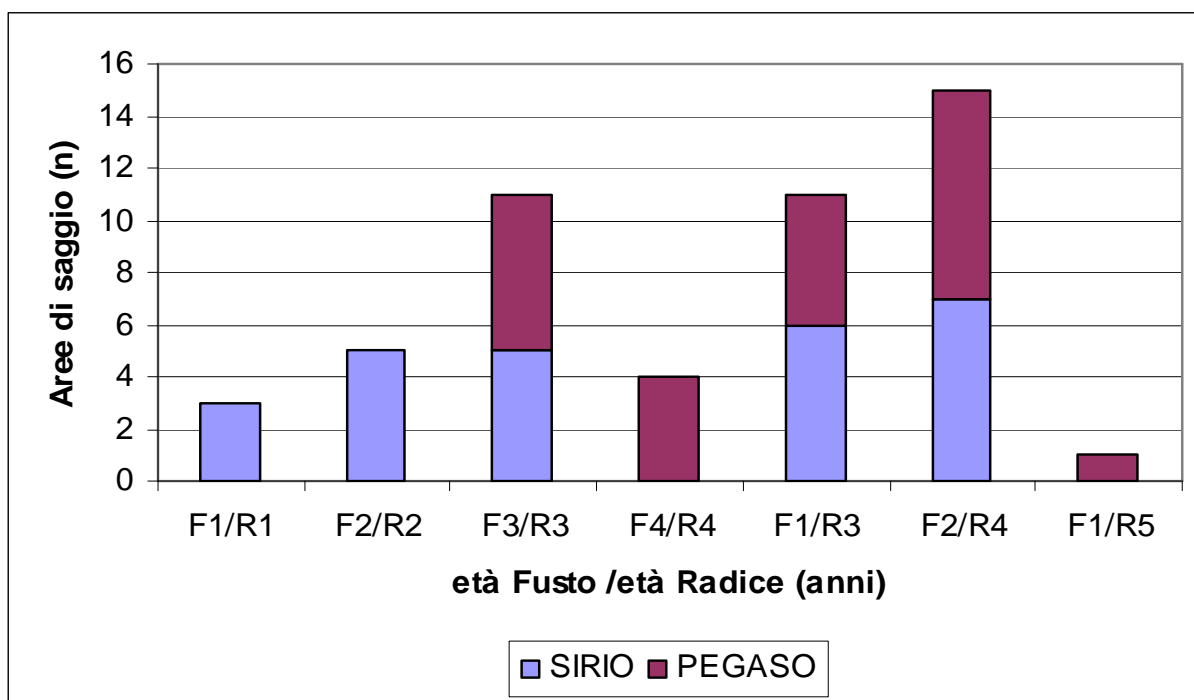


Figura 5. Distribuzione in classi di età delle aree di saggio a seconda del clone impiegato. Legenda: F(numero)/R(numero): indicazione codificata dell'età dell'impianto, dove F(numero) rappresenta l'età in anni dei fusti, mentre R(numero) fornisce il numero di anni trascorsi dalla realizzazione della piantagione.

### 2.3.5 Mortalità delle ceppaie

La mortalità delle ceppaie al primo ciclo colturale (tabella 3) è mediamente del 18,7% per il clone Sirio, con valori che variano da un minimo del 3,5% a un massimo del 52,7% mentre il clone Pegaso presenta mortalità che si assesta su un valore medio del 26,3%, da un minimo del 8,7% ad un massimo del 60,7%. Le elevate mortalità nel primo ciclo colturale portano la densità dalle iniziali 6.667 ceppaie all'ettaro a valori di 3.156-6.445 ceppaie all'ettaro per Sirio a 2.622-6.089 ceppaie all'ettaro per Pegaso.

Al secondo ciclo colturale la mortalità delle ceppaie per il clone Sirio è mediamente del 16,6%, con valori che vanno da un minimo del 2,0% ad un massimo del 60,7%; il clone Pegaso presenta mortalità inferiore rispetto al Sirio, con media del 9% e valori variabili dal 1,3% al 20,0%.

ETÀ	MORTALITÀ MEDIA DELLE CEPPAIE ± D.S.		SIGNIFICATIVITÀ
	SIRIO	PEGASO	
F1/R1	22.00±6.38	n.d.	
F2/R2	21.78±9.89	n.d.	
F3/R3	13.60±7.51	24.67±9.29	***
F4/R4	n.d.	28.83±12.41	
F1/R3	14.22±7.13	12.547±6.28	n.s.
F1/R5	n.d.	17.33	
F2/R4	9.24±5.99	5.50±9.45	***
Media I ciclo	18.67±4.05	26.33±5.30	n.s.
Media II ciclo	16.56±3.52	8.86±1.69	n.s.
	n.s.	**	

**Tabella 3. Percentuale di mortalità delle ceppaie. Legenda: D.S. = deviazione standard; n.d. dato non rilevato; n.s. differenze non significative all'analisi statistica; \* differenze significative per P<0,05; \*\* differenze significative per P<0,01; \*\*\* differenze significative per P<0,001.**

Confrontano il comportamento dei due cloni in condizioni di coetaneità (figura 6), il clone Sirio all'età F3/R3 presenta un attecchimento superiore rispetto al clone Pegaso (PROC FREQ di SAS;  $\chi^2 = 31,7492$ , DF=1, P<0,0001). Ad un anno dalla ceduzione non si registrano differenze tra i due cloni nella capacità della ceppaie a resistere alla ceduzione; al contrario al secondo anno dalla ceduzione, età F2/R4, si registra una mortalità maggiore per il clone Sirio (PROC FREQ di SAS;  $\chi^2 = 11,645$ , DF=1, P<0,0001).

All'insorgere di problematiche stagionali non si possono osservare variazioni sensibili tra i tassi di mortalità dei due cloni impiegati (PROC NPAR1WAY di SAS).

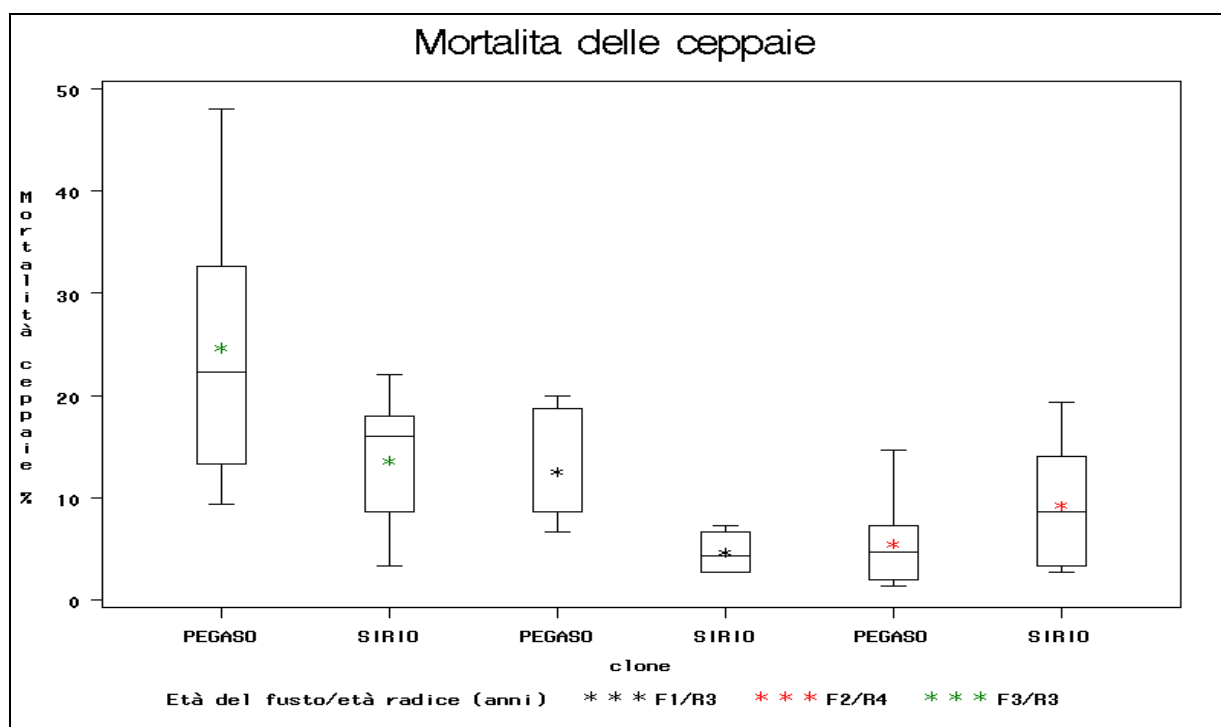


Figura 6. Box-plot relativo all'andamento della mortalità dei due cloni a differenti età.

### 2.3.6 Emissione di getti dalla ceppaia

ETÀ	GETTI PER CEPPAIA ± D.S.			DENSITÀ DI GETTI ALL'ETTARO ± D.S.		
	SIRIO	PEGASO		SIRIO	PEGASO	
F1/R1	1.15±0.08	n.d.		6013.49±885.82	n.d.	
F2/R2	1.19±0.16	n.d.		6238.73±875.18	n.d.	
F3/R3	1.18±0.04	1.09±0.07	**	6807.01±342.05	5495.53±476.45	n.s.
F4/R4	n.d.	1.13±0.13		n.d.	5217.02±681.76	
F1/R3	4.08±0.52	2.40±0.79	**	22986.19±1677.78	14009.17±2191.06	**
F1/R5	n.d.	3.80		n.d.	209.94	
F2/R4	3.47±0.65	2.57±0.78	**	21025.12±1686.94	16259.12±1886.25	**
Media I ciclo	1.18±0.10	1.10±0.09	**	6405.32±380.37	5384.13±373.78	n.s.
Media II ciclo	3.78±0.43	2.59±0.80	**	20749.86±1389.27	15790.17±1365.68	***
	***	***		***	***	

Tabella 4. Emissione di getti dalla ceppaia (numero) e densità di getti all'ettaro. Legenda: D.S.: deviazione standard; n.d. dato non rilevato; n.s.: differenze non significative all'analisi statistica; \* differenze significative per P<0,05; \*\* differenze significative per P<0,01; \*\*\* differenze significative per P<0,001.

Durante il primo ciclo colturale si è evidenziata un'emissione media di getti dalle talee superiore a 1 per entrambi i cloni (tabella 4): Sirio presenta numero di getti per ceppaia (valore medio di 1,18) superiore rispetto a Pegaso (valore medio di 1,10) (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis, DF=1, P=0,008).

Dopo la ceduzione si manifesta un vigoroso riscoppio dalle ceppaie con emissione di un elevato numero di polloni: Sirio emette da un minimo di 3 ad un massimo di 5 polloni per ceppaia, mentre Pegaso ne emette da un minimo di 2 ad un massimo di 3 evidenziando una vigoria significativamente

inferiore rispetto il primo clone (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis, DF=1, P=0,0089).

Considerando il comportamento dei cloni in condizione di coetaneità (figura 7) si nota come il clone Sirio presenti un numero di ricacci dalla ceppaia significativamente superiore rispetto al clone Pegaso solamente negli anni successivi la ceduzione (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis, DF=2, P=0,0076) e che, passando dal primo al secondo anno dopo la ceduzione, il numero di getti vitali per ceppaia in Sirio cali significativamente da 4,08 a 3,47 mentre in Pegaso il numero medio di getti rimanga pressoché costante su valori di 2,40-2,57 nonostante si registri un lieve calo nella numerosità dei polloni.

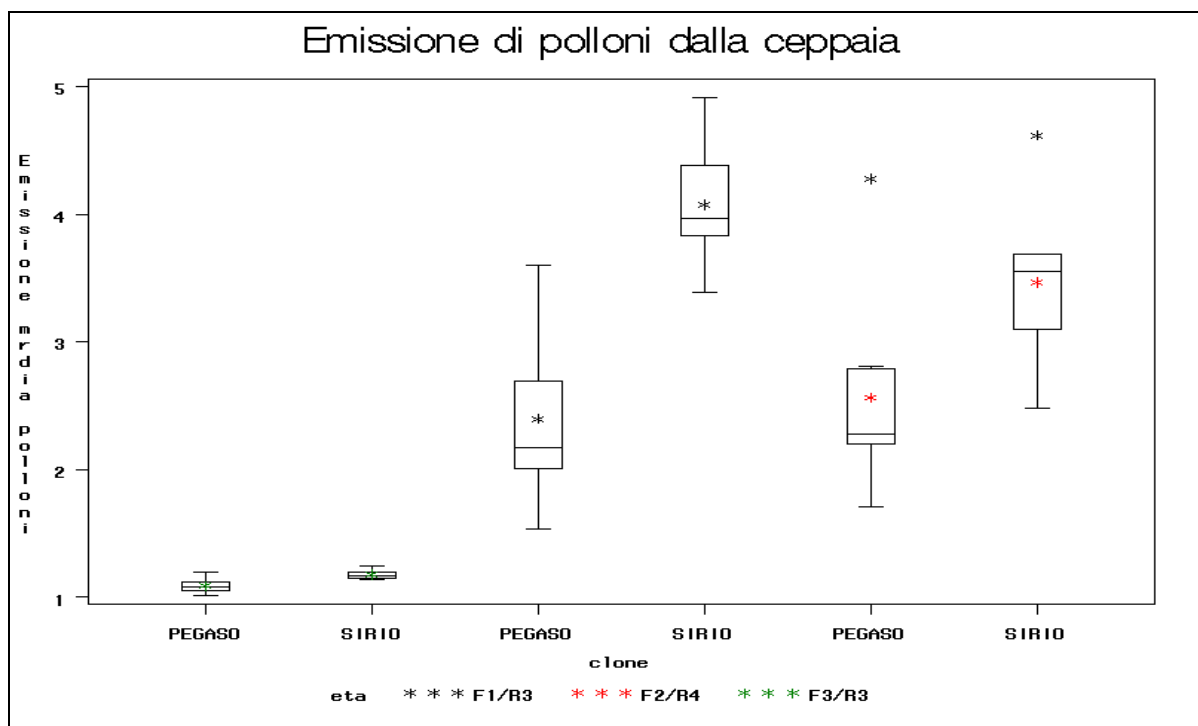


Figura 7. Box-plot relativo dell'emissione di getti dalla ceppaia dei due cloni a differenti età.

La densità dei polloni all'ettaro nel clone Sirio al primo ciclo colturale è di 6.414,0 con valori che variano da un minimo di 3.955,8 ad un massimo di 9.289,4 polloni ha<sup>-1</sup> mentre il clone Pegaso presenta una densità di polloni media pari a 5.278,1 con valori variabili da 3.422,4 a 6.711,5 polloni ha<sup>-1</sup>; la densità di polloni all'ettaro aumenta significativamente in seguito alla ceduzione sia per il clone Pegaso (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $\chi^2=15,65$ , DF=1, P<0,0001) che presenta valori di 9.289,4-27.956,9 polloni ha<sup>-1</sup> che per il clone Sirio (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $\chi^2=17,89$  DF=1, P<0,0001) che presenta 7.911,5-28.979,2 polloni ha<sup>-1</sup>.

Considerando il comportamento dei due cloni in condizioni di coetaneità (tabella 4) al terzo anno del primo ciclo colturale (età F3/R3) questi presentano medesime densità di polloni, con un valore medio di 6.089,4 (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis, P>0,05); dopo la ceduzione il clone Sirio manifesta invece una maggiore densità di polloni all'ettaro rispetto al clone Pegaso sia al primo

(PROC NPARIWAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $\chi^2=6,55$  DF=1, P<0,01) che al secondo anno (PROC NPARIWAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $\chi^2=7,55$  DF=1, P<0,01).

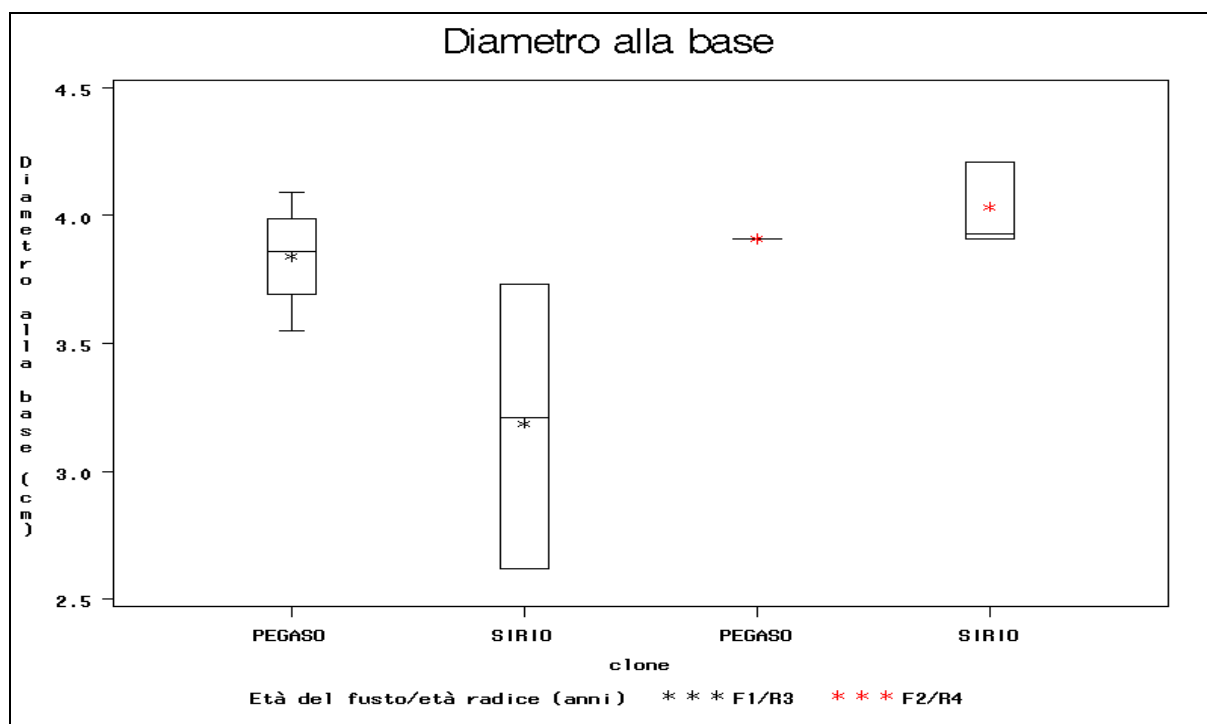
In entrambi i cloni si evidenzia una tendenziale diminuzione del numero di polloni all'ettaro nel corso del secondo ciclo colturale.

### 2.3.7 Analisi dendrometrica

ETÀ	D10 ± D.S.		DBH ± D.S.		H ± D.S.	
	SIRIO	PEGASO	SIRIO	PEGASO	SIRIO	PEGASO
F1/R1	3.09	n.d.	1.70±0.21	n.d.	272.5±26.26	n.d.
F2/R2	5.66±0.09	n.d.	4.65±0.16	n.d.	854.0±30.56	n.d.
F3/R3	n.d.	5.58±0.66	4.84±0.21	4.62±0.67	728.0±40.33	702.75±118.24
F4/R4	n.d.	5.58	n.d.	3.42±0.73	n.d.	445.0±107.45
F1/R3	3.19±0.32	3.84±0.11	2.71±0.21	3.18±0.09	462.08±24.68	507.5±11.85
F1/R5	n.d.	n.d.	n.d.	2.55	n.d.	380.0
F2/R4	3.88±0.17	3.91	3.18±0.14	3.26±0.14	532.0±36.84	554.56±42.67
Media I ciclo	4.56±0.52	5.58±0.54	4.04±0.38	4.14±0.51	594.42±55.08	599.64±89.28
Media II ciclo	3.64±0.18	3.85±0.08	2.86±0.14	3.18±0.09	466.27±30.92	525.29±27.16
	n.s.	n.s.	*	**	*	n.s.

**Tabella 5.** Dati dendrometrici medi rilevati sui cloni a differenti età. **Legenda:** Età: età del fusto/età della radice; D10: diametro a 10 cm di altezza (cm); DBH: diametro a 130 cm di altezza (cm); H: altezza totale (cm); D.S.: deviazione standard; n.d.: dato non rilevato; n.s. differenze non significative all'analisi statistica, \* differenze significative per P<0,05; \*\* differenze significative per P<0,01; \*\*\* differenze significative per P<0,001.

### DIAMETRO ALLA BASE



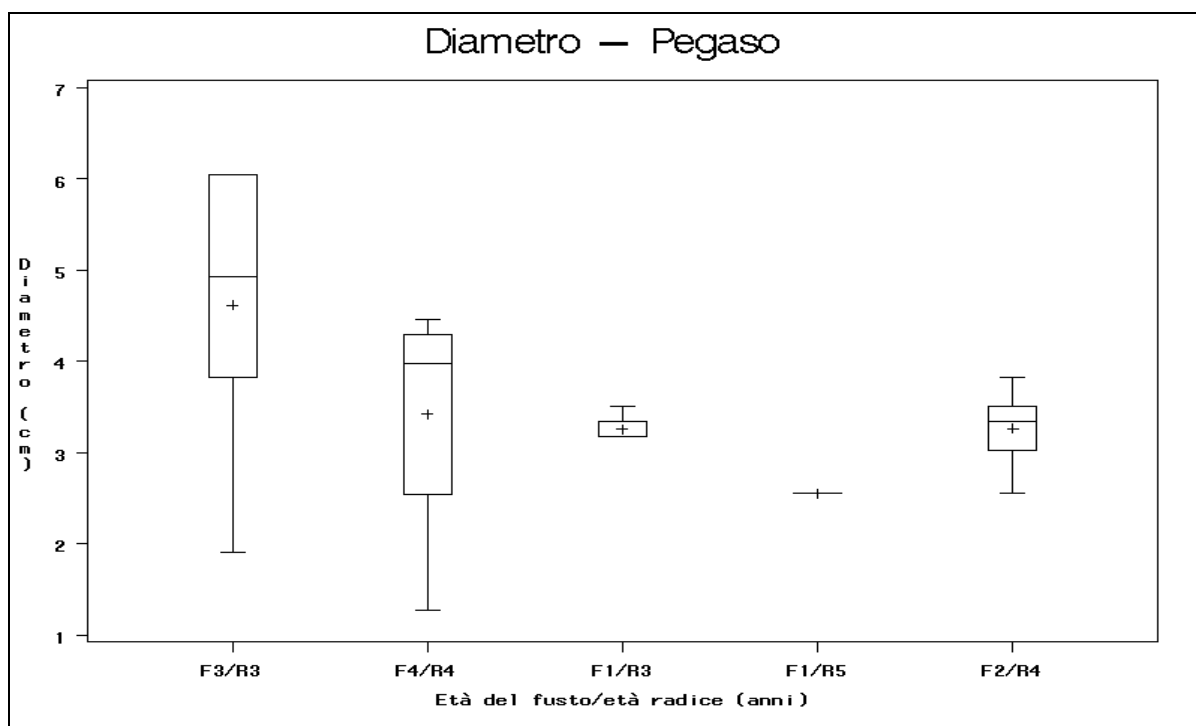
**Figura 8.** Box-plot relativo al diametro alla base dei due cloni in condizione di coetaneità.

Il diametro alla base (tabella 5), rilevato a 10 cm dal suolo, nel clone Sirio è di 3,5-4,5 cm mentre nel clone Pegaso è di 3,9-5,6 cm. Dall'analisi statistica dei dati emerge come non ci siano significativi accrescimenti del diametro tra il primo ed il secondo ciclo colturale (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P > 0.05$ ).

Considerando il comportamento dei cloni in condizioni di coetaneità al secondo ciclo colturale (figura 8) questi presentano dimensioni analoghe (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P > 0.05$ ) ma mentre per il clone Sirio si evidenzia un significativo aumento del diametro alla base dal primo al secondo anno dopo la ceduzione, con valori variabili di 3,19-3,88 cm (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $\chi^2 = 12,58$ ;  $DF = 3$ ;  $P = 0,0056$ ), questo comportamento non si evidenzia nel clone Pegaso che già al primo anno presenta un diametro alla base di 3,90 cm.

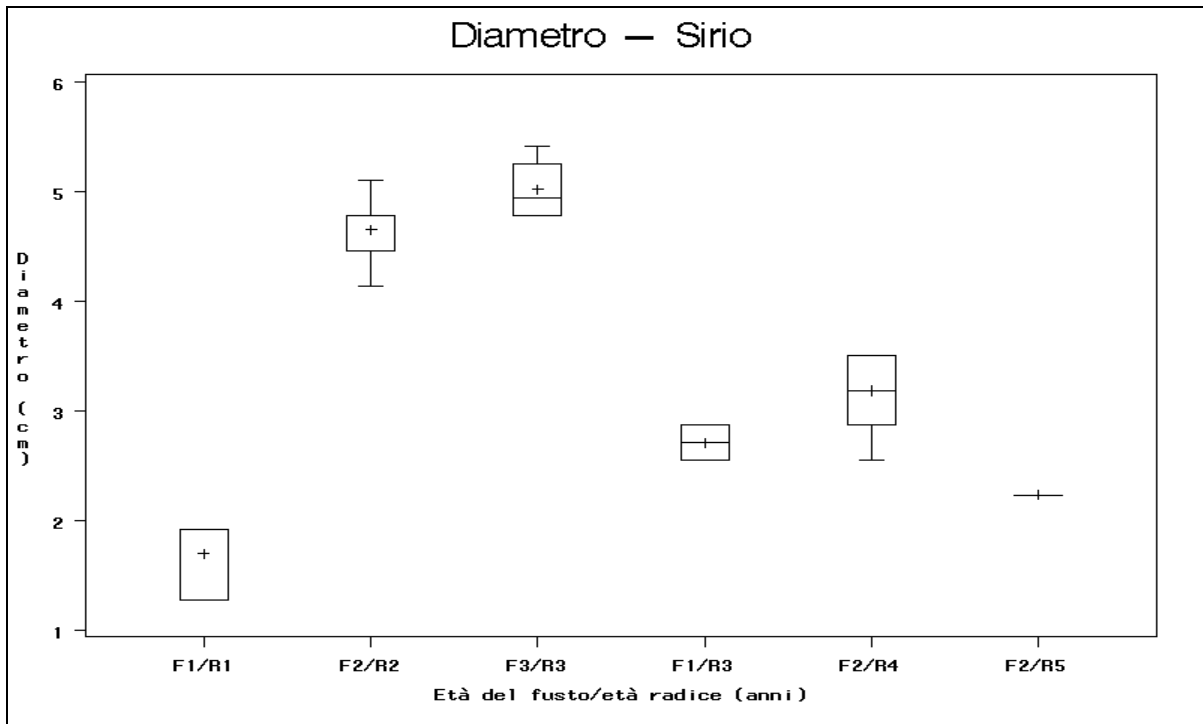
Il diametro alla base dei getti non risente della variazione delle condizioni stagionali (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P > 0,05$ ).

### DIAMETRO A PETTO D'UOMO



**Figura 9.** Box-plot relativo al diametro medio a petto d'uomo di Pegaso a differenti età.

Alla fine del primo ciclo colturale, il diametro medio varia da 3,98 cm per il clone Pegaso (con valori variabili da 1,38 cm a 5,94 cm) a 4,66 cm per il clone Sirio (con valori variabili da 4,12 cm a 5,45 cm), mentre alla fine del secondo ciclo colturale i diametri variano da 3,07 cm per il clone Pegaso (con valori variabili da 2,63 cm a 3,44 cm) a 2,86 cm per il clone Sirio (con valori variabili da 2,15 cm a 3,33 cm) (tabella 5).



**Figura 10. Box-plot relativo al diametro medio a petto d'uomo di Sirio a differenti età.**

Mentre per il clone Pegaso non si registrano variazioni significative di diametro al variare dell'età né al primo che al secondo ciclo colturale (figura 9), nel clone Sirio (figura 10) al primo ciclo colturale si registrano variazioni significative di diametro al variare dell'età (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis;  $\chi^2=7,5966$ ; DF=2; P=0,0224) ed in particolare i diametri risultano essere significativamente maggiori negli anni successivi al primo (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis;  $\chi^2 = 6,5036$ ; DF = 1; P=0,0108). Considerando il diametro medio dei due cloni in condizioni di coetaneità (figura 11), non si registrano significative differenze tra i due cloni.

In condizioni stazionali caratterizzate da differenti livelli di limitazione di carattere pedologico, i due cloni non manifestano significative differenze tra di loro (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis; P>0,05) non mostrando nessuno dei due significativi decrementi in diametro al peggiorare delle condizioni stazionali.



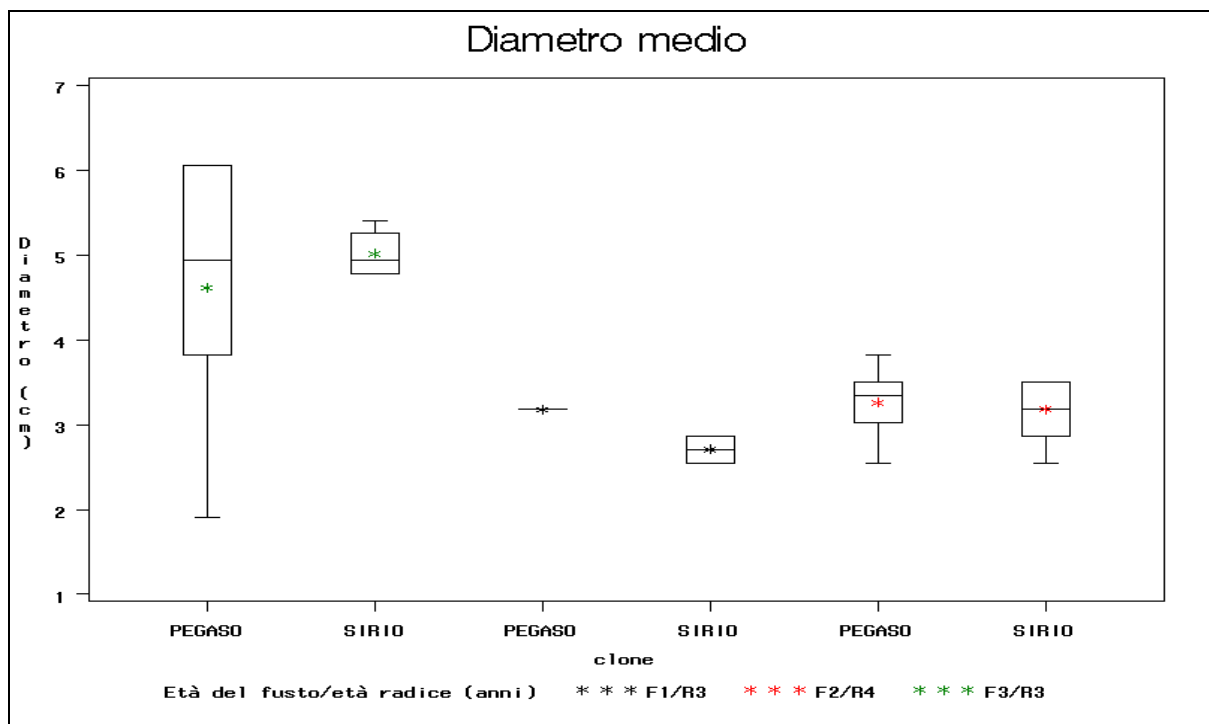


Figura 11. Box-plot relativo al diametro medio dei due cloni in condizione di coetaneità.

## DISTRIBUZIONE DIAMETRICA

Sono state elaborate le distribuzioni di frequenza del diametro (DBH) e sono state quindi rappresentate le seriazioni ordinate dei diametri dei due cloni alle età F3/R3 (figura 12) F1/R3 (figura 13) F2/R4 (figura 14). In condizioni di coetaneità entrambi i cloni presentano la stessa forma della distribuzione dei diametri: le distribuzioni presentano una distribuzione riconducibile a quella normale durante il primo ciclo colturale, mentre al primo e secondo anno successivi la ceduzione si evidenzia un'asimmetria positiva della distribuzione (tabella 6).

CLONE	ETÀ	N	Asimmetria	CV (%)	Kol.	G
PEGASO	F3/R3	740	0.064	44.406	0.069	0.510
PEGASO	F4/R4	460	0.122	42.609	0.078	0.489
PEGASO	F1/R3	1353	0.439	41.249	0.123	0.468
PEGASO	F1/R5	335	0.374	24.289	0.128	0.267
PEGASO	F2/R4	2559	0.656	39.801	0.125	0.446
SIRIO	F1/R1	407	0.161	35.072	0.113	0.394
SIRIO	F2/R2	703	-0.073	31.019	0.071	0.353
SIRIO	F3/R3	761	-0.141	34.348	0.094	0.392
SIRIO	F1/R3	2137	0.056	29.332	0.089	0.334
SIRIO	F2/R4	2380	0.643	42.039	0.112	0.472

Tabella 6. Coefficienti di analisi della distribuzione diametrica. Legenda. N: numero di getti; Asimmetria: coefficiente di asimmetria; CV (%): coefficiente di variazione; Kol.: statistica del test di Kolmogorov-Smirnov per la normalità; G: coefficiente di Gini.

Nel corso del primo ciclo colturale (figure 15, 16) si evidenzia una netta distinzione tra la distribuzione di diametri al primo anno rispetto i successivi.

Come evidenziato dal test di normalità di Kolmogorov-Smirnov (PROC UNIVARIATE di SAS) solamente al primo ciclo colturale si trovano aree di saggio che presentino una distribuzione diametrica che segue una distribuzione normale, nella misura del 35% sul totale: al primo anno la percentuale è nulla, mentre aumenta al 60% al secondo anno per poi diminuire al 18% al terzo e al 50% al quarto anno dall'impianto. Considerando invece la distribuzione diametrica delle aree di saggio coetanee per singolo clone non si evidenziano distribuzioni normali (tabella 6).

Dopo la ceduzione la distribuzione dei diametri non è normale e presenta un'asimmetria positiva, come risposta al maggior accrescimento di pochi polloni dominanti rispetto a molti dominati.

Per la rappresentazione delle curve di distribuzione diametrica al variare delle condizioni pedologiche stazionali si rimanda all'Allegato 1.5.

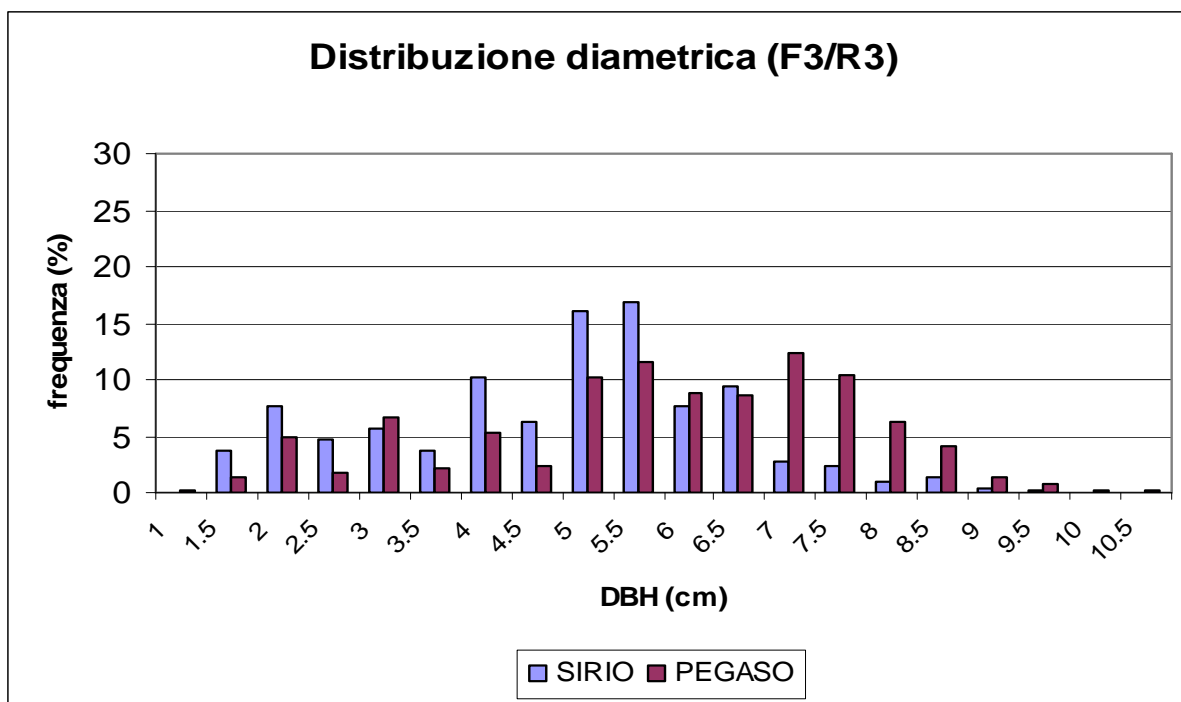


Figura 12. Distribuzione diametrica in condizione di coetaneità al terzo anno del primo ciclo colturale dei due cloni (età F3/R3).

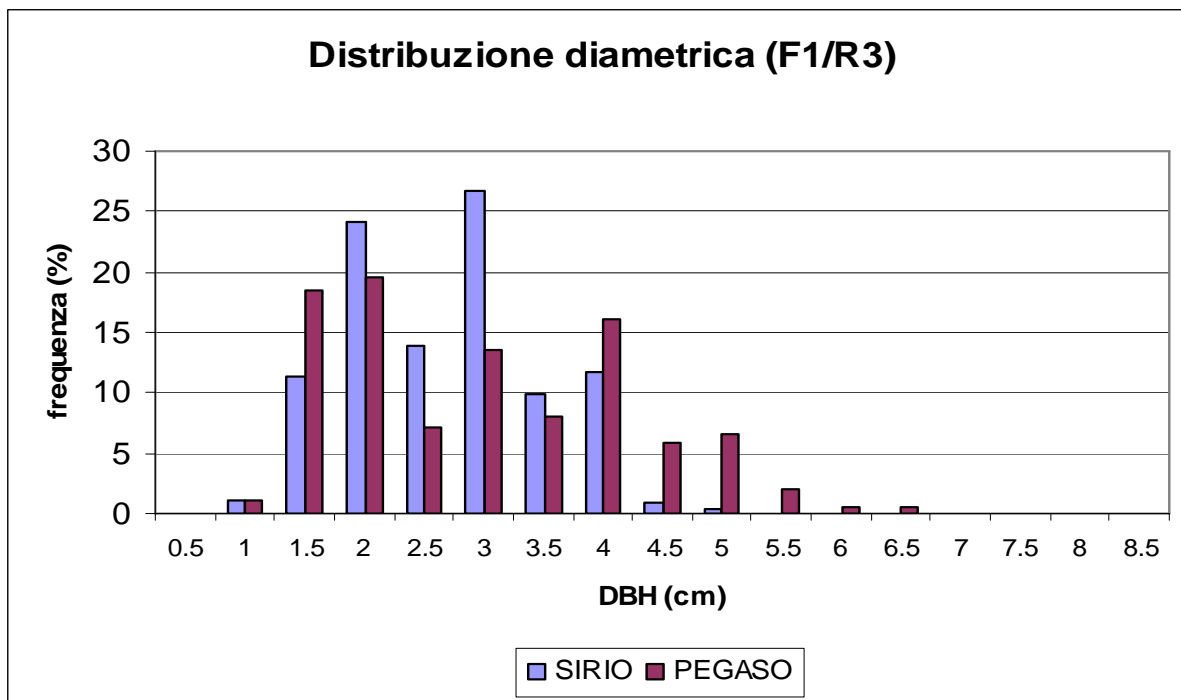


Figura 13. Distribuzione diametrica in condizioni di coetaneità al primo anno del secondo ciclo culturale dei due cloni (età F1/R3).

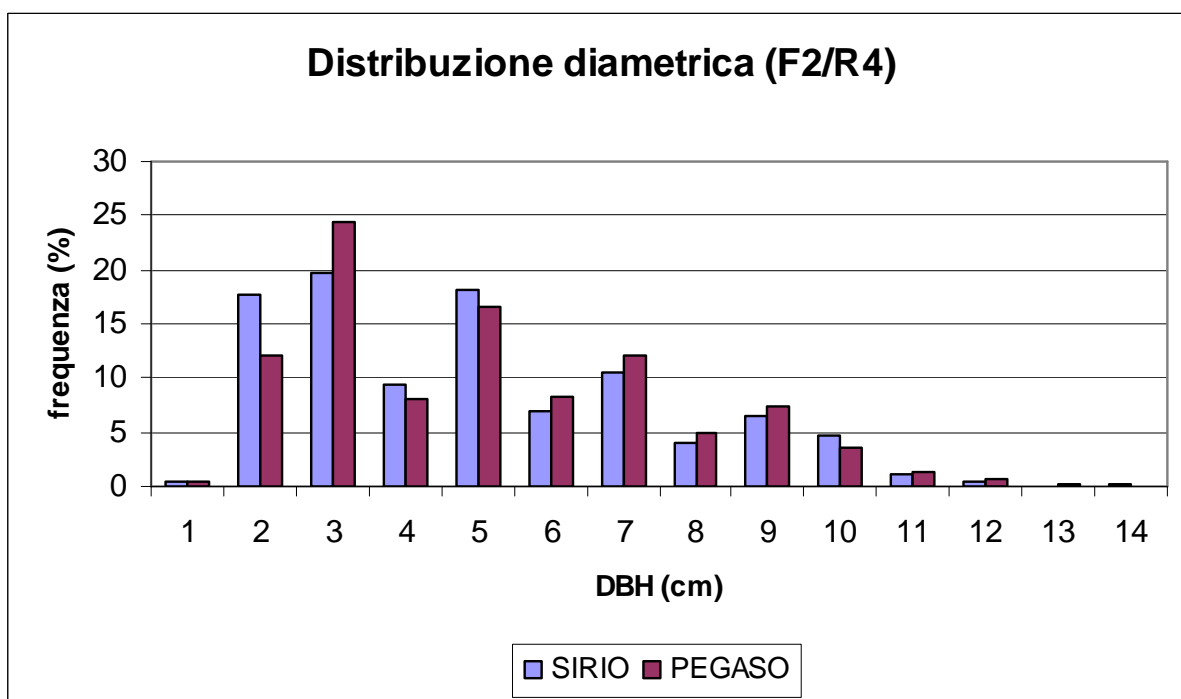


Figura 14. Distribuzione diametrica in condizioni di coetaneità al secondo anno del secondo ciclo culturale dei due cloni (età F2/R4).

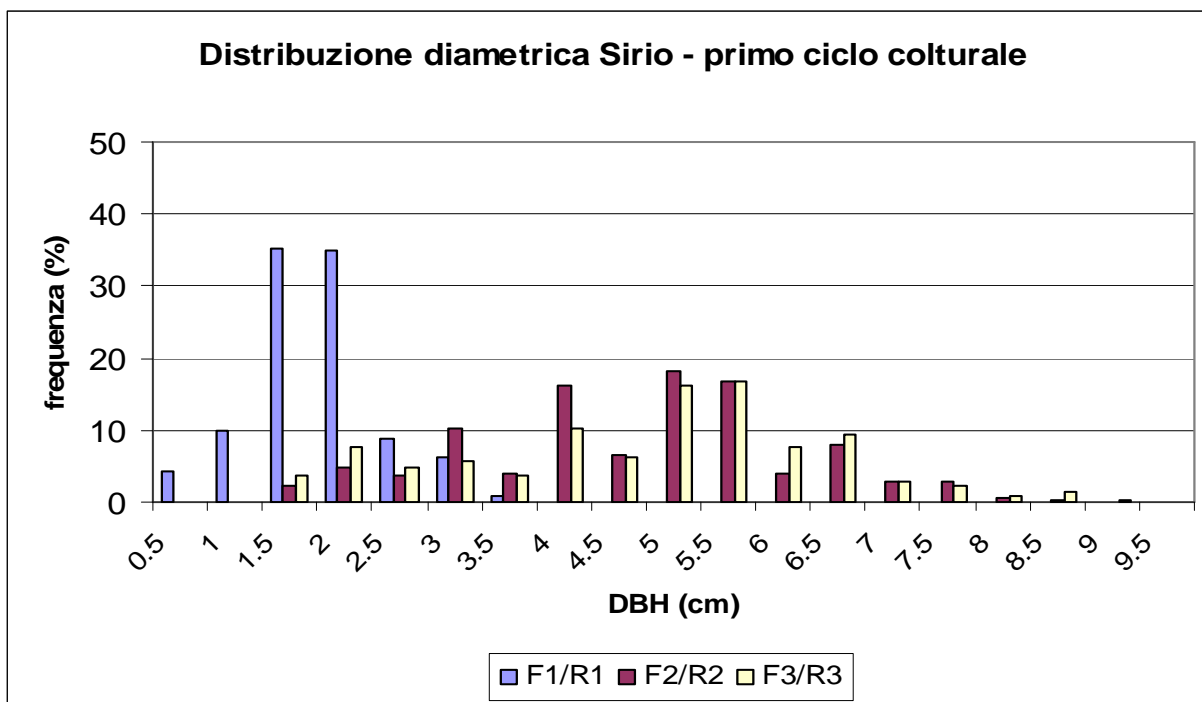


Figura 15. Distribuzione diametrica del clone Sirio al primo ciclo colturale.

