

Università degli studi della Tuscia

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse

Corso di dottorato di ricerca

Ecologia Forestale – XVIII ciclo

Valutazione di caratteri quantitativi per il miglioramento della produzione di biomassa in *Populus alba* L.

Tutore:

Prof. Giuseppe Scarascia Mugnozza

Tutore:

Ric. Maurizio Sabatti

Coordinatore:

Prof. Paolo De Angelis

Dottorando:

Luca Ricciotti

Indice

Introduzione.....	5
Capitolo 1. Lo sviluppo sostenibile nel sistema agro-forestale.....	9
1.1. Definizioni e principi.....	9
1.2. La gestione forestale sostenibile.....	13
Capitolo 2. L'energia dalle biomasse ligno-cellulosiche.....	15
2.1. Legno ed energia.....	15
2.2. Obiettivi della filiera bioenergetica.....	17
2.3. Il Protocollo di Kyoto.....	19
2.4. Gli strumenti attuativi del Protocollo di Kyoto.....	21
Capitolo 3. Politica e normativa della bioenergia.....	24
3.1. La politica dell'Europa e dell'Italia per la bioenergia.....	24
3.2. La politica forestale orientata alla produzione delle biomasse.....	33
3.3. Lo sviluppo sostenibile e la Politica Agricola Comune (PAC).....	36
Capitolo 4. La filiera del legno per uso energetico.....	42
4.1. Gli utilizzatori e le fonti energetiche della filiera.....	42
4.2. Definizione di cippato.....	43
4.3. Usi alternativi del cippato.....	43
4.4. Caratteristiche del cippato.....	44
4.5. Le tecnologie energetiche.....	48
4.6. Le centrali a biomasse di media potenza elettrica.....	49
4.7. Gli impianti di teleriscaldamento.....	51
Capitolo 5. Piantagioni a breve rotazione.....	53
5.1. Generalità.....	53
5.2. Problematiche delle SRF.....	57
Capitolo 6. Il miglioramento genetico delle specie forestali.....	59
6.1. Principi di miglioramento genetico.....	59
6.2. Fenotipo e genotipo.....	61
6.3. Componenti della varianza fenotipica e della varianza genetica.....	62
6.4. Stima dell'ereditabilità dei caratteri quantitativi.....	64
6.5 Selezione per i caratteri quantitativi.....	68
6.6 Varietà ibride ed eterosi.....	73

6.7. Conservazione ed utilizzazione delle risorse genetiche.....	74
Capitolo 7. I pioppi e la pioppicoltura.....	75
7.1. Le Salicaceae.....	75
7.2. Il genere <i>Populus</i> L.....	75
7.3. La pioppicoltura.....	78
7.4. I criteri di miglioramento genetico dei cloni di pioppo.....	79
7.5. I cloni di pioppo.....	81
Capitolo 8. Obiettivi della sperimentazione.....	82
Capitolo 9. Materiali e metodi.....	85
9.1. Raccolta, selezione e produzione del materiale sperimentale.....	85
9.2. Rete di ricerca.....	87
9.3. Siti sperimentali.....	88
9.4. Piano generale di lavoro.....	90
9.5. Collezione dei dati.....	91
9.5.1. Caratteri morfometrici.....	91
9.5.3. Caratteri fogliari.....	93
9.5.3.1. Area fogliare.....	95
9.5.3.2. Lunghezza del picciolo.....	96
9.5.4. Caratteri produttivi.....	97
9.6. Analisi dati.....	99
9.6.1. Validazione dei dati.....	99
9.6.2. Analisi dati intrasito.....	99
9.6.3. Analisi dati intersito.....	102
Capitolo 10. Risultati.....	104
10.1. Analisi dei dati intrasito.....	104
10.1.1. Trasformazione dei dati.....	104
10.1.2. Distribuzione dei dati, Analisi della varianza e test di normalità.....	105
10.1.2.1. Circonferenza 2003.....	106
10.1.2.2. Circonferenza 2004.....	109
10.1.2.3. Altezza 2003.....	112
10.1.2.4. Altezza 2004.....	115
10.1.2.5. Indice di volume 2003.....	118

10.1.2.6. <i>Indice di volume 2004</i>	121
10.1.2.7. <i>Rami sillettici 2003</i>	124
10.1.2.8. <i>Indice dei rami 2003</i>	127
10.1.2.9. <i>Area fogliare</i>	130
10.1.2.10. <i>Lunghezza del picciolo</i>	133
10.1.2.11. <i>Biomassa secca del fusto</i>	136
10.1.2.12. <i>Biomassa secca totale</i>	139
10.1.3. <i>Stima delle medie genotipiche</i>	142
10.1.4. <i>Stima dell'ereditabilità</i>	142
10.1.5. <i>Correlazione intrasito</i>	144
10.1.6. <i>Stima dell'eterosi</i>	146
10.2. <i>Analisi intersito</i>	149
10.2.1. <i>Analisi della varianza</i>	149
10.2.2. <i>Stima delle componenti della varianza</i>	154
10.2.3. <i>Correlazione intersito</i>	156
Capitolo 11. Discussioni e conclusioni	158
Bibliografia	167
Allegato A. Protocollo sperimentale per l'analisi dei dati (1)	176
Allegato B. Protocollo sperimentale per l'analisi dei dati (2)	188
Allegato C. Medie genotipiche della circonferenza (2003)	192
Allegato D. Medie genotipiche della circonferenza (2004)	195
Allegato E. Medie genotipiche dell'altezza (2003)	198
Allegato F. Medie genotipiche dell'altezza (2004)	201
Allegato G. Medie genotipiche dell'indice di volume (2003)	204
Allegato H. Medie genotipiche dell'indice di volume (2004)	207
Allegato I. Medie genotipiche dei rami sillettici (2003)	210
Allegato L. Medie genotipiche dell'indice dei rami (2003)	213
Allegato M. Medie genotipiche dell'area fogliare	216
Allegato N. Medie genotipiche della lunghezza del picciolo	219
Allegato O. Medie genotipiche della biomassa secca del fusto	222
Allegato P. Medie genotipiche della biomassa secca totale	225

Introduzione

Negli ultimi anni si sono sviluppate nuove linee di ricerca applicate al settore agro-forestale, finalizzate allo sviluppo delle migliori tecniche e alla selezione e al miglioramento genetico di materiale vegetale per la produzione delle biomasse ligno-cellulosiche. Questi studi sperimentali sono stati favoriti dalle necessità politiche generate dall'eccessivo consumo energetico dei Paesi industrializzati ed emergenti soggetti ad un intenso sviluppo economico ed al contemporaneo aumento dei costi delle fonti energetiche fossili. La scarsità di queste fonti, ed il loro implicito aumento di prezzo, sono conseguenza della connaturata esauribilità di questi beni nel lungo periodo, della crescita significativa della domanda globale non supportata da un aumento di produzione nel breve e medio periodo, e delle continue tensioni politico-militari che si hanno in molti Stati produttori.

Fin dai primi anni '70, l'opinione pubblica di alcuni Paesi industrializzati ha posto una pressione crescente sui propri governi affinché si applicassero delle politiche di tutela nei confronti dell'ambiente minacciato dallo sviluppo economico caotico. Nel 1972, nell'ambito della Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente Umano (UN Conference on the Human Environment) tenutasi a Stoccolma, si dichiara esplicitamente la necessità di uno sviluppo compatibile con le risorse del Pianeta. Da questa consapevolezza, orientata ad un'eco-gestione del territorio e delle attività antropiche, prende avvio il concetto di "sviluppo sostenibile", contenuto nel Rapporto Our Common Future della Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo (World Commission on Environment and Development) del 1987, detto Rapporto Brundtland, definito come lo sviluppo che garantisce i bisogni delle generazioni attuali senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri. In quegli anni si pongono le premesse economiche e culturali per le teorie dell'economia ecologica (ecological economics) che si fonda su tre parametri, il lavoro, il capitale naturale e il capitale prodotto dall'uomo. Rispetto all'economia classica, è innovativo il concetto di capitale naturale, considerato come l'insieme dei sistemi naturali (mari, fiumi, laghi, foreste, flora, fauna, territorio), i prodotti agricoli, i prodotti della pesca, della caccia e della raccolta e il patrimonio artistico-culturale presente nel territorio. Per la gestione delle risorse sono individuabili due principi di sviluppo sostenibile. Il primo stabilisce la necessità che il tasso di prelievo debba essere pari al tasso di rigenerazione; il secondo sancisce che il tasso di produzione

dei rifiuti debba essere uguale alle capacità naturali di assorbimento da parte degli ecosistemi in cui i rifiuti sono emessi. Le capacità di rigenerazione e di assorbimento debbono essere trattate come capitale naturale e il fallimento nel mantenere queste capacità deve essere considerato come consumo del capitale e per questo non sostenibile.

Nell'ambito della Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo (UN Conference on Environment and Development), tenutasi a Rio de Janeiro dal 3 al 14 giugno del 1992, si sono elaborati due testi giuridicamente vincolanti, la Convenzione sulla Diversità Biologica (UN Convention on Biological Diversity) e la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UN Framework Convention on Climate Change), e tre dichiarazioni non vincolanti, la Dichiarazione di Rio su Ambiente e Sviluppo (Rio Declaration on Environment and Development), l'Agenda 21 e la Dichiarazione dei principi per la gestione sostenibile delle foreste (Principles for a Global Consensus on the Management, Conservation and Sustainable Development of all types of Forests). Successivamente nel 1994, è stata redatta la Convenzione sulla Desertificazione (UN Convention to Combat Desertification).

Nel 1997 la Terza Conferenza delle Parti (Conference of the Parties), l'organo decisionale con il compito di dare attuazione ai principi Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, ha redatto il Protocollo di Kyoto, nel quale i Paesi industrializzati si sono impegnati a ridurre, entro il 2008-2012, le emissioni di gas ad effetto serra del 5% rispetto ai livelli del 1990.

In questo quadro, tutti i Paesi dovranno definire programmi che incidano significativamente sulle politiche economiche, in particolare quelle industriali ed energetiche, affinché sia delineato un modello di sviluppo in sintonia con i fattori limitanti della produzione, cioè quelli endogeni del capitale naturale, così definito dalle nuove teorie dell'economia ecologica.