Al secondo ciclo colturale già durante la prima stagione vegetativa dopo la ceduzione viene invece emesso un elevato numero di polloni dalla ceppaia la cui distribuzione diametrica tende a non evidenziare differenze di forma nel tempo, presentando una forte asimmetria positiva derivante dalla formazione di un maggior numero di polloni di piccole dimensioni rispetto a pochi polloni più grossi (figura 16). Le distribuzioni diametriche del clone Pegaso sono riportate in Allegato 1.6.

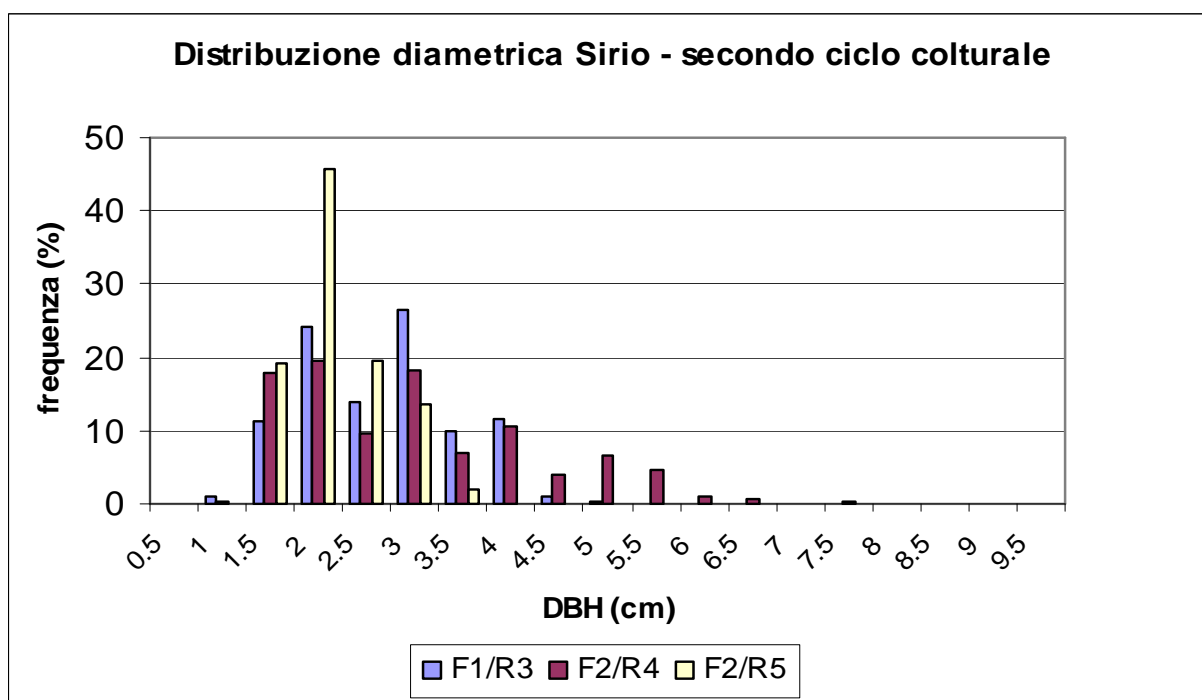


Figura 16. Distribuzione diametrica del clone Sirio al secondo ciclo colturale.

## ALTEZZA MEDIA E CURVE IPSOMETRICHE

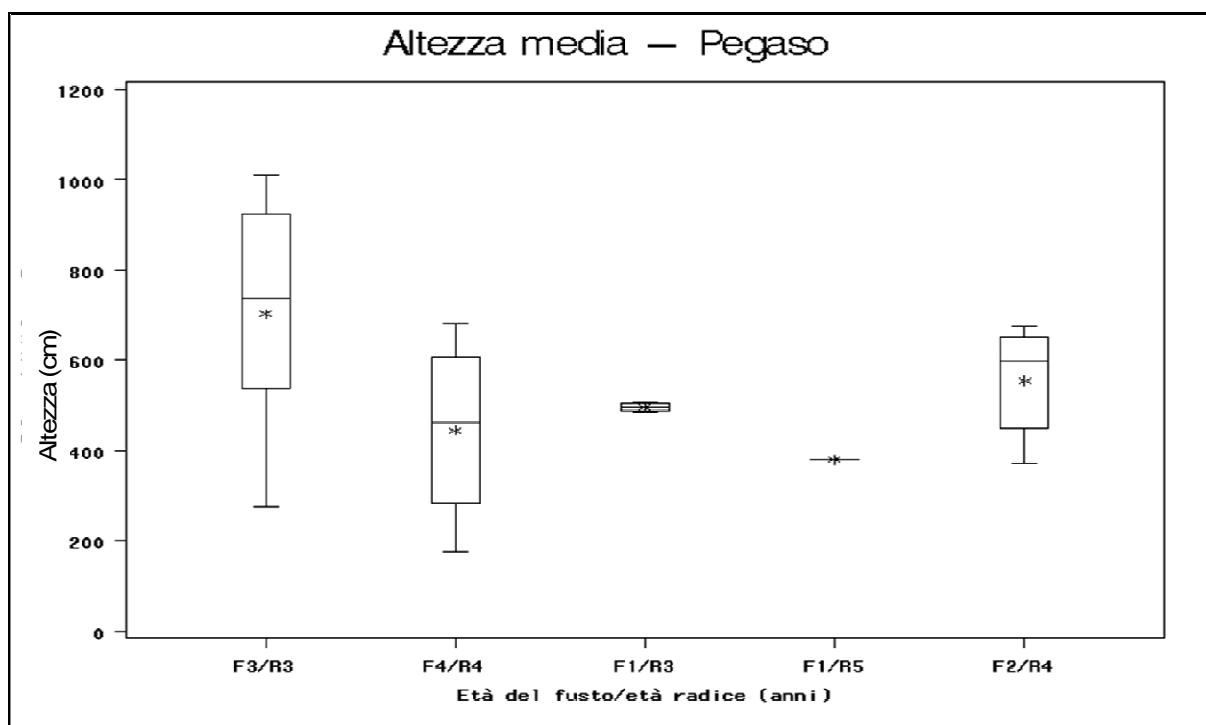


Figura 17. Box-plot relativo all'altezza media di Pegaso a differenti età.

Al termine del primo ciclo colturale il clone Pegaso presenta altezza media variabile da 2,00 m a 10,50 m con un valore medio di 5,99 m mentre al termine del secondo ciclo colturale presenta altezza media variabile tra 3,72 m e 6,75 m con valore medio di 5,55 m non evidenziando differenze statisticamente significative fra i due cicli colturali o al variare dell'età (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P > 0,05$ ) (figura 17).

Durante il primo ciclo colturale il clone Sirio sviluppa al primo anno polloni con altezza media variabile da 2,50 a 3,00 m mentre dopo la seconda stagione vegetativa l'altezza media tende a stabilizzarsi su valori che variano da 5,40 a 8,55 m (tabella 5). L'altezza media cala significativamente nel corso del secondo ciclo colturale rispetto il primo (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $\chi^2=5,0381$ ,  $DF=1$ ,  $P=0,02$ ) nonostante al primo anno (età F1/R3) si registrino valori, variabili da 3,55 a 5,22 m più che doppi rispetto a quelli del primo anno del primo ciclo colturale (età F1/R1); dal termine della seconda stagione vegetativa (età F2/R4) l'altezza media varia da 2,33 a 6,65 m presentando valori inferiori rispetto a quelli registrati al secondo e terzo anno del primo ciclo colturale (età F2/R2, F3/R3) (figura 18).

Mentre tra il primo ed i successivi anni del primo ciclo colturale l'altezza media aumenta significativamente, questo fenomeno non si evidenzia al secondo ciclo colturale dove invece le altezze risultano rimanere costanti nel tempo (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P > 0,05$ ) (figura 17 e 18).

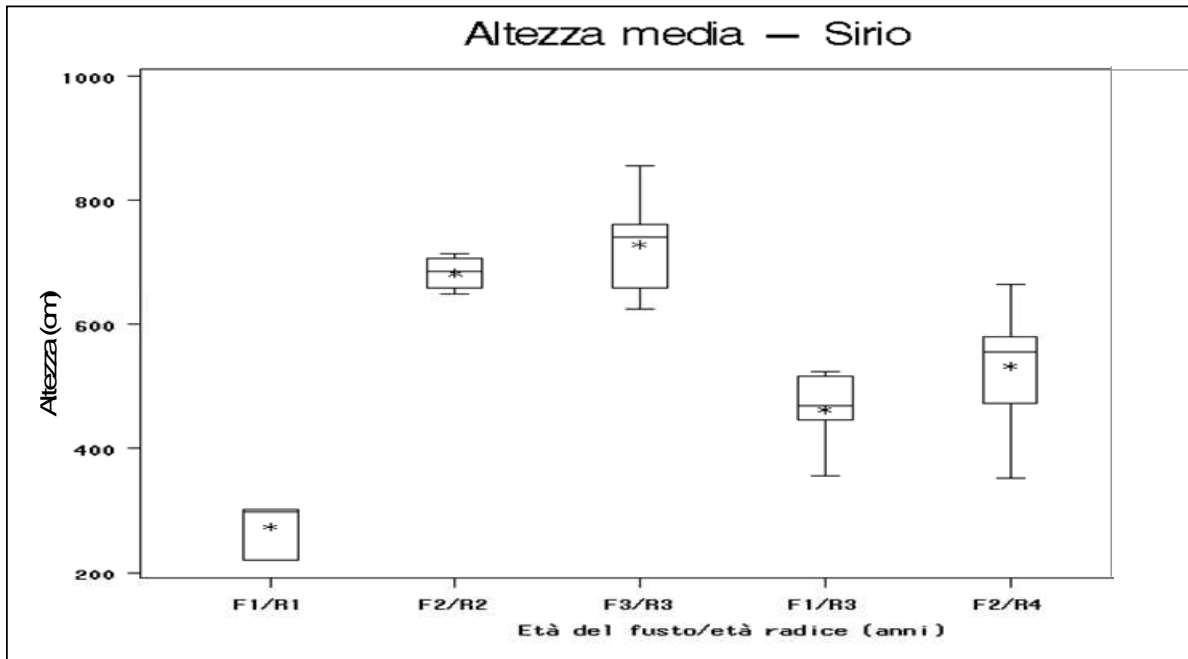


Figura 18. Box-plot relativo all'altezza media di Sirio a differenti età.

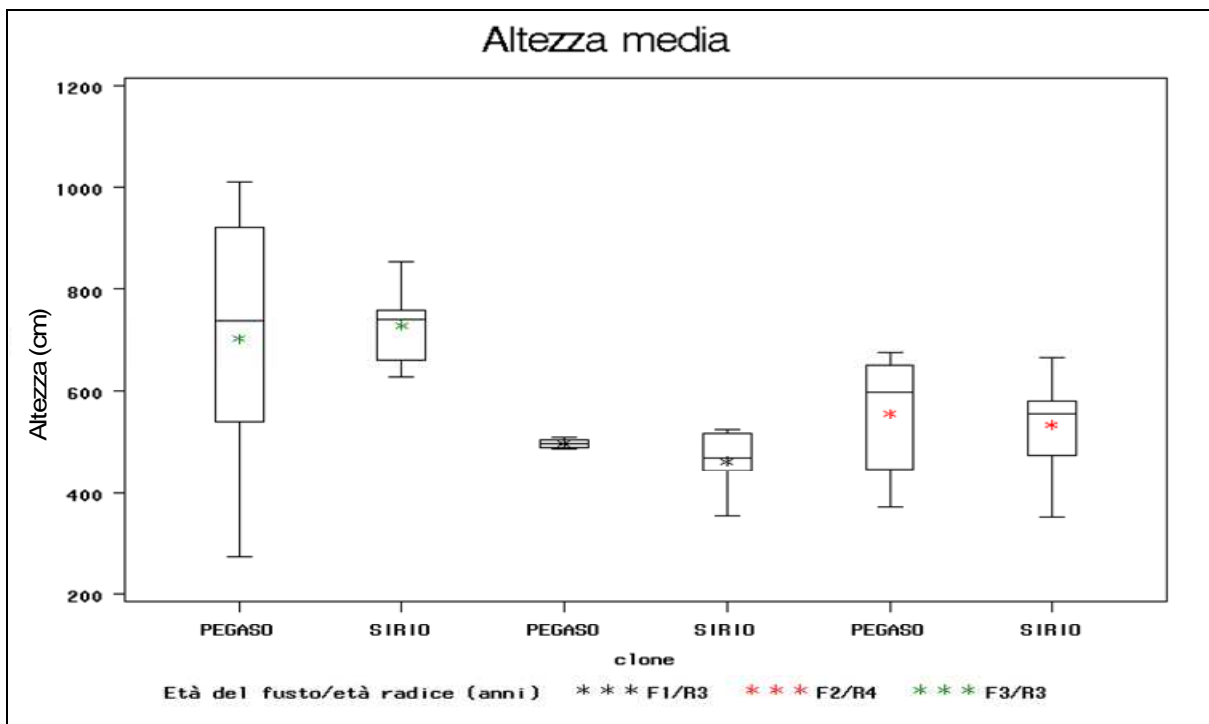


Figura 19. Box-plot relativo dell'altezza media dei due cloni in condizione di coetaneità.

Le altezze medie dei popolamenti costituiti dai due differenti cloni in condizioni di coetaneità (figura 19) non presentano differenze significative (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P > 0,05$ ). Al variare dell'intensità di limitazioni stazionali di carattere pedologico da moderato a severo

non si registrano delle significative diminuzioni in altezza nei due cloni per nessuna delle classi d'età considerate (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P > 0,05$ ).

Dall'applicazione dei modelli di regressione non lineare parabolica (tabella 7) e logaritmica (tabella 8) sono stati ricavati i coefficienti delle curve ipsometriche per ogni clone in condizione di coetaneità.

Dall'analisi dei coefficienti di determinazione, non si evidenziano differenze statisticamente significative (PROC TTEST di SAS,  $P > 0,05$ ) nell'applicazione dei due differenti modelli che risultano quindi ben rappresentare entrambi l'andamento della curva ipsometrica.

clone	Età	N	a	b	c	R <sup>2</sup>
PEGASO	F1/R5	335	-40.7	209.7	-22.23	0.71
PEGASO	F2/R4	558	-71.19	262.9	-20.11	0.89
PEGASO	F3/R3	330	52.53	154.1	-3.05	0.90
PEGASO	F4/R4	31	-38.42	264.8	-22.09	0.92
SIRIO	F1/R1	407	71.87	136.4	-7.59	0.92
SIRIO	F1/R3	232	14.57	219	-22.56	0.85
SIRIO	F2/R2	89	-27.11	189.9	-13.07	0.89
SIRIO	F2/R4	821	18.11	193.7	-11.79	0.76

**Tabella 7. Parametri delle equazioni di regressione non lineare descrittiva della curva ipsometrica coetanea  $H = a + b D + c D^2$ . Legenda: Clone = clone impiegato; Età = età del fusto (anni)/età della radice (anni); N = numerosità del campione; a,b = coefficienti dell'equazione di regressione; R<sup>2</sup> = coefficiente di determinazione.**

Clone	Età	N	a	b	R <sup>2</sup>
PEGASO	F1/R5	335	5.47	0.62	0.68
PEGASO	F2/R4	558	5.31	0.85	0.89
PEGASO	F3/R3	330	5.36	0.76	0.91
PEGASO	F4/R4	31	5.67	0.56	0.85
SIRIO	F1/R1	407	5.33	0.59	0.89
SIRIO	F1/R3	232	5.48	0.59	0.81
SIRIO	F2/R2	89	5.24	0.71	0.88
SIRIO	F2/R4	821	5.33	0.78	0.76

**Tabella 8. Parametri delle equazioni di regressione non lineare descrittiva della curva ipsometrica coetanea  $H = a (D130)^b$ . Legenda: Clone = clone impiegato; Età = età del fusto (anni)/età della radice (anni); N = numerosità del campione; a,b = coefficienti dell'equazione di regressione; R<sup>2</sup> = coefficiente di determinazione.**

Sono state inoltre ricavate le curve ipsometriche relative al clone Pegaso (figura 20) ed al clone Sirio (figura 21) in presenza dei due livelli di limitazioni stazionali di carattere pedologico, mediante l'applicazione del modello di regressione non lineare parabolica (tabella 9) e sono stati ricavati i coefficienti delle curve ipsometriche per ogni clone in diverse condizioni di limitazione stazionale di carattere pedologico.

In presenza di limitazioni stazionali severe la curva ipsometrica presenta maggiore pendenza che in caso di condizioni stazionali migliori, seppur caratterizzate ugualmente dalla presenza di lievi limitazioni alla produzione sia per il clone Sirio che per il clone Pegaso.

CLONE	LIMITI	N	a	b	c	R <sup>2</sup>
PEGASO	Lievi	487	51.44	150.1	-2.68	0.90
PEGASO	Severe	767	58.25	161.4	-2.55	0.88
SIRIO	Lievi	871	62.48	157.8	-10.37	0.85
SIRIO	Severe	678	13.51	219.3	-14.92	0.91

Tabella 9. Parametri delle equazioni di regressione non lineare descrittiva della curva ipsometrica disetanea  $H = a + b D + c D^2$  al variare delle limitazioni stazionali. Legenda: Clone = clone impiegato; Limiti = entità delle limitazioni pedologiche stazionali; N = numerosità del campione; a,b,c = coefficienti dell'equazione di regressione; R<sup>2</sup> = coefficiente di determinazione.

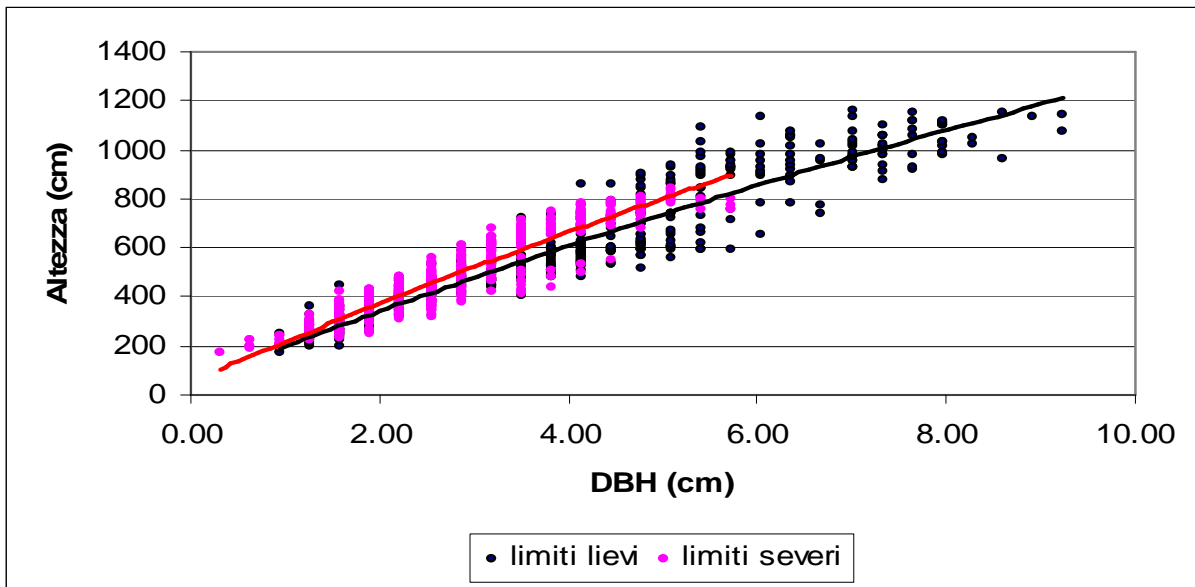


Figura 20. Curve ipsometriche disetanee di tipo parabolico ( $Altezza = a + b DBH + c D^2$ ) del clone Pegaso in condizioni di lievi e severe limitazioni pedologiche stazionali.

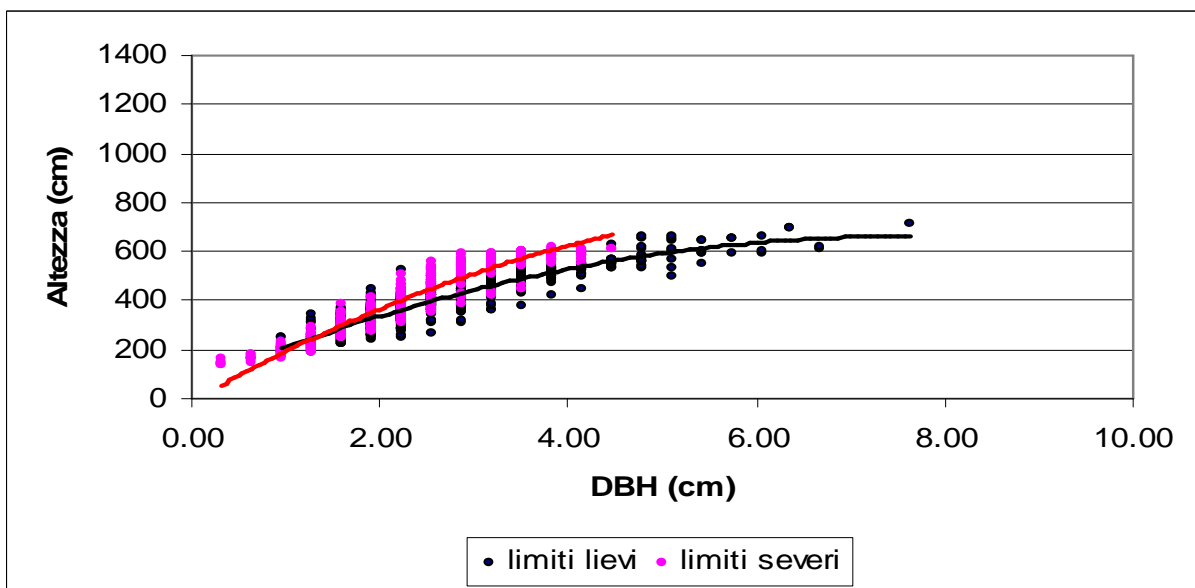


Figura 21. Andamento Curve ipsometriche disetanee di tipo parabolico ( $Altezza = a + b DBH + c D^2$ ) del clone Sirio in condizioni di lievi e severe limitazioni pedologiche stazionali.



CLONE	ETA	LIMITI	N	a	b	c	R <sup>2</sup>
PEGASO	F1/R5	severe	335	40.71	209.4	-22.22	0.71
PEGASO	F2/R4	lievi	204	-13.08	206.2	-15.69	0.94
PEGASO	F2/R4	severe	354	-101.5	209.8	-24.58	0.97
PEGASO	F3/R3	lievi	252	59.64	158.9	-3.87	0.85
PEGASO	F3/R3	severe	78	118.1	117.5	-8.14	0.83
PEGASO	F4/R4	lievi	31	-38.42	264.8	-22.09	0.92
SIRIO	F1/R1	lievi	140	22.56	195.9	-23.35	0.90
SIRIO	F1/R1	severe	267	77.09	127.1	-3.57	0.93
SIRIO	F1/R3	lievi	232	14.57	219	-22.56	0.85
SIRIO	F2/R2	lievi	89	-27.11	189.9	-13.07	0.89
SIRIO	F2/R4	lievi	410	88.55	146.4	-10.21	0.73
SIRIO	F2/R4	severe	411	-159.1	373	-46.49	0.92

**Tabella 10. Parametri delle equazioni di regressione non lineare descrittiva delle curve ipsometriche coetanee  $H = a + b D + c D^2$  per clone al variare delle limitazioni stazionali** Legenda: Clone = clone impiegato; Età = età del fusto/età della radice (anni); Limiti = entità delle limitazioni pedologiche stazionali; N = numerosità del campione; a,b,c = coefficienti dell'equazione di regressione; R<sup>2</sup> = coefficiente di determinazione.

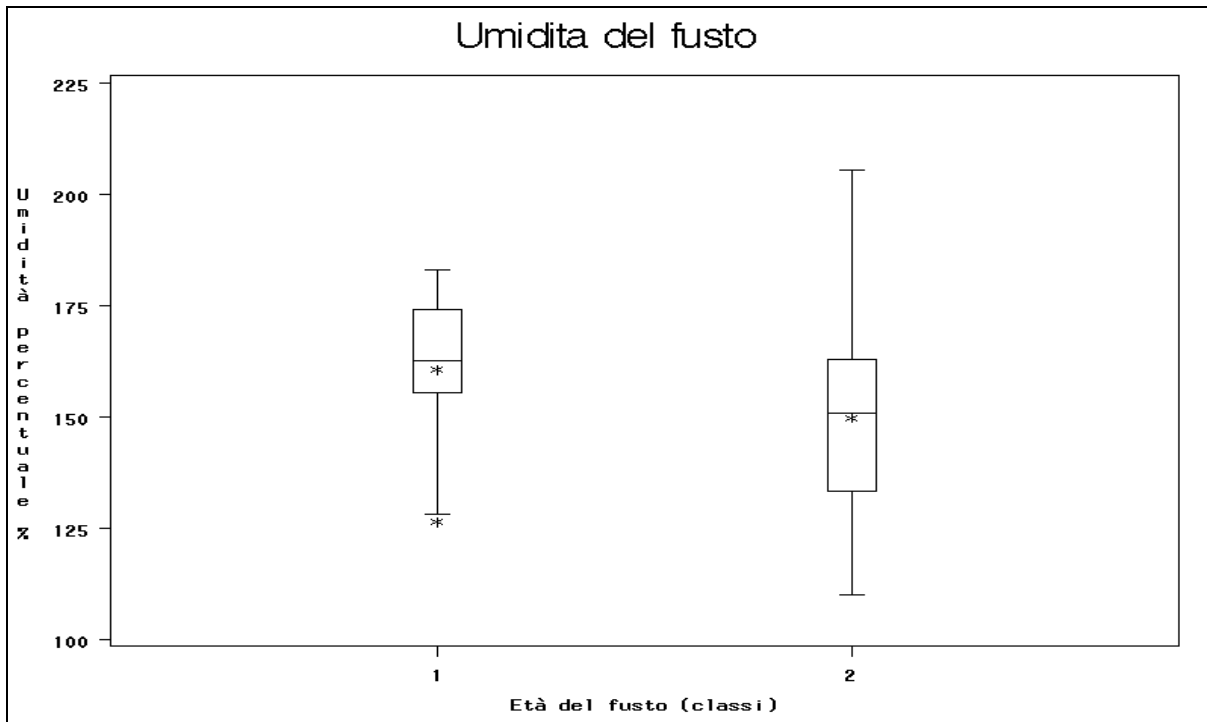
### 2.3.8 Caratteristiche fisiche dei cloni

ETÀ	U (%) ± D.S.		W (%) ± D.S.		DB ± D.S.	
	SIRIO	PEGASO	SIRIO	PEGASO	SIRIO	PEGASO
F1/R1	162.76±3.91	n.d.	59.75±2.35	n.d.	0.38±0.02	n.d.
F2/R2	170.84±10.42	n.d.	62.19±1.63	n.d.	0.31±0.01	n.d.
F3/R3	157.58±2.02	133.82±6.27	60.69±0.29	56.88±1.11	0.31±0.01	0.35±0.03
F4/R4	n.d.	163.02±9.89	n.d.	61.67±1.44	n.d.	0.36±0.01
F1/R3	156.15±10.42	163.96±4.07	60.30±1.53	61.88±0.62	0.33±0.01	0.32±0.00
F1/R5	n.d.	157.18	n.d.	60.25	n.d.	0.35
F2/R4	140.22±10.15	148.34±6.13	57.84±1.71	59.41±0.99	0.34±0.01	0.35±0.02
Media I ciclo	163.87±4.18	145.59±6.99	61.05±0.80	58.79±1.14	0.32±0.01	0.35±0.02
Media II ciclo	148.19±6.47	154.58±4.19	59.07±1.24	60.35±0.67	0.34±0.01	0.34±0.01
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

**Tabella 11: Caratteristiche qualitative del contenuto idrico dei due cloni al variare dell'età.** Legenda: Età = età del fusto/età della radice (anni); U%= umidità sul peso secco (%); W%= umidità sul peso fresco (%); DB = densità basale (g cm<sup>-3</sup>); n.d.: dato non rilevato; n.s. differenze non significative all'analisi statistica.

### UMIDITÀ

L'umidità sul peso secco registrata sui campioni legnosi raccolti durante il riposo vegetativo è molto elevata e rimane costante tra il primo ed il secondo ciclo colturale nei due cloni, attestandosi su valori di 117%-183% per il clone Sirio e di 119%-188% per il clone Pegaso (tabella 11).

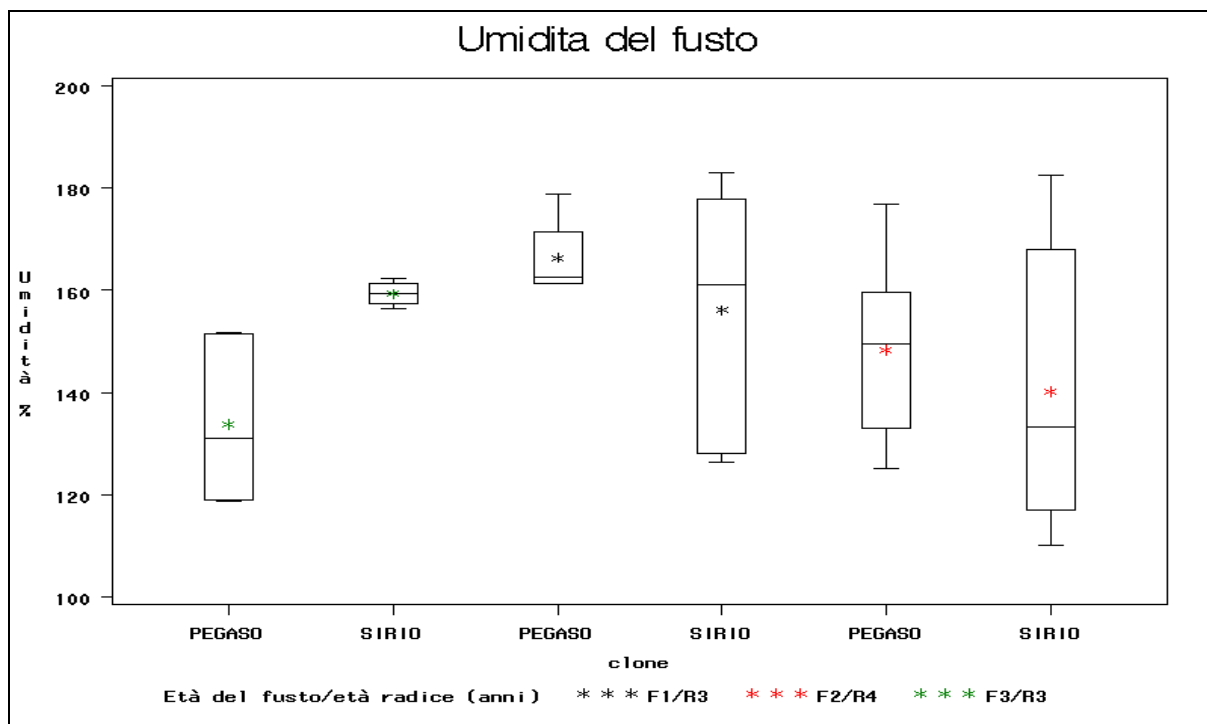


**Figura 22. Box-plot relativo all'umidità (umidità sul peso secco) dei due cloni a differenti età. Legenda. età del fusto (classi): 1: getti di un anno di età; 2: getti di età superiore all'anno.**

L'umidità del fusto per il clone Sirio risulta variare significativamente rispetto l'età del getto: getti di un anno presentano umidità ( $U=160,6\%$ ) significativamente superiore rispetto a getti di età superiore ( $U=149,7\%$ ) (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P<0,05$ ) (figura 22).

Lo stesso fenomeno si evidenzia più marcatamente in Pegaso, con una significativa maggiore umidità nei polloni di un anno di età ( $U=164,5\%$ ) rispetto a quelli di età superiore ( $U=146,7\%$ ) (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P<0,05$ ).

Confrontando i due cloni in condizioni di coetaneità (figura 23) il clone Sirio presenta umidità significativamente superiore rispetto al clone Pegaso solamente durante il primo ciclo colturale, all'età F3/R3 (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P<0,01$ ), mentre non si evidenziano significative differenza di umidità tra i due cloni al secondo ciclo colturale.



**Figura 23. Box-plot relativo all'umidità (umidità sul peso secco) dei due cloni a differenti età.**

In entrambi i cloni l'umidità non varia al variare delle limitazioni stazionali (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P > 0,05$ ).

Non c'è correlazione significativa tra la densità basale e i vari fattori pedologici considerati: contenuto in scheletro, sabbia, limo, argilla, pH (PROC CORR di SAS,  $P > 0,05$ ); si registra invece una significativa correlazione negativa con il contenuto percentuale in carbonati (PROC CORR di SAS,  $R_{\text{Spearman}} = -0,31$ ,  $P = 0,02$ ) e correlazione negativa con il contenuto in sali (PROC CORR di SAS,  $R_{\text{Spearman}} = -0,30$ ,  $P = 0,03$ ).

## DENSITÀ BASALE

Il clone Pegaso ha densità basale di  $0,35 \text{ g cm}^{-3}$  mentre il clone Sirio presenta densità basale di  $0,33 \text{ g cm}^{-3}$  (tabella 11). Non si registrano differenze significative tra i due cloni (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P>0,05$ ).

In entrambi i cloni la densità basale non varia tra il primo ed il secondo ciclo colturale (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P>0,05$ ) né al variare dell'età (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P>0,05$ ) né tra fusti di un anno rispetto fusti più vecchi (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P>0,05$ ).

La densità basale non varia al variare delle limitazioni stagionali (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P>0,05$ ).

Non c'è correlazione significativa tra la densità basale e i vari fattori pedologici considerati: contenuto in scheletro, sabbia, limo, argilla, pH, carbonati, sali (PROC CORR di SAS,  $P>0,05$ ).

## CONTENUTO IDRICO

Al momento della raccolta il contenuto idrico (W%) del materiale fresco per entrambi i cloni è del 58-61%. Per entrambi i cloni il contenuto idrico non varia tra il primo ed il secondo ciclo colturale (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P>0,05$ ) né al variare dell'età (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $P>0,05$ ).

### 2.3.9 Produttività degli impianti

ETÀ	PRODUZIONE ANNUA ALL'ETTARO $\pm$ D.S.		SIGNIFICATIVITÀ
	SIRIO	PEGASO	
F1/R1	1.62 $\pm$ 0.70		
F2/R2	7.03 $\pm$ 2.39		
F3/R3	5.65 $\pm$ 1.31	6.13 $\pm$ 4.52	n.s.
F4/R4		2.57 $\pm$ 1.97	
	*	n.s.	
F1/R3	11.39 $\pm$ 4.90	12.53 $\pm$ 4.05	n.s.
F2/R4	9.04 $\pm$ 3.65	7.51 $\pm$ 4.05	n.s.
F1/R5		10.48	
	n.s.	n.s.	
Media I ciclo colturale	5.25 $\pm$ 2.69	4.71 $\pm$ 4.00	
Media II ciclo colturale	10.12 $\pm$ 4.19	9.52 $\pm$ 4.69	
	*	*	

**Tabella 12. Produzione annua di sostanza secca ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ) nei due cloni a differenti età.**

Tra il peso fresco del pollone medio ed il diametro rilevato a petto d'uomo c'è una stretta correlazione (PROC CORR di SAS;  $R_{\text{Spearman}} = +0,29$ ,  $P=0,007$ ).

Il clone Sirio durante il primo ciclo colturale ha presentato produzioni variabili da un minimo di  $1,77 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  ad un massimo di  $10,14 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  per un valore medio di  $5,25 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  mentre nel secondo ciclo colturale sono state registrate produzioni significativamente maggiori (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $\chi^2=7,39$ ,  $DF=1$ ,  $P=0,0065$ ) variabili da un minimo di  $3,06 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  ad un massimo di  $17,82 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  per un valore medio di  $10,12 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  (tabella 12).

Come si può notare in figura 24, in cui sono riportati i box-plot dell'andamento della produzione annua all'ettaro per diverse età per il clone Sirio, nel corso del primo ciclo colturale questo presenta produzioni al primo anno d'impianto di  $1,77 - 2,23 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ , che risultano essere sensibilmente inferiori rispetto i valori riscontrabili negli anni successivi per cui si registrano invece produzioni di  $3,59 - 10,14 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $\chi^2=6,23$   $DF=2$   $P=0,019$ ).

Durante il secondo ciclo colturale le produzioni rimangono invece su valori medi di  $9,52 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  senza variare sensibilmente nel corso degli anni.

Il clone Pegaso al termine del primo ciclo colturale presenta produzioni annue di sostanza secca medie di  $4,71 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ , che risultano essere significativamente inferiori rispetto a quelle registrate per il secondo ciclo colturale, con un valore medio di  $9,52 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  (PROC NPAR1WAY di SAS, test di Kruskal-Wallis,  $\chi^2=4,73$   $DF=1$   $P=0,0296$ ).

Prolungando la lunghezza del ciclo colturale dai 2 anni previsti ai 3 e 4 registrati nelle aree di saggio analizzate, come mostrato in figura 25, non si determina un significativo aumento della produzione.

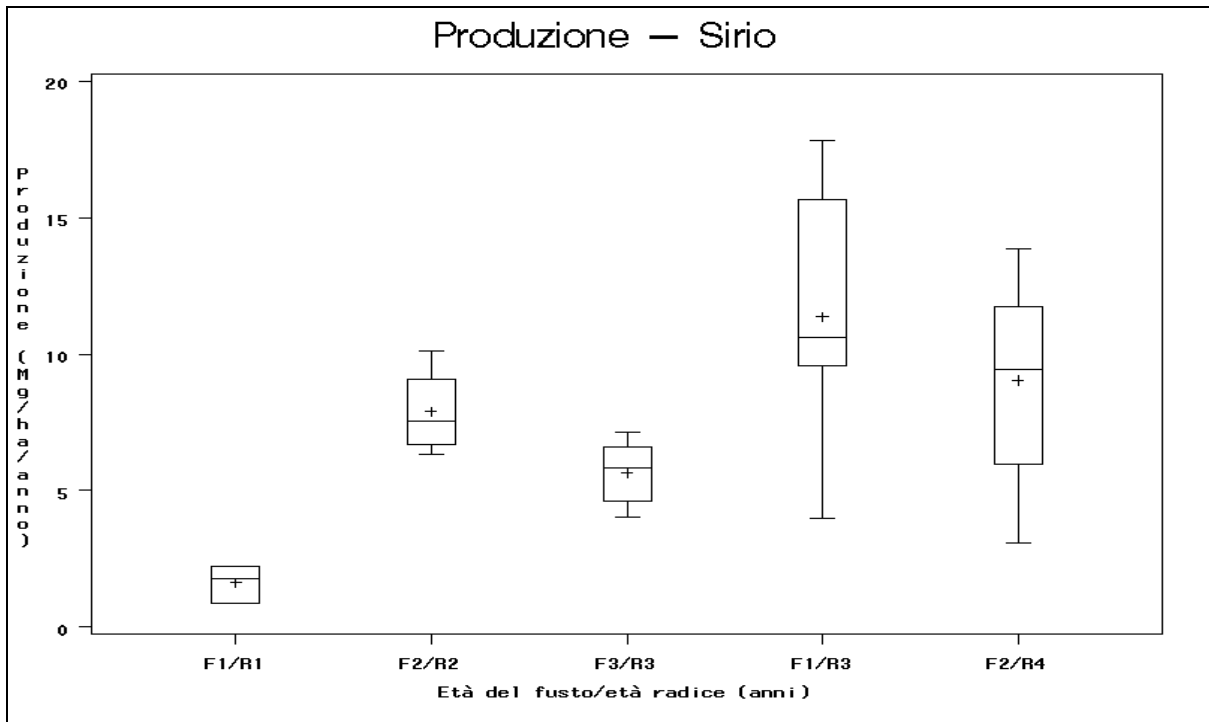


Figura 24. Box-plot produzione di sostanza secca ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ) del clone Sirio.

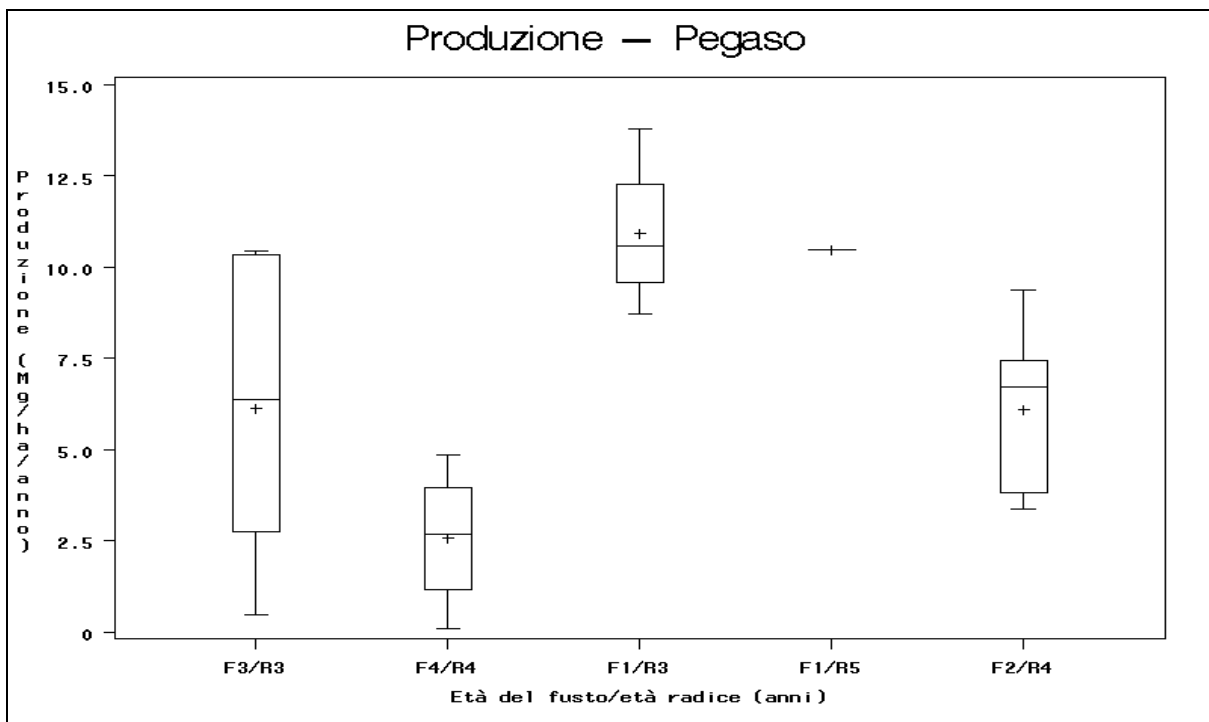


Figura 25. Box-plot della produzione di sostanza secca ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ) del clone Pegaso.

Confrontando il comportamento dei due cloni in condizioni di coetaneità, non sono emerse differenze statisticamente significative all'analisi della varianza della produzione annua all'ettaro (figura 26).

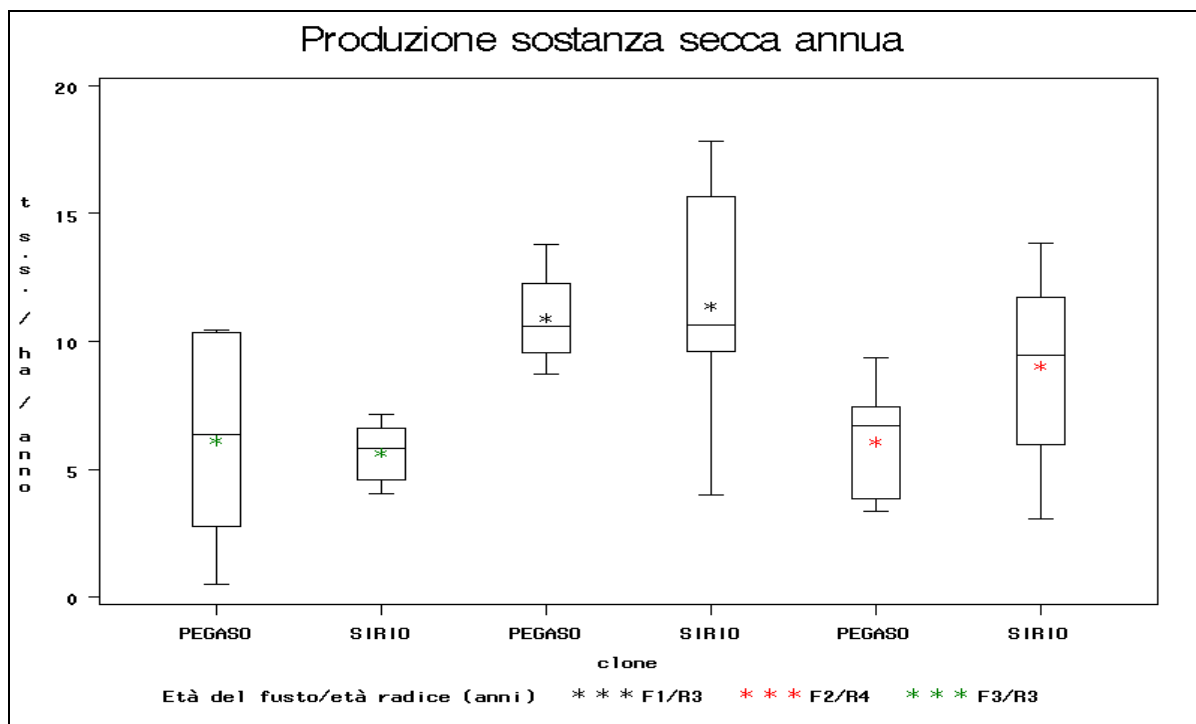


Figura 26. Box-plot relativo della produzione di sostanza secca ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ) dei due cloni in condizione di coetaneità.