L'Unione Europea (UE), che per il protocollo di Kyoto deve ridurre entro il 2008-2012 le emissioni di gas serra dell'8%, ha mosso i primi passi verso una politica orientata alla riduzione degli sprechi energetici, redigendo nel 1997 il Libro Bianco per lo sviluppo e l'incentivazione delle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER). Le motivazioni politiche che inducono l'UE ad incentivare le FER sono sia di natura economica che di carattere ambientale. La dipendenza dell'UE verso i combustibili fossili produce un forte deficit commerciale verso i Paesi "caldi" a forte rischio politico, i quali possono in ogni momento

bloccare il sistema produttivo dell'UE. La questione ambientale, molto sentita dall'opinione pubblica europea, riguarda l'aumento della concentrazione di alcuni gas, in particolare di anidride carbonica (CO₂), legato ad un eccessivo uso di combustibili fossili. Questo fenomeno definito come "effetto serra" è associato all'aumento dell'energia contenuta nell'atmosfera, misurato dall'innalzamento della temperatura della Terra. L'effetto serra genera una serie di cambiamenti climatici globali capaci di produrre conseguenze disastrose sulle attività umane, in particolare nel settore agro-forestale. Nel Libro Bianco, oltre a definirsi l'incidenza delle diverse FER nell'offerta aggregata di energia dell'UE, si sottolinea l'importanza dell'agricoltura come settore cardine per la produzione delle biomasse ligno-cellulosiche.

Nel campo della Politica Agricola Comune (PAC), i finanziamenti proposti dall'UE agli agricoltori, per incentivare e disincentivare le produzioni agricole, forestali e zootecniche, hanno ridotto la Superficie Agraria Utile (SAU) destinata alle colture alimentari. Inoltre, si è garantito un sostegno significativo al reddito degli agricoltori europei, una diminuzione delle eccedenze alimentari, una maggiore efficienza del settore agricolo per l'abbandono dei terreni marginali ed un uso alternativo degli stessi attraverso l'impiego di colture non alimentari, come le specie arboree per la produzione delle biomasse ligno-cellulosiche.

Per la produzione delle biomasse in campo agro-forestale, le piantagioni forestali a turno breve (Short Rotation Forestry) potranno avere un ruolo significativo soltanto se le difficoltà di natura tecnica ed economica, oggi riscontrabili in questo particolare settore dell'agricoltura, saranno affrontate e risolte. In Italia, le specie considerate utili per queste produzioni sono quelle a rapido accrescimento dei generi *Eucaliptus* L., *Populus* L. e *Salix* L.. Nei terreni considerati marginali si ipotizza l'impiego di *Robinia pseudoacacia* L.. Per quanto riguarda il genere *Populus*, gli obiettivi dell'attività di selezione e miglioramento genetico puntano ad ottenere un'elevata produzione, un rapido accrescimento e una maggiore tolleranza alle avversità biotiche ed abiotiche.

Presso il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DiSAFRi) dell'Università della Tuscia, negli ultimi anni sono state realizzate collezioni di germoplasma di *Populus*, in particolare di *Populus alba* L. e *Populus nigra* L., utili alla conservazione *ex situ* delle popolazioni e delle specie ed a sviluppare le attività di ricerca nei campi dell'ecologia, dell'ecofisiologia e della genetica. Successivamente, sono state prodotte delle progenie generate dall'incrocio di genotipi diversi per caratteristiche

morfologiche e fisiologiche, provenienti da popolazioni distinte geograficamente e caratterizzate da differenti condizioni ambientali. Nell'ambito del progetto di ricerca europeo, denominato POPYOMICS, tramite lo studio di queste progenie si tenta di valutare e comprendere l'importanza di alcuni caratteri quantitativi coinvolti nella produzione delle biomasse ligno-cellulosiche nelle specie autoctone di *P. alba* e di *P. nigra*. Quest'attività di ricerca si integra con studi di biologia molecolare necessari all'individuazione dei marcatori genetici coinvolti nell'espressione dei caratteri, utilizzando un'analisi QTL (Quantitative Trait Loci) finalizzata al miglioramento genetico e allo sviluppo della selezione assistita da marcatori molecolari (MAS).

Parte Generale

Capitolo 1. Lo sviluppo sostenibile nel sistema agro-forestale

1.1. Definizioni e principi

Il dibattito sulla questione ambientale promosso dall'opinione pubblica dei Paesi industrializzati tra il 1960 e il 1970, ebbe come nodo centrale il rapporto tra economia ed ambiente, in particolare il conflitto generato dallo sviluppo economico capitalistico con l'ambiente, rappresentato dalle sue risorse naturali. Tale processo culturale ha prodotto una nuova visione del Pianeta identificato come un sistema chiuso, nel quale ogni risorsa naturale trova i suoi limiti nella disponibilità e nella capacità di assorbimento dell'ecosistema.

Il 16 giugno 1972, nell'ambito della Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente Umano (UN Conference on the Human Environment) tenutasi a Stoccolma, viene approvata una dichiarazione finale di 26 principi, nei quali la tutela dell'ambiente diventa parte integrante di uno sviluppo compatibile con le esigenze di salvaguardia delle risorse. I punti 1 e 2 della Dichiarazione affermano che “L'uomo ha un diritto fondamentale alla libertà, all'eguaglianza e a condizioni di vita soddisfacenti, in un ambiente che gli consenta di vivere nella dignità e nel benessere, ed è altamente responsabile della protezione e del miglioramento dell'ambiente davanti alle generazioni future...” e che “Le risorse naturali della Terra, ivi incluse l'aria, l'acqua, la flora, la fauna e particolarmente il sistema ecologico naturale, devono essere salvaguardate a beneficio delle generazioni presenti e future, mediante una programmazione accurata o una appropriata amministrazione”. Il punto 3 stabilisce che la capacità del Pianeta di produrre risorse naturali rinnovabili “... deve essere mantenuta e, ove ciò sia possibile, ripristinata e migliorata”. Il punto 5 esprime la necessità che le risorse naturali non rinnovabili ed in particolare le fonti energetiche fossili siano “... utilizzate in modo da evitarne l'esaurimento futuro...” per assicurare i benefici del loro sfruttamento all'intera umanità. Successivamente al punto 6, facendo riferimento all'inquinamento prodotto dall'uso delle risorse non rinnovabili, si afferma che “Gli scarichi di sostanze tossiche o di altre sostanze in quantità e in concentrazioni di cui la

natura non possa neutralizzare gli effetti, devono essere arrestati per evitare che gli ecosistemi ne ritraggano danni gravi o irreparabili...”.