Considerando la correlazione tra la produzione ed i tassi di mortalità delle ceppaie, la media di getti emessi per ceppaia e la densità di polloni all'ettaro secondo le differenti intensità di limitazioni pedoclimatiche individuate nelle aree di saggio, emerge come la produzione di biomassa per il clone Pegaso durante il primo ciclo colturale sia significativamente correlata negativamente alla mortalità delle ceppaie mentre sia positivamente correlata alla densità di polloni all'ettaro a prescindere dall'intensità dei fattori pedologici limitanti (tabella 13).

CLONE	CICLO COLTURALE	LIMITI STAZIONALI	Media getti per ceppaia	Mortalità delle ceppaie	Densità dei polloni
Pegaso	1	Moderati	-0.2143	-0.7521*	0.7143*
Pegaso	1	Severi	0.5030	-0.9879***	0.9895***
Pegaso	2	Moderati	0.5666	-0.1864	0.5500
Pegaso	2	Severi	0.1259	-0.7100	0.0450
Sirio	1	Moderati	0.4865	-0.4684	0.5000
Sirio	1	Severi	-0.6000	-0.4286	0.2571
Sirio	2	Moderati	0.5818*	-0.1839	0.4183
Sirio	2	Severi	0.8520	-0.8000	0.9684***

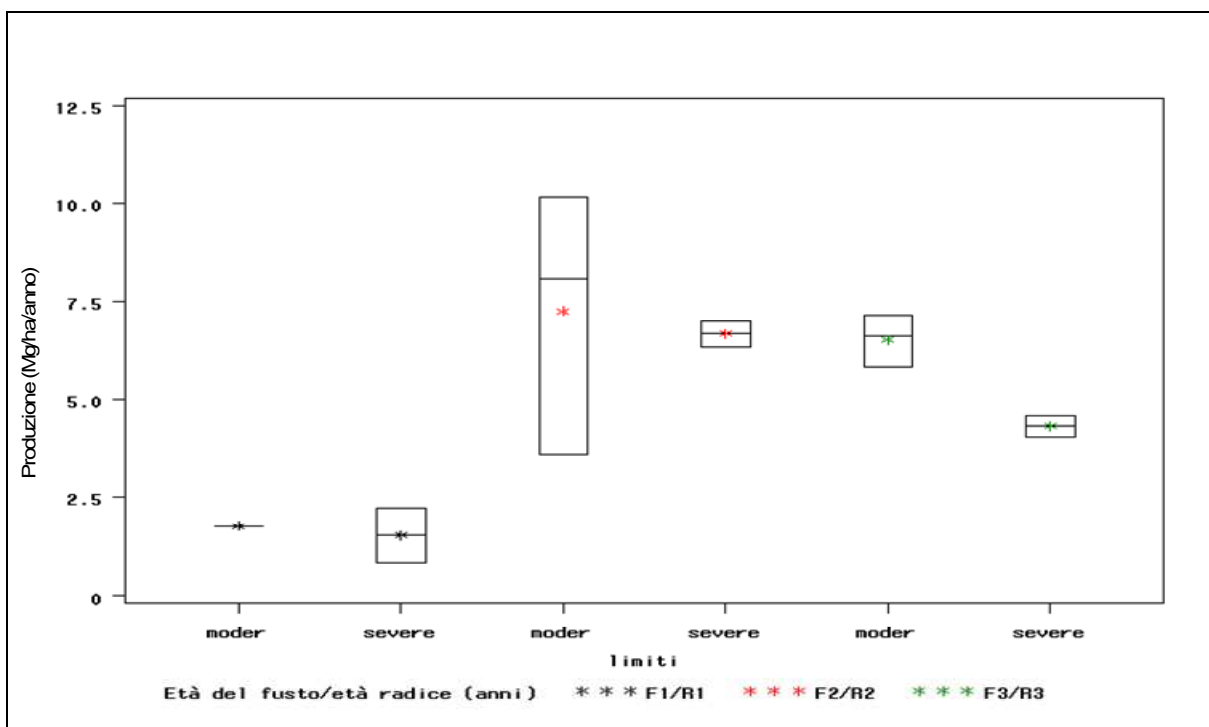
Tabella 13. Coefficienti di correlazione per ranghi di Spearman calcolati tra la produzione all'ettaro annua di Mg sostanza secca rispetto la media dei getti emessi per ceppaia, la mortalità delle ceppaie, la densità dei polloni all'ettaro. Legenda: ciclo colturale: 1= primo ciclo colturale, 2=secondo ciclo colturale; \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$ .

Considerando l'influenza dei fattori pedologici, è emersa una correlazione negativa tra la produzione e il contenuto in scheletro del suolo per il clone Pegaso alle età F2/R4 (PROC CORR di SAS,  $R_{\text{Spearman}} = -0,69$ ,  $P < 0,05$ ) e all'età di F3/R3 (PROC CORR di SAS,  $R_{\text{Spearman}} = -0,77$ ,  $P < 0,05$ ).

È emersa invece una correlazione positiva tra la produzione ed il contenuto in sali per il clone Sirio all'età F2/R4 (PROC CORR di SAS,  $R_{\text{Spearman}} = +0,79$ ,  $P < 0,05$ ) ed una correlazione positiva con il contenuto in carbonati sia per il clone Pegaso, età F3/R3 (PROC CORR di SAS,  $R_{\text{Spearman}} = +0,83$ ,  $P < 0,05$ ) che per Sirio, età F4/R4 (PROC CORR di SAS,  $R_{\text{Spearman}} = +0,75$ ,  $P < 0,05$ ).

Considerando l'influenza della presenza di due livelli di intensità di limitazioni di carattere pedologico sulla produzione di biomassa, l'analisi della varianza ha evidenziato come questa non risenta significativamente della diverse condizioni stazionali, di carattere 'moderato' o 'severo', tranne che nel caso del clone Sirio al terzo anno dall'impianto ed al secondo anno dopo la ceduzione (figura 27).

In tabella 14 sono riportati i coefficienti delle relazioni allometriche tra peso fresco e peso secco del pollone medio, calcolati mediante regressione lineare di un modello a una variabile passante per l'origine (PROC REG di SAS). Il coefficiente di determinazione ( $R^2$ ) è molto elevato e presenta un valore medio, calcolato su 6 valori, di  $0,9962 \pm 0,0029$  per il clone Sirio e valore medio, calcolato su 5 valori, di  $0,9916 \pm 0,0097$  per il clone Pegaso.



**Figura 27. Box-plot della produzione di biomassa del clone Sirio al primo ciclo culturale: la produzione annua di biomassa risulta lievemente inferiore con limitazioni pedologiche severe, tranne che al terzo anno dove è significativamente inferiore.**



Età	SIRIO			PEGASO		
	a	N	R <sup>2</sup>	a	N	R <sup>2</sup>
F1/R1	0,3601	19	0,9980	n.d.	n.d.	n.d.
F2/R2	0,3722	69	0,9914	n.d.	n.d.	n.d.
F3/R3	0,3655	72	0,9976	0,3925	99	0,9887
F4/R4	n.d.	n.d.	n.d.	0,4433	34	0,9979
F1/R3	0,3771	65	0,9968	0,3879	54	0,9968
F1/R5	n.d.	n.d.	n.d.	0,4401	12	0,9991
F2/R4	0,3735	90	0,9940	0,4113	101	0,9758

**Tabella 14: Relazioni allometriche tra peso secco e peso fresco per i due cloni di pioppo al variare dell'età: coefficienti delle equazioni  $y = a x$  (y e x espressi in g). Legenda: Età = età del fusto/età della radice; N. = numerosità del campione; a = coefficiente di regressione; R<sup>2</sup> = coefficiente di determinazione; n.d. dato non disponibile.**

L'analisi della regressione non lineare (PROC NLIN di SAS) del peso secco sul diametro rilevato a petto d'uomo ha permesso di ottenere i coefficienti del modello di regressione a due parametri passante per l'origine; il modello impiegato è:  $P_s = a (DBH)^b$ .

I coefficienti di determinazione (R<sup>2</sup>) calcolati risultano essere bassi in caso di equazioni clone-specifici, spiegando poco più del 50% della varianza (R<sup>2</sup> medio=0,56±0,06), mentre i coefficienti di determinazione aumentano di valore considerando modelli di regressione generalizzati per clone-ciclo culturale e presenza di limitazioni pedologiche (R<sup>2</sup> medio=0,78±0,08) andando quindi a spiegare più del 69% della varianza (Allegato 1.7, tabella 3).

Le equazioni allometriche ottenute risultano non essere sito-specifiche in quanto gran parte della varianza non spiegata deriva da sistematiche variazioni allometriche legate al sito ed all'età, palese limite intrinseco dell'analisi sincronica.

L'analisi della regressione non lineare (PROC NLIN di SAS) tra il peso secco ed il diametro alla base del pollone medio, prodotta applicando il modello  $PS = a (d_{10})^b$ , ha evidenziato coefficienti di determinazione (R<sup>2</sup>) elevati; R<sup>2</sup> risulta aumentare passando da equazioni clone-specifiche, in cui viene spiegato il 52% della varianza, a modelli comprensivi anche della presenza di limitazioni stazionali e differenziati per ciclo culturale (R<sup>2</sup>=0,78±0,08) che consentono di spiegare oltre il 69% della varianza, come presentato in Allegato 1.7, tabella 4, risultando quindi il diametro rilevato alla base del pollone la variabile che meglio esprime questa relazione.

## 2.4 *Discussione*

### 2.4.1 Modello colturale e superfici investite

La superficie media d'impianto presenta valori in linea con i dati riscontrati in uno studio condotto nel vicino Veneto su 112 aziende agricole, dove sono stati realizzati impianti con superficie variabile tra 0,3 ha e 9,4 ha, per una superficie media di 2,4 ha (Facciotto 2009). Le ridotte dimensioni degli appezzamenti realizzati riflettono da una parte quella che è la realtà della struttura agricola dell'Italia nord-orientale, caratterizzata da una forte parcellizzazione delle aziende, aventi piccole o piccolissime dimensioni con SAU media aziendale di 5,1 ha (Forconi 2007), e dall'altra le indicazioni fornite nei Bandi di finanziamento: il Bando-Regolamento relativo all'imboschimento dei terreni agricoli (Misura h) e dei terreni non agricoli (Misura i1) del Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006 della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia prevedeva infatti superfici minime d'intervento di 5.000 m<sup>2</sup> in corpo unico mentre per superfici superiori ai 10.000 m<sup>2</sup> venivano ammessi a contributo lotti non accorpatis con superficie minima di 3.000 m<sup>2</sup>.

Le dimensioni medie degli appezzamenti realizzati sono inferiori rispetto a quelli ottimali per una gestione proficua della SRF in quanto, per le problematiche legate agli interventi di raccolta e trasformazione finale del prodotto, si richiedono dimensioni maggiori per i singoli corpi al fine di massimizzare le rese dei macchinari impiegati per la raccolta riducendo al minimo i costi dell'operazione (Facciotto e Mughini 2003; Forconi 2007); possibile soluzione potrebbe essere l'aumento del limite minimo delle superfici d'impianto ammissibili a finanziamento o la formazione di consorzi (Spinelli 1999).

Gli impianti sono stati realizzati su terreno piano al fine di consentire una gestione con un'elevata meccanizzazione delle operazioni colturali (Agostinetto 2004a).

### 2.4.2 Realizzazione e gestione degli impianti

Il materiale d'impianto impiegato per la realizzazione degli impianti SRF friulani è omogeneamente costituito da talee legnose; la scelta di questa tipologia di materiale è derivata dall'unicità del fornitore ed è stata inoltre determinata dal basso costo di produzione del materiale stesso, a causa della sua elevata maneggevolezza e dall'esistenza di un livello di meccanizzazione già elevato e dall'elevata capacità di attecchimento delle talee di pioppo (Mitchell *et al.* 1999; Balsari *et al.* 2002).

La tipologia di conduzione della SRF negli impianti friulani è risultata essere analoga alla gestione agricola di carattere industriale (Strauss *et al.* 1990; Facciotto e Mughini 2003; Spinelli *et al.* 2006; Forconi 2007) piuttosto che una pratica selvicolturale, in quanto caratterizzata da una serie di fasi ed operazioni colturali tipiche dell'agronomia quali il controllo delle infestanti, la fertilizzazione,

l'irrigazione, il controllo fitosanitario e la presenza di una meccanizzazione spinta (Spinelli e Verani 2000; Spinelli *et al.* 2006b; Spinelli *et al.* 2006c; Pari 2007; Sissot *et al.* 2009). Tutti gli interventi colturali sono stati realizzati con analoghe modalità come conseguenza delle indicazioni dell'unico fornitore del materiale vivaistico e della ditta che ha realizzato gli impianti.

Gli interventi di diserbo sono stati eseguiti durante il primo anno di ogni ciclo colturale in tutti gli impianti analizzati, al fine di evitare che la competizione con le infestanti erbacee potesse andare a minacciare lo sviluppo delle pioppelle, e quindi la produzione di biomassa, a causa della bassa competitività rispetto altre specie erbacee delle *Salicacee* in quanto piante tipicamente pioniere (Hansen 1991; Sage 1998; Mitchell *et al.* 1999; Proe *et al.* 1999; Karacic 2005). Soprattutto nei primi stadi di sviluppo se non adeguatamente contenute infestanti erbacee quali *Convolvulus arvensis* L. o *Rumex* ssp. (Sage 1998), possono limitare l'attecchimento delle talee soffocando i germogli emessi, determinando limitazioni sino al 50% dell'accrescimento delle piantine in seguito all'instaurarsi di fenomeni di competizione per lo spazio e gli elementi nutritivi (Covarelli *et al.* 2009). Tali interventi risultano essere un'operazione onerosa per l'imprenditore agricolo (Bergante *et al.* 2006).

Nonostante diversi Autori consiglino la realizzazione di interventi di concimazione di tipo chimico od organico, consistenti in una concimazione di fondo prima della realizzazione dell'impianto e di concimazioni di mantenimento da effettuarsi dopo ogni ceduazione entro il raggiungimento di 50-60 cm in altezza per evitare difficoltà nel passaggio dei mezzi meccanici (Mitchell *et al.* 1999; Bergante *et al.* 2006), al fine di preservare la fertilità del suolo minacciata da possibili fenomeni di depauperamento conseguenti alla periodica rimozione di tutta la biomassa epigea (Facciotto 2006b), queste operazioni non sono state eseguite a causa dei loro elevati costi.

Interventi di irrigazione di soccorso non sono stati realizzati sebbene il ricorso ad essi fosse previsto nei primi due anni dell'impianto e nonostante la documentata stretta relazione tra gli adacquamenti e l'incremento in produzione (Facciotto e Mughini 2003) a causa della forte onerosità dell'intervento.

Gli interventi di controllo fitosanitario nei pioppeti considerati si sono concentrati sui principali agenti fitosanitari: il coleottero defogliatore *Melasma populi* L. (crisomela) ed il curculionide *Cryptorhynchus lapathi* L. (punteruolo del pioppo) nonostante in letteratura siano riportati oltre un centinaio di altri agenti in grado di causare ingenti danni economici alla coltura (Sage 1998) per l'elevata suscettibilità delle piantagioni derivante dalle elevatissime densità d'impianto, la monoclonalità, la giovane età del materiale vegetale ed il microclima molto umido che tende ad instaurarsi all'interno delle piantagioni (Mitchell *et al.* 1999; Facciotto e Mughini 2003). Tra gli insetti fitofagi di rilevante importanza per la SRF italiana è possibile citare: saperda maggiore del pioppo (*Saperda carcharias* L.) ed ifantria americana (*Hyphantria cunea* Drury) (I.S.P. 2002; Allegro *et al.* 2007), mentre tra i principali agenti patogeni si ricordano *Melampsora larici-populina* Kleb.; tra le fitopatie si riportano la bronzatura causata da *Marssonina brunnea* (Ell. Et Ev.) P. Magn. e le ruggini (ISP 2002; Lonsdale *et al.* 2002; Facciotto e Mughini 2003; Laureysens *et al.* 2005a; Covarelli *et al.*

2007) che risultano attualmente essere tra le più pericolose fitopatie in caso di comparsa estiva (Beccari *et al* 2007).

Nonostante a tutt'oggi non siano completamente noti né l'epidemiologia né i potenziali danni delle avversità nelle SRF (Giorcelli *et al.* 2008), diversi Autori evidenziano come il margine di tolleranza degli attacchi in queste colture sia molto più elevato rispetto la pioppicoltura tradizionale in quanto la produzione può venire significativamente intaccata solo in seguito a severe defogliazioni (Sage 1998), mentre al contempo i trattamenti risultano economicamente rilevati nel bilancio finale della coltura (Beccari *et al* 2007). I trattamenti di controllo fitosanitario vanno quindi realizzati prevalentemente in un'ottica di prevenzione di gravi perdite produttive o per prevenire alla formazione di focolai d'infezione o di bacini di patogeni (come il punteruolo del pioppo) che potrebbero migrare a danno delle altre colture di pioppo (Allegro *et al.* 2007; Giorcelli *et al.* 2008).

Il controllo delle infestanti erbacee risulta presentare un effetto positivo sullo stato fitosanitario dei popolamenti in quanto permette di interrompere una successione vegetazionale che porterebbe all'avvento di specie perennanti o suffruticose capaci di costituire *habitat* favorevoli allo sviluppo di vari insetti xilofagi, tra cui *Saperda carcharias* L. (Barani *et al.* 2000; Giorcelli *et al.* 2009), mentre al contrario problematiche possono derivare dal modello culturale stesso: l'elevatissima densità d'impianto determina non irrilevanti problematiche di carattere logistico nella realizzazione degli interventi (Bisoffi e Facciotto 2000; Bergante e Facciotto 2006) mentre la ceduzione, nonostante l'eliminazione di tutta la biomassa epigea, non risulta essere uno strumento utile all'abbattimento dei parassiti, quali il punteruolo, capaci di permanere nelle ceppaie (Facciotto e Mughini 2003; Giorcelli *et al.* 2008). Rimane quindi fondamentale l'impiego di cloni selezionati e resistenti alle principali avversità o l'impiego di più cloni per aumentare la biodiversità all'interno della piantagione (Lonsdale *et al.* 2002; Proe *et al.* 1999; CRPV 2006), scegliere accuratamente il sito d'impianto, contenere le malerbe e limitare gli interventi ai soli melasoma e punteruolo (Bergante *et al.* 2006).

La raccolta è stata effettuata durante la stagione di riposo vegetativo al fine di limitare l'insorgere di stress per la pianta derivanti da compattazione del suolo per il passaggio dei grossi mezzi meccanici impiegati, minimizzare l'asportazione di nutrienti dal suolo e limitare il contenuto di umidità nel materiale legnoso (Makeschin 1999; Mitchell *et al.* 1999; Karacic 2005).

Attualmente nessuno degli impianti realizzati in Friuli-Venezia Giulia e considerati in questo studio ha raggiunto il termine del ciclo produttivo dell'impianto previsto a 10 (Bonari e Villani 2004) o 15 (Facciotto 2009) anni dalla realizzazione dell'impianto, dopo cui è prevista l'eliminazione delle ceppaie al fine di liberare il terreno per le colture successive mediante impiego di trivelle (Covarelli *et al.* 2009) o mediante devitalizzazione chimica delle ceppaie prima dell'espianto in modo da evitare l'emissione di ricacci da eventuali residui di radice permanenti nel terreno (Giorcelli *et al.* 2009).

### 2.4.3 Analisi delle limitazioni pedologiche stazionali

Le limitazioni stazionali di carattere pedologico risultano essere presenti in tutte le aree di saggio considerate, con intensità variabile dal “moderato” al “severo” derivanti dalla presenza di fattori chimico – fisici del terreno sfavorevoli alla produzione del pioppo (Frison 1980; Giordano 2002) quali l’eccessivo contenuto in sali, che può determinare appassimento e riduzione nell’accrescimento, e l’elevato contenuto in carbonati, che può determinare l’insorgenza di fenomeni di clorosi ferrica, andando quindi a determinare *performance* produttive inferiori a quelle potenzialmente ottenibili in condizioni pedologiche stazionali ottimali (Facciotto *et al.* 2007; CNER 2006; CRPV 2006).

Nonostante il favorevole impatto ambientale di queste piantagioni, a causa della scarsità di terreni agricoli a loro disposizione in tutta Europa, come già riportato ad esempio per il Belgio da Laureysens I. *et al.* (2005b) a queste colture vengono generalmente destinati i terreni a *set-aside* oppure quelli più marginali o leggermente inquinati.

### 2.4.4 Cloni impiegati e confronto clonale

L’impiego di due unici cloni di pioppo in tutti gli impianti investigati è diretta conseguenza dell’unicità del selezionatore, la ditta Allasia Franco Vivai di Cavallermaggiore (CN), che ha provveduto alla loro creazione mediante tecniche di miglioramento genetico (Bisoffi *et al.* 2009), sperimentazione, brevettazione ed iscrizione al Registro Nazionale dei Cloni Forestali per le loro caratteristiche di pregio ed idoneità alla coltivazione (Sekawin e Avanzo 1980; Bartolini 2007) in quanto in grado di garantire produzioni maggiori rispetto gli altri cloni non selezionati, come ad esempio il clone I-214 (Facciotto 2009), alle medesime condizioni stazionali.

La realizzazione di confronti clonali in condizioni di coetaneità, proprio a causa della metodologia aleatoria di selezione delle aree di saggio, è stata possibile solamente su un ridotto numero di condizioni, ed è risultato essere un limite di questo lavoro.

### 2.4.5 Mortalità delle ceppaie

Il clone Sirio è caratterizzato da una maggior capacità di attecchimento delle talee rispetto al clone Pegaso, nonostante presenti un tasso di mortalità superiore ai valori evidenziati in studi condotti nella pianura padana al termine del primo ciclo colturale, pari al 10% (Minotta e Muzzi 2007).

Gli elevati tassi di mortalità registrati in fase di attecchimento dalle talee rispecchiano i valori già riscontrati in impianti sperimentali di pioppo realizzati in Belgio (Laureysens *et al.* 2003) mentre risultano superiori a quanto evidenziato in impianti sperimentali dell’Europa settentrionale, per cui si riportano tassi di mortalità dell’1-8% od anche superiori in caso di presenza di problematiche

pedologiche o di diverse capacità di adattamento alle differenti condizioni stagionali di tipo clone-specifiche (Armstrong 1999; Proe *et al.* 1999; Laureysens *et al.* 2003).

Nonostante in letteratura studi condotti in parcelle sperimentali riportino tassi di mortalità delle ceppaie che tendono da aumentare al progredire del numero di ceduazioni (Verwijst 1996; Ceulemans and Deraedt 1999; Laureysens *et al.* 2003; Laureysens *et al.* 2005a) questo andamento non è stato evidenziato negli impianti oggetto di questo studio a ragione del fatto che sono stati eseguiti solamente due cicli colturali che non hanno ancora permesso il manifestarsi di tale fenomeno.

## 2.4.6 Emissione di getti della ceppaia

L'emissione di un elevato numero di polloni di piccole dimensioni dalla ceppaia a seguito della ceduazione è favorita dalla presenza di un preesistente ed affermato apparato radicale costituito durante il primo anno del primo ciclo colturale (Ceulemans *et al.* 1996; Laureysens *et al.* 2003; Laureysens *et al.* 2005a; Laureysens *et al.* 2005b). Nel corso del secondo ciclo colturale, come già evidenziato da Ceulemans and Deraedt (1999), la numerosità dei getti emessi dalle ceppaie tende a ridursi progressivamente, come conseguenza dei forti fenomeni di competizione che tendono ad instaurarsi a livello di ceppaia tra i polloni dominanti e quelli dominati che tendono quindi ad essere progressivamente eliminati (Laureysens *et al.* 2005b); si evidenzia un differente comportamento tra i due cloni: mentre il clone Pegaso tende a mantenere nel tempo un basso numero di polloni per ceppaia il clone Sirio tende invece ad emetterne subito dopo il taglio un elevato numero destinato rapidamente a diminuire nel tempo a causa della maggior competizione per la luce (Laureysens *et al.* 2003) a livello di singola ceppaia che tende ad instaurarsi tra i numerosi getti vitali emessi.

L'elevata densità dei polloni all'ettaro riscontrata negli impianti friulani viene garantita dall'elevata numerosità di ricacci emessi che riesce a sopperire all'elevato tasso di mortalità delle ceppaie.

I valori di densità di polloni all'ettaro riscontrati a seguito della ceduazione risultano essere significativamente superiori rispetto al primo ciclo colturale per entrambi i cloni grazie ai forti accrescimenti garantiti dai polloni che risultano essere in grado di determinare una rapida chiusura del popolamento già nel corso della prima stagione vegetativa grazie al forte sviluppo delle chiome andando quindi a garantire un rapido ed efficiente utilizzo dello spazio (Blake 1983; Laureysens *et al.* 2005a).

## 2.4.7 Analisi dendrometrica

### **DIAMETRO ALLA BASE**

I valori di diametro alla base riscontrati al termine del primo ciclo colturale per i due cloni risultano in linea con i valori di 5,1 cm rilevati in studi condotti in Italia centrale con medesimo modello colturale su pioppi selezionati per la produzione di biomassa (Baldini *et al.* 2009).

Considerando il comportamento generale dei popolamenti, si evidenzia un significativo incremento del diametro alla base all'aumentare dell'età dei polloni con diametri significativamente superiori alle età di F2/R2, F3/R3, F4/R4 del primo ciclo colturale rispetto i getti di un anno (F1/R1, F1/R3) mentre intermedi risultano essere i valori ad età F2/R4, a conferma del fatto durante il primo ciclo colturale la ceppaia formi un limitato numero di getti di dimensioni elevate che tendono ad ingrandirsi considerevolmente dopo il primo anno.

### **DIAMETRO A PETTO D'UOMO**

Il clone Sirio al primo anno dall'impianto produce polloni con diametro medio di circa 1,70 cm valore che risulta analogo a quelli di 1,62 cm-1,88 cm riscontrati in studi condotti in impianti sperimentali Italia centrale (Verani *et al.* 2007), mentre al secondo anno dall'impianto presenta un valore medio superiore rispetto ai valori di 3,30-4,45 cm registrati nel succitato studio, tali valori risultano comparabili con quelli riscontrati in studi condotti in Italia centrale negli anni '70, dove si registrarono diametri di 2,80 cm alla fine del primo ciclo colturale e di 4,80 cm alla fine del secondo ciclo colturale (Giordano 1974).

Al secondo ciclo colturale il clone Sirio, come il Pegaso, presenta diametri costanti dal primo anno, come conseguenza del fatto che mentre durante il primo ciclo colturale la talea determini produzioni limitate nel primo anno come conseguenze della necessità di sviluppare l'apparato radicale, nel corso del secondo ciclo colturale la ceppaia, avendo già un apparato radicale formato, è in grado di produrre polloni di dimensioni elevate già dalla prima stagione vegetativa determinando la rapida occupazione dello spazio aereo.

### **DISTRIBUZIONE DIAMETRICA**

Durante il primo ciclo colturale la distribuzione diametrica presenta un andamento di tipo normale al primo anno; dal secondo anno la distribuzione evidenzia un andamento platicurtico comunque riconducibile ad una curva di tipo normale, presentando i polloni un maggiore *range* di variazione rispetto dei valori diametrici rispetto il primo anno; dal secondo anno è possibile evidenziare anche uno spostamento verso destra della curva, ad indicare un aumento generale delle dimensioni dei

diametri, che tende a rimanere invariata corso degli anni successivi per il già descritto fenomeno di saturazione dello spazio.

La distribuzione dimensionale normale in popolamenti monoclonali coetanei ai primi anni dall'impianto è riconducibile alla distribuzione normale gaussiana delle dimensioni del materiale d'impianto (Ford 1975; Laureysens *et al.* 2005a) nonché all'assenza di fenomeni di competizione per le risorse tali da alterare la struttura del popolamento (Castagneri *et al.* 2007).

Successivamente alla ceduzione la distribuzione diametrica presenta un andamento non normale ed è caratterizzata da un'asimmetria positiva e per la presenza di un elevato numero di polloni di piccole dimensioni e di un numero esiguo di polloni di diametro elevato, come evidenziato dalla presenza di una coda a destra: tale asimmetria positiva viene secondo molti Autori amplificata (Verwijst 1996; Weiner and Thoma 1986, Laureysens *et al.* 2005a) dall'instaurarsi di fenomeni di competizione di tipo *one-sided* per le risorse ed in particolare della luce a favore dei pochi polloni di maggiori dimensioni che risultano essere dominanti rispetto i molti individui di dimensioni inferiori, con conseguente soppressione nel tempo dei polloni dominati.

La distribuzione diametrica nel corso del secondo ciclo colturale, contrariamente a quanto descritto per il primo ciclo, tende a non presentare variazioni significative nel tempo né nella forma né nei valori medi o mediani come conseguenza della vicinanza delle ceppaie e dell'elevata densità di polloni vitali ad ettaro che comportano già nel corso del primo anno ad una limitazione degli incrementi diametrici del singolo pollone ma tende ad incrementare la produzione di biomassa per unità di superficie come conseguenza di una rapida chiusura del popolamento e una totale occupazione dello spazio (Proe *et al.* 1999).

## **ALTEZZA MEDIA E CURVE IPSOMETRICHE**

L'altezza media rilevata per i due cloni durante il primo ciclo colturale, al termine della prima stagione vegetativa, risulta analoga ai valori di 2,61-3,05 m registrati in studi su SRF di pioppo condotti in Italia centrale (Verani *et al.* 2007), mentre al secondo anno negli impianti friulani sono stati registrati valori di altezza media di 8,55 m che risultano essere superiori a quelli registrati nelle particelle sperimentali di cui sopra di 3,25-4,05 m.

Tra il primo ed i successivi anni del primo ciclo colturale l'altezza media è risultata aumentare significativamente mentre questo comportamento non è stato riscontrato nel corso del secondo ciclo colturale a indicare come, mentre subito dopo la piantagione le ceppaie non riescono a sviluppare massimamente in altezza i getti non avendo l'apparato radicale ancora completamente formato e necessitando per questo di una seconda stagione vegetativa per raggiungere l'altezza massima potenziale, durante il secondo ciclo colturale la ceppaia oramai munita di un apparato radicale già formato può investire completamente nello sviluppo longitudinale dei polloni, che già nel corso del primo anno raggiungono l'altezza media massima potenziale per la stazione.



Dopo la ceduzione si manifesta un rapido accrescimento in altezza già nella prima stagione vegetativa, quale tratto comune nella selezione delle specie impiegabili nella SRF (Proe *et al.* 1999): già dalla seconda stagione vegetativa le piante tendono a non presentare accrescimenti longitudinali significativi a riconferma della saturazione dello spazio a disposizione già nel corso del primo anno e dell'insorgenza di una forte competizione per lo spazio e la luce tra i polloni che ne blocca lo sviluppo. Come già evidenziato da Heinsoo (2002) l'altezza media in impianti caratterizzati da buona fertilità stagionale non è significativamente maggiore rispetto a valori registrati in impianti con qualità pedologicamente inferiore; si ipotizza che questo comportamento derivi da una forte sensibilità delle colture al mutare delle condizioni pedologiche dalle condizioni di fertilità massima ed ottimale, così che non si possano apprezzare differenze di comportamento al variare delle condizioni stagionali tra livelli di limitazioni stagionali comunque sussistenti.

L'analisi delle curve ipsometriche evidenziano come le piante di entrambi i cloni in condizioni stagionali caratterizzate da limitazioni stagionali di carattere severo presentino un ritmo di variazione dell'altezza rispetto al diametro maggiore che in condizioni stagionali con limitazioni di carattere moderato, presentando un andamento più ripido. Questo andamento esprime il risultato della concorrenza reciproca tra le piante indicando un'elevata concorrenza tra i polloni che reagiscono alla forte densità con un maggiore sviluppo in altezza.

## 2.4.8 Caratteristiche fisiche dei cloni

### UMIDITÀ

L'umidità (U%) rilevata per l'intera pianta durante il periodo di riposo vegetativo è elevata, attestandosi su valori superiori al 110% per entrambi i cloni considerati. Ipotizzando la raccolta invernale del materiale, emerge come il cippato fresco di pioppo non sia immediatamente idoneo all'impiego come combustibile nella forma tal quale ma che questo richieda un periodo di essiccazione al fine di raggiungere contenuti di umidità inferiori e poter essere impiegato senza problemi.

Il contenuto di umidità tende a decrescere all'aumentare delle dimensioni dei polloni in quanto all'aumentare del diametro tende a ridursi la percentuale di corteccia dove si registra il maggior accumulo di liquidi nella pianta (Adler *et al.* 2005).

### DENSITÀ BASALE

La densità basale del legno (DB) del fusto dei polloni varia da 0,33 a 0,35 g cm<sup>-3</sup>, valori in linea con quelli di 0,28-0,3 g cm<sup>-3</sup> (Hellrigl 2006) o 0,29 g cm<sup>-3</sup> indicati per i pioppi ibridi e di 0,41 g cm<sup>-3</sup> (Francescato *et al.* 2002; Baldini *et al.* 2009). Valori di densità basale inferiori a 0,20-0,50 g cm<sup>-3</sup>

(Giordano in La Marca 1999) per le latifoglie sono caratteristici di legni classificabili come "leggerissimi" e quindi non propriamente adatti all'impiego come combustibile.

## CONTENUTO IDRICO

Al momento della raccolta il contenuto idrico (W%) del materiale fresco per entrambi i cloni si attesta su valori del 58-61%, ad indicare come questi presentino analoga efficienza nell'uso dell'acqua (Weith *et al.* 2002; Adler *et al.* 2005).

Tale valore di contenuto idrico risulta essere in linea con quanto registrato da altri Autori in impianti sperimentali in Europa settentrionale (Sissot *et al.* 2009), con contenuto idrico alla raccolta del 55-60%, e con i dati rilevati in impianti in Italia centrale su cloni di pioppo selezionati da biomassa con W% al taglio invernale del 53% (Baldini *et al.* 2009) e valori del 30-50% (Cotana *et al.* 2006) e del 60-71% (Francescato *et al.* 2002; Francescato *et al.* 2008). Sperimentazioni condotte in Italia centrale riportano valori di umidità alla raccolta invernale al termine del primo anno (età F1/R1) variabili da 52,6% a 55,5% (Verani *et al.* 2007) e del 51,56% all'età F2/R3 (Verani e Sperandio 2008) valori analoghi a quelli riscontrati in questo studi.

Contenuti di umidità sul peso fresco superiori al 50% rendono il prodotto sminuzzato fresco inadatto per l'impiego nell'industria dei pannelli e ne riduce il potere calorifico (Bergante e Facciotto 2006) rendendolo quindi di scarso interesse anche come combustibile; nel caso la raccolta avvenisse in due fasi, con taglio ed accatastamento a bordo del campo permettendo così l'essiccazione naturale del materiale con riduzione a valori inferiori al 35-40% dell'contenuto idrico il materiale risulterebbe impiegabile come combustibile (Adler *et al.* 2005).

### 2.4.9 Produttività degli impianti

Negli impianti in pieno campo analizzati nel corso di questa indagine sono state registrate produzioni medie annue al primo ciclo colturale di 4-5 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> e di 9 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> al secondo ciclo colturale.

Questi valori risultano essere inferiori a quanto indicato come produttività potenziale media annua in termini di sostanza secca ottenibile in zone temperate per cui in letteratura si riportano produzioni di 10 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> per colture condotte in assenza di *input* colturali (Proe *et al.* 1999) e produzioni fino a 20-25 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> in condizioni di elevati *input* colturali (Ceulemans and Deraedt 1999); tali valori risultano inoltre essere inferiori alle massime produzioni di sostanza secca rilevate in prove sperimentali condotte in Italia centro - settentrionale dove sono state evidenziate produzioni fino a 16 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Facciotto e Mughini 2003) od ai valori indicati dalle ditte vivaistiche che pubblicizzano produzioni al primo taglio al secondo anno di 30 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>, mentre per i raccolti successivi la previsione è di circa 50 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Bignami 2005).

La resa media annua di impianti sperimentali varia entro un *range* che va da un minimo di 2 ad un massimo di 13,5 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Mitchell 1995; Liesebach *et al.* 1999; Makeschin 1999; Kauter *et al.* 2003; Laureysens *et al.* 2003; Karacic 2005).

In studi condotti in impianti in pieno campo nella limitrofa regione Veneto sono state registrate produzioni annue da 1 a 13 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>, con valori medi di 6,0 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Facciotto 2009), valore che risulta essere in linea con la produzione media riscontrata in tutti i 30 impianti friulani analizzati di 7,93±4,04 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>.

Al primo anno d'impianto (età F1/R1) si registra per il clone Sirio, unico clone presente per questa classe d'età, una produzione media di 1,62±0,70 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>. Simili produzioni iniziali sono state registrate per altri cloni selezionati per la produzione di biomassa in studi condotti in impianti sperimentali realizzati in Italia centro-settentrionale, in cui si evidenziarono rese di 1,42 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Minotta e Muzzi 2007) e 2,18 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Verani e Sperandio 2008) 3,75 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Baldini *et al.* 2009). Il sensibile aumento della produzione successivo al primo anno portando i livelli produttivi a 6,34 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> per il clone Sirio e 5,22 per il clone Pegaso è stato già riscontrato in letteratura con valori di 6,5 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> per cloni selezionati da biomassa impiegati in sperimentazioni nella pianura laziale all'età F2/R2 (Verani *et al.* 2007) con bassi *input* colturali.

Successivamente al taglio le produzioni aumentano significativamente grazie al maggior numero di polloni emessi dalle ceppaie a seguito della ceduzione (Laureysens *et al.* 2005b; Liola 2007) sviluppando valori paragonabili a quelli di 7,65-8,80 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> riscontrati in impianti sperimentali realizzati in Italia centro-settentrionale (Laureysens *et al.* 2005b; Mareschi *et al.* 2005; Minotta e Muzzi 2007; Verani e Sperandio 2008).

Il numero di ceduzioni risulta essere inizialmente correlato positivamente alla produzione di biomassa (Altener bioguide 1999; Facciotto e Mughini 2002; Salvati *et al.* 2007) ma si manifesta già dopo il terzo ciclo colturale un declino nella produttività annua che torna a presentare valori paragonabili a quelli del primo ciclo colturale dopo poco più di 15 anni dalla realizzazione dell'impianto (Laureysens *et al.* 2005b; Francescato *et al.* 2008) senza la possibilità di identificazione di una causa principale determinante questo fenomeno, molto probabilmente legato ad un insieme di concause quali: la traslocazione della biomassa, la concorrenza delle infestanti erbacee, l'erosione, il depauperamento, l'instaurarsi di fenomeni di competizione (Zewdie *et al.* 2009) in grado di determinare il declino delle ceppaie.

Questo fenomeno non si è ancora potuto manifestare negli impianti considerati nella realtà friulana in quanto è stato eseguito solamente il primo taglio, che ha determinato l'aumento della produzione, come già riscontrato in letteratura (Laureysens *et al.* 2005a).

L'allungamento del turno durante il primo ciclo colturale in questo studio non ha determinato l'aumento di produzione annua evidenziato in letteratura (Herve e Ceulemans 1996; Armstrong *et al.* 1999; Liesebach *et al.* 1999; Proe *et al.* 1999; Karacic 2005; Facciotto e Bergante 2006; Bonari e

Piccioni 2006; Salvati *et al.* 2006) probabilmente come conseguenza del fatto che questo sia stato arbitrariamente applicato proprio nelle stazioni caratterizzate da un maggior livello di limitazioni pedologiche andando quindi empiricamente a sopperire alle minori produzioni derivanti negli impianti come già sperimentato in modelli colturali non irrigui (Facciotto 2007) o per stazioni poco fertili (Facciotto *et al.* 2006b).

A parità di altri fattori, l'allungamento del turno può avere riflessi negativi sulle possibilità di completa meccanizzazione della fase di raccolta del prodotto (Salvati *et al.* 2006) andando a determinare maggiori diametri alla base del fusto ed implicando quindi l'impiego di mezzi meccanici di maggiori dimensioni, ed richiedendo un controllo delle infestanti più intensivo durante la prima stagione vegetativa dopo la piantagione o a ceduzione per garantire una elevata sopravvivenza delle ceppaie (Karacic 2005).

I differenti cloni selezionati specificatamente per la produzione di biomassa impiegati non manifestano significative differenze produttive (Minotta e Muzzi 2007) contrariamente a quanto evidenziato per il clone Sirio da Bartolini (2007). Tali cloni risultano comunque maggiormente produttivi rispetto i cloni tradizionalmente impiegati sottoposti a medesimi trattamenti colturali (De Bell *et al.* 1997; Karacic 2005) sebbene sperimentazioni condotte già nei primi anni '70 del secolo scorso in impianti sperimentali evidenziavano che anche l'impiego di cloni non specificatamente selezionati per la biomassa quale l'I-214 se coltivati con elevato impiego di *input* colturali secondo il modello della SRF biennale erano in grado di fornire produzioni media annue di 6-10 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Giordano 1974; Frison 1974).

L'impiego di cloni di pioppo ibridi selezionati per la produzione di biomassa sono in grado di massimizzare la produzione e presentare rese nettamente superiori rispetto cloni selezionati per la pioppicoltura tradizionale solamente in stazioni caratterizzate da condizioni di fertilità da media a ottima ed in assenza di limitazioni di carattere pedologico (Mareschi *et al.* 2005; Facciotto *et al.* 2006). Cloni selezionati per la produzione di biomassa, alle medesime condizioni stazionali, garantiscono produzioni maggiori rispetto gli altri cloni non selezionati, come ad esempio il clone I-214 (Facciotto 2009); in caso di fattori stazionali limitanti, la migliore resa diminuisce andando ad essere paragonabile a quella dei cloni non selezionati per la biomassa coltivati in condizioni stazionali non ottimali o impiegando bassi *input* colturali (Boccasile 2007).

L'impiego di modelli colturali a basso *input* colturale determina rese decisamente inferiori rispetto a modelli caratterizzati dall'impiego di elevati *input* colturali (Pointellar *et al.* 1999; Laureysens *et al.* 2003; Karacic 2005), mentre strettamente correlate con la produzione sono le operazioni di irrigazione o elevate piovosità durante la stagione vegetativa (Frison 1986; Armstrong *et al.* 1999; Heinsoo 2002; Agostinetto 2004a; Mareschi *et al.* 2005) in grado di raddoppiare la produzione, incrementandola maggiormente rispetto interventi di sola concimazione.

Nel presente studio non sono state osservate differenze significative in termini di produzione al variare delle condizioni pedologiche stazionali, come già osservato da Ceulemans e Deraedt (1999),

probabilmente a causa dell'assenza di stazioni con assenza di fattori limitanti di carattere pedologico e della presenza nel campione analizzato esclusivamente di stazioni caratterizzate dalla presenza di limitazioni, fossero anche solo di livello moderato, ma evidentemente comunque in grado di determinare riduzioni in termini produttivi alla coltura. Come evidenziato da diversi Autori, laddove le condizioni del suolo presentino evidenti limitazioni (pH basico, elevato calcare, ristagno idrico..) le produzioni possono ridursi di oltre il 50%. Infatti il pioppo è in grado di esprimere appieno le proprie potenzialità produttive in condizioni edafiche di notevole fertilità, con tessitura sabbioso-limosa o sabbioso-argillosa a reazione sub acida o neutra e terreni freschi e ben drenati, evitando i terreni calcarei così da non trovare proficuo impiego su terreni marginali (Benetka *et al.* 2002; Mareschi *et al.* 2005; CRPV 2006; Gruenewald *et al.* 2007; Facciotto 2009).

## 2.5 Conclusioni

Le indagini svolte in questo studio hanno permesso di ottenere una panoramica sullo stato di fatto delle piantagioni da biomassa condotte in pieno campo secondo un modello colturale a basso *input* ottenendone uno spaccato differente dalle aspettative ma in grado di far emergere alcune tra le principali criticità della SRF come impostata nella Regione Friuli Venezia Giulia.

Tra le conclusioni che si possono trarre da questo lavoro la più evidente è che la SRF friulana presenta produzioni annue inferiori rispetto ai dati riscontrabili in letteratura, le cui cause si cercherà ora di analizzare.