Da questa consapevolezza matura il concetto di sostenibilità, intesa come l'insieme di relazioni tra le attività umane con le loro dinamiche e la biosfera, la quale possiede dinamiche generalmente più lente. Queste relazioni devono essere tali da permettere alla vita umana di continuare, agli individui di soddisfare i loro bisogni e alle diverse culture umane di svilupparsi, ma in modo tale che le variazioni apportate alla natura dalle attività umane siano comprese entro limiti tali da non distruggere il contesto biofisico totale.

Dalla definizione di sostenibilità, discende la prima definizione di sviluppo sostenibile che è contenuta nel Rapporto Our Common Future della Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo (World Commission on Environment and Development) del 1987, detto Rapporto Brundtland. Nel rapporto, lo sviluppo sostenibile è definito come lo sviluppo che “...garantisce i bisogni delle generazioni attuali senza compromettere la possibilità che le generazioni future riescano a soddisfare i propri”. Contemporaneamente, si sottolinea che lo sviluppo sostenibile non è “... una definitiva condizione di armonia...” ma un “... processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali”. Nel rapporto persistono previsioni ottimistiche sulle capacità della tecnologia di produrre una nuova era di crescita economica, affermando che lo “... sviluppo sostenibile comporta limiti, ma non assoluti, bensì imposti dall'attuale stato della tecnologia e dell'organizzazione sociale alle risorse economiche e dalla capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane. La tecnica e la organizzazione sociale possono però essere gestite e migliorate allo scopo di inaugurare una nuova era di crescita economica”. Inoltre si afferma, per il soddisfacimento dei bisogni essenziali (basic needs) di tutti gli abitanti della Terra, la necessità di un'equa distribuzione delle risorse naturali.

Le nuove teorie dello sviluppo sostenibile sono implementate e racchiuse nell'economia ecologica (ecological economics) che si fonda su un'idea di economia non più basata su due parametri, il lavoro e il capitale, ma su tre parametri, distinguendo il lavoro, il capitale naturale e il capitale prodotto dall'uomo. Rispetto all'economia classica, è innovativo il concetto di capitale naturale, considerato come l'insieme dei sistemi naturali (mari, fiumi, laghi, foreste, flora, fauna, territorio), i prodotti agricoli, i prodotti della pesca, della caccia

e della raccolta e il patrimonio artistico-culturale presente nel territorio. Per la gestione delle risorse sono due i principi di sviluppo sostenibile generalmente considerati; il primo stabilisce la necessità che il tasso di prelievo debba essere pari al tasso di rigenerazione; il secondo sancisce che il tasso di produzione dei rifiuti debba essere uguale alle capacità naturali di assorbimento degli ecosistemi nei quali i rifiuti sono emessi. Le capacità di rigenerazione e di assorbimento debbono essere trattate come capitale naturale e il fallimento nel mantenere queste capacità deve essere considerato come un suo consumo, quindi non sostenibile.

La visione alla base dell'economia classica è la presenza di un flusso circolare isolato di scambio di valori tra produttori e famiglie. Niente arriva dall'ambiente e niente vi viene immesso; l'ambiente non è preso in considerazione. Alla luce delle nuove teorie dell'economia ecologica sappiamo che il capitale naturale fa parte a tutti gli effetti del sistema economico. Sulla base dei principi dello sviluppo sostenibile è necessario mantenere il capitale complessivo intatto e per far questo si possono adottare due metodologie diverse. La somma del capitale naturale e di quello prodotto dall'uomo può essere tenuta ad un valore costante; oppure ciascuna può essere tenuta singolarmente costante. La prima strada è ragionevole qualora si pensi che i due tipi di capitale siano sostituibili ed è detta "sostenibilità debole"; la seconda qualora si pensi che essi siano complementari viene detta "sostenibilità forte". Il capitale naturale e quello prodotto dall'uomo sono complementari e solo in misura marginale si possono considerare intercambiabili; il fattore presente in minore quantità è il fattore limitante. Si sta passando da un'era in cui il fattore limitante era il capitale prodotto dall'uomo ad un'altra in cui il fattore limitante è il residuo del capitale naturale. La logica economica richiede che sia massimizzata la produttività del fattore limitante nel breve periodo, e che sia aumentato quantitativamente nel lungo periodo tramite appropriati investimenti. Un comportamento, che prima era economicamente vantaggioso, nel momento in cui cambia il fattore limitante diventa antieconomico. Quindi, affinché si possa avere uno sviluppo è necessario massimizzare gli investimenti nel capitale naturale.

L'economia ecologica è il tentativo di superamento delle frontiere tradizionali dell'economia, affinché si possa sviluppare una conoscenza integrata dei legami tra sistemi ecologici ed economici. Un obiettivo chiave di questa ricerca è quello d'individuare

modelli sostenibili di sviluppo economico distinti dalla crescita economica, non più sostenibile in un pianeta finito.