Una tra le principali problematiche di questo tipo di coltura è riscontrabile nella marginalità dei terreni impiegati e nelle fertilità e l'idoneità stazionali che nella totalità dei casi sono risultate essere modeste se non del tutto insufficienti. La localizzazione degli impianti su terreni marginali dell'azienda trae la sua origine dal fatto che tutti gli impianti realizzati sono oggetto di finanziamento europeo che ha garantito il contributo alla copertura delle spese di impianto nella misura dell'80%-100% degli investimenti (<http://www.regione.fvg.it>), favorendo quindi l'investimento di terreni anche marginali all'azienda con questa nuova tipologia di coltura. È accaduto per la coltura del pioppo da biomassa quello che fu già a suo tempo evidenziato per l'irrazionale e rapida diffusione della pioppicoltura tradizionale nel secondo dopoguerra (Famiglietti 1973) quando “molte categorie di imprenditori avevano visto nel cosiddetto ‘oro verde’ un sicuro investimento di capitali. Il pioppo fu quindi diffuso irrazionalmente anche in stazioni poco adatte; né gli improvvisati pioppicoltori seppero scegliere bene fra i numerosi tipi di clone di pioppo offerti da un vasto ed eterogeneo mercato vivaistico. Inoltre, trascurato sistematicamente lo studio delle condizioni stazionali, furono applicate solo in parte le tecniche colturali più appropriate” andando quindi a determinare basse produzioni non essendo in grado il pioppo raggiungere le produttività attese (Hofmann-Schielle *et al.* 1999; Baldini *et al.* 2009) o pubblicizzate (Bignami 2005) in quanto coltivato con impiego nullo o limitato di *input* colturali o in stazioni non idonee. La presenza di condizioni limitanti di carattere pedologico di livello moderato sono risultate sufficienti a deprimere la produzione a livelli paragonabili a limitazioni di livello più severo, che non hanno consentito ai cloni selezionati di manifestare le proprie potenzialità produttive.

Una seconda criticità della gestione della SRF è ravvisabile nel modello stesso: la culminazione dell'incremento in diametro registrata già al primo anno del secondo ciclo colturale evidenzia l'inadeguatezza dell'impostazione della densità d'impianto e della lunghezza del ciclo colturale.

Come è noto, la lunghezza del ciclo colturale è legata alla densità iniziale d'impianto ed al tasso di accrescimento (Mitchell *et al.* 1999; Karacic 2005). La riduzione del ciclo colturale ad un anno, che permetterebbe lo sfruttamento dell'elevatissima produzione ottenibile già nel corso della prima stagione vegetativa successiva dalla ceduzione, non risulterebbe applicabile in quanto eccessivamente depauperante il suolo, per l'aumento della mortalità delle ceppaie (Verwijst 1996) e per la bassa qualità del materiale legnoso ritraibile, caratterizzato da un contenuto in corteccia fino al 30%

(Giordano 1974) e quindi inadatto all'impiego come combustibile o per l'impiego nell'industria dei pannelli.

La riduzione del contenuto di corteccia sarebbe ottenibile mediante aumento della spaziatura tra le ceppaie con la produzione di fusti con diametri maggiori garantendo quindi una più elevata qualità del prodotto. Una possibile soluzione in grado di garantire sia maggiori produzioni che migliore qualità del materiale è ravvisabile nell'allungamento del turno con la contemporanea riduzione della densità d'impianto, con una sorta di avvicinamento al modello americano, caratterizzato da densità iniziali d'impianto di 5.000-7.000 piante all'ettaro e cicli colturali di 3-4 anni, come già ipotizzato da alcuni Autori (Mitchell 1995; Spinelli *et al.* 1998; Liesebach *et al.* 1999); tale modello colturale consentirebbe una minore intensità gestionale e permetterebbe al contempo un migliore impiego dello spazio e delle risorse pedologiche ed edafiche.

Questo tipo di modello colturale favorirebbe la produzione di un elevato numero di polloni di grandi dimensioni (Geyer *et al.* 2006) e limiterebbe l'insorgere di fenomeni di affaticamento delle ceppaie derivanti dall'impiego di cicli colturali eccessivamente brevi (Verwijst 1996), favorendo quindi la maggiore sopravvivenza delle ceppaie (Geyer *et al.* 2006); verrebbe inoltre determinato un aumento della qualità del materiale in quanto si verificherebbero l'aumento della densità basale e la diminuzione del contenuto idrico come conseguenza della diminuzione del midollo e del contenuto percentuale in corteccia (Ferrari e Scaramuzzi 1982).

La terza problematica evidenziata dagli impianti friulani riguarda l'impossibilità nel 38,5% degli impianti analizzati di garantire produttività economicamente valide, ottenibili con una produzione minima di 10 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Bisoffi *et al.* 2009). In Italia attualmente le SRF sono colture specializzate per la produzione di biomassa destinata prevalentemente ad un utilizzo energetico, la cui convenienza dal punto di vista energetico è garantita dal fatto che il valore energetico del combustibile prodotto risulti da 7 a 13 volte il valore degli *input* necessari alla coltivazione (Balsari *et al.* 2005; Facciotto 2009) purché gli appezzamenti produttivi siano dislocati nelle immediate vicinanze delle industrie utilizzatrici (Spinelli *et al.* 2006c). La convenienza economica della coltivazione di pioppo a turno biennale per la produzione di biomassa era dubbia al momento delle prime sperimentazioni in Italia negli anni '70 (Proni e Prevosto 1974) nonostante l'investimento su terreni fertili ed irrigati riuscisse a garantire produzioni di 28-30 Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>; attualmente risulta essere determinante per la convenienza economica di questa coltura la sovvenzione di contributi regionali od europei (Pettenella 2000; Sperandio e Verani 2000; Facciotto *et al.* 2003; Pari e Civitarese 2005; Giorcelli *et al.* 2009).

Una possibilità per la valorizzazione produttiva, ambientale ed economica delle SRF è individuabile nell'impiego per il fitorimediazione, come biofiltro per lo smaltimento di reflui urbani e zootecnici, o per la bonifica di siti inquinanti attraverso filtrazione ed assorbimento delle sostanze inquinanti da parte dell'apparato radicale e una loro successiva asportazione mediante la raccolta della biomassa epigea prodotta (Perttu 1998; Karacic 2005; Dickmann 2006; Bisoffi *et al.* 2009; Giorcelli *et al.* 2009).

La sempre maggiore attenzione verso il pioppo come coltura estensiva per la produzione di biomassa richiede comunque un continuo adeguamento delle tecniche attraverso la ricerca e sperimentazione di nuovi sistemi colturali e di nuovi cloni in grado di rispondere alle sempre nuove richieste cui l'agricoltura, ed in particolare il comparto *no-food* di questa, sono chiamate a rispondere.

Come già la produzione agricola è aumentata di 2-3 volte negli ultimi cinquant'anni (Hansen 1991), così si può ipotizzare un miglioramento delle rese produttive anche della SRF in seguito al miglioramento genetico del materiale e dei mezzi produttivi (Ceulemans and Deraedt 1999; Pari e Civitarese 2005); questo auspicabile miglioramento della produzione è però incerto a causa di una lunga serie di fattori quali la disponibilità di investimenti nel settore della ricerca e di finanziamenti alla forestazione con specie a rapido accrescimento.



*“Where biomass production and pollutant management overlap,  
the science of phytoremediation has its practical application”*

(Mirck *et al.* 2005)



### **3. Smaltimento di reflui zootecnici in Short Rotation Forestry**

**Swine effluent disposal on short rotation forestry in northern Italy.**



### 3.1 Introduzione

Il sistema agricolo italiano fino agli anni '50 fu caratterizzato da un livello di industrializzazione minimo e dalla presenza di allevamenti zootecnici di piccole o piccolissime dimensioni distribuiti capillarmente all'interno della maggior parte delle aziende agricole, sia per finalità produttive, che per la necessità di impiegare gli animali come forza lavoro; il numero di capi allevati era calibrato rispetto quelle che erano le dimensioni e le esigenze aziendali e le deiezioni venivano reimpiegate internamente all'azienda stessa per la fertilizzazione dei campi senza conseguenze negative legate ad eccessivi apporti di nutrienti (Sommariva 2009).

In tempi più recenti, le nuove esigenze di carattere economico ed organizzativo spinsero il settore agricolo verso la specializzazione produttiva: molte aziende si orientarono quindi esclusivamente verso la zootecnia aumentando sensibilmente il numero di capi allevati, così che le deiezioni animali prodotte non poterono più trovare il loro naturale utilizzo sul suolo agricolo dell'azienda, spesso assente, (Bassanino *et al.* 2006), con conseguente creazione di situazioni di squilibrio ambientale traducibili nel tempo in forme di inquinamento ambientale (Sangiorgi *et al.* 1986). D'altra parte, accanto ad aziende con allevamenti intensivi senza terra comparvero numerose aziende senza allevamenti e con solo colture che non disponevano di fertilizzanti organici naturali e costrette pertanto a ricorrere in maniera sempre più massiccia all'uso di fertilizzanti chimici (Sorlini e Magoni 1991).

Si venne quindi ad interrompere lo stretto rapporto che intercorreva tra produzioni vegetali, allevamento ed utilizzo agronomico delle deiezioni, che si trasformarono quindi in un materiale dalla complessa gestione e problematica destinazione (Osservatorio agroambientale 1997; Bassanino *et al.* 2006) per la sopravvenuta esigenza di distribuire tali reflui zootecnici, divenuti eccedenti rispetto le possibilità d'impiego aziendali, su terreni di altre aziende ad indirizzo non zootecnico (Sommariva 2009).

Con il recepimento a livello nazionale della "Direttiva nitrati" (Dir. CEE 91/676) e la conseguente individuazione di aree vulnerabili all'inquinamento da nitrati, venne introdotto un limite alle unità di azoto apportabili ai terreni con le fertilizzazioni, pari a  $340 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ , mentre valori di  $170 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  furono previsti in caso di aree identificate secondo la normativa come "vulnerabili" (Sangiorgi 2003; Ecosse *et al.* 2007), andando quindi a porre un freno alla indiscriminata possibilità di smaltimento dei reflui zootecnici effettuata sino a quel momento in agricoltura.

I reflui divennero quindi un rifiuto da smaltire, perdendo il loro valore fertilizzante.

Una possibile modalità di impiego dei reflui, è individuabile nel loro *smaltimento* in agricoltura, pratica che prevede sì lo spandimento dei reflui sul terreno, ma considerando quest'ultimo unicamente per le sue capacità di depurare i carichi organici sparsi su di esso (Barilli 1980; Mirch *et al.* 2005).

### 3.1.1 Lo smaltimento di reflui zootecnici in agricoltura

Diversi studi hanno evidenziato come l'impiego di reflui zootecnici in agricoltura, se eseguito in maniera corretta, sia in grado di migliorare le proprietà chimico fisiche del suolo andando ad influire su: disponibilità di nutrienti per la pianta, pH, contenuto in sostanza organica, capacità di scambio cationico, capacità di trattenere l'acqua e la struttura del suolo, andando a favorire un aumento delle rese delle colture agrarie su esso condotte (Sangiorgi *et al.* 1986; Bolan *et al.* 2009) grazie alla restituzione degli elementi nutritivi asportati con la produzione vegetale, garantendo quindi il mantenimento della fertilità dei suoli ed un notevole risparmio di concimi chimico minerali, di materie prime ed energia (Osservatorio agroambientale 1997; Heinsoo 2002; Regione Lombardia 2004; Spinelli *et al.* 2004; Rockwood *et al.* 2004; Mirck *et al.* 2005; Borjesson *et al.* 2006; Bisoffi *et al.* 2009).

Oltre che sulle tradizionali colture agrarie erbacee od arboree, coltura impiegabile per lo smaltimento dei reflui zootecnici è l'arboricoltura da legno a cortissima rotazione destinata alla produzione di biomassa (*Short Rotation Forestry*) che grazie alla sua capacità fitodepurativa, nonché per la sua spiccata attitudine a produrre elevati quantitativi di biomassa, risulta essere idonea all'asportazione di elevati quantitativi di nutrienti dal suolo.

Impianti di *Short Rotation Forestry localizzati*, progettati e gestiti opportunamente sono in grado di svolgere quindi non solo la funzione di "Energy crop" attraverso la produzione di biomassa legnosa destinata alla filiera legno-energia, ma al contempo espletare funzioni ambientali a livello locale, rientrando nei cosiddetti "*Multifunctional bioenergy systems*" ovvero "*systems that, besides producing biomass, are located, designed and managed to also generate dedicated additional environmental services that are fully exploited*" (Laureysens *et al.* 2005c ; Borjesson *et al.* 2006), altrimenti definibili come "piantagioni da biofiltro" (Scarascia Mugnozza e Paris 2007) ed impiegabili per la dismissione di acque reflue, urbane e zootecniche, con l'obiettivo di assorbire macro e micro nutrienti nonché metalli pesanti in eccesso attraverso l'impiego di tecniche di fitorimediao.

Il termine fitorimediao deriva dall'associazione del greco *phytos* (pianta) e dalla radice latina *remedium* (curare, risanare), ad indicare l'uso intenzionale di piante arboree ed erbacee vive, in sinergia con i microorganismi del suolo e delle acque, al fine di detossificare e ripristinare suoli contaminati, fanghi, sedimenti e acque sotterranee (Mertens *et al.* 2004; French *et al.* 2006). Con esso è possibile eliminare contaminanti ambientali quali metalli pesanti (Rossignolo 2008), pesticidi, solventi, sostanze oleose, idrocarburi, radionuclidi (Vandenhove *et al.* 2001), percolato o fanghi di depurazione (Rosenqvist *et al.* 1997; AA.VV. 2008) oltre che inquinanti organici. Il principio generale su cui si basa il fitorimediao è che, per le piante, i contaminanti possono essere considerati alla stregua di nutrienti per quanto riguarda macronutrienti, come l'azoto il fosforo ed il potassio, e tutti i micronutrienti (Mirck *et al.* 2005).

La possibilità di impiegare la tecnica del fitorimedia è strettamente collegata con la capacità delle piante impiegate di asportare i nutrienti in eccesso nel suolo o gli eventuali altri inquinanti mediante assorbimento ed accumulo nella biomassa epigea prodotta; per buon funzionamento di un sistema di fitorimedia sono inoltre fondamentali una concentrazione dei nutrienti presente nella soluzione circolante del suolo elevata ma non fitotossica, la durata del periodo di applicazione e la lunghezza del ciclo colturale che devono essere il più lunghi possibile (Tzanakakis *et al.* 2009).

Le caratteristiche fisiologiche principali delle piante impiegate per lo smaltimento di reflui zootecnici ed il risanamento ambientale sono (Rossignolo 2008): la presenza di elevati e costanti tassi di accrescimento durante tutta la stagione vegetativa (Perttu and Kowalik 1997; Regione Lombardia 1999; Borin 2003), la presenza di un apparato radicale fibroso ed esteso (Dikinson 2000), un'elevata traspirazione (che permette di richiamare un grande volume di acqua all'interno dell'apparato radicale, traslocare alla parte aerea i composti assorbiti dal terreno e volatilizzare alcuni di essi nell'atmosfera) (Rossignolo 2008), quanto una elevata capacità nell'assimilare nutrienti e la capacità di facilitare la filtrazione dell'azoto e la successiva denitrificazione ad opera dei batteri (Perttu and Kowalik 1997). Sono inoltre necessarie una elevata tolleranza agli stress derivanti da scarsa disponibilità di ossigeno nel suolo a seguito di ristagni idrici (Dikinson 2000) ed una spiccata capacità di emettere numerosi polloni vigorosi in seguito alla ceduzione al fine di massimizzare la produzione di biomassa (Laureysens *et al.* 2005c) e garantire in tal modo rese elevate in termini di biomassa (Tzanakakis *et al.* 2009) tali da consentire inoltre applicazioni economicamente realizzabili se impiegate per impianti di piccole e medie dimensioni, in confronto a impianti che impiegano tecniche convenzionali di depurazione (Laureysens *et al.* 2005c).

Specie arboree che vengono da tempo impiegate in sperimentazioni o applicazioni di fitorimedia sono *Acer* spp., *Ailantus altissima* (Mill.), *Alnus* spp., *Betula* spp., *Pinus* spp., *Populus* spp., *Quercus* ssp., *Robinia pseudoacacia* L., *Salix* ssp. (Moffat *et al.* 2001; Rockwood *et al.* 2004; AA. VV. 2008).

Tra le specie che maggiormente si prestano all'impiego per la produzione di biomassa nella Pianura Padana, si evidenziano, per storicità d'impiego e di sperimentazione, il pioppo, il salice e la robinia (Osservatorio agroambientale 1997; Laureysens *et al.* 2005c; Mirck *et al.* 2005; Borjesson *et al.* 2006; Volk *et al.* 2006).

La fornitura di servizi ambientali e la funzione fertilizzante dei reflui sono in grado di consentire l'instaurazione di un processo economicamente positivo sia per gli agricoltori, grazie ai minori costi di produzione della biomassa e la possibilità di usufruire di contributi pubblici nelle misure agro ambientali (Scarascia Mugnozza e Paris 2007), che per gli operatori del settore dello smaltimento di fanghi grazie all'abbattimento dei costi per il trattamento e lo smaltimento (Capri 1997; Borjesson *et al.* 2006).

Il materiale legnoso prodotto negli impianti di *Short Rotation Forestry* soggetti a smaltimento di reflui viene periodicamente asportato mediante raccolta totale di tutta la biomassa epigea prodotta, e può essere impiegato come combustibile in impianti di teleriscaldamento così che i nutrienti prelevati ed i

metalli, eventualmente assorbiti dal suolo e liberati durante la combustione, possano essere filtrati dai fumi per evitare la traslocazione dei metalli pesanti o di altri inquinanti presenti in atmosfera (Punshon and Dickinson 1997) e quindi essere propriamente smaltiti con le ceneri (Laureysens *et al.* 2005c); in questo modo il volume di materiale contaminato da gestire è notevolmente ridotto: dai molti m<sup>3</sup> del terreno contaminato iniziale a piccole quantità di cenere ottenute dalla combustione.

### 3.1.2 I reflui zootecnici

Le nuove tecniche di allevamento intensivo che si andarono a sviluppare negli ultimi decenni del secolo scorso introdussero in alcune metodologie di gestione dell'allevamento zootecnico l'eliminazione della lettiera e quindi la produzione di nuove tipologie di refluo come il liquame od il separato della frazione solida dal liquame.

Il liquame è un materiale costituito dagli escrementi solidi e liquidi degli animali e delle eventuali acque di lavaggio e perdite di abbeveraggio; rispetto al letame è caratterizzato dall'assenza di lettiera (Perelli *et al.* 2005). Proprio per la mancanza della componente vegetale della lettiera l'impiego in agricoltura del liquame non consente la formazione di quei composti organici complessi e stabili da cui deriva l'*humus* e risulta quindi non essere in grado di aumentare in modo significativo il livello di sostanza organica nel suolo, ma risulta comunque interessante dal punto di vista agronomico per il contenuto in elementi nutritivi (Rippon e Vianelli 1980). Qualora applicati in eccesso i liquami possono favorire la solubilizzazione e la lisciviazione di elementi nutritivi, determinando perdite economiche e fenomeni di inquinamento anche gravi (Perelli *et al.* 2005) o addirittura possono risultare negativi per la fertilità del terreno per il contenuto in sostanze antibiotiche o tossiche, derivanti dall'alimentazione del bestiame, come il rame e lo zinco nel caso dei suini, o formatesi a seguito delle fermentazioni che si verificano nelle vasche di accumulo in assenza di ossigeno, sostanze peraltro rapidamente inattivabili dall'azione della flora batterica del terreno (Perelli *et al.* 2005).

La frazione solida, ottenuta per separazione tramite vagli o centrifughe dai liquami (Sorlini e Magoni 1991), è caratterizzata da una maggiore concentrazione di sostanza secca, di sostanza organica e di nutrienti, da una percentuale più elevata di azoto in forma organica a lento rilascio (tra il 65 e l'80% dell'azoto totale) rispetto al liquame tal quale (CRPV 2001). L'impiego della frazione solida può risultare problematico in quanto la risposta delle coltivazioni a questo materiale è di solito modesta o ritardata e può addirittura essere negativa se non intercorre un adeguato lasso di tempo fra l'interramento del concime e l'avvio della coltura (Barilli 1980). Proprio per la sua elevata densità, si tratta infatti di un refluo "palabile", e per il minor volume rispetto al liquame, il separato solido risulta essere un refluo più facilmente trasportabile grazie al suo minor ingombro, così da poter essere destinato agli appezzamenti di terreno più distanti dagli allevamenti di produzione con costi e tempi di trasporto minori rispetto ad un liquame tal quale, per l'elevato contenuto in acqua (Sorlini e Magoni 1991; Yang *et al.* 1998; Castellini e Ragazzoni 2009). La frazione solida può venire altrimenti



impiegata in aziende frutticole o vinicole che necessitano di ingenti apporti organici (Castellini e Ragazzoni 2009) al contrario del liquame per cui l'impiego in tali contesti è addirittura sconsigliabile.

La corretta gestione dei reflui zootecnici è resa complessa dalla ben nota variabilità qualitativa dei reflui prodotti da aziende diverse od addirittura all'interno della stessa azienda in funzione dell'alimentazione, dello stoccaggio, della gestione delle lettiere e delle acque piovane raccolte nel corso dell'anno (Grignani *et al.* 1999; Bassanino *et al.* 2006).

I reflui suini in particolare tendono a presentare un forte squilibrio chimico a livello di macronutrienti rispetto ai fabbisogni delle colture, presentando un eccesso in fosforo rispetto al contenuto in azoto (Liu *et al.* 1997); sono inoltre generalmente caratterizzati da contenuti piuttosto elevati in termini di rame e zinco (Cu=47,8 g kg<sup>-1</sup> sul tal quale, Zn=56,3 g kg<sup>-1</sup> sul tal quale) e contenuti piuttosto elevati in azoto (in media 6,0 g kg<sup>-1</sup> sul tal quale) (Grignani *et al.* 1999) tali da attribuire a queste tipologie di refluo un potere fertilizzante non indifferente.

La quantità di reflui da apportare alla coltura dev'essere calibrata sulla base della capacità di asportazione di nutrienti della coltura impiegata, così che vada ad instaurarsi una netta competizione tra fra l'assorbimento da parte delle colture in atto, con richiamo di acqua dagli strati più profondi del suolo (Barilli 1980), al fine di evitare fenomeni di deriva delle sostanze apportate ed inquinamento delle acque superficiali e di falda.

Relativamente all'epoca di intervento ottimale per le colture arboree, nonostante Tano e Livini (1986) evidenziano come i trattamenti siano realizzabili durante tutto il corso dell'anno, al fine di massimizzare l'effetto fertilizzante ed evitare fenomeni di dilavamento o di evaporazione dei nutrienti, questa va effettuata nel periodo estivo (Barilli 1980; Sangiorgi *et al.* 1986; Perelli *et al.* 2005).

### 3.1.3 Problematiche nello smaltimento di reflui zootecnici in agricoltura

Le potenziali problematiche associate all'applicazione dei reflui zootecnici comprendono tutti gli aspetti dell'inquinamento diffuso, a partire dalle acque superficiali ad opera del fosforo solubile, ed il rischio di instaurarsi di fenomeni di eutrofizzazione delle acque (Sangiorgi *et al.* 1986), le perdite per percolazione di azoto, gli spostamenti di contaminanti microbici, la riduzione della qualità dell'aria in seguito all'emissione di componenti organiche volatili, e l'incremento di metalli pesanti nel suolo (Bolan *et al.* 2009).

Un corretto impiego agronomico dei reflui zootecnici deve tener conto di molteplici fattori, tra cui il contenuto di elementi nutritivi nel refluo, l'omogeneità della distribuzione, la modalità ed i tempi di spandimento in relazione alla necessità della coltura (Grignani *et al.* 1999) e la capacità di asportare elementi nutritivi dal suolo da parte delle piante, che variano però in relazione alla loro disponibilità nel terreno, allo stadio di crescita della pianta, alla disponibilità di acqua, alla temperatura, ed altri fattori, a dimostrazione che l'assorbimento costituisce un fenomeno biologico ed è perciò influenzabile da tanti fattori capaci di modificarne l'andamento e l'entità (Tano e Livini 1986).

Rischi connessi allo smaltimento di reflui zootecnici in agricoltura derivano prevalentemente dall'irrazionale modalità di gestione ed impiego (Piccinini e Bonazzi 2005) come la somministrazione al terreno di quantitativi eccessivi di metalli pesanti, soprattutto rame e zinco, contenuti normalmente nelle diete dei suini (Barilli 1980), con conseguente rischio di instaurarsi di fenomeni inquinamento (Bolan *et al.* 2009) di tipo 'puntuale' nelle immediate vicinanze dell'allevamento o dei siti di stoccaggio del refluo stesso, o di tipo 'diffuso', derivante prevalentemente da non corrette operazioni di spandimento (Sangiorgi 2003) con conseguente eutrofizzazione delle acque superficiali e profonde (Cronk 1996), nel caso di carico eccessivo di elementi nutritivi (Barilli 1980; Liu *et al.* 1997), ed inquinamento dell'aria derivante dalle emissioni ammoniacali (gas serra) in atmosfera (Grignani *et al.* 1999; Balsari e Gioelli 2003; Lovanh *et al.* 2010).

### 3.1.4 Scopo

Il Piemonte è la terza regione suinicola italiana, con 1.880 allevamenti e poco meno di 1.300.000 capi (Regione Piemonte 2006) concentrati prevalentemente in Provincia di Cuneo. In questa Provincia, che con i suoi 6.900 km<sup>2</sup> è la prima per estensione in Piemonte e la terza a livello nazionale, si registra la presenza di più del 70% dei capi allevati in tutta la regione, concentrati soprattutto in quel settore della filiera, legato all'ingrasso, che presenta maggiori impatti a livello ambientale; si vengono quindi a concentrare sul territorio provinciale gli elevati rischi tecnici, economici ed ambientali legati a questa tipologia di allevamento.

I problemi derivanti dalla presenza sul territorio di un eccesso di reflui zootecnici rispetto i terreni agrari su cui impiegarli risultano già consolidati nel tessuto sociale agricolo locale: in alcune zone si riporta come viga da tempo infatti l'uso, da parte degli allevatori intensivi, di pagare per avere la disponibilità di terreni agrari per lo spandimento dei reflui, con prezzi anche superiori ai 300 €/ettaro nelle zone a maggior concentrazione di suini (Bassanino *et al.* 2006).

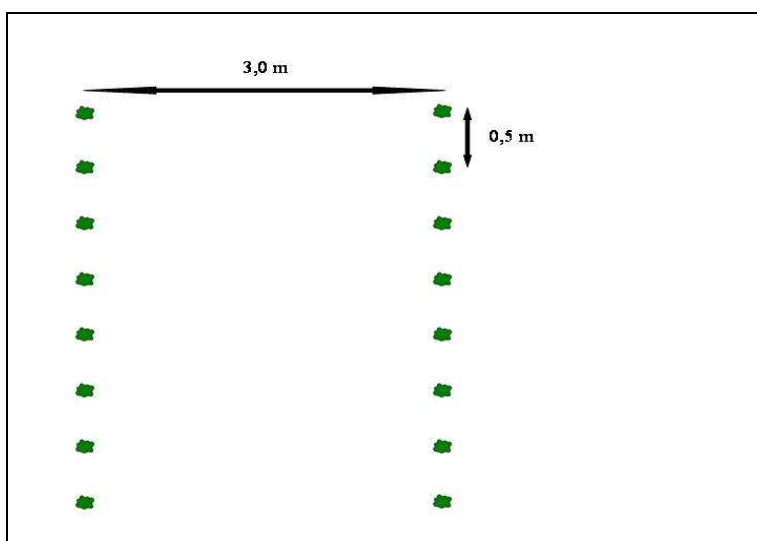
In questo contesto nel 2008 la Regione Piemonte ha finanziato il progetto triennale "IMP.RE.Z.A." (IMPiego di REflui Zootecnici in Agricoltura), volto allo studio delle possibilità di impiego dei reflui zootecnici in agricoltura, al fine di valutare le modalità di impiego di differenti tipologie di refluo in più contesti produttivi, tra cui l'arboricoltura da biomassa, una tipologia colturale presente in Piemonte solo da pochi anni con alcune centinaia di ettari (<http://www.regione.piemonte.it>).

In questo lavoro è stata analizzata la possibilità di smaltire differenti forme di refluo zootecnico, liquame e separato solido, in impianti di *Short Rotation Forestry* al fine di valutare la risposta in termini produttivi di tre differenti specie tipicamente impiegate in questa coltura (il pioppo, il salice e la robinia) ad elevati apporti di materiale. Vengono quindi presentati i risultati registrati dopo i primi due anni della sperimentazione.

## 3.2 Materiali e metodi

### 3.2.1 Disegno sperimentale

La sperimentazione è stata condotta in un impianto di *Short Rotation Forestry* di proprietà di ALLASIA PLANT (<http://www.allasiaplant.com>), sito a Cavallermaggiore (CN).



**Figura 28. Modulo d'impianto.**

L'impianto su cui è stata condotta la sperimentazione è stato realizzato nella stagione invernale 2006/2007; il materiale d'impianto impiegato è costituito da talee legnose di circa 20 cm di lunghezza. L'impianto è composto da 16 file costituite da blocchi di pioppo salice e robinia con ripetizioni di numerosità variabile randomizzate lungo la fila; il modulo d'impianto è rettangolare con distanza d'impianto di 3,0 m per 0,5 m, per una densità di 6.667 piante all'ettaro (figura 28); il modello culturale prevede ceduzioni biennali.

Lo schema sperimentale adottato, rappresentato in figura 29, prevede la realizzazione di tre trattamenti e un testimone di controllo su 4 file distanziate di 9,0 m e separate da 2 file in modo da evitare la dispersione laterale del trattamento effettuato.

Sono stati realizzati i seguenti trattamenti:

- 1- spandimento di liquame tal quale ed interrimento entro le 48 ore successive al trattamento,
- 2- spandimento di liquame tal quale superficiale,
- 3- spandimento di separato solido interrato,
- 4- testimone non trattato.

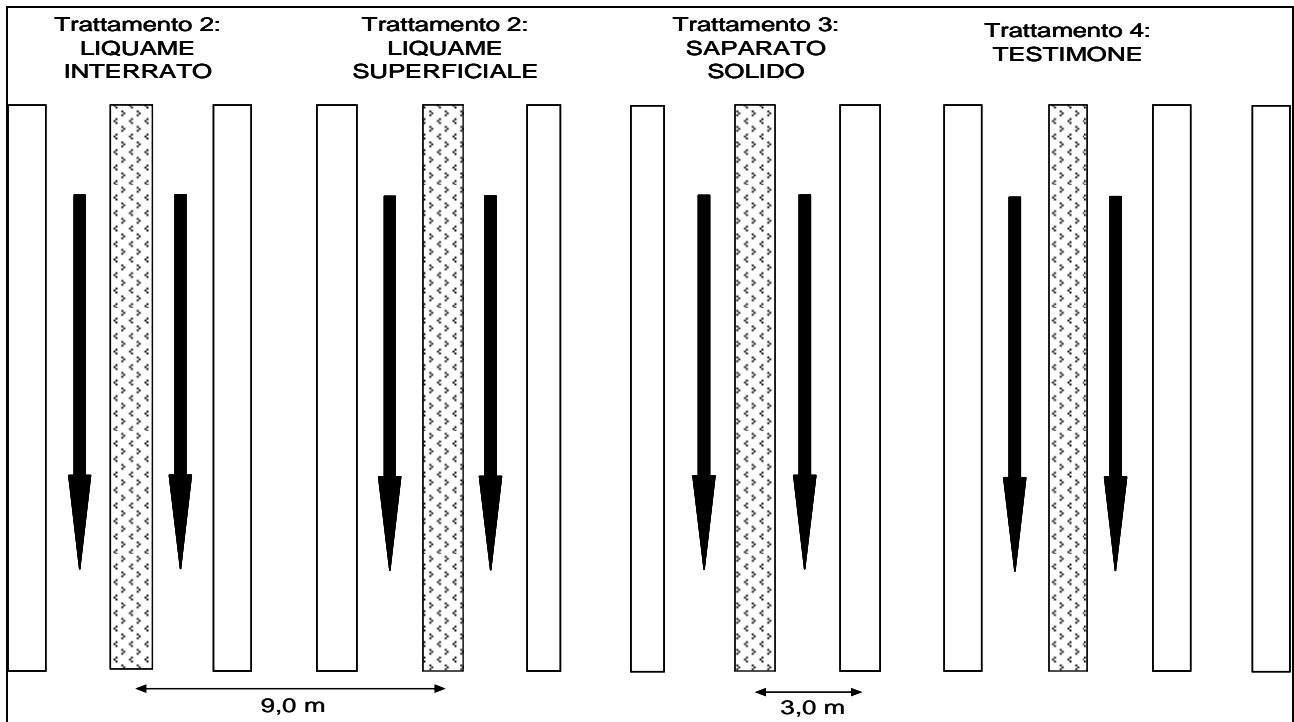


Figura 29. Disegno sperimentale.

### 3.2.2 Trattamenti e rilievi

Nella stagione invernale 2007/2008 è stato effettuato il primo rilievo. Sono stati rilevati di un campione di tutte le specie di tutti i trattamenti (età F1/R1):

- diametro a 1,30 m con la precisione di  $[10^{-2} \text{ m}]$ ,
- altezza totale con livello di precisione a  $[10^{-1} \text{ m}]$ .

A luglio 2008 sono stati effettuati i primi trattamenti (età F2/R2) (tabella 15), ripetuti poi nel luglio 2009 (età F1/R3).

La distribuzione dei reflui è stata eseguita calibrando l'apporto di nutrienti rispetto al massimo consentito dalla norma vigente (170 kg equivalenti di N) al fine principalmente di vedere gli effetti sul suolo e solo secondariamente sulle performance di accrescimento degli alberi.

Nella stagione invernale 2008/2009 è stata effettuata la seconda campagna di rilievi su tutte le piante di tutte le file (età F2/R2) rilevando diametro a 1,30 m e altezza totale, per un totale di 644 piante monitorate di cui 440 pioppi, 97 robinie e 107 salici.

Sono stati inoltre prelevati 3 polloni di diametro medio per ogni specie per ogni trattamento; su queste piante sono stati rilevati: altezza totale, con livello di precisione di  $[10^{-2} \text{ m}]$  e peso fresco totale con livello di precisione al [g].

Da ogni pianta campione sono stati inoltre prelevati dei campioni legnosi del fusto a differente altezza e un campione di cimale; tali campioni sono stati analizzati in laboratorio e di questi sono stati rilevati:

- peso fresco, con bilancia digitale da laboratorio con precisione a  $[10^{-2} \text{ g}]$ ,
- peso secco, mediante essiccazione in stufa a  $105^{\circ}\text{C}$  fino a raggiungimento di peso costante dopo due pesate successive, con bilancia digitale da laboratorio con precisione a  $[10^{-2} \text{ g}]$ .

Sono stati quindi ricavati:

- il contenuto di umidità (U%) dalla relazione:

$$U\% = (\text{peso fresco} - \text{peso secco}) / \text{peso secco} * 100$$

- il rapporto tra peso secco e peso fresco, impiegato per la determinazione della produzione quale fattore di correzione del peso secco.

La produzione potenziale di biomassa è stata calcolata considerando un tasso di sopravvivenza del 100% delle ceppaie (Gruenewald *et al.* 2007), espressa in termini di sostanza secca  $[\text{Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}]$ , è stata ottenuta applicando la:

$$M = (\text{peso fresco getto medio}) * (\text{numero di getti all'ettaro}) * (\text{rapporto peso secco/peso fresco})$$

Sono stati inoltre calcolati l'incremento percentuale in diametro ed in altezza.

I dati sono stati analizzati mediante analisi della varianza con programma di analisi statistica SAS, con livello di significatività  $P < 0,05$ .

Le analisi chimico fisiche del suolo e dei reflui impiegati nei trattamenti sono state effettuate dal Dipartimento di valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali dell'Università degli studi di Torino.

L'esecuzione dei trattamenti è stata curata dalla sezione di Meccanica del Dipartimento di Economia e ingegneria agraria, forestale e ambientale dell'Università degli studi di Torino.

	Liquame interrato			Liquame superficiale			Separato solido		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub>
Kg/t TQ	3.81	11.58	1.40	3.81	11.58	1.40	8.40	11.58	2.66
Distribuiti (kg)	8.77	26.62	3.22	8.35	25.35	3.07	10.17	14.01	3.22
Distribuiti (kg/ha)	162.33	493.03	59.70	154.57	469.45	56.85	188.29	259.38	59.70
Previsti (kg/ha)	170.00			170.00			170.00		
Scarto	-5%			-9%			+11%		

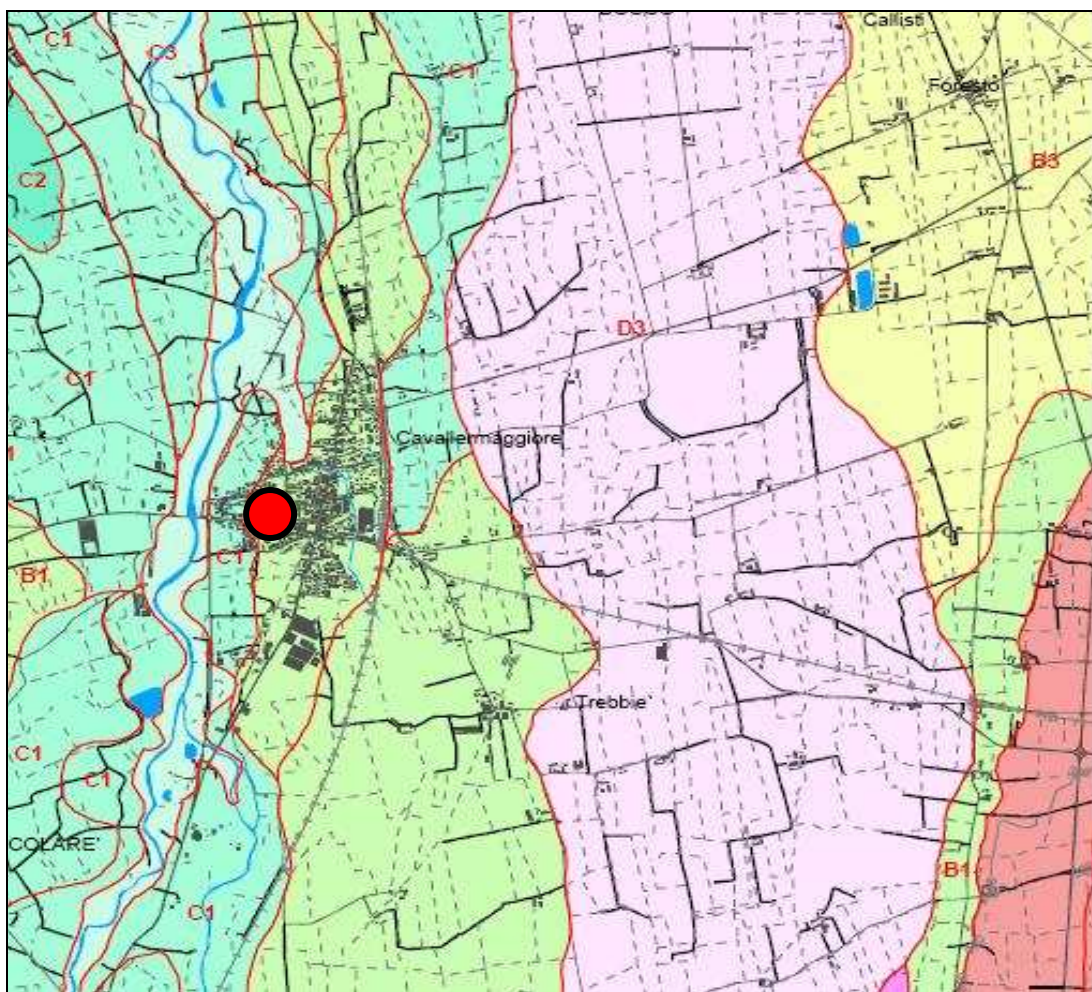
**Tabella 15. Caratteristiche del liquame e del separato solido, dosi di elementi cercate ed effettivamente distribuite (2008). LEGENDA: kg/t TQ = concentrazione in kg/t dell'elemento sul tal quale; distribuiti (kg) = quantitativo di elemento complessivamente distribuito ; distribuiti (kg/ha) = quantitativo di elemento realmente distribuito per unità di superficie; previsti (kg/ha) = quantitativi di spandimento previsti per unità di superficie; scarto = scarto tra i quantitativi di elemento previsti e reali.**

### 3.2.3 L'area di studio

L'area di studio è sita a Cavallermaggiore (CN) (lat. 44°42'38''N – 07°41'14'' E), si trova ad un'altitudine di 270 m s.l.m. in zona pianeggiante.

Dal punto di vista della componente pedo-paesaggistica prevalente il sito ricade in una pianura di recente origine caratterizzata dalla presenza di sedimenti di origine alpina.

I suoli sono classificabili come "entisuoli" (figura 30), giovani suoli caratterizzati dall'assenza di orizzonti diagnostici, da una limitata espressione dei processi pedogenetici e da un orizzonte superficiale povero di sostanza organica, chiaro e sottile posto al di sopra di substrati litoidi compatti o di depositi alluvionali recenti. L'assenza di orizzonti può essere dovuta alla mancanza di un tempo sufficientemente lungo per la loro formazione o al tipo di roccia madre. Si tratta di suoli altamente produttivi per l'agricoltura, facilmente lavorabili e caratterizzati da un elevato contenuto nutritivo e da un'ampia disponibilità di acqua.



**Figura 30. Localizzazione dell'impianto su estratto della Carta delle tipologia di suolo. Legenda. C1: entisuoli di pianura non ghiaiosi non idromorfi, B1 (verde chiaro) inceptisuoli di pianura non idromorfi non ghiaiosi.**

Il suolo presenta elevata pietrosità: lo scheletro è costituito da clasti arrotondati delle dimensioni di 3-5 cm di diametro; la terra fine presenta un pH sub-alcalino nei primi 5 cm ed alcalino in profondità e una tessitura franco-limoso. La capacità di scambio cationico è elevata, la saturazione in potassio e magnesio è bassa mentre è alta quella in calcio. In tabella 16 e tabella 17 sono riportati le principali caratteristiche fisiche e chimiche del suolo.

Profondità (cm)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Argilla (%)	Limo fine (%)	Limo grosso (%)	Sabbia fine (%)	Sabbia grossa (%)
0-5	1.15	9.2	37.1	18.0	24.9	10.8
5-30	1.51	9.6	37.8	17.9	24.2	10.5
30-60	1.39	9.2	40.0	17.4	24.4	9.2

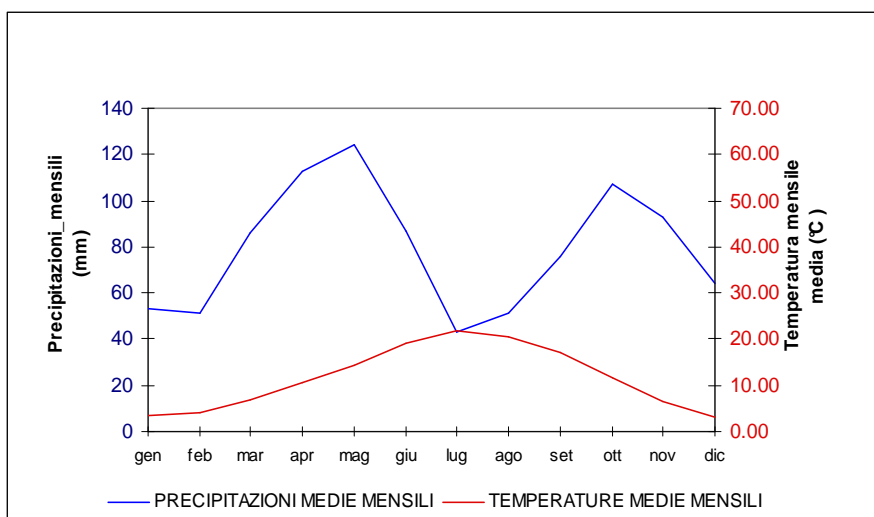
**Tabella 16. Caratteristiche fisiche del suolo.**

Profondità (cm)	pH	Carbonati tot. (%)	CSC (%)	Ca (cmol <sub>c</sub> /kg)	Mg (cmol <sub>c</sub> /kg)	K (cmol <sub>c</sub> /kg)
0-5	7.8	3.95	20.93	10.53	1.44	0.23
5-30	8.1	4.35	20.31	10.37	1.34	0.23
30-60	8.3	4.75	19.91	11.70	1.26	0.17

**Tabella 17. Caratteristiche chimiche del suolo.**

Dal punto di vista climatico, il sito è caratterizzato da temperatura media annua di 12°C, minima del mese più freddo (dicembre) 0°C e massima del mese più caldo (luglio) di 27°C; con precipitazioni medie annue di 948 mm, mese più piovoso maggio (124 mm) e mese più siccitoso luglio (43 mm).

Il clima presenta caratteristiche di continentalità abbastanza spiccate, determinate dallo schermo opposto alle influenze del pur vicino mar Mediterraneo (figura 31).



**Figura 31. Andamento termopluviometrico dell'ultimo trentennio della stazione di Cuneo-Levaldigi.**

### 3.3 Risultati

#### 3.3.1 Analisi dendrometrica

##### DIAMETRO A PETTO D'UOMO

I pioppi, come presentato in figura 32, hanno registrato alla fine della prima stagione vegetativa (età F1/R1) un diametro medio di 16,3 mm, significativamente maggiore nelle piante ricadenti nella fila testimone, con valore di  $17,77 \pm 4,33$  mm, rispetto le altre file in cui sono stati registrati valori di diametro medio di 16 cm circa (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 13,94$ , DF=3, P=0,003).

Alla fine della seconda stagione vegetativa (età F2/R2) il pioppo presenta diametro medio di 46,6 mm, con valori significativamente maggiori nelle piante ricadenti nella fila testimone, con diametro medio di  $48,87 \pm 10,44$  mm, rispetto le altre file in cui sono stati registrati valori di diametro medio di circa 44 cm (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 26,80$ , DF=3, P<0,0001).

Per una dettagliata presentazione dei risultati dendrometrici si rimanda all'Allegato 1.8, tabella 5.

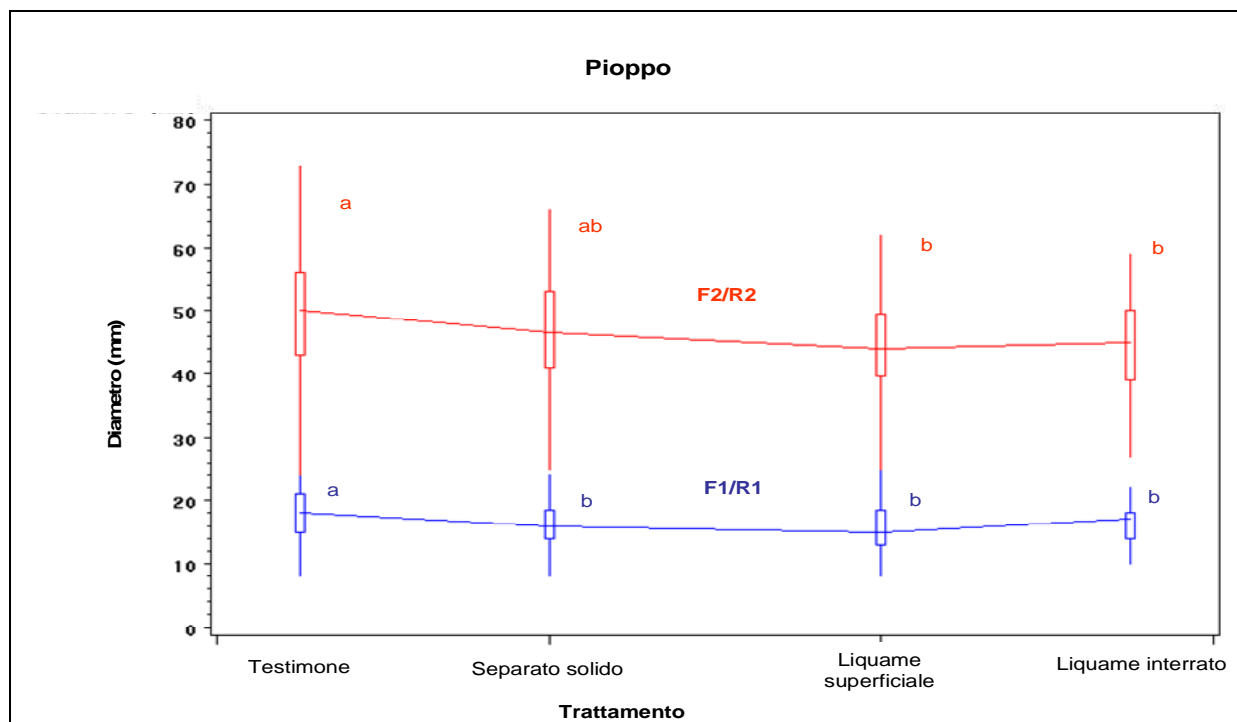


Figura 32. Box-plot e andamento del diametro del pioppo secondo i trattamenti effettuati dopo la prima (età F1/R1) e la seconda (età F2/R2) stagione vegetativa. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti (P<0,05).

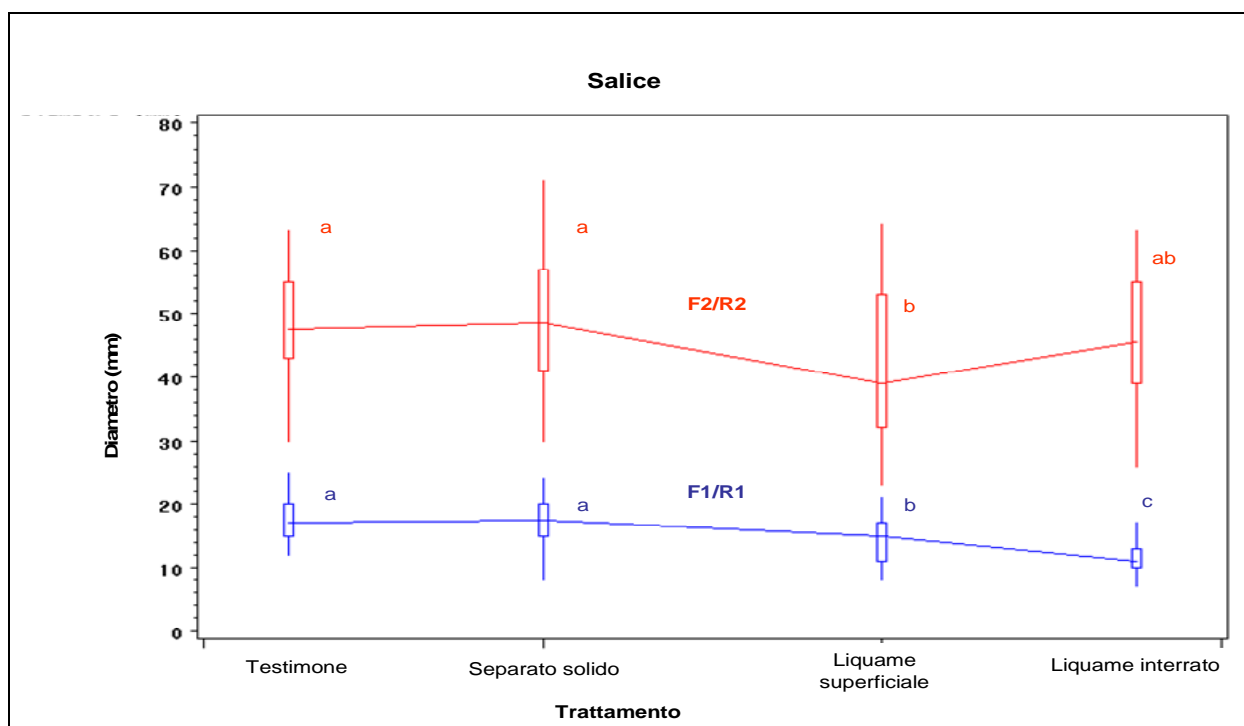


Gli incrementi percentuali in diametro registrati sul pioppo al termine della seconda stagione vegetativa sono stati molto elevati, e non significativamente differenti al variare del trattamento (PROC NPAR1WAY di SAS), con un valore medio del  $187,28 \pm 58,45\%$ .

Al termine della prima stagione vegetativa (figura 33) i salici presentano un diametro medio decrescente secondo un gradiente che segue l'andamento delle file con valori massimi per il testimone (DBH= $18,0 \pm 3,44$  mm) e il trattamento con separato solido (DBH= $17,08 \pm 4,09$  mm), intermedi nel trattamento con liquame interrato (DBH= $14,74 \pm 3,69$  mm) e minimi per il trattamento con liquame superficiale (DBH= $11,38 \pm 3,38$  mm) (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 31,67$ , DF=3,  $P < 0,0001$ ).

Al termine della seconda stagione vegetativa, all'età F2/R2, i salici presentano valori di diametro alla base statisticamente simili tra tutti i trattamenti (PROC NPAR1WAY di SAS) con valore medio di  $45,96 \pm 10,88$  mm. Per una dettagliata presentazione dei risultati dendrometrici si rimanda all'Allegato 1.8, tabella 5.

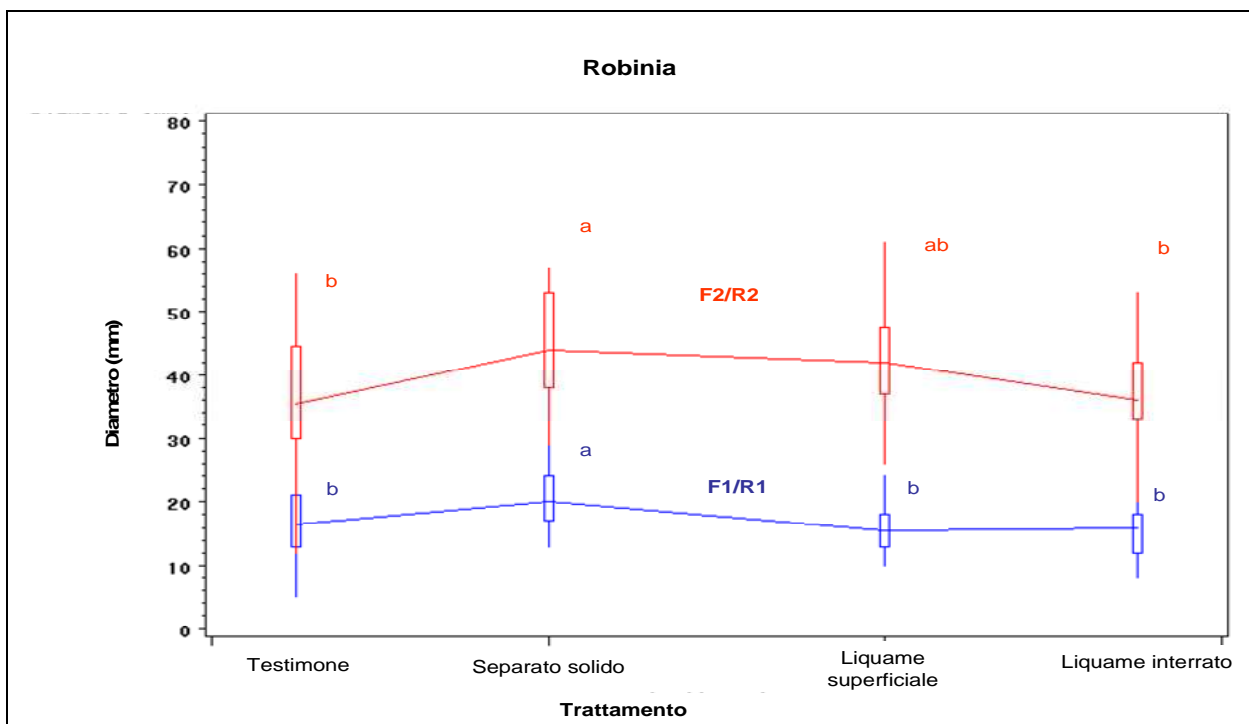
Al termine della seconda stagione vegetativa i salici presentano incrementi percentuali in diametro che differiscono significativamente a seconda dei trattamenti a cui sono stati sottoposti (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 22,22$ , DF=3,  $P < 0,0001$ ); incrementi massimi si presentano a seguito del trattamento con liquame interrato.



**Figura 33. Box-plot e andamento del diametro del salice secondo i trattamenti effettuati dopo la prima (età F1/R1) e la seconda (età F2/R2) stagione vegetativa. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti ( $P < 0,05$ ).**

La robinia (figura 34) al termine della prima stagione vegetativa presenta valori di diametro medio maggiori per le piante sulla fila destinata al trattamento con separato solido (DBH= $20,67 \pm 4,88$  mm)

rispetto quelli registrati nelle altre file che presentavano invece diametri medi attorno ai 16 mm (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2=11,59$ , DF=3, P=0,008), mentre al termine della seconda stagione vegetativa sono stati registrati diametri maggiori per le piante sottoposte a trattamento con separato solido (DBH=46,29±11,25 mm) rispetto le piante trattate con il liquame superficiale (DBH=42,35±8,56 mm) che hanno presentato valori di diametro intermedi rispetto le piante sottoposte a trattamento con liquame interrato (DBH=36,96±8,17 mm) e quelle testimone (DBH=36,38±10,11 mm) che hanno invece presentato diametri significativamente inferiori (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2= 16,69$ , DF=3, P=0,0008). Per una dettagliata presentazione dei risultati dendrometrici si rimanda all'Allegato 1.8, tabella 5. Gli incrementi percentuali in diametro per la robinia risultano massimi nel trattamento con liquame superficiale (I%=174,29±44,93%) e minimi per la prova con separato solido (I%=131,05±55,85%) ed il testimone non trattato (I%=124,29±44,00%), mentre nella prova con liquame interrato si registrano valori intermedi (I%=150,21±51,96%) (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2=13,55$ , DF=3, P=0,0036).



**Figura 34. Box-plot e andamento del diametro nella robinia secondo i trattamenti effettuati dopo la prima (età F1/R1) e la seconda (età F2/R2) stagione vegetativa. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti (P<0,05).**

Le *Salicaceae*, come evidenziato in figura 35, presentano incrementi diametrici superiori rispetto alla robinia sia nella prova testimone che nel trattamento con separato solido, mentre il salice risulta avere prestazioni decisamente superiori ad entrambe le altre specie nella prova con liquame interrato (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test).

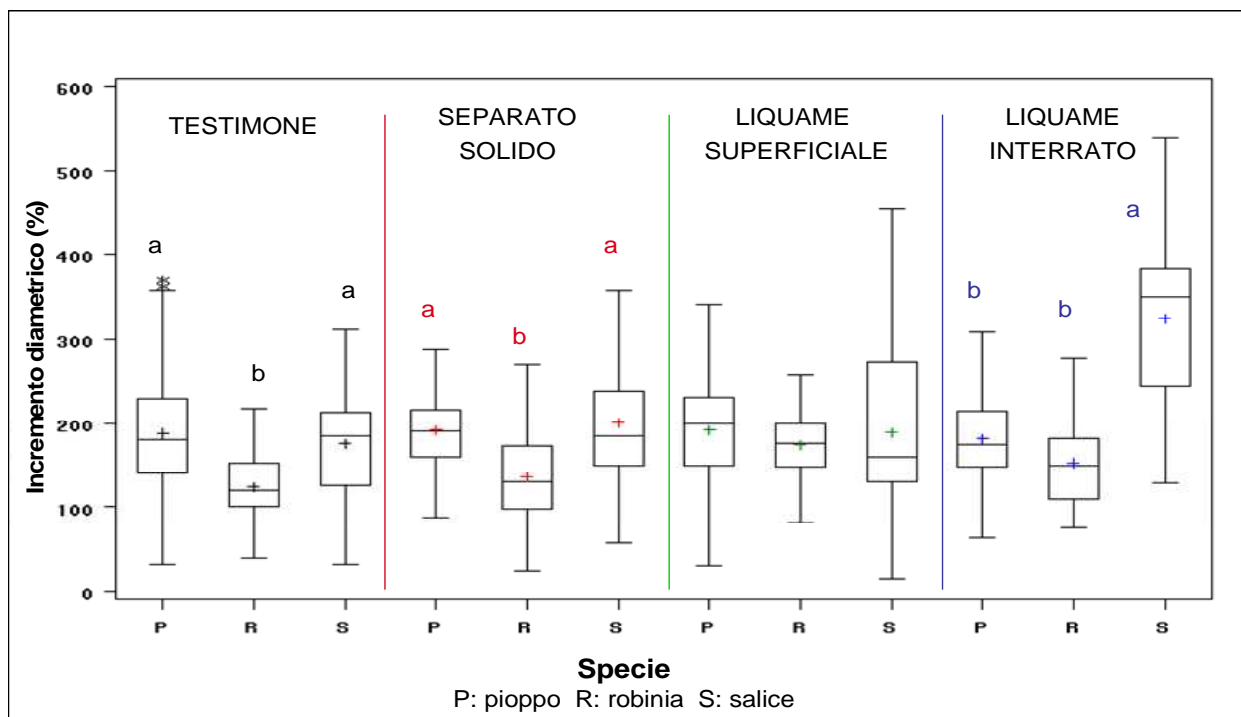
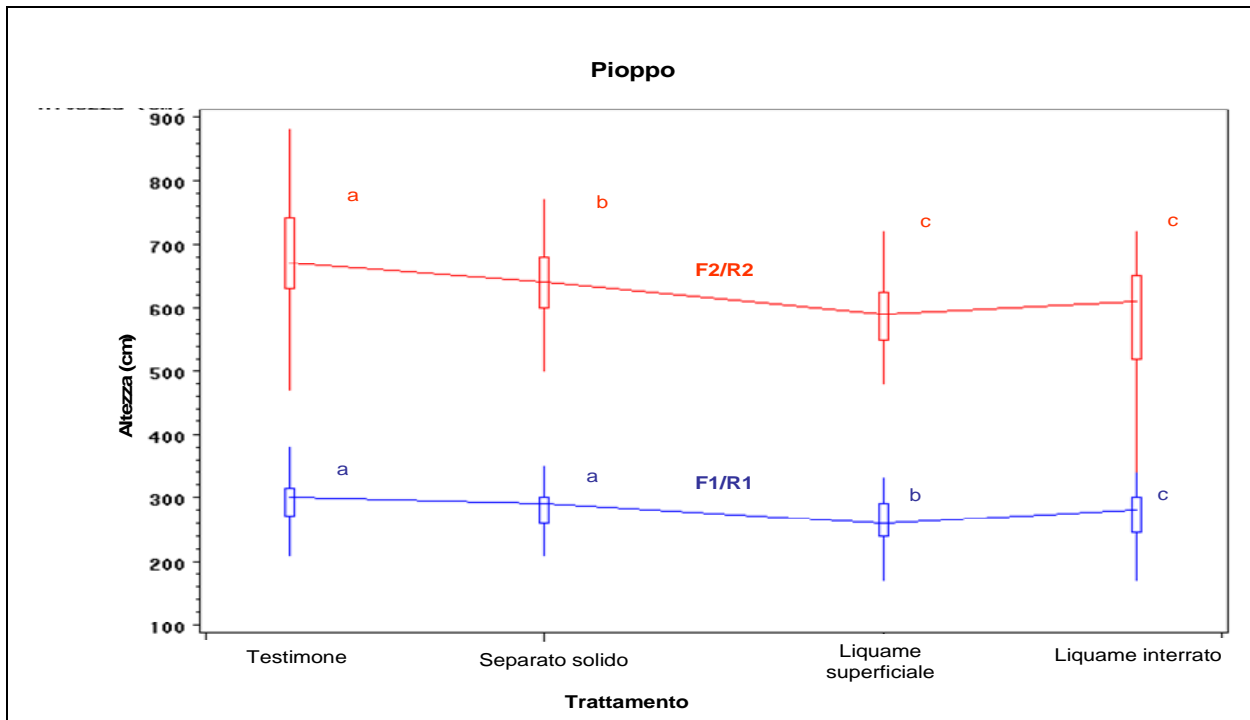


Figura 35. Box-plot degli incrementi percentuali in diametro delle tre specie suddivisi per i quattro trattamenti effettuati. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti ( $P < 0,05$ ).

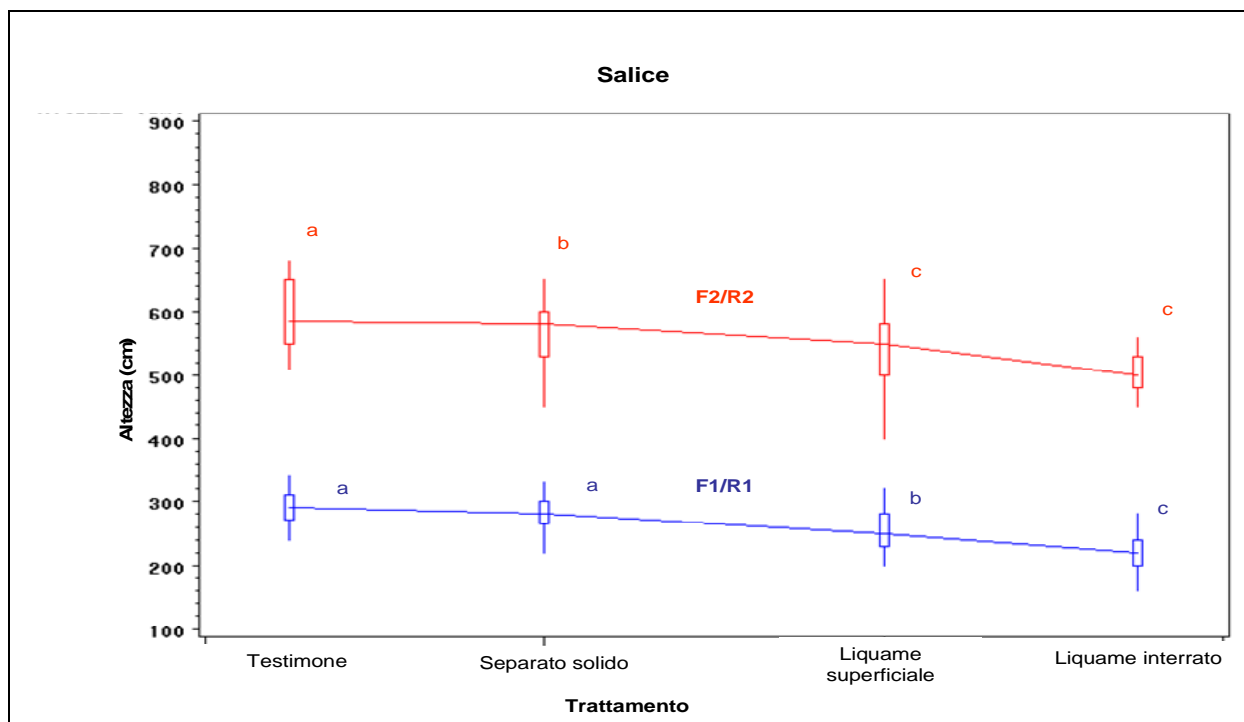
## ALTEZZA MEDIA

L'altezza media raggiunta dal pioppo al termine della prima stagione vegetativa (figura 36) presenta un significativo gradiente negativo (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 42,71$ ,  $DF=3$ ,  $P < 0,0001$ ) spostandosi dalle file destinate al testimone ( $H=296,02 \pm 41,93$  cm) ed al trattamento con separato solido ( $H=279,43 \pm 36,34$ ), rispetto alla fila destinata al trattamento con liquame superficiale ( $H=270,75 \pm 41,76$  cm) e la fila destinata al trattamento con il liquame interrato ( $H=260,65 \pm 42,61$  cm). Al termine della seconda stagione vegetativa (età F2/R2) il pioppo presenta altezze che continuano a seguire questo gradiente negativo (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 88,65$ ,  $DF=3$ ,  $P < 0,0001$ ) presentano valori decrescenti da quelli massimi registrati per il testimone non trattato ( $H=684,39 \pm 93,22$  cm) a quelli delle piante trattate con il separato solido ( $H=634,89 \pm 77,46$  cm) a quelli minimi registrati per le piante sottoposte a trattamento con il liquame superficiale ( $H=588,13 \pm 60,07$  cm) od il liquame interrato ( $H=587,18 \pm 78,92$  cm). Gli incrementi percentuali in altezza registrati per il pioppo risultano essere maggiori nella fila testimone rispetto i trattamenti con separato solido e liquame superficiale, mentre incrementi minori sono stati registrati nel caso del trattamento con liquame interrato (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 9,54$ ,  $DF=3$ ,  $P=0,02$ ).



**Figura 36. Box-plot e andamento dell'altezza per il pioppo a seconda dei trattamenti effettuati, dopo la prima (età F1/R1) e la seconda (età F2/R2) stagione vegetativa. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti ( $P < 0,05$ ).**

Come già evidenziato per il pioppo, anche il salice (figura 37) presenta altezze che seguono un significativo gradiente negativo all'interno dell'area sperimentale (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 41,09$ ,  $DF = 3$ ,  $P < 0,0001$ ). Le altezze medie registrate al termine della prima stagione vegetativa risultano essere infatti massime per le piante della fila destinata alla funzione di testimone non trattato ( $H = 289,67 \pm 28,95$  cm) e al trattamento con separato solido ( $H = 278,88 \pm 31,29$  cm), mentre inferiori risultano essere i valori registrati sulle piante della fila destinata al trattamento con liquame superficiale ( $H = 253,29 \pm 31,28$  cm) ed ancora minori risultano essere i valori nel caso del liquame interrato ( $H = 220,00 \pm 33,38$  cm). Al termine della seconda stagione vegetativa e di un ciclo di trattamenti, il salice presenta incrementi in altezza maggiori con il trattamento con liquame interrato (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 12,43$ ,  $DF = 3$ ,  $P = 0,006$ ), ovvero nella prova che è sempre stata caratterizzata da minori valori.



**Figura 37. Box-plot e andamento dell'altezza per il salice a seconda dei trattamenti effettuati, dopo la prima (età F1/R1) e la seconda (età F2/R2) stagione vegetativa. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti ( $P < 0,05$ ).**

Al termine della prima stagione vegetativa la robinia è caratterizzata anch'essa da differenze marcate tra le file relativamente ai valori di altezza media (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 13,34$ , DF=3,  $P = 0,0039$ ), presentando valori di altezza media maggiori per le piante ricadenti nella fila destinata al trattamento con separato solido ( $H = 307,89 \pm 34,09$  cm) rispetto alle piante ricadenti nelle file destinate al testimone ( $H = 282,86 \pm 41,44$  cm) e rispetto alle piante ricadenti nelle file destinate al trattamento con liquame interrato ( $H = 261,74 \pm 51,31$  cm) mentre intermedio risulta essere il valore riscontrato sulle piante destinate al trattamento con liquame superficiale ( $H = 256,00 \pm 36,62$  cm). Tale andamento, come evidenziato in figura 38, si mantiene anche successivamente nella seconda stagione vegetativa (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 24,41$ , DF=3,  $P < 0,0001$ ) anche se le differenze tendono a evidenziare maggiori altezze nel trattamento con separato solido ( $H = 650,00 \pm 31,49$  cm) rispetto agli altri trattamenti.

Gli incrementi in altezza risultano maggiori per i trattamenti con separato solido rispetto al testimone, mentre minori sono gli incrementi registrati a seguito degli altri trattamenti (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 14,36$ , DF=3,  $P = 0,0025$ ).

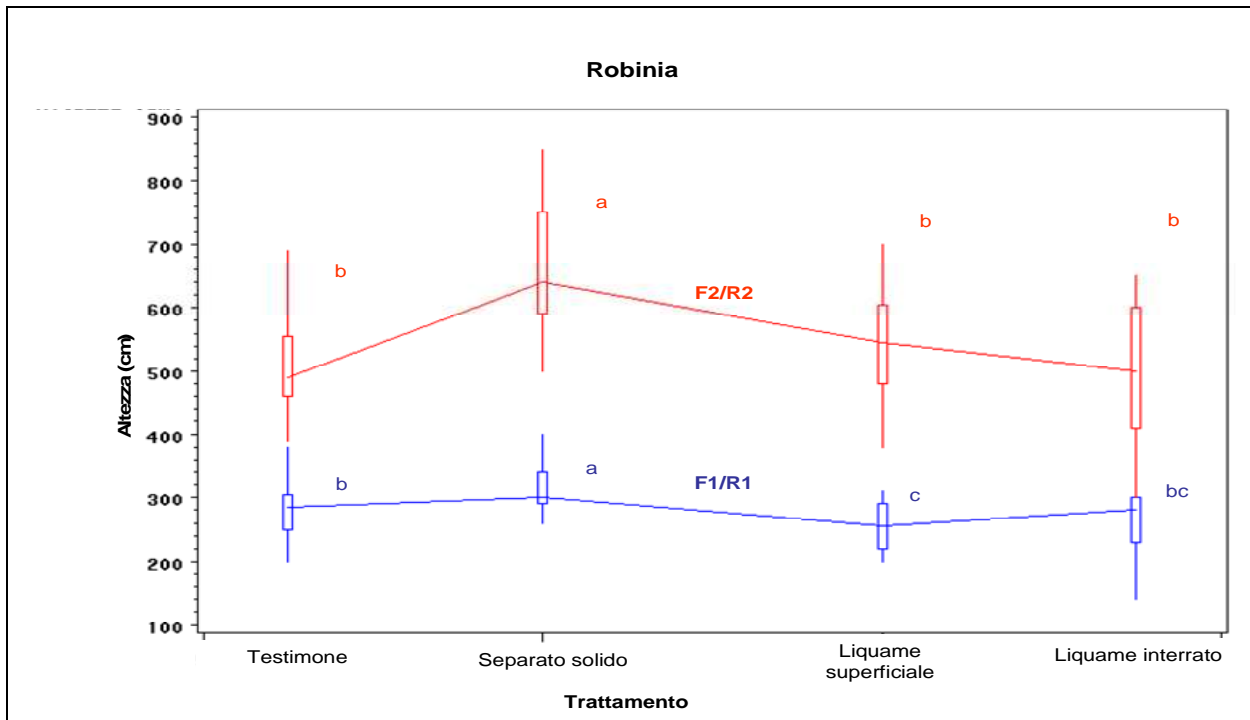


Figura 38, Box-plot e andamento dell'altezza per la robinia a seconda dei trattamenti effettuati, dopo la prima (età F1/R1) e la seconda (età F2/R2) stagione vegetativa. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti ( $P < 0,05$ ).

Mentre nel testimone gli incrementi risultano essere maggiori nel pioppo rispetto al salice e quindi alla robinia (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2=64,61$ ,  $DF=2$ ,  $P < 0,0001$ ), nel trattamento con liquame interrato le *Salicaceae* presentano accrescimenti maggiori rispetto la robinia (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2=19,91$ ,  $DF=2$ ,  $P < 0,0001$ ), nel trattamento con separato solido la robinia presenta accrescimenti superiori al salice, portandosi ai livelli incrementali del pioppo (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2=25,21$ ,  $DF=2$ ,  $P < 0,0001$ ), mentre a seguito del trattamento con liquame superficiale non i valori di incremento percentuale in altezza sono analoghi tra tutte le tre specie considerate (PROC NPAR1WAY di SAS, Kruskal-Wallis test) (figura 39).

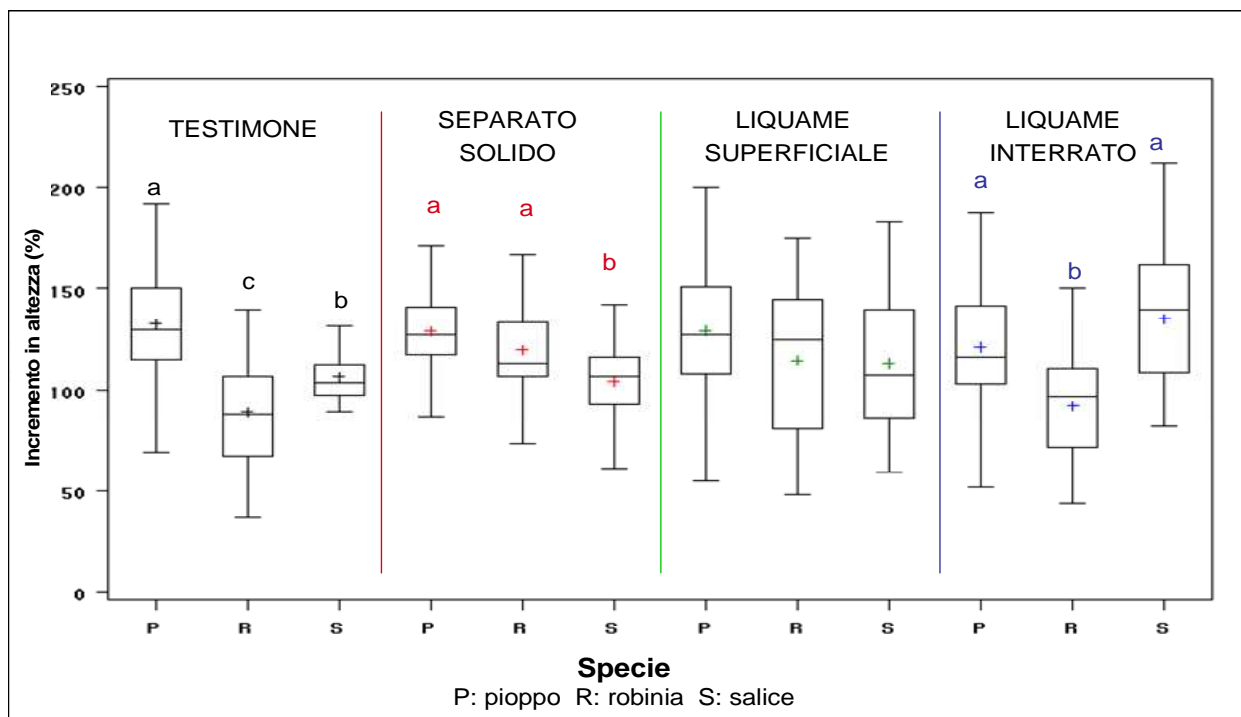


Figura 39. Box-plot degli incrementi percentuali in altezza delle tre specie suddivisi per i quattro trattamenti effettuati. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti ( $P < 0,05$ ).

### 3.3.2 Caratteristiche fisiche

Trattamento	Umidità (U%)			Contenuto idrico (W%)		
	Pioppo	Salice	Robinia	Pioppo	Salice	Robinia
Testimone	172,09±6,91	135,74±12,26	60,10±1,79	63,24±0,93	57,50±2,24	37,53±0,69
Separato solido	157,54±2,32	125,02±9,90	62,14±0,38	60,97±3,50	55,50±2,01	38,33±0,14
Liquame superficiale	151,30±3,57	137,38±6,88	62,09±2,09	60,20±0,56	57,85±1,23	38,30±0,8
Liquame interrato	166,65±30,16	136,50±2,59	60,16±1,81	62,15±4,58	57,71±0,46	37,56±0,71
	a	b	c	a	b	c

Tabella 18. Umidità e contenuto idrico del legno delle specie impiegate nella sperimentazione per combinazione di trattamento come rilevato al termine del secondo anno (età R2F2). A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti ( $P < 0,05$ ).

Il pioppo presenta valori di umidità (U%) del  $160,97 \pm 18,34\%$  significativamente superiori a quelli del salice ( $U\% = 133,66 \pm 9,08\%$ ), mentre la robinia ha il legno caratterizzato da un'umidità molto più bassa delle due *Salicaceae*, con valori di umidità del  $61,13 \pm 1,75\%$ . Ugualmente il contenuto idrico è risultato essere molto elevato nel pioppo ( $W\% = 61,49 \pm 2,85\%$ ) e nel salice ( $W\% = 57,14 \pm 1,72\%$ ) rispetto la robinia ( $W\% = 37,93 \pm 0,68\%$ ).

Dall'analisi della varianza dell'umidità (U%) e del contenuto idrico (W%), come presentato in tabella 18, emerge come questi parametri non varino al variare del trattamento per nessuna delle specie considerate (PROCNPARIWAY di SAS, Kruskal-Wallis test).

### 3.3.3 Produzione

Produzione di sostanza secca (Mg ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> )				
Trattamento	Pioppo	Salice		Robinia
Testimone	10,36±0,67	10,78±0,5	ab	8,77±3,89
Separato solido	11,89±2,37	12,78±2,85	a	17,86±2,16
Liquame superficiale	8,59±0,58	7,71±0,81	b	11,99±0,79
Liquame interrato	8,90±1,16	10,81±1,60	ab	10,07±1,09
	n.s.	n.s.		n.s.
Produzione tal quale (Mg ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> )				
Trattamento	Pioppo	Salice		Robinia
Testimone	32.91±8.36	25.40±1.79	ab	14.07±6.38
Separato solido	30.29±3.25	28.58±4.96	a	28.96±3.44
Liquame superficiale	21.58±1.39	18.31±2.23	b	19.45±1.52
Liquame interrato	23.51±0.71	25.58±3.90	ab	16.13±1.48
	A	AB		B

**Tabella 19. Produzione potenziale annua di sostanza secca (Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup>) per le tre specie a seconda delle differenti tipologie di trattamento cui sono sottoposti. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti (P<0,05); n.s.= differenze non significative.**

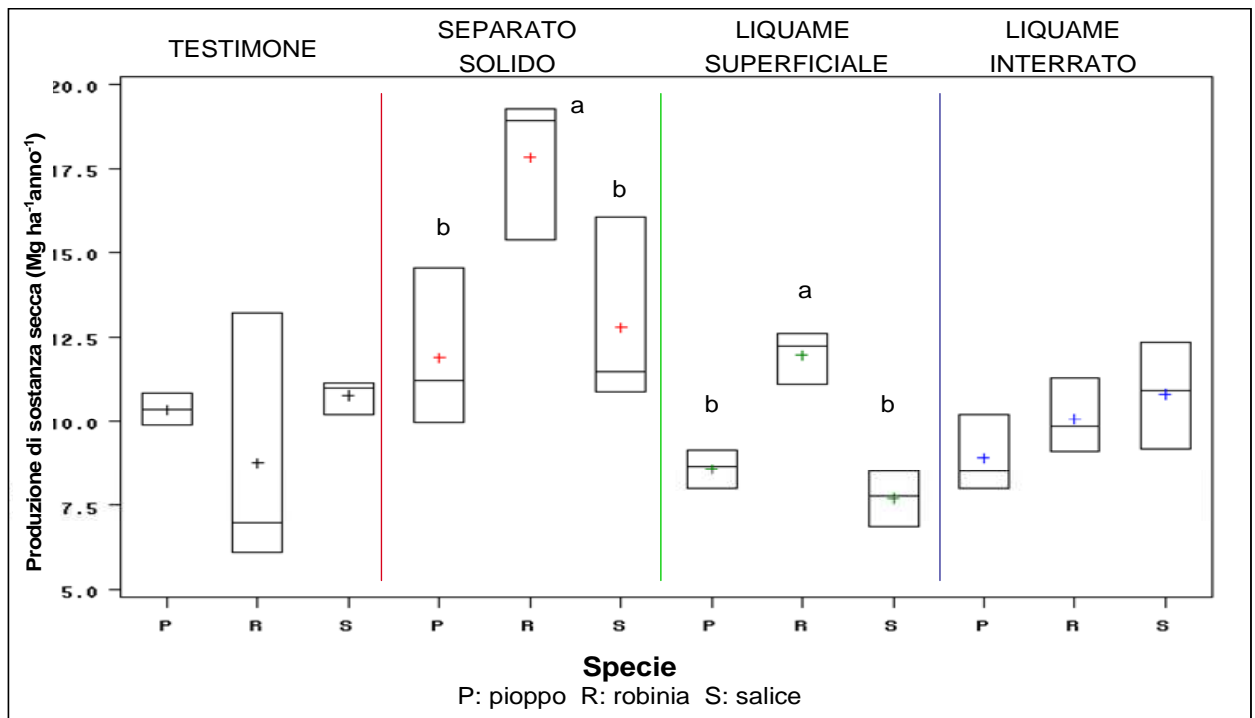
La produzione potenziale annua di sostanza secca evidenziata per il pioppo al termine della seconda stagione vegetativa (tabella 19) è risultata essere di 10,36 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> nel testimone, di 11,89 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> per il separato solido, 8,59 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> per il liquame non interrato e di 8,90 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> nel trattamento con liquame interrato, per un valore medio di 9,90±1,89 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup>. Nonostante non si evidenzino differenze statisticamente significative in termini produttivi al variare del trattamento applicato (PROC ANOVA di SAS), è stata riscontrata una lieve diminuzione di produzione rispetto al testimone non trattato in tutti i trattamenti tranne che nel separato solido.

La produzione potenziale annua di sostanza secca all'ettaro nel salice risulta variare sensibilmente a seconda del trattamento effettuato (PROC ANOVA di SAS, P=0,03), presentando valori di 12,78 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> per il trattamento con separato solido, di 10,81 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> per il liquame interrato e di 10,78 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> nel il testimone non trattato, con valori minimi registrati di 7,71 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> nel trattamento con liquame superficiale.

La produzione potenziale annua per la robinia risulta essere di 17,86 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> per il trattamento con separato solido, mentre valori intermedi (PROC ANOVA di SAS, P=0,006) si evidenziano nelle prove con il liquame interrato (10,07 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup>) ed il liquame superficiale (11,99 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup>), mentre valori minimi sono quelli registrati per il testimone, con 8,77 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> prodotti.

L'analisi della varianza evidenzia, come rappresentato in figura 40, maggiori produzione annue in termini di sostanza secca per la robinia a rispetto le due *Salicaceae* sia nel trattamento con separato solido che in quello con liquame superficiale, mentre sia nella prova con liquame interrato che nel testimone non sono riscontrabili significative differenze (PROC ANOVA di SAS).





**Figura 40.** Box-plot della produzione potenziale di biomassa espressa in termini di  $\text{Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$  di sostanza secca, delle tre specie suddivisi per i quattro trattamenti effettuati. A lettere diverse corrispondono valori significativamente differenti ( $P < 0,05$ ).

Considerando la produzione in termini di biomassa tal quale emerge invece come la produzione annua del pioppo ( $27,07 \pm 6,23 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ ) sia significativamente superiore rispetto i valori medi del salice ( $24,47 \pm 4,92 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ ) e quelli minime registrati per la robinia ( $19,65 \pm 6,79 \text{ Mg ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ ) (PROC ANOVA di SAS).

L'apporto di reflui presenta significative conseguenze in termini produttivi solamente sul salice e sulla robinia, nella forma del separato solido.

## 3.4 *Discussione*

### 3.4.1 Analisi dendrometrica

Gli accrescimenti registrati al termine del primo ciclo colturale per le tre specie sono elevati.

Mentre non si registrano differenze statisticamente significative degli incrementi percentuali di diametro al variare dei differenti tipi di trattamento nel pioppo, il salice e la robinia hanno risposto positivamente ai trattamenti rispetto al testimone non trattato.

Il salice presenta maggiori dimensioni nel trattamento con separato solido, nonostante i massimi incrementi diametrici si registrino in seguito al trattamento con liquame interrato.

La robinia presenta maggiori accrescimenti del diametro del fusto nel trattamento con liquame superficiale rispetto gli altri trattamenti, mentre incrementi in diametro paragonabili a quelli di pioppo e salice sono stati registrati nella prova con liquame superficiale, trattamento che ha permesso l'espressione di incrementi massimi alla robinia e minimi per le *Salicaceae*.

Gli incrementi percentuali in altezza rilevati al termine della seconda stagione vegetativa risultano essere molto elevati sia nel pioppo che nel salice, a conferma del fatto che queste specie siano caratterizzate da elevatissimi accrescimenti giovanili, fattore fondamentale per una elevata asportazione dei nutrienti in seguito all'applicazione dei reflui (Laureysens *et al.* 2005c; Rossignolo 2008; Tzanakakis 2009); tuttavia si evidenzia sulle *Salicaceae* un effetto deprimente del trattamento di spandimento di refluo sugli incrementi percentuali in altezza, soprattutto ad opera del trattamento con separato solido e del trattamento con liquame superficiale.

Al contrario delle *Salicaceae* la robinia, a seguito della prima stagione di trattamenti, risponde positivamente al maggiore apporto di nutrienti, presentando incrementi in diametro superiori al 130% ed in altezza superiori al 90%. Nella prova con separato solido la robinia presenta un aumento degli incrementi in altezza tale da presentare valori analoghi al pioppo e persino superiori rispetto il salice, mentre nella prova con liquame superficiale tutte e tre le specie presentano valori analoghi attestantisi sul 115%.

Le scarse risposte in termini incrementali presentate dalle *Salicaceae* si ritiene derivino da un lato dall'elevata fertilità dell'appezzamento, derivante da un pregresso contenuto di nutrienti molto elevato, dall'altro dall'instaurarsi di fenomeni di limitazione all'accrescimento da eccesso di nutrienti (Liu *et al.* 1997).

I valori dendrometrici registrati per il pioppo, che presenta altezza di 4,99 m nel testimone non trattato, risultano infatti essere ben superiori ai valori tipici di impianti non sottoposti ad irrigazioni o concimazioni, in cui le dimensioni medie di cloni da biomassa sono di 3,7 cm di diametro e di 2,7 m in altezza (Baldini *et al.* 2009), a causa delle condizioni iniziali di elevata fertilità stazionale.

### 3.4.2 Produzione

L'analisi dei risultati produttivi dopo un solo anno di trattamento evidenzia come lo spandimento di reflui zootecnici in SRF vada a determinare, soprattutto nella forma del separato solido, un aumento della resa produttiva in termini di sostanza secca, per tutte le specie considerate nella sperimentazione rispetto il testimone non trattato, senza evidenziare differenze produttive tra le tre specie considerate.