Nel proporre modelli di sviluppo sostenibile è necessario tenere in considerazione il ruolo dei vincoli: vincoli termodinamici, limiti biofisici, limiti di risorse naturali, limiti all'assorbimento dell'inquinamento, limiti demografici, vincoli imposti dalla "carrying capacity" del pianeta e, soprattutto, limiti di conoscenza rispetto ai limiti ed a come influenzano il sistema. I vincoli definiscono la "carrying capacity" del pianeta, cioè la capacità di sostenere la popolazione e tutte le altre forme viventi di cui l'uomo e la natura hanno bisogno per sopravvivere: questa è la base per la sostenibilità. In questo contesto la terra va vista come un capitale naturale avuto in prestito dai nostri genitori per i nostri figli. Altro caposaldo dello sviluppo sostenibile è rappresentato dalla Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo (UN Conference on Environment and Development), tenutasi a Rio de Janeiro dal 3 al 14 giugno del 1992 che, nella sua Dichiarazione, sancisce i 27 Principi su ambiente e sviluppo. Il principio 1 afferma la centralità nello sviluppo sostenibile degli esseri umani che "... hanno diritto ad una vita sana e produttiva in armonia con la natura". Inoltre, i principi 3 e 4 sostengono che "Il diritto allo sviluppo deve essere realizzato in modo da soddisfare equamente le esigenze relative all'ambiente ed allo sviluppo delle generazioni presenti e future" e che "... la tutela dell'ambiente costituirà parte integrante del processo di sviluppo e non potrà essere considerata separatamente da questo". Lo sviluppo sostenibile assume quindi le caratteristiche di concetto integrato, con la necessità di coniugare le tre dimensioni fondamentali e inscindibili di ambiente, economia e società; ogni piano, o politica di intervento, dovrà comprenderne una loro visione integrata. Il progresso tecnologico sostenibile è visto come lo strumento per il raggiungimento di molteplici obiettivi:

- l'uso oculato delle risorse naturali, diminuendo il consumo di quelle non rinnovabili;
- la limitazione dei rifiuti prodotti;
- la sostituzione del capitale naturale (territorio, risorse materiali, specie viventi) con capitale costruito (risorse naturali trasformate).

In sintesi, la sostenibilità e lo sviluppo sostenibile ripropongono una visione del mondo nella quale il fine ultimo è rappresentato dal raggiungimento di una migliore qualità della vita, attraverso la diffusione di una prosperità crescente ed equa, con il conseguimento di

un livello ambientale non dannoso per l'uomo e per le altre specie viventi, e con un'equa accessibilità alle risorse.

1.2. La gestione forestale sostenibile

La gestione forestale sostenibile (GFS) è esplicita nella Dichiarazione dei principi per la gestione sostenibile delle foreste (Principles for a Global Consensus on the Management, Conservation and Sustainable Development of all types of Forests) redatta nell'ambito della Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo di Rio de Janeiro. La GFS è rappresentata secondo tre principali dimensioni, ecologica (conservazione delle risorse boschive), sociale (impatti sociali positivi) ed economica (efficienza nell'organizzazione dell'offerta dei prodotti o dei servizi forestali). Tali principi accompagnano il capitolo 11 dell'Agenda 21, dedicato alla strategia contro la deforestazione.

Recentemente il D.M. del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio n. 255 del 16 giugno 2005, denominato "Linea guida di programmazione forestale", ha fissato i criteri generali d'intervento per una gestione forestale sostenibile. Tali criteri sono il risultato dell'adesione dell'Italia al processo Paneuropeo delle quattro conferenze ministeriali sulla protezione delle foreste in Europa (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe) che hanno portato alle risoluzioni di Strasburgo (1990), di Helsinki (1993), di Lisbona (1998) e di Vienna (2003). La risoluzione H1 di Helsinki, che definisce la gestione forestale sostenibile (GSF), chiede agli Stati l'adozione di una "gestione corretta e l'uso delle foreste e dei terreni forestali nelle forme e a un tasso di utilizzo tali da mantenere la loro diversità biologica, produttività, capacità di rinnovazione, vitalità e una potenzialità che assicuri, adesso e in futuro, rilevanti funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e globale tali da non comportare danni ad altri ecosistemi".

Nel D.M. n. 225/05 si stabilisce che le azioni adottate dalle regioni, attraverso opportuni piani forestali, dovranno tenere conto dei sei criteri per una gestione forestale sostenibile enunciati nell'allegato I della risoluzione L2 della conferenza di Lisbona, e degli indicatori quantitativi e qualitativi ad essi correlati, secondo quanto riportato nel documento "Indicatori paneuropei affinati per la gestione forestale sostenibile" adottato nell'ambito dei lavori dalla conferenza di Vienna. Tali criteri ed indicatori definiscono gli elementi

essenziali e l'insieme delle condizioni o dei processi attraverso i quali può essere conseguita una gestione forestale sostenibile. I sei criteri stabiliti nella conferenza di Lisbona sono:

- Mantenimento e appropriato sviluppo delle risorse forestali e loro contributo al ciclo globale del carbonio;
- Mantenimento della salute e vitalità dell'ecosistema forestale;
- Mantenimento e promozione delle funzioni produttive delle foreste (prodotti legnosi e non);
- Mantenimento, conservazione e adeguato sviluppo della diversità biologica negli ecosistemi forestali;
- Mantenimento e adeguato sviluppo delle funzioni protettive nella gestione forestale (in particolare suolo e acqua);
- Mantenimento di altre funzioni e condizioni socio-economiche.