Considerando la produzione di biomassa tal quale il separato solido rimane il trattamento in grado di determinare maggiori rese nel salice e nella robinia mentre per il pioppo, nonostante non si registrino significative differenze produttive al variare del trattamento, rese maggiori sono registrate per il testimone non trattato. La produzione di biomassa tal quale annua del pioppo, di 27,1 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup>, è risultata nel complesso superiore a quella della robinia (di 19,7 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup>), mentre il salice, con i suoi 24,5 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup>, presenta produzioni annue intermedie, ribaltando completamente i valori della produzione espressa in termini di sostanza secca a causa del maggior contenuto in umidità del pioppo rispetto il salice, e la robinia.

Lo spandimento di liquame ha determinato le minori produzioni per tutte le specie rispetto il trattamento con separato solido.

Il fatto che non si presentino differenze significative in termini produttivi nel pioppo in seguito agli apporti di nutrienti, contrariamente a quanto riportato da vari studi (Frison 1985; Heilman and Xie 1993; Karacic 2005; Gruenewald *et al.* 2007; Zalesny *et al.* 2007), può essere legato ad un preesistente gradiente di fertilità all'interno della particella sperimentale: le rese del pioppo non trattato risultano infatti essere molto elevate se confrontate con le produzioni ottenibili in impianti in pieno campo ed in linea con le rese riportate per piantagioni soggette a fertilizzazione, dove sono stati riportati valori di 10-15 Mg ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> (Ceulemans and Deraedt 1999; Pointellar *et al.* 1999; Laureysens *et al.* 2003; Karacic 2005; Tzanakakis *et al.* 2009), a conferma del fatto che l'area sperimentale fosse caratterizzata da una pregressa elevata fertilità.

Come ampiamente presentato nella letteratura straniera l'apporto di nutrienti generalmente comporta un incremento superiore al 100% nella produzione in impianti di pioppo ibrido (Karacic 2005) e del 30-100% in impianti di salice (Perttu and Kowalik 1997; Tzanakakis *et al.* 2009), prevalentemente a seguito di un incremento in massa e superficie fogliare (Heilman and Xie 1994). Il calo produttivo nelle *Salicacee* alla realizzazione dei trattamenti potrebbe derivare dall'eccessivo apporto di nutrienti possa aver determinato l'instaurarsi di limitazioni nell'accrescimento dovute all'eccessiva presenza di nutrienti (Liu *et al.* 1997) e di azoto in particolare (Frison 1985), soprattutto a seguito del trattamento con liquame sia nella forma superficiale che interrata; tuttavia questa ipotesi potrà essere confermata solamente in seguito alla valutazione delle analisi del suolo ed alle analisi dei quantitativi di nutrienti asportati dalle singole specie.

### 3.5 Conclusioni

Dopo un solo anno di sperimentazione sulla risposta a diverse tipologie di concimazione mediante spandimento di reflui zootecnici derivanti da allevamento di suini in impianti di SRF composti da pioppo, salice e robinia, emerge come le diverse specie reagiscano in modo differente alle tre modalità di trattamento cui sono state sottoposte.

A causa della elevata fertilità iniziale non è stato possibile evidenziare sensibili aumenti in termini produttivi al termine del primo ciclo colturale per le *Salicaceae* se non su una sola forma di trattamento, il separato solido, mentre il calo produttivo presentato dal salice e dal pioppo nel trattamento con liquame superficiale suggerisce la possibilità che si siano instaurati fenomeni fitotossici per la pianta limitanti accrescimento e produzione.

La produttività del pioppo, nonostante non abbia presentato significative variazioni in seguito allo spandimento con i reflui, rimane al momento comunque superiore rispetto a quella del salice e della robinia, confermando la spiccata attitudine di questa specie alla produzione di biomassa.

La robinia è risultata essere la specie maggiormente sensibile all'apporto di nutrienti.

La robinia, nonostante presenti accrescimenti del fusto principale inferiori rispetto alle due *Salicaceae*, è in grado di fornire grazie al trattamento con reflui zootecnici nella forma del separato solido, una produzione di biomassa analoga a quella di pioppo e salice in termini di sostanza secca grazie al minor contenuto in umidità. Risulta inoltre essere una specie idonea alla trasformazione energetica per la rapidità di accrescimento, il ridotto contenuto di umidità alla raccolta invernale (Francescato *et al.* 2004; Cotana *et al.* 2006), ed il basso contenuto in ceneri, del 2-10% (Cotana *et al.* 2006; Todaro *et al.* 2007) rispetto le *Salicaceae* che risultano meno adatte all'impiego come combustibile per l'elevato tenore di umidità alla raccolta invernale, superiore al 130% e l'elevato contenuto in cellulosa, che determinano un maggiore contenuto in ceneri e quindi un minore potere calorifico (Todaro *et al.* 2007).

Se i risultati delle analisi del suolo confermeranno, come già evidenziato da Ecosse *et al.* (2009) come questa pratica non danneggi le piante né contamini l'ambiente, si ritiene che lo smaltimento in SRF possa considerarsi una pratica vantaggiosa e di sicuro interesse nell'ambito agrario italiano.

I risultati preliminari di questo studio triennale risultano incoraggianti soprattutto per quanto riguarda l'impiego di alcune specie, evidenziando quindi come lo spandimento di reflui zootecnici in impianti di SRF è una pratica che permetterebbe quindi il conseguimento del duplice scopo di smaltire adeguatamente i reflui zootecnici (Barilli 1980; Yang *et al.* 1998; Bassanino *et al.* 2006), favorendo al contempo un'elevata produzione di biomassa legnosa (Barilli 1980; Frison 1985; Heilman and Xie 1993; Karacic 2005; Gruenewald *et al.* 2007; Zalesny *et al.* 2007) con potenziali conseguenze dirette a favore del reddito del pioppicoltore, e della comunità in termini di tutela ambientale (Scarascia Mugnozza e Paris 2007).

## 4. Conclusioni generali

Nel primo caso di studio considerato in questo lavoro è stato analizzato un campione di impianti di SRF monoclonali di pioppo realizzati in pieno campo in Friuli Venezia Giulia grazie a finanziamento europeo, al fine di fornire, attraverso un'analisi sincronica in 52 aree di saggio, indicazioni sulle reali potenzialità produttive di tali piantagioni, caratterizzare il materiale legnoso e valutare l'influenza della presenza di fattori limitati a livello pedologico sulle potenzialità produttive, andando quindi a individuare potenziali linee di sviluppo gestionali.

La SRF di pioppo in impianti produttivi non sperimentali friulani presenta produzioni annue di biomassa al primo ciclo colturale di 4-5 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> e di 9 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> al secondo ciclo colturale, senza che siano ravvisabili significative differenze nel comportamento dei due cloni sperimentati, Pegaso e Sirio, entrambi selezionati per la produzione di biomassa.

Tali livelli produttivi sono in linea con le rese riscontrate in SRF condotte secondo modelli colturali a basso *input* (Ceulemans and Deraedt 1999; Facciotto e Mughini 2003; Bignami 2005) o realizzate in stazioni a basso livello di fertilità stazionale (Hoffmann - Schielle 1999; Proe *et al.* 1999; Benetka *et al.* 2002).

La realizzazione degli impianti in seguito a istituzione di finanziamenti europei ha determinato l'impiego di terreni anche marginali all'azienda, per cui tutti gli impianti analizzati in questo studio sono stati posti su terreni caratterizzati sempre dalla presenza di limitazioni stazionali di carattere pedologico di intensità moderata o severa (ISP 2002), e comunque tali da limitare oltre al 60% la potenzialità produttiva della coltura. La presenza di condizioni limitanti di carattere pedologico di livello moderato sono risultate sufficienti a deprimere la produzione a livelli paragonabili a limitazioni di livello più severo, che non hanno consentito ai cloni selezionati di manifestare le proprie potenzialità produttive (Mareschi *et al.* 2005; Facciotto *et al.* 2006; Boccasile 2007; Minotta e Muzzi 2007). La culminazione dell'incremento in diametro ed in altezza registrata già al primo anno del secondo ciclo colturale, gli elevati tassi di mortalità delle ceppaie, le ridotte dimensioni dei polloni al termine del ciclo colturale, ed un prodotto legnoso finale con caratteristiche qualitative tali (umidità del 120-190% e densità basale di 0,33-0,35 g cm<sup>-3</sup>) da renderlo qualitativamente poco idoneo all'impiego come combustibile (Adler *et al.* 2005; Bergante e Facciotto 2006), evidenziano diverse problematiche nell'impostazione del modello colturale impiegato, con densità iniziali di 6.667 piante all'ettaro e ciclo colturale biennale.

L'impiego in pieno campo di modelli colturali caratterizzati da densità iniziali inferiori e cicli colturali di 3-4 anni (Mitchell 1995; Herve e Ceulemans 1996; Spinelli *et al.* 1998; Armstrong *et al.* 1999; Liesebach *et al.* 1999; Proe *et al.* 1999; Karacic 2005; Facciotto e Bergante 2006; Bonari e Piccioni e Bonari 2006; Salvati *et al.* 2006) consentirebbe una minore intensità gestionale e permetterebbe al contempo un migliore impiego dello spazio e delle risorse pedologiche ed edafiche, inoltre favorirebbe la produzione di un elevato numero di polloni di maggiori dimensioni (Geyer *et al.* 2006) e

limiterebbe l'insorgere di fenomeni di affaticamento delle ceppaie derivanti dall'impiego di cicli colturali eccessivamente brevi (Verwijst 1996), cui seguirebbero un aumento della qualità del materiale in seguito all'aumento della densità basale ed alla diminuzione del contenuto idrico (Ferrari e Scaramuzzi 1982). Il 38,5% degli impianti SRF friulani analizzati risulta non essere economicamente valido (Boccasile 2007) non avendo raggiunto la soglia di produttività minima dal punto di vista economico (Bisoffi *et al.* 2009) di 10 Mg s.s. ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>, valore raggiungibile impiegando terreni più fertili o ricorrendo a modelli gestionali con maggiori *input* colturali e gestionali (Boccasile 2007).

Una possibilità per la valorizzazione produttiva, ambientale ed economica delle SRF è individuabile nell'impiego come biofiltro (Scarascia Mugnozza e Paris 2007), nell'ottica dei *Multifunctional Energy Systems* (Laureysens *et al.* 2005c; Borjesson *et al.* 2006), per lo smaltimento di reflui urbani e zootecnici, o per la bonifica di siti inquinanti attraverso filtrazione ed assorbimento delle sostanze inquinanti da parte dell'apparato radicale e una loro successiva asportazione mediante la raccolta della biomassa epigea prodotta (Perttu 1998; Karacic 2005; Dickmann 2006; Bisoffi *et al.* 2009; Giorcelli *et al.* 2009).

La seconda tematica affrontata in questo lavoro, avente come oggetto una sperimentazione biennale sullo spandimento di elevate quantità di reflui zootecnici in un impianto di SRF di pioppo, salice e robinia con ciclo colturale biennale, ha evidenziato come le tre specie reagiscano in modo differente alle diverse forme di somministrazione di refluo testate: liquame interrato, liquame superficiale e separato solido. La robinia è risultata essere la specie maggiormente sensibile all'apporto di nutrienti avendo presentato, nel trattamento con separato solido, una resa di 17,8 Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>, raggiungendo in tal modo i livelli produttivi generalmente riportati per le *Salicaceae*. Il pioppo ed il salice non hanno generalmente evidenziato sensibili aumenti in termini produttivi rispetto al testimone non trattato, se non a seguito del trattamento con separato solido, mentre hanno evidenziato un calo produttivo a seguito probabilmente della comparsa di fenomeni fitotossici derivanti da eccesso di nutrienti (Liu *et al.* 1997; Frison 1985).

Lo smaltimento di reflui in impianti di *Short Rotation Forestry* è risultata essere una pratica che permetterebbe quindi il conseguimento del duplice scopo di smaltire adeguatamente i reflui zootecnici (Barilli 1980; Yang *et al.* 1998; Bassanino *et al.* 2006) e garantire un'elevata produzione di biomassa legnosa (Barilli 1980; Frison 1985; Heilman and Xie 1993; Karacic 2005; Gruenewald *et al.* 2007; Zalesny *et al.* 2007), con potenziali conseguenze positive a favore del reddito del pioppicoltore, e della comunità in termini di tutela ambientale (Scarascia Mugnozza e Paris 2007).

## Bibliografia

- AA.VV. 2002 – *Biomasse agricole e forestali per uso energetico*. AGRA Editrice Roma, pp. 47-51.
- AA.VV., 2006 – *Valorizzazione energetica delle risorse forestali della montagna del Friuli Venezia Giulia*. Atti e contributi del Convegno, 29 aprile 2006, Tarcento (UD).
- AA.VV. 2008 – *Colture a ciclo breve. Linee guida per una buona produzione di biomassa mediante un corretto utilizzo di acque reflue e fanghi di depurazione*. Progetto BIOPROS. Confagricoltura. <http://www.biopros.info>
- ADLER A., VERWIJST T., ARONSSON P., 2005 – *Estimation and relevance of bark proportion in a willow stand*. Biomass and Bioenergy, 29: 102-113.
- AGOSTINELLI C., SARTORELLI S., 2008 – *Introduzione al linguaggio di SAS System. Quaderno 1*. Quaderni ASID, Facoltà di Scienze Statistiche, Università di Padova.
- AGOSTINETTO L., 2004a – *Creare impianti arborei lineari per la filiera legno energia*. Alberi e territorio 9/2004.
- AL AFAS N., MARRON N., VAN DONGEN S., LAUREYSENS I., CEULEMANS R., 2008 – *Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years)*. For. Ecol. Manage. 225: 1883-1891.
- ALLEGRO G., PICCO F., BAZZANI R., 2007 – *Il punteruolo del pioppo negli impianti da biomassa. Un rischio da non sottovalutare*. Sherwood 129: 13-16.
- ALTENER BIOGUIDE, 1999 – *Le coltivazioni da biomassa per un'energia alternativa*. Agricoltura, 47 (293): 57-99.
- ANPA, 2001 – *Biomasse agricole e forestali, rifiuti e residui organici: fonti di energia rinnovabile. Stato dell'arte e prospettive di sviluppo a livello nazionale*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma.
- APAT, 2003 – *Le biomasse legnose. Un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia*. Rapporto 30/2003
- APAT, 2007 – *Colture a scopo energetico e ambiente Sostenibilità, diversità e conservazione del territorio*. Atti del convegno. Roma, 5 ottobre 2006.
- 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: 305-314.
- ARSIA, 2003 – *Come produrre energia dal legno*. Quaderno ARSIA 3/2003.
- ARSIA, 2004 – *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm*. Regione Toscana, Quaderno ARSIA 6/2004.
- AVANZO E., 1974 – *Possibilità di miglioramento genetico per la produzione di sostanza secca con impianti fitti a turno breve, in pioppi della Sezione Aigeiros*. In: "Distanziamenti, turni e produttività dei pioppeti. Il contributo degli Istituti di ricerca dell'ENCC". Estratto da "Cellulosa e carta" n. 9, Roma.

BALDINI S., KELLEZI M., KORTOCI Y., 2009 – *Caratterizzazione della biomassa di pioppo e robinia a ciclo breve (short rotation forestry)*. Atti III Congresso Nazionale di Selvicoltura, per il miglioramento e la conservazione dei boschi italiani; Taormina, 1439-1443.

BALSARI P., AIROLDI G., FACCIOTTO G., 2002 – *Messa a dimora di un impianto di pioppo da biomassa. Valutazioni tecnico economiche di quattro trapiantatrici*. Sherwood 81: 49-54.

BALSARI P., GIOELLI F., 2003 – *Tecniche e attrezzature per lo spargimento dei liquami*. L'Informatore Agrario, 45: 71-76.

BALSARI P., MANZONE G., AIROLDI G., 2005 – *La meccanizzazione nelle colture arboree a rapido accrescimento*. Atti del convegno "Innovazioni tecniche ed opportunità della Short Rotation Forestry", Biella, 22 settembre 2005.

BARANI A., VEZZADINI S., FERRARI M., VAI N., MAZZINI F., SCARAVELLI P., 2000 – *La difesa da Saperda carcharias, xilofago del pioppo*. L'Informatore Agrario 20: 69-73.

BARILLI A., 1980 – *Utilizzazione agronomica dei liquami grezzi e trattati*. Relazioni al Congresso Internazionale sul tema: "Trattamento ed utilizzazione delle deiezioni zootecniche", Mantova, 20-21 marzo 1980.

BARTOLINI S., 2007 – *La sperimentazione sulle colture da biomassa: alcuni nuovi cloni di pioppo*. Atti del convegno "Impegno formativo della Facoltà di Agraria nel settore delle biomasse" 21 febbraio 2007, Perugia, 27-31. [online] URL:<http://www.agronomiforestaliumbria.it/public/Allegato%201%20alla%20Rivista%20Professione%20Territorio%20Atti%20Convegno%2021.02.2007.pdf#page=32.it/> (accesso: 18/12/2009).

BASSANINO ., BORRELLI F., GRIGNANI C., SACCO D., 2006 – *I reflui possono ridurre i costi di fertilizzazione*. L'Informatore Agrario, 26: 28-33.

BAXTER D. A., SAGET R. B., HALL D. O., 1996 – *A methodology for assessing gamebird use of short rotation forestry*. Biomass and Bioenergy 10: 301-306.

BECCARI G., COVARELLI L. TOSI L. – *Le principali fitopatie di pioppo e sorgo da biomassa*. Atti del convegno "Impegno formativo della Facoltà di Agraria nel settore delle biomasse" 21 febbraio 2007, Perugia, 43-51. [online] URL:<http://www.agronomiforestaliumbria.it/public/Allegato%201%20alla%20Rivista%20Professione%20Territorio%20Atti%20Convegno%2021.02.2007.pdf#page=32.it/> (accesso: 18/12/2009).

BENETKA V., BARTAKOVA I., MOTTJ J., 2002 – *Productivity of Populus nigra L. ssp. Nigra under short-rotation culture in marginal areas*. Biomass and Bioenergy, 23: 327-336.

BERGANTE S., FACCIOTTO G., 2006 – *Impianti annuali, biennali, quinquennali. Produttività e costi in alcune realtà del Nord Italia*. Sherwood 128: 25-30.

BIGNAMI D., 2005 – *Con il pioppo da biomassa l'agricoltore vende ambiente*. Terra e Vita 32: 66-70.

BISOFFI S., FACCIOTTO G., 2000 – *I cedui a turno breve (SRF)*. Atti del convegno "La produzione di legno a fini energetici nei boschi e nei campi".

BISOFFI S., MINOTTA G., PARIS P., 2009 - *Indirizzi colturali e valorizzazione delle produzioni legnose fuori foresta*. Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, p. 729-736.



- BLAKE T. J., 1983, *Coppice systems for short-rotation intensive forestry: the influence of cultural, seasonal and plant factors*. Australian Forest Research, 13: 279-291.
- BOCCASILE G., 2007 – *Il pioppo per la biomassa*. In: “Il libro bianco della pioppicoltura. Supplemento al 26/2008 di Agrisole: 69-70.
- BOLAN N. S., LAURENSEN S., LUO J., SUKIAS J., 2009 – *Integrated treatment of farm effluents in New Zealand's dairy operations*. Bioresource Technology, 100: 5490-5497.
- BONARI E., VILLANI E., 2004 – *La produzione di biomassa a destinazione energetica dalla SRF di pioppo, prime esperienze in Toscana*. Convegno di Studio “Le biomasse agricole e forestali nello scenario energetico nazionale” Progetto Fuoco 2004, Verona.
- BONARI E., PICCIONI E., 2006 – *SRF di pioppo nella pianura litoranea toscana. Principali risultati di alcune esperienze a lungo periodo*. Sherwood 128: 31-36.
- BONAZZI G., 2000 – *Nuove regole dall'Europa per i reflui zootecnici*. L'Informatore Agrario, 17: 59-61.
- BONAZZI G., 2007 – *Sempre più difficile gestire e smaltire le deiezioni*. L'Informatore Agrario, 1: 40-42.
- BONGARTEN B. C., HUBER D. A., APSLEY D. K., 1992 – *Environmental and genetic influences on short-rotation biomass production of black locust (Robinia pseudoacacia L.) in the Georgia Piedmont*. Forest Ecology and Management, 55: 315-331.
- BORIN E., 2003 – *Fitodepurazione. Soluzioni per il trattamento dei reflui con le piante*. Edagricole. Bologna.
- BORJESSON P., BERNDES G., 2006 – *The prospects for willow plantations for wastewater treatment in Sweden*. Biomass and Bioenergy, 30: 428-438.
- BORTOLI P. L., DREOSSI G., LASEN C., VANONE G., 1998 – “*La vegetazione forestale e la selvicoltura nella regione Friuli-Venezia Giulia*” a cura di R. Del Favero. Regione autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale delle Foreste, Servizio della Selvicoltura, Udine.
- BURESTI LATTES E., MORI P., RAVAGNI S., 2001 – *Piantagioni miste con pioppo e noce comune: vantaggi e svantaggi di una scelta complessa*. Sherwood 71: 11-17.
- BURESTI LATTES E., MORI P., 2005a – *Glossario dei termini più comuni impiegati in arboricoltura da legno. Prima parte*. Sherwood 109, pp. 13-18.
- BURESTI LATTES E., MORI P., 2005b – *Glossario dei termini più comuni impiegati in arboricoltura da legno. Seconda parte*. Sherwood 110, pp. 5-10.
- CAPRI E., BOCCELLI R., GALLI E., LOFFI S., LAMBERTI V., 1997 – *Effetti diretti e secondari dell'utilizzo di fanghi biologici in agricoltura*. L'Informatore Agrario, 9: 39-41.
- CARTELLINI A., RAGAZZONI A., 2009 – *Quando conviene adottare la separazione solido-liquida*. L'Informatore Agrario, 1: 44-48.
- CASTAGNERI D., VACCHIANO G., LINGUA E., MOTTA R., 2007 – *Analysis of intraspecific competition in two subalpine Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) stands in Paneveggio (Trento, Italy)* Forest Ecology and Management, 255: 651-659.

- CASTRO G., MIEGGE D., 1999 – *Caratteristiche fisiche e idoneità alla sfogliatura di alcuni cloni di pioppo*. Sherwood 44, pp. 41-44.
- CEULEMANS R., MC. DONALD A. J. S., PEREIRA J. S., 1996 – *A comparison among eucalypt, poplar and willow characteristics with particular reference to a coppice, growth-modelling approach*. Biomass and Bioenergy, 11: 215-231.
- CEULEMANS R., DERAEDT W., 1999 – *Production physiology and growth potential of poplar under short rotation forestry culture*. Forest Ecology and Management 121: 9-23.
- CICCARESE L., CASCONI C., CASCIO G. 2007a – *Valorizzazione a fini energetici delle biomasse forestali: sostenibilità e insostenibilità*. In: *Colture a scopo energetico e ambientale. Sostenibilità diversità e conservazione del territorio*. Convegno APAT ,Roma 2007: 28-36.
- CICCARESE L., CICCARESE C., MARGHERITI E., 2007 – *La filiera delle biomasse comincia dal materiale vivaistico*. L'Informatore Agrario 5: 34-37.
- C.N.E.R., 2006 – *Disciplinare di produzione con una gestione sostenibile del pioppo a ciclo breve. Turno biennale*. Disciplinare 1/2006.
- CONVERSE T. E., BETTERS D. DR., 1995 – *Biomass yield equations for short rotation black locust plantations in the central Great Plains*. Biomass and Bioenergy, 4: 251-254.
- COTANA F., BIDINI G., FANTOZZI F., BURATTI C., COSTARELLI I., CRISOSTOMI L., 2006 – *Il laboratorio per la caratterizzazione energetica delle biomasse del centro di ricerca per le biomasse*. Atti 61° Congresso Nazionale ATI, 12-15 settembre 2006, Perugia.
- COVARELLI L., BECCARI G., TOSI L., 2007 – *Attenzione alla ruggine nei pioppeti da biomassa*. L'Informatore Agrario 42: 59-62.
- COVARELLI L., BARTOLINI S., PANNACCI E., 2009 – *Pioppeto, le novità sui trattamenti*. L'Informatore Agrario 10: 33-35.
- CORONA P., SCOTTI R., TARCHIANI N., 1998 – *Valutazione della produttività stagionale in funzione dei caratteri pedoclimatici in piantagioni forestali*. L'Italia Forestale e Montana, 1: 6-19.
- CRONK J. K., 1996 - *Constructed wetlands to treat wastewaters from dairy and swine operations: a review*. Agriculture Ecosystems and Environment, 58: 97-114.
- C.R.P.V., 2001 – *Manuale per l'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici*. Edizioni L'Informatore Agrario.
- C.R.P.V., 2006 – *Disciplinari di produzione integrata. Pioppo. Norme tecniche in fase di coltivazione*. Regione Emilia – Romagna. Assessorato Agricoltura,, Ambiente e Sviluppo Sostenibile.
- CULSHAW D., STOKES B., 1995 – *Mechanisation of short rotation forestry*. Biomass and Bioenergy, 9: 127-140.
- DE BELL D. S., CLENDENEN G. W., HARRINGTON C. A., 1996 – *Tree growth stand development in short rotation populus plantings: 7-year results for two clones at three spacings*. Biomass and Bioenergy, 4: 253-269.
- DE BELL D. S., HARRINGTON C. A., 1997 – *Productivity of Populus in monoclonal and polyclonal block at three spacings*. Canadian Journal of Forest Research, 27: 978-985.

- DEFRA, 2002 – *Growing short rotation coppice. Best practice guidelines*. Rural development Program, England.
- DICKINSON N. M., 2000 – *Strategies for sustainable woodland on contaminated soils*. Chemosphere 41, issues 1-2: 259-263.
- DICKMANN D. I., 2006 – *Silviculture and biology of short – rotation woody crops in temperate regions: Then and now*. Biomass and bioenergy. 30: 696–705.
- ECOSSE A, PARIS P, MARESCHI L, OLIMPIERI G, SCARASCIA MUGNOZZA G., 2007 - *Smaltimento di reflui zootecnici in piantagioni da biomassa (srf): prime esperienze in un sito sperimentale di pioppo nel centro - Italia*. 6° Congresso Nazionale SISEF - Arezzo, 25-27 Sep 2007, Contributo no. #6.3.2 [online] URL: <http://www.sisef.it/> (accesso: 25/09/2009)
- ENCC, 1974 - *Distanziamenti, turni e produttività dei pioppeti. Il contributo degli Istituti di ricerca dell'ENCC*. Estratto da “Cellulosa e carta” n. 9, Roma.
- FABBRI F., 2007 – *Le colture a scopo energetico sul territorio nazionale*. In: Colture a scopo energetico e ambientale. Sostenibilità diversità e conservazione del territorio. Convegno APAT, Roma 2007: 13-14.
- FACCIOTTO G., MUGHINI G., 2003 – *Modelli colturali e produttività della selvicoltura da biomassa*. L'Informatore Agrario, 10: 95-98.
- FACCIOTTO G., ZENEONE T., SPERANDIO G., 2003 – *Dalle colture da biomassa reddito incerto senza aiuti*. L'Informatore Agrario, 10: 91-94.
- FACCIOTTO G., ZAMBRUNO G B., 2004 - *Risultati produttivi dei cloni di pioppo Dvina, Lena e Neva*. Quaderni della Regione Piemonte. Agricoltura n.41: 35-41.
- FACCIOTTO G., BERGANTE S., 2006 – *Arboree a turno quinquennale, per produrre pellet di qualità*. L'Informatore Agrario 46:36-39.
- FACCIOTTO. G, GIORCELLI A., VIETTO L., ALLEGRO G., CASTRO G., PICCO F., 2006a – *Nuovi cloni di pioppo*. Agricoltura (Emilia Romagna) 34 (6): 71-78.
- FACCIOTTO G., BERGANTE S., LIOIA C., ROSSO L., MUGHINI G., ZENONE T., NERVO G., 2006b – *Produttività di cloni di pioppo e salice in piantagioni a turno breve*. Forest@ 3(2): 238-252. [online] URL:<http://www.sisef.it/> (accesso: 25/09/2009)
- FACCIOTTO G., 2007 – *Cedui a turno breve per la produzione di biomassa*. In: “Il libro bianco della pioppicoltura. Supplemento al 26/2008 di Agrisole: 42-44.
- FACCIOTTO G., BERGANTE S., ROSSO L., 2007 – *Modelli colturali e produttività di specie e cloni selezionati*. Atti del seminario “Le produzioni di biomassa da coltivazioni arboree a ciclo breve in Piemonte” 19 gennaio 2007, Lombriasco (TO). Regione Piemonte.
- FACCIOTTO G., 2009 – *Il ruolo delle SRF nella filiera legno-energia*. Atti del Convegno: “Il costo-opportunità della produzione di energia dalle biomasse. Esperienze a confronto di aziende del comparto”. Forlener, 5° edizione della Fiera Italiana della Filiera foresta – legno - energia, Biella.
- FAMIGLIETTI A., 1973 – *La produttività dei pioppeti nel Veneto*. Estratto degli “Annali del centro di Economia Montana delle Venezie” Università di Padova – Facoltà di Agraria Volume III, Cedam, Padova.

FECONDO G., D'ERCOLE M., 2009 – *Come avere alte rese dai pioppi*. L'Informatore Agrario 10, 35-37.

FERRARI G., SCARAMUZZI G., 1982 – *Influenza della distanza d'impianto sulla densità basale in Eucalyptus*. Cellulosa e Carta (33); [online] URL:<http://www.ricercaforestale.it/> (accesso: 28/12/2009)

FORCONI V., 2007 – *Le colture agro-forestali per le biomasse*. In: *Colture a scopo energetico e ambientale. Sostenibilità diversità e conservazione del territorio*. Convegno APAT ,Roma: 15-24.

FOWLER J., COHEN L., 2002 - *Statistica per ornitologi e naturalisti*. Franco Muzzio Editore, Roma.

FRANCESCATO V., ANTONINI E., MEZZALIRA G., 2004 – *L'energia del legno. Nozioni, concetti e numeri di base*. Regione Piemonte, settore Politiche Forestali, Torino.

FRANCESCATO V., ANTONINI E., PANIZ A., 2008 – *Legno energia Friuli – Venezia Giulia. Caratteristiche tecniche della filiera legno – energia e le misure del Piano di Sviluppo Rurale*. Servizio gestione forestale e antincendio boschivo della Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna della Regione Autonoma Friuli – Venezia Giulia.

FRENCH C. J., DICKINSON N. M., PUTWAIN P. D., 2006 - *Woody biomass phytoremediation of contaminated brownfield land*. Environmental Pollution, 141: 387-395.

FRISON G., 1974 – *Piantagioni di pioppo con turno biennale*. In: “Distanziamenti, turni e produttività dei pioppeti. Il contributo degli Istituti di ricerca dell'ENCC”. Estratto da “Cellulosa e carta” n. 9, Roma.

FRISON G., 1975 – *Recenti orientamenti sulla concimazione del pioppo della Padania*. In “Atti del Convegno: La pioppicoltura nel Friuli-Venezia Giulia”, Federazione Regionale Pioppicoltori, Direzione Regionale Foreste, 11 febbraio 1985, Torviscosa (UD), pp. 129-172.

FRISON G., 1980 – *Pioppicoltura: la tecnica colturale*. L'Italia Agricola, numero speciale, “Legno e Cellulosa”, anno 117: 161-173.

FRISON G., 1986 – *Indagini sul ritmo di accrescimento di alcuni cloni di pioppo nella Pianura Padana*. L'Informatore Agrario XLII (26): 61-71.

FORD E. D., 1975 – *Competition and stand structure in some even-aged monocultures*. J. Ecol. 63:311-333.

GEYER W. A., 1989 – *Biomass yield potential of short rotation hardwoods in the Great Plains*. Biomass, 20: 167-175.

GEYER W. A., 2006 – *Biomass production in the Central Great Plains USA under various coppice regimes*. Biomass and Bioenergy, 30: 778-783.

GIORCELLI A., ALLEGRO G., VERANI S., 2008 – *Aspetti fitosanitari in piantagioni da biomassa*. Sherwood 143: 11-15.

GIORCELLI A., DEANDREA G., GENNARO M., 2009 – *Indicazioni qualitative sul diserbo chimico del pioppo in vivaio e possibilità di miglioramento alla luce di quindici anni di sperimentazione*. Forest@ (6): 202-214.

GIORDANO E., 1974 – *Osservazioni preliminari sulla ceduzione a breve ciclo di P. x euramericana I-214*. In: “Distanziamenti, turni e produttività dei pioppeti. Il contributo degli Istituti di ricerca dell’ENCC”. Estratto da “Cellulosa e carta” n. 9, Roma.

GIORDANO A., 2002 – *Pedologia forestale e conservazione del suolo*. UTET, Torino.

GRIGNANI C., ZAVATTARO L., 1999 – *Reflui zootecnici. L’importanza di una corretta distribuzione sotto l’aspetto agronomico e ambientale*. Quaderni della Regione Piemonte. Agricoltura, 19. [online]  
URL:<http://www.regione.piemonte.it/agri/ita/news/public/quaderni/num19/art25-19.htm>  
(accesso: 17/01/2010).

GRUENEWALD H., BRANDT B. K. V., SCHNEIDER B. U., BENS O., KENDZIA G., HUTTL R., 2007 – *Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes*. Ecological Engineering 29: 319-328.

GUIDI W., PICCIONI E., GINANNI M., BONARI E., 2007 – *Bark content estimation in poplar (Populus deltoides L.) short-rotation coppice in Central Italy*. Biomass and Bioenergy 32: 518-524.

HANSEN E. A., 1991 – *Poplar woody biomass yields: a look to the future*. Biomass and Bioenergy 1: 1-7.

HEILMAN P. E., XIE F-G., 1993 – *Influence of nitrogen on growth and productivity of short rotation Populus trichocarpa x Populus deltoides hybrids*. Canadian Journal of Forest Research, 23: 1863-1869.

HEILMAN P. E., XIE F-G., 1994 – *Influence of nitrogen fertilization on leaf area, light interception and productivity of short rotation Populus trichocarpa x Populus deltoides hybrids*. Canadian Journal of Forest Research, 24: 166-173.

HEINSOO K., SILD E., KOPPEL A., 2002 – *Estimation of shoot biomass productivity in Estonian Salix plantations*. Forest Ecology and Management 170: 67-74.

HELLRIGL B., 2006 – *Elementi di xiloenergetica. Definizioni, formule, tabelle*. AIEL, Padova.

HENRY A., 1914 – *A new hybrid poplar*. Gardner’s Chron. Series III, 56: 257-258.

HERVE C., CEULEMANS R., 1996 – *Short rotation coppiced vs. non-coppiced poplar: a comparative study at two different sites*. Biomass and Bioenergy, 2-3: 139-150.

HOFMANN-SCHIELLE C., JUG A., MAKESCHIN F., REHFUESS K. E., 1999 – *Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. I. Site-growth relationships*. Forest Ecology and Management, 121: 41-55.

HOFFMANN D., WEITH 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: 267-279.

I.P.L.A., 2008 – *Indirizzi per la gestione dei boschi ripari montani e collinari*. Regione Piemonte.

ISP, 2002 – *Pioppicoltura. Produzioni di qualità nel rispetto dell’ambiente*. Casale Monferrato (AI).

JUSSY J., COLIN-BELGRAND M., RANGER J., 2000 – *Production and root uptake of mineral nitrogen in a chronosequence of Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii) in the Beaujolais Mounts*. Forest Ecology and Management, 128: 197–209.

KARACIC A., 2005 – *Production and ecological aspects of short rotation poplars in Sweden*. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

KAUTER D., LEWANDOWSKI I., CLAUPEIN W., 2003 – *Quality and quantity of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use – a review of the physiological basis and management influences*. Biomass and Bioenergy, 24: 411-427.

KENNEY W. A., SENNERBY-FOSSE L., LAYTON P., 1990 – *A review of biomass quality research relevant to the use of poplar and willow for energy conversion*. Biomass, 21: 163-188.

LAGOMARSINO A., DE ANGELIS P., MOSCATELLI MC., GREGO S., SCARASCIA MUGNOZZA G., 2009 – *Accumulo di C nel suolo di una piantagione di Populus spp. In condizioni di elevata CO2 atmosferica e fertilizzazione azotata*. Forest@ 6: 229-239. [online] URL:<http://www.sisef.it/>. (accesso: 16/12/2009).

LA MARCA O, 1999 – *Elementi di dendrometria*, Patron editore.

LAUREYSENS I., DERAEDT W., INDEHERBERGE T., CEULEMANS R., 2003 – *Population dynamics in a 6-year old coppice culture of poplar. I. clonal differences in stool mortality, shoot dynamics and shoot diameter distribution in relation to biomass production*. Biomass and Bioenergy, 24: 81-95.

LAUREYSENS I., DERAEDT W., CEULEMANS R., 2005a – *Population dynamics in a 6-year-old coppice culture of poplar. II. Size variability and one-sided competition of shoots and stools*. Forest Ecology and Management, 218: 115-128.

LAUREYSENS I., PELLIS A., WILLEMS J., CEULEMANS R., 2005b – *Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results*. Biomass and Bioenergy, 29: 10-21.

LAUREYSENS I., DE TEMMERMAN L., HASTIR T., VAN GYSEL M., CEULEMANS R., 2005c – *Clonal variation in heavy metal and biomass production in a poplar coppice culture. II. Vertical distribution and phytoextraction potential*. Environmental Pollution, 133: 541-551.

LIESEBACH M., VON WUEHLISCH G., MUHS H. J., 1999 - *Aspen for short rotation coppice plantations on agricultural sites in Germany: effects of spacing and rotation time on growth and biomass production on aspen progenies*. Forest Ecology and Management, 121: 25-39.

LIOLA C., 2007 – *Produttività di cloni di pioppo e salice in una piantagione a turno breve*. Tesi di laurea in Scienze forestali ed ambientali, relatore Pividori M., Anno accademico 2006-2007.

LIU F., MITCHELL C. C., ODOM J. W., HILL D. T., ROCHESTER E. W., 1997 – *Effects of swine lagoon effluent application on chemical properties of a loamy sand*. Bioresource Technology, 63: 65-73.

LONSDALE D., TABBUSH P., 2002 – *Poplar Rust and its recent impact in Great Britain*. Forestry Commission Information Note 7. Forestry Commission, Edinburgh (UK).

LOVANH N., WARREN J., SISTANI K., 2010 – *Determination of ammonia and green house gas emissions from land application of swine slurry: a comparison of three application methods*. Bioresource Technology, 101: 1662-1667.

- MAKESCHIN F., 1999 – *Short rotation forestry in Central and Northern Europe – introduction and conclusions*. Forest Ecology and Management, 121: 1-7
- MARESCHI L., PARIS P., SABATTI M., NARDIN F., GIOVANARDI R., MANAZZONE S., SCARASCIA MUGNOZZA G., 2005 – *Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti*. L'Informatore Agrario, 18: 49-53.
- MERTENS J., VERVAEKE P., DE SCHRIJVER A., LUYSSAERT S., 2004 – *Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation*. Science of the Total Environment, 326: 209-215.
- MEZZALIRA G., 2008 – *SRF e redditività, l'illusione della pianta miracolo*. Alberi e territorio, 1/2008: 24–26.
- MINOTTA M., 2007 – *Gli impianti di specie legnose a corta rotazione per la produzione di biomassa a fini energetici*. Atti del convegno “Biomasse agricole e forestali a uso energetico” Villa Cohen, Alleron (TN).
- MINOTTA M., MUZZI E., 2007 – *Indagini sui cedui di pioppo a turno breve nella pianura ferrarese*. L'Italia forestale e montana, 5/6: 411-419.
- MINOTTA G, FACCIOTTO G, BERGANTE S, ROSSO L, FRINGUELLI L., 2007 - *Ricerche sulla produttività di piantagioni di short – rotation – forestry (srf)*. 6° Congresso Nazionale SISEF - Arezzo, 25-27 Settembre 2007, Contributo no. #6.3.6  
[online] URL: <http://www.sisef.it/sisef/main.php?action=cong&k=6&n=3&id=943> (accesso: 01/10/2009)
- MIPAF, 1998 – *Metodi di analisi fisica dei suoli*. Pagliai M. e P. Sequi (Eds.), Collana di metodi di analisi per l'agricoltura. Franco Angeli Editore, Milano.
- MIPAF, 1999 – *Metodi di analisi fisica dei suoli*. Violante P. e P. Sequi (Eds.), Collana di metodi di analisi per l'agricoltura. Franco Angeli Editore, Milano.
- MIRCK J., ISEBRANDS J. G., VERWIJST T., LEDING S., 2005– *Development of short rotation willow coppice systems for environmental purposes in Sweden*. Biomass and Bioenergy, 28: 219-228.
- MITCHELL C.P., 1995 – *New cultural treatments and yield optimization*. Biomass and Bioenergy 9: 11-34.
- MITCHELL C.P., STEVENS E.A., WATTERS M.P., 1999 - *Short-rotation forestry and operations, productivity and costs based on experience gained in the UK*. Forest Ecology and Management 121: 123-136.
- MOFFAT A. J., ARMSTRONG A. T., OCKLESTON J., 2001 – *The optimization of sewage sludge and effluent disposal on energy crops of short rotation hybrid poplar*. Biomass and Bioenergy, 20: 161-169.
- NIXON D. J., STEPHENS W., TYRREL S. F., BRIERLEY E. D. R., 2001 – *The potential for short rotation Energy crops on restored landfill caps*. Bioresource Technology, 77: 237-245.
- OSSERVATORIO AGROAMBIENTALE (a cura di), 1997 – *Guida tecnica e normativa per l'utilizzazione agronomica delle deiezioni zootecniche*. Provincia di Vicenza.
- PAIERO P., DE BATTISTI R., 1984 – *L'impiego dei salici in campo forestale e agrario*. Monti e boschi, anno XXXV, 5: 4-11.

PARI L., CIVITARESE V., 2005 – *Il pioppo da biomassa può essere una valida alternativa*. L'Informatore Agrario, 18: 55-58.

PELLIS A., LAUREYSENS I., CEULEMANS R., 2004 – *Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. I. Clonal differences in leaf characteristics in relation to biomass production*. Biomass and Bioenergy, 27: 9-19.

PERELLI M., CALZAVARA R., 2005 – *Deiezioni zootecniche, da problema a risorsa per l'agricoltura*. Provincia di Venezia, Assessorato Attività Produttive e Agricoltura.

PERTTU K. L., 1995 – *Ecological, biological balances and conservation*. Biomass and bioenergy, 9: 107-116.

PERTTU K. L., KOWALIK P. J., 1997 – *Salix vegetation filters for purification of waters and soils*. Biomass and Bioenergy, 12: 9-19.

PERTTU K. L., 1998 – *Environmental justification for short rotation forestry in Sweden*. Biomass and Bioenergy, 15: 1-6.

PETTENELLA D., 2000 - *Costi di produzione e possibilità di marketing del legno cippato per impieghi energetici*. Sherwood, 59: 37-42.

PICCININI S., BONAZZI G., 2005 – *Nuove strade per smaltire gli effluenti zootecnici*. L'Informatore Agrario, 7: 55-60.

PICCIONI E., BONARI E., 2006 – *SRF di pioppo nella pianura litoranea toscana*. Sherwood, 128: 31-36.

POINTALLER J. Y., CEULEMANS R., GUITTET J., 1999 – *Biomass yield of poplar after five 2-year coppice rotations*. Forestry, 72: 157-163.

PROE M. F., CRAIG J., GRIFFITHS J., WILSON A., REID A., 1999 – *Comparison of biomass production in coppice and single stem woodlands management systems on an imperfectly drained gley soil in central Scotland*. Biomass and Bioenergy, 17: 41-51.

PRONI G., PREVOSTO M., 1974 – *Sul problema della spazatura del pioppeto specializzato nella pianura lombardo - piemontese*. In: "Distanziamenti, turni e produttività dei pioppeti. Il contributo degli Istituti di ricerca dell'ENCC". Estratto da "Cellulosa e carta" n. 9, Roma.

PUNSHON T., DICKINSON N. M., 1997 – *Mobilization of heavy metals using short-rotation coppice*. Aspects of Applied Biology, 49: 285-292.

RAGAZZONI A., DEVENUTO L., 2008 – *Quanto costa adeguarsi alla Direttiva nitrati*. L'Informatore Agrario, 43: 62-65.

REGIONE LOMBARDIA, 2004 – *Forestazione a rotazione breve e recupero residui quali alternative per la fitodepurazione dei reflui civili e agricoli per la produzione di energia. Allegato 1. fitodepurazione – Aspetti generali e impiego energetico della biomassa prodotta*. Attività PROBIO 1999 (1° anno) della Regione Lombardia. Regione Lombardia.

RIPPON M., VIANELLI L., 1980 – *Il sistema Bioenergy nel trattamento delle deiezioni suine*. Relazioni al Congresso Internazionale sul tema: "Trattamento ed utilizzazione delle deiezioni zootecniche", Mantova, 20-21 marzo 1980.