Contemporaneamente a questo processo di codificazione della GFS, nasce la sua certificazione con la quale si intende una procedura di verifica riconosciuta e collaudata che conduca all'emissione, da parte di organismo indipendente, di un certificato attestante forme di gestione boschiva rispondenti a determinati requisiti di sostenibilità. Nel settore forestale la certificazione permette alle aziende di attestare la propria conformità ai criteri della GFS. E' definibile quindi come uno strumento di mercato che ha lo scopo di sensibilizzare e fornire incentivi sia al produttore che al consumatore per l'uso sostenibile delle foreste.

La certificazione di una GFS può essere adottata a diverse tipologie di soprassuoli, non solo quindi dei boschi naturali. Con ciò, è ipotizzabile la certificazione della qualità del sistema organizzativo e gestionale e la certificazione delle forme di gestione e coltivazione nell'arboricoltura da legno ed in particolare nella pioppicoltura. A titolo puramente indicativo si può ipotizzare per l'arboricoltura da legno la certificazione facendo riferimento a specifici schemi (Pettenella, Secco, Zanuttini, 2000):

- Forest Stewardship Council (FSC) o Pan European Forest Certification (PEFC) che stabiliscono criteri ed obiettivi per la certificazione della gestione forestale;
- ISO UNI 14001/4, per la certificazione dei sistemi di gestione ambientale;
- Environment Management and Audit System (EMAS II), per la certificazione attività settore primario.

Capitolo 2. L'energia dalle biomasse ligno-cellulosiche

2.1. Legno ed energia

Il legno è un materiale capace di rilasciare energia termica sotto forma di calore ed è stato usato dall'uomo fin dalla notte dei tempi proprio per questo scopo.

Le nuove tecnologie hanno permesso di ipotizzare l'uso del legno in alternativa ai combustibili fossili, sia per la produzione di energia elettrica che per la produzione di energia termica.

Il legno rappresenta nel mondo una delle fonti energetiche più importanti. Secondo il rapporto della FAO, *State of the World's Forests* del 1999, il 63% del legno utilizzato nel mondo è destinato alla combustione. Nei Paesi in via di sviluppo tale quota sale al 90%. In Italia più della metà del legno, ricavato dalle nostre foreste, è rappresentato da legna da ardere (4,97 milioni di m³ contro i 4,16 di legname per l'industria). Il 7% dell'energia mondiale è di origine legnosa e questa quota scende al 2% nei Paesi industrializzati.

In Italia, l'impiego del legno come fonte energetica si è protratto con andamento crescente fino agli anni '40-'50. Gli italiani, che in quel periodo erano circa 45 milioni, basavano il consumo di legname integralmente sulle foreste nazionali e sui sottoprodotti dell'agricoltura. Di conseguenza questa forte pressione demografica ha determinato la progressiva riduzione della superficie boscata, producendo un pericoloso aumento dei rischi di natura idrogeologica. La diffusione degli impianti fissi di riscaldamento alimentati con combustibili fossili, ha determinato un crollo dei consumi di legname che ha inciso positivamente sulla superficie boscata. Collateralmente l'innovazione delle tecniche agronomiche ha favorito l'abbandono dei terreni agricoli marginali e lo spopolamento delle zone rurali, riducendo la pressione demografica nelle zone a più alta superficie boscata. L'abbandono di alcuni comprensori territoriali a minore vocazione agricola ma ad elevatissima antropizzazione, pur avendo prodotto nel breve periodo un ulteriore degrado ambientale, ha realizzato un aumento significativo della superficie boscata, della provvigione e del capitale legnoso presente nei soprassuoli forestali ed una maggiore stabilità delle biocenosi, conseguenza della rinaturalizzazione delle stesse. Contemporaneamente si è assistito al grave fenomeno dell'urbanizzazione selvaggia che, nei siti coinvolti, ha prodotto irreversibili danni ambientali.

In ogni caso, il CIRM (1998) ha riscontrato un consumo di legname per la combustione ancora elevato. Il 31% delle famiglie italiane consuma biomasse in ambito domestico, principalmente come legna da ardere; le punte di consumo si hanno nelle regioni Trentino Alto Adige, Valle d'Aosta ed Umbria, nelle quali il 50% delle famiglie fa uso delle biomasse per l'energia.

L'uso del legno presenta importantissimi pregi di natura ambientale. L'impiego su larga scala di questa risorsa è considerato in modo positivo per i benefici di carattere ecologico, economico e sociale ad esso collegati.

Il legno, unica tra le fonti energetiche alternative rinnovabili, interagisce nel ciclo del carbonio attraverso due meccanismi:

- costituisce un deposito (sink) di carbonio sia negli ecosistemi forestali sia nelle infrastrutture permanenti;
- produce un risultato neutro nel ciclo del carbonio; l'anidride carbonica (CO₂) emessa nella combustione è la stessa che pochi anni o decenni prima era stata sottratta all'atmosfera attraverso la fotosintesi clorofilliana.