- ROCKWOOD D. L., NAIDU C. V., CARTER D. R., RAHMANI M., SPRIGGS T. A. LIN C., ALKER G. R., ISEBRANDS J. G., SEGREST S. A., 2004 – *Short - rotation woody crops and phytoremediation: opportunities for agroforestry?* *Agroforestry Systems*, 61: 51-63.
- ROSENQVIST H., ARONSSON P., HASSELGREN K., PERTTU K., 1997 – *Economics of using municipal wastewaters irrigation of willow coppice crops*. *Biomass and Bioenergy*, 12: 1-8.
- ROSSIGNOLO V., 2008 – *Studio degli effetti del Cr (III) su piante di salice: confronto fra differenti specie e condizioni sperimentali*. Tesi di dottorato, Università di Padova.
- SAGE R. B., 1998 – *Short rotation coppice for Energy: towards ecological guidelines*. *Biomass and Bioenergy*, 15: 39-47.
- SALVATI R., CHIRICI G., CORONA P., 2007 – *Modello di valutazione dell'attitudine fisica del territorio per la realizzazione di impianti cedui da biomassa in Italia*. *L'Italia forestale e montana*, 5/6: 399-410.
- SANGIORGI F., BALSARI P., BONFANTI P., 1986 – *Reflui zootecnici. Possibili trattamenti in vista dell'impiego agronomico*. Edizioni Calderini, Bologna.
- SANGIORGI F., 2003 – *Il progetto "reflui" del CNR per la gestione dei reflui zootecnici*. *L'Informatore Agrario*, 45: 69-70.
- SCARASCIA MUGNOZZA G., PARIS P., 2007 – *Nuovi impieghi ambientali per il pioppo*. In: "Il libro bianco della pioppicoltura. Supplemento al 26/2008 di Agrisole: 44-46.
- SEKAWIN M., PREVOSTO E., 1980 – *Pioppicoltura. La scelta del clone* *L'Italia Montana*, Anno 117, 1: 174-177.
- SISSOT F., PARI L., GALLUCCI F., 2009 – *Il pioppo conservato intero è tra i migliori in caldaia*. *L'Informatore Agrario*, 10: 29-32.
- SOMMARIVA F., 2009 – *Uso razionale dei reflui senza aggravio dei costi*. *L'Informatore Agrario*, 46: 20-23.
- SORLINI C., MAGONI M., 1991 – *Impianti di allevamento di suini e bovini*. Dipartimento Territorio, Ambiente e Foreste, Servizio Protezione Ambiente, Ufficio per la valutazione d'impatto ambientale, Provincia Autonoma di Trento.
- SPERANDIO S., VERANI S., 2000 – *Piantagioni a breve rotazione per la produzione di biomassa ad uso energetico. Elementi per un'analisi dei costi*. *Sherwood*, 62: 41-46.
- SPINELLI R., 1999 – *L'America ci insegna a produrre biomassa*. *L'Informatore Agrario*, 13: 35-39.
- SPINELLI R., RICCI F., SPINELLI R., 1999 – *Colture forestali a breve rotazione: sistema americano e sistema svedese a confronto*. *L'Informatore Agrario*, 26: 57-60.
- SPINELLI R., VERANI S., 2000 – *La raccolta del legno per uso energetico industriale*. *Sherwood*, 59: 43-47.
- SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., 2006a – *Robinia, specie a crescita rapida per i terreni marginali*. *L'Informatore Agrario*, 18: 48-51.

SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., NATI C., PRETOLANI R., PERI M., 2006b – *Raccogliamo l'energia. Evasfo. Evaluation Short Rotation Forestry. L'innovazione nella raccolta meccanizzata di biomasse arboree*. Regione Lombardia, 54.

SPIENELLI R., NATI C., MAGAGNOTTI N., 2006c – *SRF di pioppo. macchine e sistemi per la raccolta*. Sherwood, 128: 56-59.

STOLARSKY M., SZCZUKOVSKI S., TWORKOWSKI J., KLASA A., 2008 – *Productivity of seven clones of willow coppice in annual and quadrennial cutting cycles*. Biomass and Bioenergy, 32: 1127–1234.

STRAUSS C. H., WRIGHT L. L., 1990 – *Woody biomass production costs in the United States: an economic summary of commercial Populus plantation system*. Solar Energy, 45: 105-110.

SWAMY S. L., KUSHWAHA S. K., PURI S., 2004 – *Tree growth, biomass, allometry and nutrient distribution in Gmelina arborea stand grown in red lateritic soils of central India*. Biomass and Bioenergy, 26: 305–317.

TANO F., LIVINI C., 1986 – *Utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici*. In: Sangiorgi et al. "Reflui zootecnici. Possibili trattamenti in vista dell'impiego agronomico" Edizioni Calderini, Bologna: 69-77.

TELENIUS B., VERWIJST T., 1995 – *The influence of allometric variation, vertical biomass distribution and sampling procedure on biomass estimates in commercial short - rotation forests*. Bioresource Technology, 51: 247-253.

THARAKAN P. J., VOLK T. A., ABRAHAMSON L. P., WHITE E. H., 2003 – *Energy feedstock characteristics of willow and hybrid poplar clones at harvest age*. Biomass and Bioenergy, 25: 571-580.

TODARO L., SCOPA A., DE FRANCHE S., 2007 – *Caratterizzazione energetica di specie arboree ed arbustive collinari e montane della Basilicata*. Forest@ 4 (1): 42-50. [online] URL:<http://www.sisef.it/>. (accesso: 15/12/2009).

TZANAKAKIS V. A., PARANYCHIANAKIS N. V., ANGELAKIS A. N., 2009 – *Nutrient removal and biomass production in land treatment systems receiving domestic effluent*. Ecological Engineering, 35: 1485-1492.

UGHINI V., ROVERSI A., 2000 - *Effetto di alcuni fattori di stimolo della rizogenesi su alcune talee legnose di nocciolo*. <http://www.inea.it/isf/cartella%20del%20WG/Ughini.htm> (accesso: 09/09/2008).

URI V., VARES A., TULLUS H., KANAL A., 2007 – *Above-ground biomass production and nutrient accumulation in young stands of silver birch on abandoned agricultural land*. Biomass and Bioenergy, 31: 195-204.

VANDENHOVE H., THIRY Y., GOMMERS A., GOOR F., JOSSART J. M., HOLM E., GAUFERT T., ROED J., GREBENKOV A., TIMOFEYEV S., 2001 – *Short rotation coppice for revaluation of contaminated land*. Journal of Environmental Radioactivity, 56: 157-184.

VERANI S., SPERANDIO G., CIVITARESE V., 2007 – *Cloni di pioppo da biomassa. Caratteristiche e produttività alla seconda stagione vegetativa*. Sherwood, 148: 5-9.

VERANI S. SPERANDIO G., 2008 – *Pioppeto da biomassa a rotazione biennale. Caratteristiche e produttività dei cloni*. Sherwood, 148: 39-42.

VERWIJST T., 1996 – *Stool mortality and development of a competitive hierarchy in a Salix viminalis coppice system*. Biomass and Bioenergy, 5/6: 245-250.

VERWIJST T., TELENUS B., 1999 – *Biomass estimation procedures in short rotation forestry*. Forest Ecology and Management, 121: 137–146.

VOLK T. A., ABRAHAMSON L. P., NOWAK C. A., SMART L. B., THARAKAN P. J., WHITE E. H., 2006 - *The development of short – rotation willow in the northeaster United States for bioenergy and bioproducts, agroforestry and phytoremediation*. Biomass and Bioenergy 30: 715-727.

WEIH M., NORDH N. E., 2002 – *Characterising willows for biomass and phytoremediation: growth, nitrogen and water use of 14 willow clones under different irrigation and fertilization regimes*. Biomass and Bioenergy, 23: 397-413.

WIESNIEWSKI J., DOXON R. K., KINSMAN J. D., SAMPSON R. N., LUGO A. E., 1993 – *Carbon dioxide sequestration in terrestrial ecosystems*. Climate res, 3: 1-5.

YANG P. Y., GAN C., 1998 – *An on-farm swine waste management system in Hawaii*. Bioresource Technology, 65: 21-27.

ZALESNJ J. A., ZALESNJ R. S. Jr., COYLE D. R., HALL R. B., 2007 – *Growth and biomass of Populus irrigated with landfill leachate*. Forest Ecology and Management 248: 143-152.

ZENONE T., MIGLIAVACCA M., FEDERICI S., FERRE C., MONTAGNANI L., 2005 – *Ceduo a turno breve di pioppo: bilancio di gas serra e ruolo della coltura nel protocollo di Kyoto*. Atti del convegno “Innovazioni tecniche ed opportunità della Short Rotation Forestry”, Biella, 22 settembre 2005.

ZEWDIE M., OLSSON M., VERWIJST T., 2009 – *Above - ground biomass production and allometric relations of Eucalyptus globulus Labill. coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia*. Biomass and Bioenergy, 33:421-428.

Siti internet consultati:

<http://www.arboricoltura.it> (accesso: 01/10/2009)

<http://www.arpa.fvg.it> (accesso: 01/10/2009)

<http://www.ersa.fvg.it/tematiche/suoli-e-carte-derivate/> (accesso: 09/09/2009)

<http://www.alasiafranco.it/biomassa.asp> (accesso: 15/04/2009)

<http://www.regione.fvg.it> (accesso:19/06/2009)



## **Allegati**



## Allegato 1.1 – Elenco aree di saggio

Cod.	Comune	Anno d'impianto	Clone	Età (F/R)	Ciclo colturale	Mortalità (%)	Getti (n)	D10 (cm)	D130 (cm)	H (cm)	a	U (%)	W (%)	DB	P (Mg ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> )
GO1A1	San Floriano	2006	SIRIO	F1/R1	1	10.00	1.24	3.09	1.91	300.00	0.38	1.64	0.62	0.42	2.23
GO1A2	San Floriano	2006	SIRIO	F1/R1	1	15.33	1.10	3.09	1.91	297.50	0.38	1.69	0.62	0.34	1.77
GO1B	San Floriano	2006	SIRIO	F1/R1	1	40.67	1.11	3.09	1.27	220.00	0.45	1.55	0.55	0.37	0.85
GO1C	San Floriano	2006	PEGASO	F1/R3	2	18.67	2.69	3.83	3.50	552.50	0.40	1.54	0.60	0.32	19.00
GO1D	San Floriano	2006	PEGASO	F1/R3	2	20.00	2.01	3.89	3.18	492.50	0.39	1.61	0.61	0.32	10.75
GO1E	San Floriano	2006	PEGASO	F1/R3	2	6.67	2.17	3.55	2.87	485.00	0.38	1.61	0.62	0.32	10.41
GO3A	Cormòns	2006	SIRIO	F2/R2	1	26.00	1.14	5.7	4.78	712.50	0.43	1.48	0.57	0.33	8.07
GO3B	Cormòns	2006	SIRIO	F2/R2	1	21.33	1.09	5.91	4.78	647.50	0.40	1.54	0.60	0.31	6.35
GO3C	Cormòns	2006	SIRIO	F2/R2	1	52.67	1.25	5.45	4.14	540.00	0.38	1.66	0.62	0.31	3.59
GO4	San Floriano	2004	PEGASO	F1/R3	2	8.67	1.53	4.09	3.18	500.00	0.36	1.79	0.64	0.31	8.72
PN01	Brugnera	2003	PEGASO	F1/R5	2	17.33	3.80	.	2.55	380.00	0.40	1.57	0.60	0.35	10.48
PN03A	Sesto al Reghena	2005	SIRIO	F2/R5	2	2.00	2.79	.	2.23	265.00	0.40	1.48	0.60	0.34	1.52
PN03B	Sesto al Reghena	2005	SIRIO	F2/R5	2	50.67	2.41	.	2.23	232.50	0.52	1.28	0.48	0.45	0.76
PN04	San Vito al Tagliamento	2004	PEGASO	F2/R4	2	4.00	2.22	.	3.50	562.50	0.39	1.56	0.61	0.32	6.70
PN05A	Azzano decimo	2004	PEGASO	F2/R4	2	1.33	2.31	.	3.50	652.50	0.43	1.33	0.57	0.39	9.38
PN05B	Azzano decimo	2004	PEGASO	F2/R4	2	2.00	2.18	.	3.18	505.00	0.43	1.33	0.57	0.42	4.94
PN06A	Sequals	2004	PEGASO	F4/R4	1	8.67	1.10	.	4.14	532.50	0.37	1.69	0.63	0.36	3.10
PN06B	Sequals	2004	PEGASO	F4/R4	1	60.67	1.31	.	1.27	175.00	0.40	1.51	0.60	0.35	0.10
PN06C	Sequals	2004	PEGASO	F4/R4	1	26.00	1.03	.	3.82	392.50	0.35	1.88	0.65	0.34	2.25
PN08	San Vito al Tagliamento	2004	PEGASO	F2/R4	2	8.67	2.24	.	3.82	647.50	0.40	1.49	0.60	0.33	7.43
PN09	Pravisdomini	2004	PEGASO	F2/R4	2	2.00	4.28	3.91	3.50	675.00	0.38	1.63	0.62	0.30	17.53
PN10	Pravisdomini	2004	PEGASO	F2/R4	2	6.00	2.81	.	2.87	390.00	0.36	1.77	0.64	0.30	3.83
PN14	Brugnera	2005	SIRIO	F2/R4	2	3.33	3.69	.	3.18	555.00	0.37	1.68	0.63	0.29	13.86
PN15A	Azzano decimo	2005	SIRIO	F1/R3	2	2.67	4.38	.	3.50	522.50	0.37	1.74	0.63	0.32	17.82
PN15B	Azzano decimo	2005	SIRIO	F1/R3	2	2.67	4.08	.	2.87	515.00	0.36	1.83	0.64	0.31	15.65
PN18A	San Vito al Tagliamento	2005	PEGASO	F1/R3	2	8.67	3.60	.	3.18	507.50	0.38	1.64	0.62	0.31	13.80
PN18B	Pravisdomini	2004	SIRIO	F2/R4	2	6.00	4.62	3.09	2.55	352.50	0.35	1.82	0.65	0.28	3.06
PN19	San Vito al Tagliamento	2006	SIRIO	F2/R2	1	3.33	1.44	.	5.10	697.50	0.36	1.82	0.64	0.29	10.14
PN25	Bordano	2005	PEGASO	F3/R3	1	32.67	1.08	4.91	3.82	536.50	0.46	1.19	0.54	0.41	2.76

Cod.	Comune	Anno d'impianto	Clone	Età (F/R)	Ciclo colturale	Mortalità (%)	Getti (n)	D10 (cm)	D130 (cm)	H (cm)	a	U (%)	W (%)	DB	P (Mg ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> )
UD1A1	Bordano	2005	PEGASO	F3/R3	1	48.00	1.01	3.27	1.91	275.00	0.45	1.24	0.55	0.43	0.48
UD1A2	Bordano	2005	PEGASO	F3/R3	1	26.67	1.12	.	4.14	557.50	0.46	1.19	0.54	0.40	3.02
UD1B	Attimis	2006	SIRIO	F2/R2	1	5.33	1.05	5.59	4.46	672.50	0.33	2.06	0.67	0.28	7.01
UD02	Precenico	2004	SIRIO	F2/R4	2	14.00	3.24	3.93	3.18	556.50	0.43	1.33	0.57	0.38	9.45
UD04A	Precenico	2004	SIRIO	F2/R4	2	8.67	3.55	3.91	3.50	665.00	0.45	1.25	0.55	0.34	11.75
UD04B	Precenico	2004	SIRIO	F2/R4	2	19.33	3.60	3.91	3.50	542.50	0.41	1.46	0.59	0.36	10.93
UD04C	Precenico	2004	SIRIO	F2/R4	2	2.67	3.10	4.21	2.87	472.50	0.48	1.10	0.52	0.36	5.99
UD04D	Precenico	2004	SIRIO	F2/R4	2	10.67	2.48	4.21	3.50	580.00	0.46	1.17	0.54	0.35	8.28
UD04E	Rive d'Arcàno	2004	PEGASO	F2/R4	2	14.67	1.71	.	2.55	371.50	0.40	1.50	0.60	0.40	3.35
UD05	Manzano	2004	PEGASO	F4/R4	1	20.00	1.06	5.58	4.46	680.00	0.41	1.44	0.59	0.38	4.84
UD06	Pocenia	2006	PEGASO	F3/R3	1	18.00	1.20	6.49	6.05	1010.00	0.40	1.51	0.60	0.29	9.74
UD10A1	Pocenia	2006	PEGASO	F3/R3	1	9.33	1.05	6.77	6.05	915.00	0.40	1.52	0.60	0.28	10.33
UD10A2	Pocenia	2006	PEGASO	F3/R3	1	13.33	1.08	6.45	5.73	922.50	0.42	1.38	0.58	0.30	10.43
UD10A3	Artegna	2006	SIRIO	F3/R3	1	22.00	1.14	.	5.41	855.00	0.39	1.62	0.61	0.28	5.83
UD10B1	Artegna	2006	SIRIO	F3/R3	1	8.67	1.15	.	5.10	760.00	0.39	1.60	0.61	0.31	6.61
UD10B2	Artegna	2006	SIRIO	F3/R3	1	3.33	1.24	.	4.78	740.00	0.40	1.57	0.60	0.30	7.15
UD10B3	Coseano	2006	SIRIO	F3/R3	1	16.00	1.17	.	4.14	625.00	0.40	1.51	0.60	0.33	4.04
UD11A	Coseano	2006	SIRIO	F1/R3	2	7.33	3.39	.	2.55	445.00	0.36	1.78	0.64	0.31	9.73
UD11B	Muzzana	2005	SIRIO	F1/R3	2	46.67	4.91	3.73	2.87	465.00	0.41	1.48	0.59	0.32	11.52
UD12	Pavia di Udine	2005	SIRIO	F1/R3	2	20.00	3.83	2.62	1.91	355.00	0.44	1.26	0.56	0.36	3.99
UD15	Rivignano	2004	PEGASO	F2/R4	2	5.33	2.77	.	3.18	632.50	0.45	1.25	0.55	0.36	6.92
UD21	Pavia di Udine	2005	SIRIO	F1/R3	2	6.00	3.86	3.21	2.55	470.00	0.44	1.28	0.56	0.37	9.59
UD24	Ruda	2005	SIRIO	F3/R3	1	18.00	1.20	.	4.78	660.00	0.39	1.58	0.61	0.32	4.61

**Tabella 20. Elenco e descrizione delle aree di saggio. Legenda. Codice:** codice identificativo dell'area di saggio; **Comune:** Comune in cui ricade il corpo principale dell'imboschimento; **Anno d'impianto:** anno di realizzazione dell'imboschimento; **Clone:** clone impiegato; **Età:** età del fusto (anni)/età della radice (anni); **Ciclo colturale:** 1=primo ciclo colturale, 2=secondo ciclo colturale; **Mortalità:** percentuale di mortalità delle ceppaie (%); **Getti:** numero medio di getti emessi dalla ceppaia (n); **D10:** diametro medio rilevato a 10 cm da terra (cm); **D130:** diametro medio rilevato a 1,30 m (cm); **H:** altezza media (cm); **a:** rapporto tra peso secco e peso fresco; **U:** umidità (%); **W:** contenuto idrico (%); **DB:** densità basale (g/cm<sup>3</sup>); **P:** produzione di sostanza secca (Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>).



## **Allegato 1.2 – Inquadramento delle unità pedologiche**

Al fine di descrivere i suoli, questi vengono considerati secondo lo schema metodologico impiegato per la realizzazione della Carta regionale dei Suoli. I suoli sono stati considerati a livello provinciale, quindi all'interno del singolo Contenitore pedogeografico (ovvero di quell'entità geografica, ma anche concettuale, all'interno della quale i fattori fisiografici, litologici d'uso e gestione del territorio presentano un grado di affinità che permette di riconoscerla come ambiente omogeneo a scala di primo riconoscimento) e distinti in Unità Cartografiche o U.C. (ovvero l'insieme delle delimitazioni della carta che presentano lo stesso suolo o la stessa caratteristica distribuzione di suoli) ([www.ersa.fvg.it](http://www.ersa.fvg.it)).

### **U.C. GO-A9 – Conca del Preval**

Aree di saggio: GO01, GO02, GO04  
Comuni di: Cormòns, Mossa  
Tipi di suolo: PRE1 (Preval franco – limoso - argillosi, piuttosto mal drenati)

L'unità cartografica è rappresentata da un'ampia depressione intracollinare, attualmente bonificata, che fino alla prima metà dell'800 ospitava una palude dove si raccoglievano le acque di ruscellamento superficiale provenienti dai versanti circostanti, mescolate alle alluvioni del torrente Versa ed a quelle di altri piccoli rii. I sedimenti che vi si sono depositati sono principalmente limoso - argillosi e si distinguono da quelli colluviali solo in virtù della minore pendenza. I suoli PRE1 si riscontrano tipicamente nella conca del Preval ed in corrispondenza delle superfici incise dai corsi d'acqua minori. Il materiale parentale è costituito da sedimenti di suolo limosi e argillosi provenienti dai rilievi flyschoidi. I suoli PRE1 hanno un topsoil di colore bruno oliva, a tessitura franco – limoso - argillosa e privo di scheletro, che presenta una buona dotazione di sostanza organica, è neutro o subalcalino, con dotazione di carbonati al più scarsa. Il subsoil ha una granulometria argillosa fine, è neutro o subalcalino. Il potere adsorbente del suolo, in considerazione dei buoni livelli di argilla, è alto. L'approfondimento radicale è limitato dall'insufficiente disponibilità d'ossigeno che si riscontra tra i 60 e gli 80 cm, l'idromorfia è causata sia dalla bassa permeabilità del suolo sia dalla falda poco profonda; limiti possono essere dovuti anche a strati massivi sotto lo strato lavorato. Nei suoli PRE1 la quantità d'acqua disponibile per le colture è molto elevata (>200 mm) in ragione delle caratteristiche del terreno e degli apporti di falda. La permeabilità è bassa e pertanto i suoli sono piuttosto mal drenati.

### **U.C. GO-B7 – Terrazzi attuali dello Judrio**

Aree di saggio: GO03  
Comune: Cormòns  
Tipi di suolo: MED2 (suoli Medea franco-limosi poco ghiaiosi, moderatamente profondi)

L'unità corrisponde ai più bassi terrazzi ed all'alveo attuale del torrente Judrio. Gli eventi deposizionali hanno alternato materiali grossolani ed alluvioni fine, perciò la variabilità granulometrica è molto alta. La ghiaia si rinviene a debole profondità. Il materiale parentale è costituito da sabbie e ghiaie carbonatiche.

I suoli MED2 presentano in genere una discreta decarbonatazione del topsoil, un moderato grado di aggregazione delle particelle, un livello abbastanza alto di carbonio organico lungo il profilo e talvolta un suo andamento irregolare; per questi caratteri rientrano negli Endoskeleti-Fluvisols Cambisols.

Questi suoli presentano topsoil di colore bruno, a tessitura franco-limoso e scheletro da assente a comune, con una moderata dotazione di sostanza organica; è subalcalino ed il contenuto in carbonati varia da non calcareo a moderatamente calcareo a seconda dell'età dei depositi e dell'influenza di altri substrati. Il subsoil ha una granulometria limosa fine su scheletrico-sabbiosa ed è subalcalino o alcalino e calcareo. Il substrato ha una granulometria scheletrico-sabbiosa.

Il potere adsorbente del suolo varia da moderato ad alto, condizionato dal contenuto d'argilla e di sostanza organica. L'approfondimento radicale è limitato dalla granulometria grossolana che si riscontra entro i primi 60-100 cm. La quantità d'acqua disponibile per le colture è media (120-160 mm) in ragione dello spessore del suolo. La permeabilità è moderatamente alta.

#### **U.C. PN-D5 – Incisione e meandri del Livenza**

Aree di saggio: PN01, PN14  
Comune: Brugnera  
Tipi di suolo: SAC1 (Sacile franco-limosi)

L'unità cartografica è rappresentata da due delineazioni, separate dal confine amministrativo con il Veneto. I sedimenti che la caratterizzano derivano prevalentemente dalla rielaborazione dei materiali che li costituiscono, in quanto il Livenza, essendo un corso d'acqua che si origina dalle sorgenti carsiche della fascia pedemontana tra Polcenigo e Gorgazzo, non possiede cospicue alluvioni proprie.

I suoli SAC1 si riscontrano nelle incisioni del fiume Livenza; il materiale parentale è costituito da limi ed argille. Presentano un orizzonte sottosuperficiale con moderato il grado di aggregazione e di decarbonatazione; il carbonio organico ha un andamento irregolare lungo il profilo ed il substrato mostra segni di idromorfia. In base alle caratteristiche descritte questi suoli rientrano nei Gleyi-Fluvic Cambisols. I suoli SAC1 hanno un orizzonte superficiale dello spessore medio di 40 cm, di colore bruno, a tessitura franco-limoso e a scheletro al più scarso, con una moderata dotazione di sostanza organica, subalcalino e molto calcareo. Il subsoil, alcalino ed estremamente calcareo, ha una granulometria limosa grossolana o limosa fine. Il potere adsorbente del suolo è moderato.

L'approfondimento radicale può essere limitato, di frequente, da un'insufficiente disponibilità d'ossigeno riscontrabile in profondità.; la quantità d'acqua disponibile per le colture è elevata. La permeabilità varia da moderatamente alta a moderatamente bassa e i suoli sono moderatamente ben drenati.

#### **U.C. PN-F1 – Piano Modale tardo-pleistocenico inciso**

Aree di saggio: PN09, PN19, PN 05, PN15  
Comuni: Pravisdomini, Azzano Decimo  
Tipi di suolo: PAS1 (suoli Pasiano franco-limoso-argillosi)  
PAS2 (suoli Pasiano franco-limosi)

L'unità cartografica si trova nel settore centro-meridionale del territorio, tra l'allineamento Meduna - Noncello ed il corso del fiume Reghena, a sud della fascia delle risorgive. Il materiale parentale, generalmente privo di scheletro, è stratificato e costituito da limo ed argilla, talvolta intercalati a sedimenti più grossolani, occasionalmente a torba.

I suoli PAS1 si riscontrano sulla porzione distale del conoide alluvionale del sistema idrografico tardo-pleistocenico del Tagliamento. Il materiale parentale è stratificato e costituito da limo ed argilla, talvolta intercalati a sedimenti più grossolani. Denotano in superficie un buon grado di decarbonatazione rispetto agli orizzonti sottostanti, che presentano un accumulo di carbonati secondari sotto forma di concrezioni; il substrato manifesta marcati caratteri gleyici. In base alle caratteristiche descritte, questi suoli rientrano negli Hypercalci-Gleyic Calcisols. I suoli PAS1 hanno un orizzonte superficiale dello spessore medio di 40 cm, di colore bruno oliva, a tessitura franco – limoso - argillosa o franco-argillosa e privo di scheletro, con una moderata dotazione di sostanza organica, subalcalino o alcalino e moderatamente calcareo. Il subsoil, alcalino ed estremamente calcareo, ha una granulometria limosa fine o argillosa fine. Il potere adsorbente del suolo è buono, dovuto in larga misura al tenore di argilla.

I suoli PAS2 si riscontrano a sud della fascia delle risorgive sulla porzione distale del conoide alluvionale del sistema idrografico tardo-pleistocenico del Tagliamento. Essi sono presenti sia sulle superfici modali sia nelle incisioni prodotte dal reticolo idrografico dei corsi d'acqua a carattere di risorgiva. Il materiale parentale, generalmente privo di scheletro, è stratificato e costituito da limo ed argilla, intercalati a sedimenti più grossolani. Il potere adsorbente del suolo è moderatamente buono, legato alla media dotazione di colloidali minerali ed organici. L'approfondimento radicale è limitato dall'insufficiente disponibilità d'ossigeno che si riscontra in genere a 90-100 cm; poco frequente l'impedimento dovuto a strati massivi ed a falde. Nei suoli PAS2 la quantità d'acqua disponibile per le colture è elevata ed in genere poco condizionata dagli apporti di falda e dai fattori limitanti l'approfondimento radicale. La permeabilità è moderatamente bassa e i suoli sono in genere moderatamente ben drenati, raramente piuttosto mal drenati.

#### **U.C. PN-F6 – Paleolvei di tipo braided occupati dai corsi di risorgiva**

Aree di saggio: PN04 PN08 PN18 PN25 PN03  
Comune: San Vito al Tagliamento  
Tipi di suolo: TOR1 (suoli Torrate franco-limoso-argillosi ghiaiosi)

L'unità cartografica si trova nel settore centro-meridionale del territorio regionale e corrisponde alla parte alta delle ampie incisioni fluviali attualmente occupate dai fiumi Sile e Reghena e dallo scolo Arcon. È caratterizzata dal passaggio da una paleoidrografia di tipo braided (ovvero un sistema fluviale costituito da un ampio letto ciottoloso con canali poco incisi e ripetutamente intrecciati che vanno a formare un sistema anastomizzato; l'abbondante trasporto solido durante le fasi di piena costringe il corso d'acqua a mutare frequentemente il suo letto di magra), con frequente alternanza di paleolvei ghiaiosi con zone a sedimentazione più fina, ad una monocursale con meandreggio ad ampio raggio.

I suoli TOR1 denotano in superficie un moderato grado di decarbonatazione ed una discreta alterazione dell'orizzonte sottosuperficiale, il carbonio organico ha un andamento irregolare lungo il profilo e il substrato, con elevati contenuti di scheletro, mostra moderati caratteri gleyici. In base alle caratteristiche descritte, questi suoli rientrano nei Gleyi-Fluvic Cambisols. I suoli TOR1 hanno un orizzonte superficiale dello spessore medio di 35 cm, di colore bruno grigio scuro, a tessitura franco – limoso - argillosa o franco-limoso ed a scheletro da comune a frequente, con una dotazione di sostanza organica da moderata a buona, subcalino e calcareo. Il subsoil, alcalino ed estremamente calcareo, ha una granulometria scheletrico - franca. Il potere adsorbente del suolo è moderato, buono il contributo fornito dai colloidi organici, minore quello dei colloidi minerali. L'approfondimento radicale non supera in media gli 80-90 cm ed il principale fattore limitante è dato dalla granulometria molto grossolana (scheletrico - sabbiosa), spesso associata ad una modesta disponibilità d'ossigeno, legata più a falde poco profonde che al cattivo drenaggio. La quantità d'acqua disponibile per le colture è in genere moderata se valutata solo in relazione alla granulometria, mentre aumenta con gli eventuali apporti di falda. La permeabilità è moderatamente alta, ma la presenza di falde sottosuperficiali conferisce proprietà idromorfe agli strati profondi con conseguenti problemi di drenaggio.

#### **U.C. PN-F7 – Paleolvei a meandri occupati dai corsi di risorgiva**

Aree di saggio: PN10  
Comune: Pravisdomini  
Tipi di suolo: FAG1 (Fagnigola franco-limoso-argillosi)

L'unità cartografica corrisponde alla parte bassa delle ampie incisioni fluviali attualmente occupate dai fiumi Sile e Reghena e dallo scolo Arcon, corsi d'acqua a carattere di risorgiva che hanno ereditato i percorsi di un'idrografia con parametri geometrici non compatibili con quella attuale e probabilmente connessa con l'attività di un paleo - Tagliamento. Il materiale parentale è stratificato e costituito principalmente da limo ed argilla, talvolta intercalati a sedimenti più grossolani. Ghiaia può essere rinvenuta in profondità.

I suoli FAG1 si riscontrano nel settore centro-meridionale del territorio, in corrispondenza delle incisioni fluviali attualmente occupate dai fiumi Sile e Reghena e dallo scolo Arcon. L'ambiente è caratterizzato dal passaggio da una paleoidrografia di tipo braided, con la frequente alternanza di paleolvei ghiaiosi con zone a sedimentazione più fina, ad una monocursale con meandreggio ad ampio raggio. Il materiale parentale è stratificato e costituito principalmente da limo ed argilla.

I suoli FAG1 presentano un buon grado di decarbonatazione rispetto e dei marcati caratteri gleyici; il tenore di carbonio organico si mantiene elevato anche in profondità. Questi suoli rientrano nei Gleyi-Fluvic Cambisols.

I suoli FAG1 hanno un orizzonte superficiale dello spessore medio di 40 cm, di colore bruno grigio scuro, a tessitura franco – limoso - argillosa o argilloso - limosa ed a scheletro da assente a scarso, con una buona dotazione di sostanza organica, subcalino, da scarsamente calcareo a calcareo.

Il subsoil, alcalino ed estremamente calcareo, ha una granulometria argillosa o franca. Il potere adsorbente del suolo è buono, legato al contributo fornito dai colloidi organici e minerali.

L'approfondimento radicale è limitato dall'insufficiente disponibilità d'ossigeno che si riscontra in genere tra 50-70 cm; l'idromorfia è collegabile alla granulometria fine associata, nella gran parte dei casi, a falde poco profonde. La permeabilità moderatamente bassa o bassa, dà luogo a dei suoli piuttosto mal drenati a causa anche delle spiccate proprietà idromorfe.

### **U.C. PN-H2 – Piccoli rilievi e depositi colluviali pedemontani**

Aree di saggio: PN06  
Comune: Sequals  
Tipi di suolo: SEQ1 (Sequals franchi ben drenati)

L'unità cartografica è costituita da alcuni piccoli rilievi in prossimità del Col Palis, costituiti da conglomerati ed arenarie, ma anche argilliti e marne, e dalla zona di accumulo dei materiali dilavati dai rilievi, sia ai piedi del Col Palis, sia nella fascia pedemontana tra Tagliamento e Cosa. I materiali parentali sono fini ed erodibili; sono costituiti prevalentemente da arenarie.

I suoli SEQ1 si riscontrano nei rilievi in prossimità del Col Palis e sui loro colluvia, e nella fascia pedemontana tra il Cosa ed il Tagliamento.

I suoli SEQ1 rientrano negli Epidystric Cambisols. Hanno un orizzonte superficiale dello spessore medio di 30 cm, di colore bruno, a tessitura franca e privo di scheletro, con una moderata dotazione di sostanza organica, acido e non calcareo. Il subsoil, subacido e non calcareo, ha una granulometria franca; il potere adsorbente del suolo è moderato. Non presentano limitazioni di rilievo all'approfondimento radicale. La permeabilità è alta o moderatamente alta.

### **U.C. UD-A1 – Aste prossimali del Tagliamento**

Aree di saggio: UD 01  
Comune: Bordano  
Tipi di suolo: RG (Ghiaie e sabbie)

L'unità cartografica è rappresentata dalla porzione del corso attuale del Tagliamento posta a nord della stretta di Pinzano - Ragogna.

Si tratta di un corso d'acqua perenne con idrografia di tipo braided il cui letto ghiaioso è completamente occupato dall'acqua durante le piene ordinarie. La forma è in evoluzione e sono possibili spostamenti stagionali del letto di magra. La vegetazione naturale, assente nella porzione occupata dall'alveo attuale, aumenta progressivamente procedendo verso la scarpata ed i terrazzi ed è costituita da formazioni riparie piuttosto rade e prevalentemente arbustive.

### **U.C. UD-A9 – Depositi pedecollinari da Arterga a Tarcento**

Aree di saggio: UD10  
Comune: Arterga  
Tipi di suolo: ART1 (suoli Arterga franco-limoso-argillosi, moderatamente ben drenati)

L'unità cartografica corrisponde alle alluvioni deposte al piede dei rilievi prealpini tra Arterga e Tarcento da piccoli corsi d'acqua (rio Bosso, rio Urana e molti altri minori) che li incidono. I suoli ART1 si estendono principalmente ai piedi dei rilievi prealpini di Arterga, Magnano in Riviera e Tarcento. Il materiale parentale è costituito da depositi argillosi o argilloso - sabbiosi; riflette la composizione dei bacini montani, costituiti principalmente da litotipi terrigeni in facies di flysch marnoso-arenaceo e da rocce calcaree ad essi intercalate.

I suoli ART1 hanno un topsoil di colore bruno, tessitura franco - limoso - argillosa o franco-limosa e scheletro assente, con una dotazione di sostanza organica moderatamente alta, neutro e non calcareo. Il subsoil ha una granulometria limosa fine, è subalcalino e mostra una scarsa dotazione di carbonati.

Il potere adsorbente del suolo è alto in superficie, moderato in profondità, buona è l'attività colloidale delle argille presenti.

L'approfondimento radicale è talvolta limitato da un'insufficiente disponibilità d'ossigeno, che però si riscontra solo in profondità; l'idromorfia è causata dalla modesta permeabilità legata alla grana fine e alla rilevante piovosità dell'ambiente.

Nei suoli ART1 la quantità di acqua disponibile per le colture è molto elevata (>200 mm) in ragione delle caratteristiche del terreno.

La permeabilità è moderatamente bassa; i suoli, che mostrano segni di idromorfia solo negli orizzonti profondi, sono moderatamente ben drenati; in considerazione della soddisfacente pendenza, per la rimozione delle acque in eccesso è sufficiente una buona baulatura degli appezzamenti e la presenza di capifosso.

La presenza di significativi contenuti di limo fine rende frequente la formazione di crosta superficiale che ostacola l'emergenza delle plantule e riduce gli scambi aria/acqua tra il suolo e l'atmosfera.

### **U.C. UD-C10 – Depressioni bonificate di Purgessimo, Campeglio e Manzano**

Area di saggio: UD06  
Comune: Manzano  
Tipi di suolo: CAM2 (suoli Campeglio franco-limoso-argillosi, piuttosto mal drenati)

L'unità cartografica è costituita da tre delineazioni che si trovano in ambiente pedecollinare e sono accomunate dall'essere state bonificate in seguito ai problemi di ristagno idrico da cui erano caratterizzate.

Le delineazioni di Campeglio e di Manzano si trovano al piede di rilievi terrigeni in corrispondenza dell'incontro di due diversi conoidi alluvionali. L'aggradazione derivante dall'azione deposizionale dei conoidi non ha investito questi settori, protetti dai rilievi posti a monte; la depressione tra i conoidi che si è così venuta a creare è stata parzialmente riempita dai sedimenti derivanti dallo smantellamento dei colli flyschoidi.

I suoli CAM2 hanno un topsoil di colore bruno oliva, tessitura franco – limosa - argillosa e scheletro assente, con una dotazione di sostanza organica moderatamente alta, neutro e non calcareo. Il subsoil ha una granulometria argillosa fine, è neutro e non calcareo.

Il potere adsorbente del suolo è alto lungo tutto il profilo, conformemente alla granulometria.

L'approfondimento radicale è limitato da un'insufficiente disponibilità d'ossigeno che si riscontra entro i primi 50-80 cm; l'idromorfia è causata dalla forma concava dell'area, dalla modesta permeabilità e, nelle due aree più settentrionali, dall'elevata piovosità. Nei suoli CAM2 la quantità di acqua disponibile per le colture è molto elevata (>200 mm). La permeabilità è bassa; i suoli, che mostrano chiari segni di ossidoriduzione, sono piuttosto mal drenati. La presenza di significativi contenuti di limo fine rende frequente la formazione di crosta superficiale che ostacola l'emergenza delle plantule e riduce gli scambi aria/acqua tra il suolo e l'atmosfera.

### **U.C. UD-E3 – Aree golenale coltivate di Torre e Natisone**

Aree di saggio: UD 24  
Comune: Ruda  
Tipi di suolo: SAL1 (suoli salt franco – sabbiosi ghiaiosi, sottili)

L'unità cartografica è rappresentata dai terrazzi attuali di Torre, Natisone e Malina compresi all'interno delle zone golenali e destinati prevalentemente ad uso agricolo. In genere sono ben riconoscibili le tracce di una morfologia legata ad un corso d'acqua di tipo braided; la granulometria dei depositi è varia, con prevalenza di frazioni grossolane quali ghiaie e sabbie, in prevalenza calcaree, e maggior presenza della componente sabbiosa nel settore meridionale.

I suoli SAL1 si riscontrano tipicamente negli ambiti golenali e sui terrazzi attuali e recenti del Torre e in quelli terminali dei suoi affluenti: Natisone e Malina. I depositi fluviali sono prevalentemente grossolani, tipici di un'idrografia di tipo braided, e passano gradatamente a tessiture più fini procedendo verso valle.

Il materiale parentale è costituito da ghiaie e sabbie, al più debolmente decarbonatato.

I suoli SAL1 hanno un topsoil di colore bruno grigiastro, tessitura franco-sabbiosa e scheletro frequente o abbondante, con una dotazione di sostanza organica moderatamente bassa, alcalino ed estremamente calcareo. Il subsoil ha una granulometria scheletrico - sabbiosa, è alcalino ed estremamente calcareo.

Il potere adsorbente del suolo è basso fin dalla superficie.

L'approfondimento radicale è limitato dalla granulometria grossolana che si riscontra entro i primi 30-50 cm.

Nei suoli SAL1 la quantità di acqua disponibile per le colture è molto bassa (30-60 mm) legata all'esiguo spessore del suolo e allo scheletro. La permeabilità è alta; i suoli si mostrano eccessivamente drenati e non necessitano di regimazione delle acque in eccesso.

### **U.C. UD-E7 – Depositi di spaglio antichi, fini del Torre**

Aree di saggio: UD15, UD23  
Comune: Pavia di Udine  
Tipi di suolo: PAV1 (Suoli Pavia franco – argillosi, moderatamente ben drenati)

L'unità corrisponde alla porzione medio - distale delle alluvioni del Torre, costituite prevalentemente da sedimenti fini sovrapposti ad alluvioni ghiaiose. Il conoide è asimmetrico rispetto al corso d'acqua attuale, essendo più sviluppato sulla sponda destra.

Le caratteristiche di quest'area non derivano da un singolo processo, ma dal succedersi di due tipologie di eventi, al mutare delle caratteristiche climatiche nel tempo. Si osserva, infatti, la presenza di alluvioni fini sovrapposte con uno spessore variabile su depositi più grossolani litologicamente molto diversi e corrispondenti alle ghiaie sabbiose del bacino del Tagliamento che furono deposte quando le aree di spaglio di questo sistema erano più estese delle attuali. Dopo l'ultimo massimo glaciale, l'attività dei corsi d'acqua principali, alimentati da un ghiacciaio, è andata via via riducendosi, a favore delle azioni esercitate dai corsi d'acqua minori, con bacino pedemontano. In quest'epoca successiva, caratterizzata da un'intensa erosione, questi corsi d'acqua hanno portato a valle una notevole quantità di sedimenti, che sono andati parzialmente a ricoprire le ghiaie deposte in precedenza; a seconda dello spessore dei depositi più recenti, queste si rinvencono a diverse profondità.

I suoli PAV1 si riscontrano nella porzione medio - distale delle alluvioni antiche del Torre, costituite prevalentemente da sedimenti fini sovrapposti ad alluvioni ghiaiose. Il materiale parentale è costituito da limi ed argille derivati dall'alterazione di litotipi terrigeni.

I suoli PAV1 hanno un topsoil di colore bruno giallastro scuro, tessitura franco-argillosa e scheletro assente o scarso, con una dotazione di sostanza organica moderatamente alta, neutro e non calcareo. Il subsoil ha una granulometria argillosa fine, è neutro e non calcareo.

Il potere adsorbente del suolo è alto lungo tutto il profilo, conformemente alla dotazione di argilla con buona capacità di scambio. Non presentano limitazioni all'approfondimento radicale se non in profondità, con bassa frequenza e dovute ad una granulometria grossolana. Nei suoli PAV1 la quantità di acqua disponibile per le colture è molto elevata (>200 mm).