Ulteriori considerazioni di carattere ambientale ed economico sono le seguenti:

- gli alberi costituiscono boschi e fasce fluviali che abbelliscono l'ambiente e lo rendono più sano e più ricco di vita selvatica, contribuendo alla salvaguardia della biodiversità degli ecosistemi della Terra;
- contrariamente a tutti i combustibili fossili, la produzione, il trasporto, lo stoccaggio del materiale legnoso comportano pochi rischi per la popolazione e per l'ambiente, escludendo il rischio d'incendio;
- l'utilizzo del legname dà impulso all'economia locale, creando ritorni occupazionali proprio nelle zone rurali che presentano le maggiori difficoltà lavorative;
- la sostituzione dei combustibili fossili con legno di produzione nazionale, per la maggior parte d'importazione, potrebbe migliorare la bilancia dei pagamenti con l'estero;
- la tecnologia per la produzione e l'utilizzo a fini energetici del legno è matura a tutte le scale (piccola, media e grande), e permetterebbe l'ottenimento di energia a costi competitivi e con impatto ambientale molto contenuto.

2.2. Obiettivi della filiera bioenergetica

Nel settore della bioenergia si distinguono due grossi campi di applicazione che sfruttano la combustione delle biomasse ligno-cellulosiche, quello della produzione di energia termica e quello della produzione di energia elettrica. Un settore ancora sperimentale prevede lo sfruttamento delle biomasse attraverso l'uso della gassificazione; questa consiste nella scissione in un reattore dei costituenti della biomassa per l'ottenimento di un gas che, dopo un opportuno processo di purificazione, può essere usato per alimentare un motore endotermico o una turbina.

Ancora oggi si hanno problemi economici per la produzione di energia elettrica dalle biomasse ligno-cellulosiche, mentre la produzione di energia termica, utilizzando le tecniche più appropriate, è economicamente vantaggiosa. Per rendere conveniente la produzione di energia elettrica, è necessaria l'applicazione di vincoli e sovvenzioni al mercato. In particolare, sono necessari incentivi per la produzione delle biomasse agricole e l'applicazione di vincoli alla produzione di energia da combustibili fossili. L'UE cerca di imporre questa politica, integrando fra loro le diverse politiche ambientali, agricole ed energetiche. E' da notare quanto sia marginale la produzione di energia elettrica ricavata dalle biomasse ligno-cellulosiche, sia rispetto al totale della produzione sia rispetto all'energia ricavata dalle altre fonti energetiche rinnovabili.

In un calcolo economico sulla convenienza dell'uso delle fonti energetiche alternative andrebbero considerate le "esternalità" del sistema, monetizzando i benefici di natura ambientale conseguenti. Rispetto ad un possibile sviluppo sostenibile, questi processi potrebbero incidere significativamente nella sostituzione dei combustibili fossili.

La realizzazione di queste politiche, finalizzate all'uso delle fonti energetiche rinnovabili, potrebbe incidere sugli equilibri geopolitici mondiali, riducendo la dipendenza degli Stati industrializzati dalle fonti energetiche fossili; si influirebbe sullo squilibrio prodotto dalle necessità impellenti del "Primo Mondo" (il cosiddetto "modello occidentale") per le fonti energetiche, in particolare per il petrolio, causa scatenante di guerre disastrose e forme oltraggiose di sfruttamento verso le popolazioni dei Paesi in via di sviluppo.

Potrebbero compiersi i primi passi per l'utilizzazione delle fonti energetiche rinnovabili, prime fra tutte l'energia eolica e quella prodotta dalle biomasse ligno-cellulosiche, utili alla costruzione di un diverso modello di sviluppo.

Durante il ventesimo secolo le società più sviluppate hanno vissuto ben sopra le possibilità offerte dall'ambiente naturale. Organizzazioni economico-militari e culture ben rodute da secoli di competizione hanno consentito di convogliare verso poche Nazioni gran parte delle risorse energetiche immagazzinate. La grande abbondanza di materie prime, soprattutto di energia derivante da combustibili fossili, ha dato origine ad uno spreco ingiustificato, che si è protratto fino ad oggi per il loro basso costo. La continua scoperta di nuovi giacimenti petroliferi e di carbone e il miglioramento delle tecniche di estrazione del petrolio, rende economicamente vantaggiosa l'estrazione dove prima non lo era e facilita lo sviluppo ed il perpetuarsi dell'attuale sistema economico, trascurando gli ammonimenti per un uso parsimonioso delle risorse energetiche.

Dopo un secolo in cui l'aumento dei consumi dei combustibili fossili non ha portato ad un loro prossimo esaurimento, l'ambiente ha subito modificazioni di notevole intensità. Tra tutti gli indici che possono valutare tali mutamenti ambientali spicca l'aumento di concentrazione dell'anidride carbonica (CO_2) in atmosfera. Nell'arco di soli quaranta anni si è avuto un aumento del 14%, passando da una concentrazione media di CO_2 di 315 parti per milione (ppm) alle 360 ppm. Nei quaranta anni precedenti si era registrato un aumento del 4%, passando dalla concentrazione di 294 ppm del 1900 a quella di 307 ppm del 1940. Mai prima era avvenuto un aumento di concentrazione di CO_2 così rapido. Tutti questi dati sono stati riscontrati fin dagli anni '50 presso l'Osservatorio di Mauna Loa nell'arcipelago delle isole Hawaii. L'altitudine dell'Osservatorio in cui avvengono queste misurazioni (3350 m s.l.m.) e sua lontananza dalle fonti di emissione industriale, fanno ritenere il valore di concentrazione di CO_2 corrispondente al valore medio presente nell'atmosfera (figura 1).