### **Allegato 1.3 – Analisi pedologiche delle aree di saggio e individuazione limitazioni stazionali**

<b>Codice</b>	<b>U.C.</b>	<b>Scheletro totale (S,%)</b>	<b>Scheletro grossolano (% su S)</b>	<b>Scheletro medio (% su S)</b>	<b>Scheletro fine (% su S)</b>	<b>Contenuto in scheletro</b>	<b>Sabbia (%)</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Argilla (%)</b>	<b>pH</b>	<b>calcare attivo (%)</b>	<b>Salinità. (dS*m<sup>-1</sup>)</b>	<b>Limitazioni stazionali</b>
GO1A1	GO.A9	1.18	84.48	0.00	15.52	scarso	4.68	37.15	46.85	8.27	1.50	0.43	Severe
GO1A2	GO.A9	0.13	0.00	0.00	100.00	assente	5.30	31.05	57.1	8.21	1.13	0.27	Moderate
GO1B	GO.A9	0.00	0.00	0.00	0.00	assente	0.82	32.10	57.55	6.33	0.87	0.43	Severe
GO1C	GO.A9	32.67	91.13	1.63	3.88	frequente	23.74	31.00	37.35	7.38	1.38	0.65	Severe
GO1D	GO.A9	1.67	32.23	0.58	32.72	scarso	31.29	30.15	29.85	7.88	1.31	0.27	Moderate
GO1E	GO.A9	0.09	0.00	0.05	40.79	assente	3.59	42.35	44.05	8.25	2.06	0.19	Moderate
GO3A	GO.B7	28.30	89.03	1.74	4.80	frequente	42.66	19.40	26.95	8.28	1.31	0.31	Moderate
GO3B	GO.B7	0.75	82.89	0.06	9.21	assente	37.28	24.50	27.9	8.11	2.69	0.66	Severe
GO3C	GO.B7	72.21	92.90	3.10	2.81	abbondante	59.13	15.60	16.3	8.21	2.06	0.29	Moderate
GO4	GO.A9	0.00	0.00	0.00	0.00	assente	24.17	33.90	32.2	8.23	3.19	0.28	Moderate
PN01	PN.D5	2.32	68.60	0.44	12.56	scarso	57.31	9.75	18.5	8.34	13.94	0.19	Severe
PN03A	PN.F6	6.72	86.07	0.47	7.01	comune	68.36	7.15	13.2	8.43	2.31	0.26	Moderate
PN03B	PN.F6	0.14	81.82	0.01	9.09	assente	64.30	13.75	21.95	8.20	2.44	0.25	Moderate
PN04	PN.F6	15.00	94.53	0.56	1.74	comune	19.79	23.50	45.5	8.55	0.69	0.21	Moderate
PN05a	PN.F1	1.24	23.20	0.60	28.03	scarso	23.15	19.25	45.9	8.36	2.94	0.25	Moderate
PN05b	PN.F1	1.25	45.67	0.44	19.23	scarso	38.40	27.55	34.05	8.25	1.56	0.46	Severe
PN06A	PN.H2	1.47	41.51	0.45	28.03	scarso	43.89	14.85	28.95	7.56	1.44	0.16	Moderate
PN06B	PN.H2	5.32	67.00	0.96	14.99	scarso	53.04	13.85	24.25	7.9	1.38	0.25	Moderate
PN06C	PN.H2	5.67	54.76	1.25	23.27	scarso	44.51	13.35	31.25	8.12	0.75	0.11	Moderate
PN08	PN.F6	12.74	86.50	1.15	4.48	comune	24.04	18.60	46.1	8.18	1.69	0.27	Moderate
PN09	PN.F1	0.95	52.11	0.20	27.31	assente	72.01	4.30	10.8	8.12	0.50	0.21	Moderate
PN10	PN.F7	9.55	72.23	1.73	9.66	comune	44.82	13.55	31.6	7.78	1.50	0.42	Severe
PN14	PN.D5	2.66	74.26	0.55	5.04	scarso	69.75	12.95	17.3	8.26	11.06	0.25	Severe
PN15A	PN.F1	1.18	32.18	0.42	31.95	scarso	44.68	16.00	30.6	8.31	0.19	0.23	Moderate
PN18B	PN.F6	4.33	54.11	1.30	15.86	scarso	54.82	14.10	18.65	8.22	0.87	0.19	Moderate
PN18A	PN.F6	8.41	83.83	0.94	5.02	comune	59.41	10.50	17.65	8.53	1.38	0.19	Moderate
PN19	PN.F1	0.83	59.31	0.13	25.00	assente	63.21	10.10	16.7	8.34	1.44	0.19	Moderate
PN25	PN.F6	34.49	85.61	2.92	5.91	frequente	54.40	13.30	20.3	7.68	0.63	0.22	Moderate
UD01A1	UD.A1	77.02	91.18	2.67	5.35	abbondante	78.73	4.50	4.95	7.67	0.94	0.30	Moderate

Codice	U.C.	Scheletro totale (S,%)	Scheletro grossolano (% su S)	Scheletro medio (% su S)	Scheletro fine (% su S)	Contenuto in scheletro	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	pH	calcicare attivo (%)	Salinità. (dS*m <sup>-1</sup> )	Limitazioni stazionali
UD01A2	UD.A1	71.39	82.75	7.55	6.68	abbondante	81.32	4.35	6.45	7.63	1.38	0.42	Severe
UD01B	UD.A1	20.31	75.81	2.81	10.34	frequente	44.64	16.60	28.85	7.73	2.56	0.80	Severe
UD02	UD.E	0.00	0.00	0.00	0.00	assente	34.54	27.85	29.05	6.60	1.13	0.64	Severe
UD04A	n.d.	0.49	42.27	0.16	24.15	assente	36.84	18.00	36.45	7.38	0.56	0.82	Severe
UD04B	n.d.	0.06	0.00	0.03	48.00	assente	44.72	16.90	29.2	7.67	11.56	1.31	Severe
UD04C	n.d.	0.08	40.85	0.04	12.68	assente	73.06	6.35	7.15	8.15	10.75	0.25	Severe
UD04D	n.d.	0.88	97.02	0.03	0.00	assente	49.22	20.50	22.05	8.30	7.88	0.20	Moderate
UD04E	n.d.	1.78	74.22	0.33	7.40	scarso	43.30	17.65	27.4	8.19	8.44	0.21	Moderate
UD05	n.d.	23.60	82.14	2.53	7.15	frequente	41.89	26.00	23.45	6.62	1.13	0.32	Moderate
UD06	UD.C10	0.37	38.21	0.10	34.93	assente	42.87	29.50	18.1	6.37	0.75	0.21	Moderate
UD10A1	n.d.	1.03	46.29	0.23	31.33	scarso	32.31	35.60	19.8	8.19	1.50	0.18	Moderate
UD10A2	n.d.	0.61	67.77	0.12	12.70	assente	43.50	23.40	33.1	8.39	4.81	0.21	Moderate
UD10A3	n.d.	2.06	60.07	0.45	18.04	scarso	43.90	22.05	24.5	7.82	3.19	0.71	Severe
UD10B1	UD.A9	24.95	77.96	3.03	9.88	frequente	58.12	15.75	17	8.38	1.88	0.20	Moderate
UD10B2	UD.A9	0.16	39.13	0.04	34.78	assente	17.41	34.40	34.6	7.42	1.31	0.31	Moderate
UD10B3	UD.A9	38.92	90.80	2.05	3.92	abbondante	54.19	14.50	21.95	8.15	1.44	0.29	Moderate
UD11A	n.d.	45.34	90.85	2.41	3.84	abbondante	45.11	20.30	22.55	8.08	1.44	0.44	Severe
UD11B	n.d.	10.06	82.89	0.92	7.99	comune	13.93	37.65	35.25	7.24	1.25	0.17	Moderate
UD12	n.d.	0.92	47.12	0.27	24.05	assente	68.63	7.00	9.85	8.22	1.69	0.18	Moderate
UD15	E7	0.38	79.12	0.03	13.19	assente	33.09	27.60	31.55	7.98	0.88	0.13	Moderate
UD21	n.d.	1.04	55.89	0.37	9.03	scarso	56.14	14.50	18.1	7.95	2.88	0.71	Severe
UD23	E7	4.45	82.98	0.62	3.13	scarso	41.75	30.20	28.05	7.92	1.38	0.31	Moderate
UD24	E5	29.20	94.58	0.99	2.05	frequente	82.60	8.90	8.5	8.06	3.75	0.47	Severe

**Tabella 21. Caratterizzazione dei suoli campionati. Legenda. U.C.:** unità cartografica di riferimento; **n.d.:** non definito, altrimenti vedi Allegato 1.2; **Scheletro totale (%):** frazione scheletrica percentuale; **Scheletro grossolano (% su scheletro tot.):** frazione di scheletro grossolano (diametro particelle > 5 mm) sullo scheletro totale; **Scheletro medio (% su scheletro tot.):** frazione di scheletro medio (diametro particelle compreso tra 3 e 5 mm) sullo scheletro totale; **Scheletro fine (% su scheletro tot.):** frazione di scheletro fine (diametro particelle compreso tra 2 e 3 mm) sullo scheletro totale; **Contenuto in scheletro.** assente: <1, scarso: tra 1 e 5, comune: tra 6 e 15, frequente: tra 16 e 35, abbondante: tra 36 e 70; **sabbia (%):** contenuto della frazione sabbiosa; **limo (%):** contenuto della frazione limosa; **argilla (%):** contenuto della frazione argillosa; **pH:** valore del pH determinato in soluzione acquosa; **Calcicare attivo (%); Salinità (dS\*m<sup>-1</sup>); Limitazioni stazionali.** moderate: suoli che possono indurre riduzioni di produzione fino al 60% di quella massima e/o richiedere particolari pratiche colturali, severe: non destinabili a pioppicoltura.



## **Allegato 1.4 – I cloni impiegati**

### **Sirio**

Clone iscritto al RNCF per la produzione di biomassa (Facciotto *et al.* 2006a)

Specie: *P. deltoides* Bartr. X *Populus X canadensis* Mönch

Madre: *P. deltoides* Bartr.

Padre: *Populus X canadensis* Mönch

Selezionatore: ALASIA Franco, Cavallermaggiore (CN)

Sesso: maschile

Caratteristiche morfologiche e fonologiche: presenta chioma semi-espansa, colore delle foglie verde scuro, colore delle gemme bruno; presenta germogliazione media; il fusto è cilindrico e sinuoso, la corteccia è di colore bruno-grigiastro.

Caratteristiche culturali e produttive: presenta buona attitudine alla propagazione vegetativa; si adatta a diversi tipi di suolo; sopporta elevate densità d'impianto e ceduzioni ripetute; presenta buona capacità pollonifera, accrescimento elevato e produzioni superiore alla media. Il legno è leggero, con densità basale di 0,30 kg m<sup>-3</sup>

Resistenza alle avversità: tollerante all'afide lanigero, presenta resistenza elevata a necrosi corticale e macchi brune e resistenza molto elevata a defogliazioni primaverili, ruggini, bronzatura ed alcuni virus come PopMv (AA.VV. 2008).

### **Pegaso**

Clone iscritto al RNCF per la produzione di biomassa (Facciotto *et al.* 2006a)

Specie: *Populus X euramericana* L.

Madre: *P. deltoides*80-16 Iowa x *P. trichocarpa* 84-119 (Oregon – USA)

Padre: *P. nigra* 4 (Cavallermaggiore, CN)

Selezionatore: ALASIA Franco, Cavallermaggiore (CN)

Sesso: maschile

Caratteristiche morfologiche e fonologiche: presenta chioma raccolta, con foglie di colore verde scuro e gemme di colore marrone chiaro; presenta germogliazione tardiva. Il fusto è dritto e cilindrico, con corteccia chiara di colore grigio-verdastro.

Caratteristiche culturali e produttive: presenta buon attecchimento delle pioppelle, mentre la radicazione delle talee può presentare difficoltà, richiedendo pertanto particolari cure nella fase di impianto; adattabilità a tutti i tipi di suoli, con eccezione di quelli con elevato contenuto di calcare. Può essere coltivato anche nelle zone pedemontane. Gli accrescimenti e le produzioni sono nella media. Il legno è relativamente leggero, con densità basale di 0,31 kg m<sup>-3</sup>.

Resistenza alle avversità: sufficientemente tollerante a virus come PopMv (AA.VV. 2008) e all'afide lanigero, tolleranza elevata alle ruggini, tolleranza molto elevata a defogliazione primaverile, bronzatura, necrosi corticali e macchie brune.

**Allegato 1.5 – Distribuzione diametrica al variare delle condizioni pedologiche**

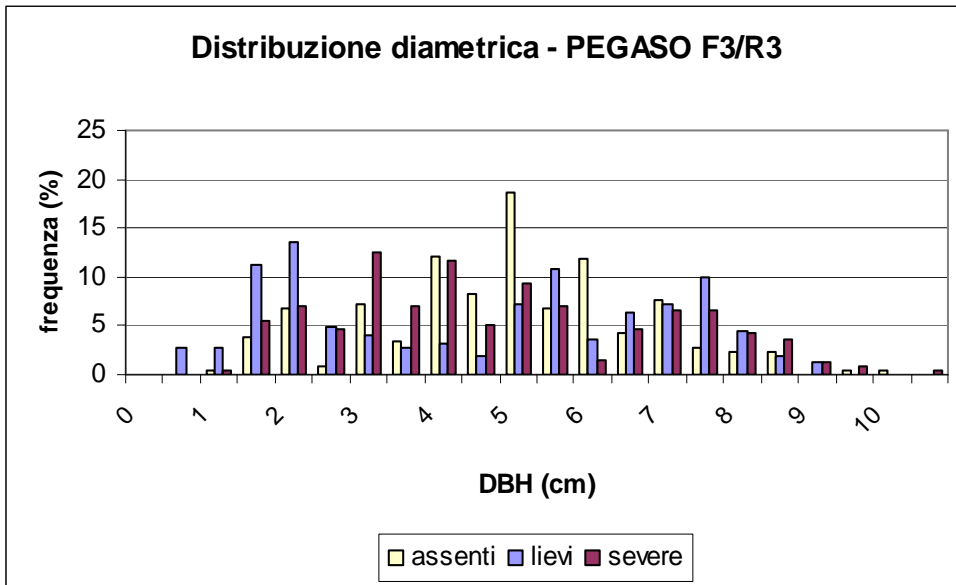


Figura 41. Distribuzione diametrica del clone Pegaso di età F3/R3, distinta per tre differenti livelli di limitazioni stazionali di carattere pedologico: assenti, lievi e severe.

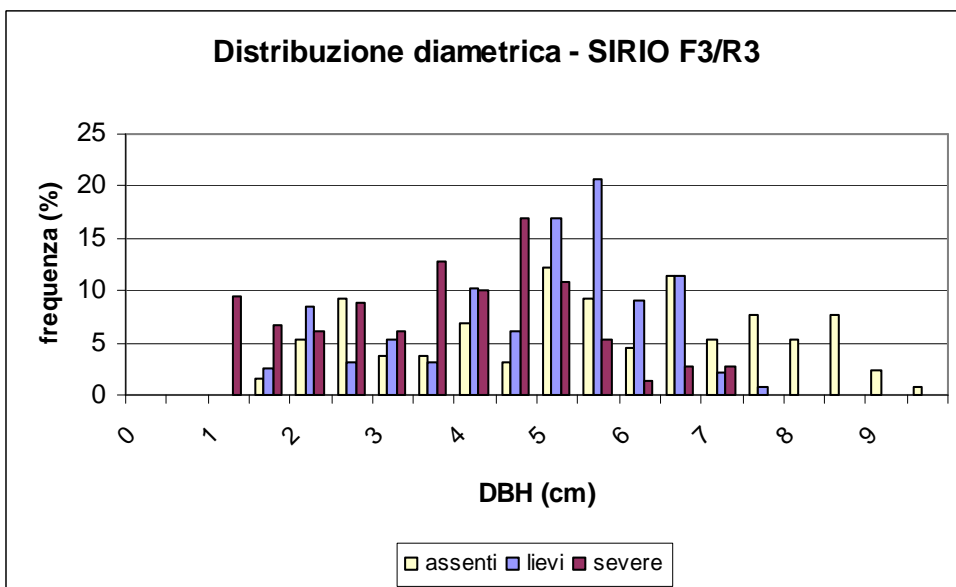


Figura 42: Distribuzione diametrica del clone Sirio di età F3/R3, distinta per tre differenti livelli di limitazioni stazionali di carattere pedologico: assenti, lievi e severe.

## Allegato 1.6 – Distribuzione diametrica clone Pegaso

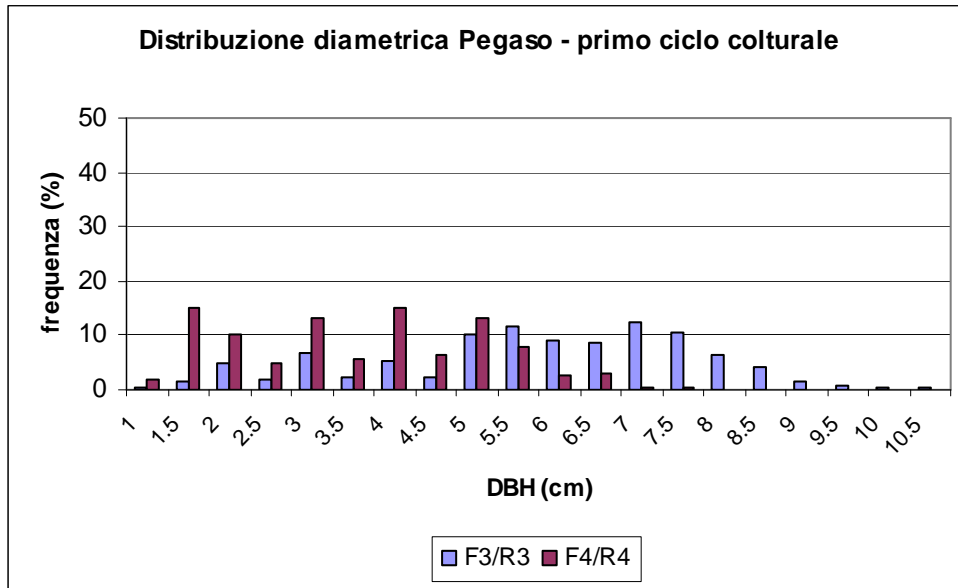


Figura 43. Distribuzione diametrica del clone Pegaso al primo ciclo colturale all'età F3/R3 e F4/R4.

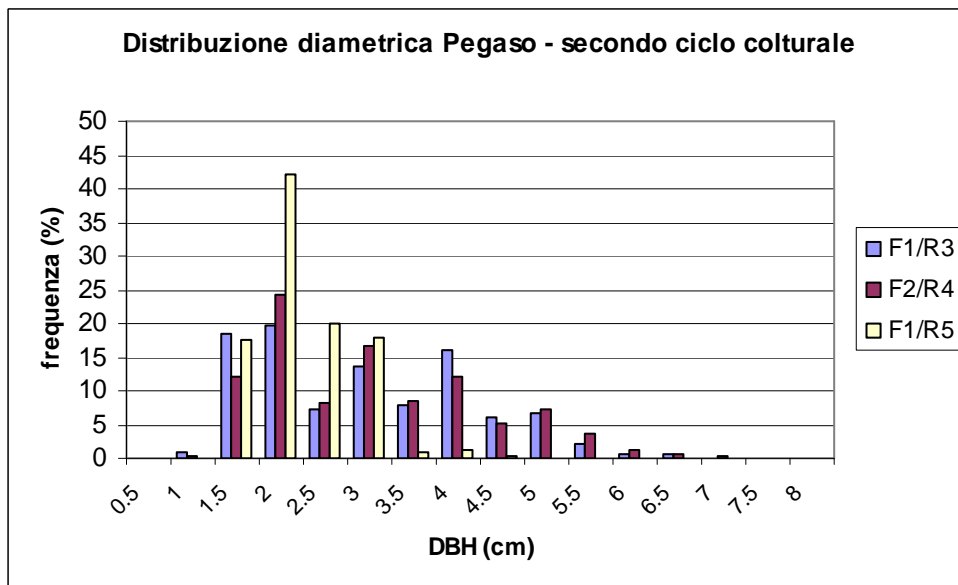


Figura 44. Distribuzione diametrica del clone Pegaso al secondo ciclo colturale, all'età F1/R3, F2/R4, F1/R5.

## Allegato 1.7 – Relazioni allometriche

Clone	Ciclo culturale	Limiti pedologici	N	a	b	F	P	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> medio ± S.D.
Pegaso	-	-	24	739.8	0.4856	17.18	0.0001	0.61	0.56±0.06 (2)
Sirio	-	-	28	1903.2	-0.1877	14.02	0.0001	0.52	
Pegaso	-	lievi	19	351.8	0.9444	15.84	0.0001	0.65	0.67±0.01 (4)
Pegaso	-	severe	5	18411.6	-1.7728	6.62	0.0794	0.82	
Sirio	-	lievi	15	4196.5	-0.664	8.18	0.0050	0.56	
Sirio	-	severe	13	1022.8	-0.0662	10.04	0.0033	0.65	
Pegaso	1	-	10	802.4	0.4764	11.64	0.0043	0.74	0.69±0.11 (4)
Pegaso	2	-	14	15761.7	-2.2611	22.19	0.0001	0.54	
Sirio	1	-	13	133.4	1.0701	6.98	0.0098	0.80	
Sirio	2	-	15	1230.3	0.6125	14.12	0.0006	0.68	
-	1	-	23	391.7	0.6835	17.83	0.0001	0.63	0.61±0.03 (2)
-	2	-	29	3063.8	-0.4893	19.03	0.0001	0.59	
Pegaso	1	lievi	7	814.6	0.4675	5.51	0.0544	0.69	0.78±0.08 (6)
Pegaso	2	lievi	12	0.1001	7.525	12.33	0.0195	0.77	
Sirio	1	lievi	6	106.8	0.9342	19.18	0.0042	0.86	
Sirio	1	severe	7	249.6	0.8293	17.09	0.006	0.89	
Sirio	2	lievi	9	3148.1	-0.0731	10.29	0.008	0.75	
Sirio	2	severe	6	3065.4	-0.7764	4.68	0.0496	0.70	

**Tabella 22. Relazioni allometriche tra peso secco e diametro rilevato a petto d'uomo per i due cloni di pioppo, considerati per ciclo culturale o presenza di limitazioni stazionali: coefficienti delle equazioni ( $P_s = a \text{ DBH}^b$ ) ( $P_s$ : peso secco espresso in g; DBH espresso in cm). Legenda: Ciclo culturale: 1=primo ciclo culturale, 2 = secondo ciclo culturale; N = numerosità del campione; a,b = coefficienti di regressione; F = F di Fisher; P = significatività di F; R<sup>2</sup> = coefficiente di determinazione; n.d. dato non disponibile; R<sup>2</sup> medio±D.S.= valore medio e deviazione standard di R<sup>2</sup> per le equazioni clone-specifiche e per i 4 livelli di generalizzate considerati, le medie aritmetiche sono calcolate rispetto il numero di equazioni riportato in parentesi.**

Clone	Ciclo colturale	Limiti pedologici	N	a	b	F	P	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> medio ± S.D.
Pegaso			11	253.3	0.9994	15.83	0.0011	0.78	0.65±0.19 (2)
Sirio			16	1645.0	0.0605	7.47	0.0062	0.52	
Pegaso		lievi	9	249.8	0.9690	9.17	0.0114	0.72	0.69±0.49 (2)
Pegaso		severe	2						
Sirio		lievi	7						
Sirio		severe	9	1340.2	-0.0768	6.60	0.0245	0.65	
Pegaso	1		6	231.0	1.0463	8.28	0.0379	0.81	0.82±0.03 (4)
Pegaso	2		5	0.007	18.06	5.59	0.0490	0.79	
Sirio	1		7	15.498	2.272	10.40	0.0165	0.81	
Sirio	2		9	0.0051	9.645	21.88	0.0010	0.86	
	1		13	0.79	4.0935	18.18	0.0003	0.77	0.78±0.02 (2)
	2		14	0.003	16.39	23.33	0.0001	0.80	
Pegaso	1	lievi	5						0.94±0.07 (3)
Pegaso	1	severe	1						
Pegaso	2	lievi	4	0.0006	25.34	24.49	0.0392	0.96	
Pegaso	2	severe	1						
Sirio	1	lievi	3						
Sirio	1	severe	4	22.3762	2.2519	181.46	0.0051	0.99	
Sirio	2	lievi	4	000016	10.4668	11.79	0.0562	0.85	
Sirio	2	severe	5						

**Tabella 23. Relazioni allometriche tra peso secco e diametro rilevato alla base della ceppaia per i due cloni di pioppo, considerati per ciclo colturale o presenza di limitazioni stazionali: coefficienti delle equazioni (Ps = a D10<sup>b</sup>) (Ps: peso secco espresso in g; D10 espresso in cm). Legenda: Ciclo colturale: 1=primo ciclo colturale, 2 = secondo ciclo colturale; N = numerosità del campione; a,b = coefficienti di regressione; F = F di Fisher; P = significatività di F; R<sup>2</sup> = coefficiente di determinazione; n.d. dato non disponibile; R<sup>2</sup> medio±D.S.= valore medio e deviazione standard di R<sup>2</sup> per le equazioni clone-specifiche e per i 4 livelli di generalizzate considerati, le medie aritmetiche sono calcolate rispetto il numero di equazioni riportato in parentesi.**

## Allegato 1.8 – Caratteristiche dendrometriche delle piante sottoposte a smaltimento reflui

<b>PIOPPA</b> (N=440)	Liquame inter. (n=85)		Liquame sup. (n=80)		Separato s. (n=98)		Testimone (n=177)	
	F1/R1	F2/R2	F1/R1	F2/R2	F1/R1	F2/R2	F1/R1	F2/R2
Dm (mm)	16,07±3,13	43,87±8,24	16,04±4,58	44,19±7,31	16,38±3,76	46,65±9,80	17,77±4,33	49,08±9,92
Hm (cm)	270,65±42,61	587,18±78,92	260,75±41,76	588,13±60,07	279,43±36,34	634,89±77,46	296,02±41,93	684,39±93,22
Id% (%)		181.07±54.38		191.27±70.23		192.39±40.68		185.65±62.61
Ih% (%)		121.49±33.37		129.49±30.71		129.38±17.64		132.79±25.87
a	- 0.1867	- 0.0387	- 0.3076	- 0.065	- 0.4542	- 0.2075	- 0.2277	- 0.0741
b	15.617	10.347	20.451	- 0.1524	21.851	23.764	15.696	14.758
c	73.506	221.32	10.4	462.25	56.879	4.9464	93.411	150.8
R <sup>2</sup>	0.7531	0.4659	0.8164	0.4729	0.7393	0.5569	0.6693	0.6084

<b>SALICE</b> (N=107)	Liquame inter. (n=22)		Liquame sup. (n=31)		Separato s. (n=24)		Testimone (n=30)	
	F1/R1	F2/R2	F1/R1	F2/R2	F1/R1	F2/R2	F1/R1	F2/R2
Dm (mm)	11,38±3,38	45,77±9,51	14,74±3,69	41,09±12,04	17,08±4,09	48,58±11,00	18,00±3,44	48,67±9,08
Hm (cm)	220,00±33,38	508,64±31,67	253,29±31,28	534,84±67,62	278,88±31,29	656,42±51,59	289,67±28,95	596,67±55,73
Id% (%)		324.48±98.14		189.17±91.64		195.40±75.57		176.78±58.78
Ih% (%)		135.56±33.11		113.45±33.72		104.19±20.51		106.39±11.14
a	- 0.1635	- 0.0556	- 0.1511	- 0.0847	- 0.1076	- 0.0874	- 0.0962	- 0.023
b	13.029	- 2.3902	12.525	11.062	10.706	11.885	10.524	4.532
c	109.42	570.58	105.99	240.12	130.06	205.86	117.57	535.44
R <sup>2</sup>	0.8086	0.7212	0.8015	0.6909	0.8422	0.6472	0.8578	0.6732

<b>ROBINIA</b> (N=97)	Liquame inter. (n=24)		Liquame sup. (n=20)		Separato s. (n=21)		Testimone (n=32)	
	F1/R1	F2/R2	F1/R1	F2/R2	F1/R1	F2/R2	F1/R1	F2/R2
Dm (mm)	15,55±4,31	36,96±8,17	15,70±3,51	42,35±8,56	20,67±4,88	46,29±11,25	16,47±4,18	36,38±10,11
Hm (cm)	261,74±51,31	494,17±117,13	256,00±36,62	542,00±82,56	307,89±34,09	650,00±131,49	282,86±41,44	499,38±118,13
Id% (%)		150.21±51.96		174.29±44.93		131.05±55.85		124.29±44.00
Ih% (%)		92.09±27.04		114.78±38.19		119.93±28.41		89.15±28.41
a	- 0.4211	- 0.2524	- 0.1797	- 0.0096	- 0.0573	- 0.0886	- 0.2317	- 0.0844
b	19.047	28.346	12.236	9.1232	9.5014	16.372	15.568	15.075
c	84.925	- 172.66	114.86	176.24	138.79	110.12	88.088	41.522
R <sup>2</sup>	0.8341	0.7072	0.6551	0.6973	0.6774	0.6411	0.6509	0.7093

Tabella 24. Riepilogo dati dendrometrici delle tre specie impiegate rispetto le prove sperimentali. Legenda: N = numerosità totale del campione; n = numerosità della prova; F1/R1 = fusto di un anno di età/ ceppaia di un anno; F2/R2 = fusto di 2 anni di età/ ceppaia di 2 anni; Dm = media aritmetica del diametro rilevato a 130 cm; Hm = media aritmetica delle altezze; Id% = media aritmetica dell'incremento percentuale in diametro; Ih% = media aritmetica dell'incremento percentuale in altezza; a, b, c = coefficienti della curva ipsometrica polinomiale (PROC NLIN di SAS) ( $y=ax^2 + bx + c$ ); R<sup>2</sup> = coefficiente di determinazione della curva ipsometrica.

## Allegato 1.9 – Curve ipsometriche

### 1.9.1 – PIOPPO

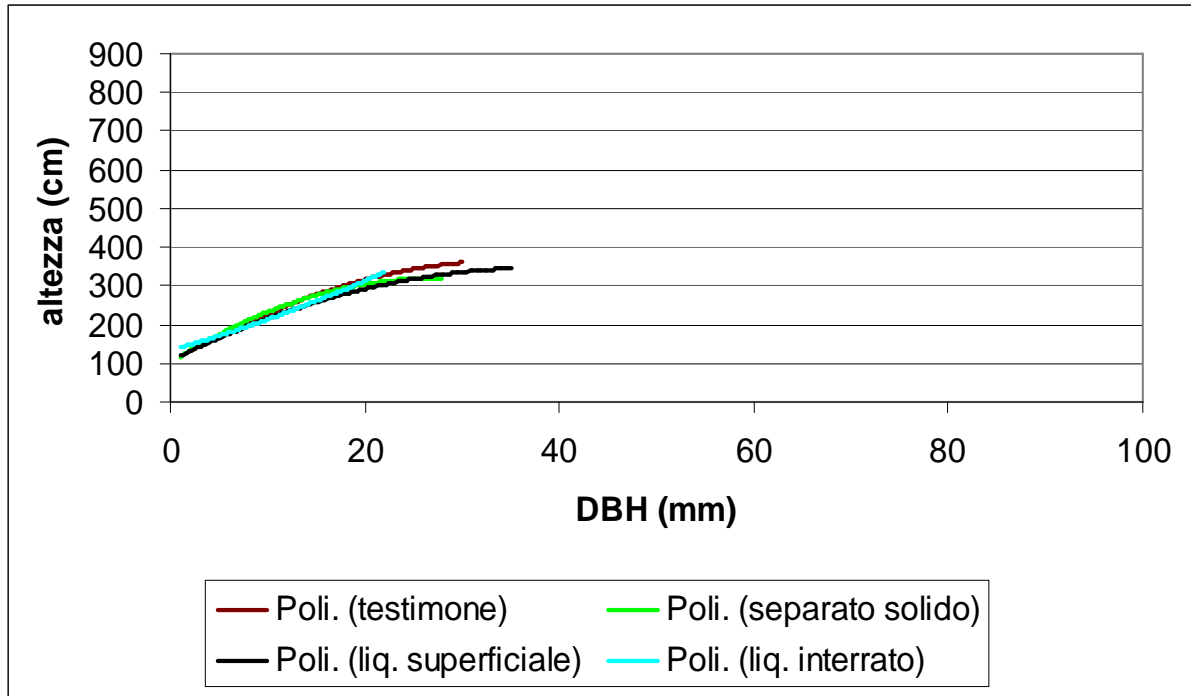


Figura 45. Curve ipsometriche del pioppo sottoposto a varie forme di trattamento, al termine della prima stagione vegetativa.

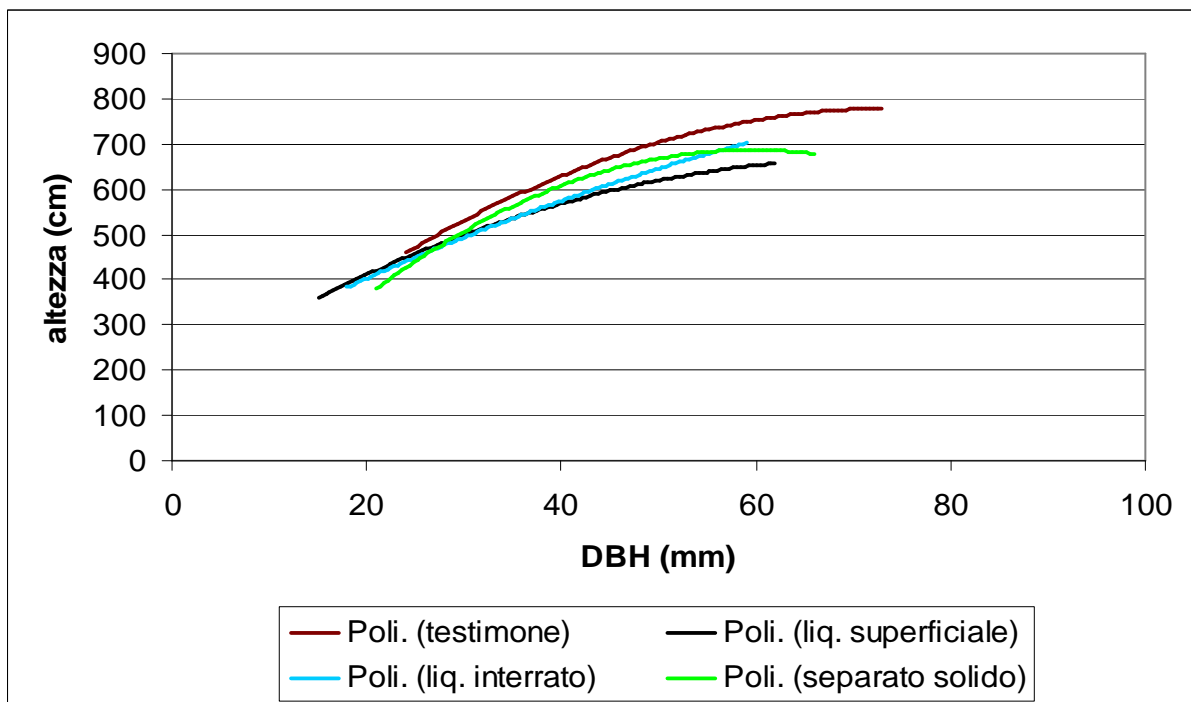


Figura 46. Curve ipsometriche del pioppo sottoposto a varie forme di trattamento, al termine della seconda stagione vegetativa.

## 1.9.2 - SALICE

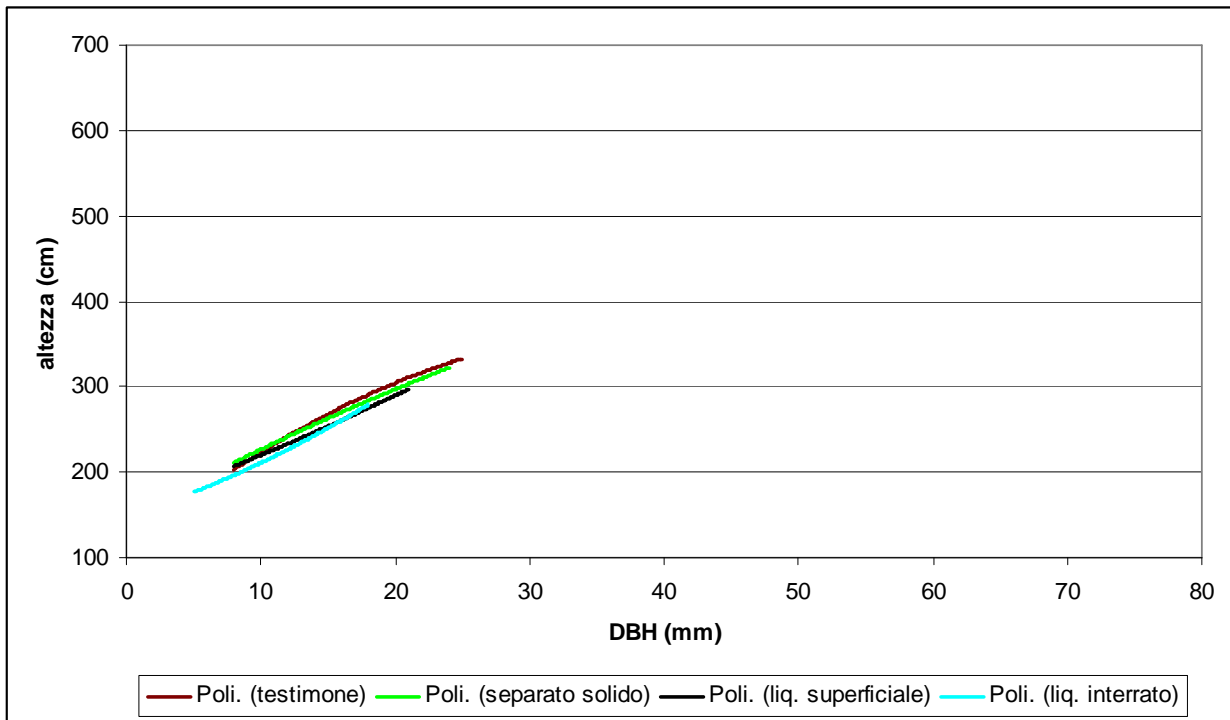


Figura 47. Curve ipsometriche del salice sottoposto a varie forme di trattamento, al termine della prima stagione vegetativa.

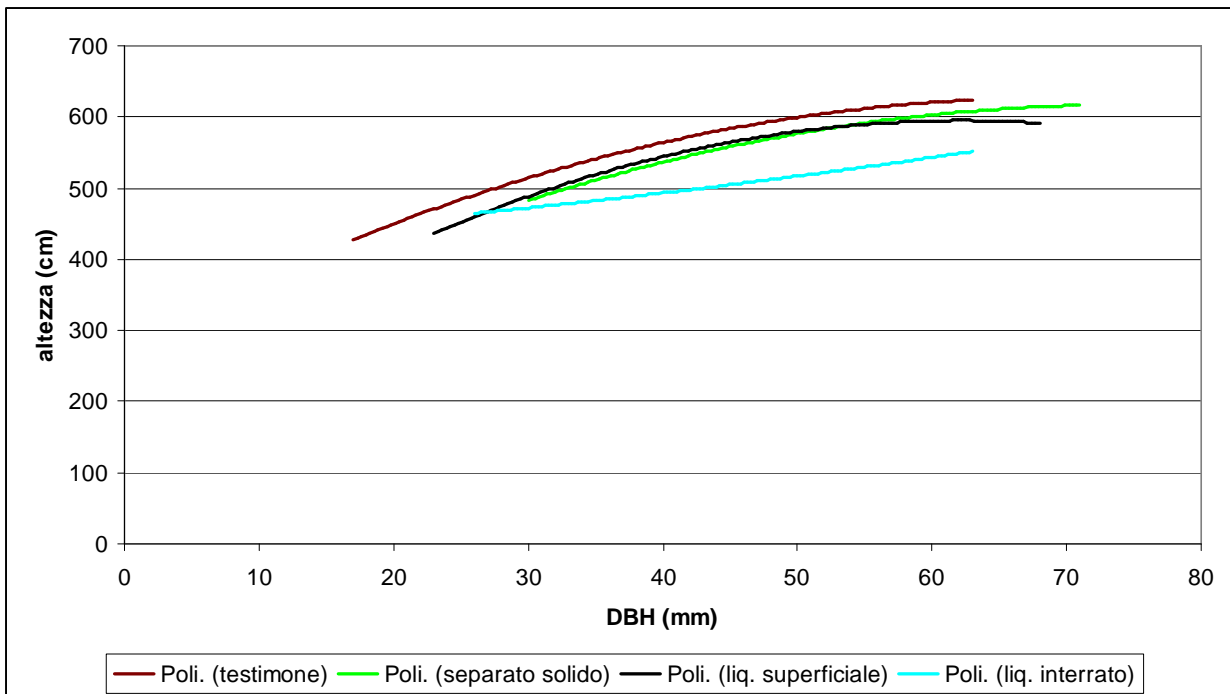


Figura 48. Curve ipsometriche del salice sottoposto a varie forme di trattamento, al termine della seconda stagione vegetativa.



### 1.9.3 - ROBINIA

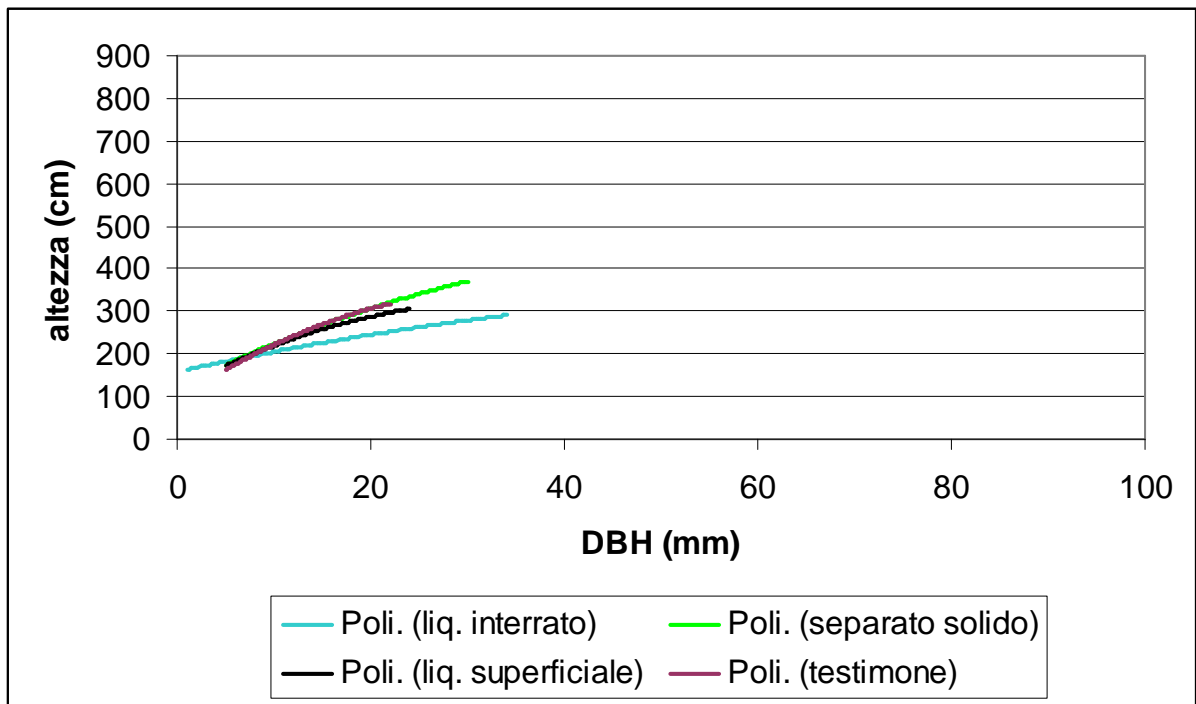


Figura 49. Curve ipsometriche della robinia sottoposta a varie forme di trattamento, al termine della prima stagione vegetativa.

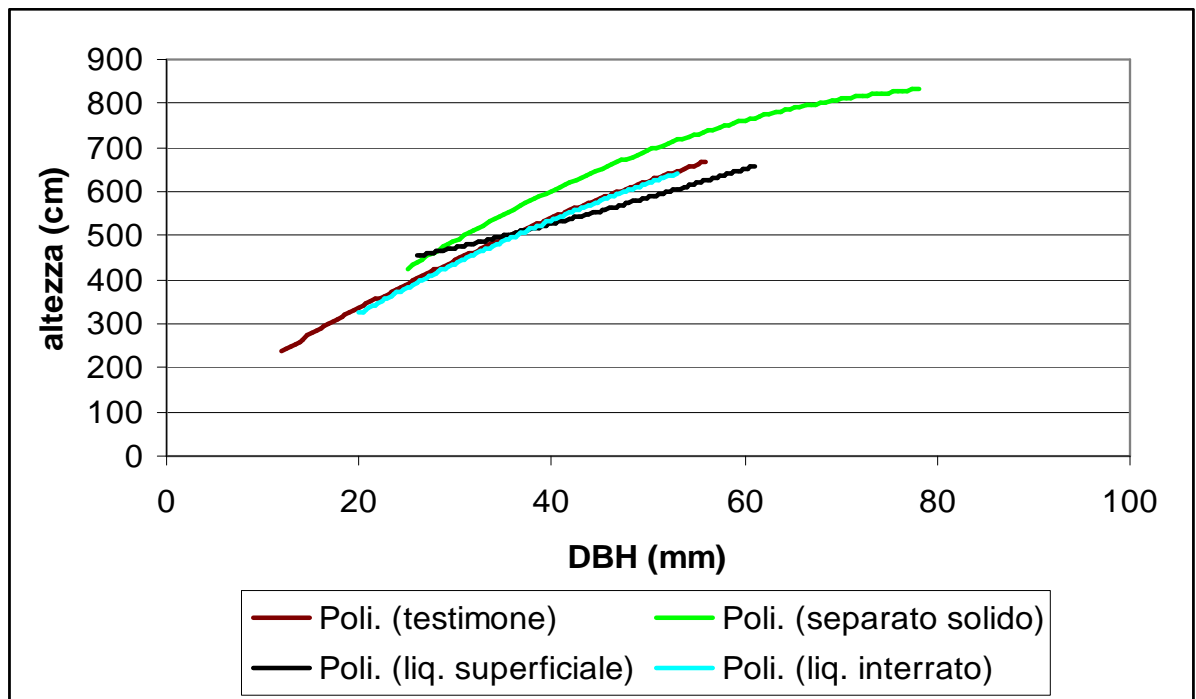


Figura 50. Curve ipsometriche della robinia sottoposta a varie forme di trattamento, al termine della seconda stagione vegetativa.