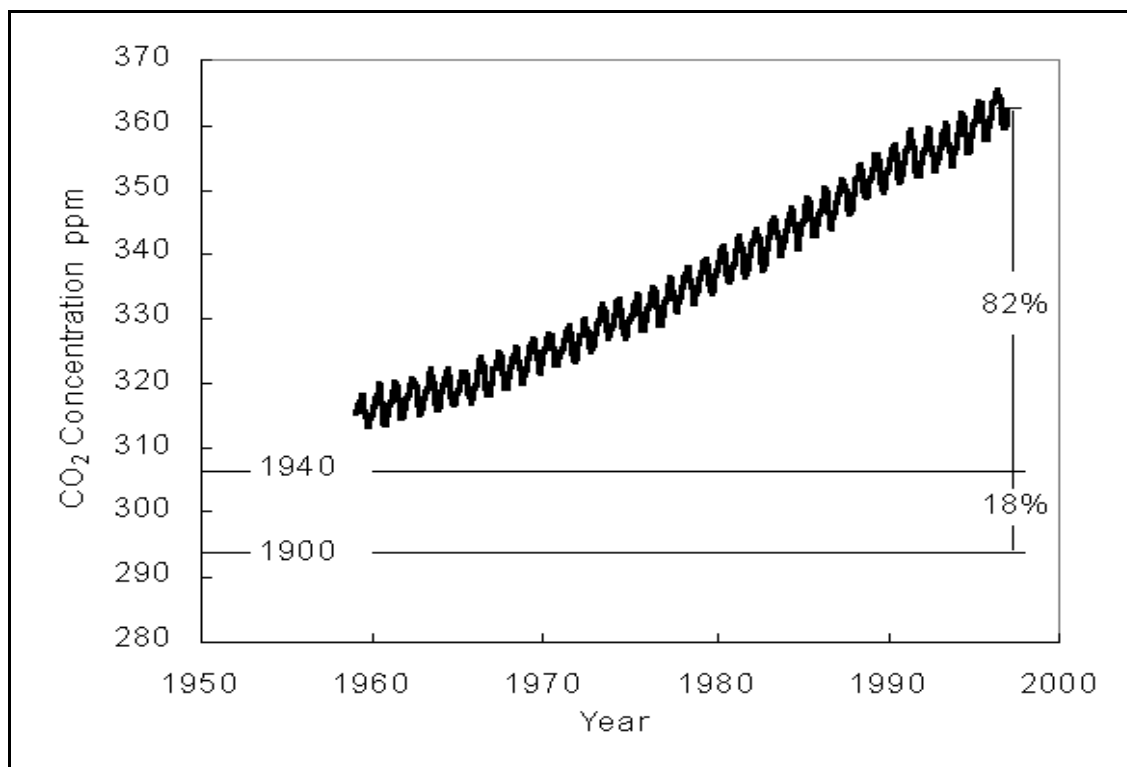


Figura 1. Andamento della concentrazione di anidride carbonica Manua Loa (Fonte: www.village.it/italianostra/gasserra.html)

2.3. Il Protocollo di Kyoto

L'effetto serra è un fenomeno naturale che permette il riscaldamento dell'atmosfera terrestre fino ad una temperatura adatta alla vita. Senza l'effetto serra naturale, sarebbe impossibile vivere sulla Terra, poiché la temperatura media sarebbe di circa -18 °C. L'effetto serra è possibile per la presenza in atmosfera di alcuni gas, detti gas ad effetto serra (Greenhouse Gas). L'emissione eccessiva di questi gas ha alterato l'equilibrio energetico della terra; conseguentemente si è avuto un anomalo aumento della temperatura media dell'atmosfera che rappresenta la causa principale dei cambiamenti climatici. Entro il 2100, i modelli climatici prevedono un aumento della temperatura media globale di 1,4-5,8 °C.

I cambiamenti climatici riguardano l'aumento, in intensità e/o frequenza, dei fenomeni estremi (uragani, temporali, inondazioni, siccità, ecc.), l'aumento del livello dei mari, la desertificazione, la perdita di biodiversità. La comunità scientifica internazionale ha

dibattuto a lungo sulle cause e sull'intensità sia dell'effetto serra che dei cambiamenti climatici. Oggi l'evidenza scientifica del legame delle alterazioni del clima con le attività antropiche gode di un largo consenso. Non altrettanto concorde è l'opinione sul metodo migliore per contrastare tale tendenza.

La Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, approvata nella Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo tenutasi a Rio de Janeiro nel giugno del 1992 è stata ratificata dall'Italia nei primi mesi del 1994. La Convenzione rappresenta lo strumento utile a contrastare e a ridurre al minimo gli effetti negativi dei cambiamenti climatici sul nostro pianeta. Fra le finalità generali vi è la proposta, nel breve periodo, di limitare e mitigare i cambiamenti climatici indotti dalle attività umane mediante azioni che vadano ad incidere sulle cause scatenanti, in particolare sulle emissioni di gas capaci di aumentare l'effetto serra naturale del nostro pianeta.

La Convenzione ha individuato i seguenti gas ad effetto serra:

- l'anidride carbonica (CO₂);
- il metano (CH₄);
- il protossido di azoto (N₂O);
- gli idrofluorocarburi (HFC);
- i perfluorocarburi (PFC);
- l'esfluoruro di zolfo (SF₆).

Il Protocollo di Kyoto, firmato nel dicembre 1997, rappresenta lo strumento attuativo della Convenzione. Sulla base del principio di "comuni, ma differenziate responsabilità", si impegnano i paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione ad una riduzione delle emissioni dei principali gas ad effetto serra del 5,2% rispetto ai valori del 1990. I Paesi soggetti a vincolo di emissione sono 39 ed includono, fondamentalmente, i paesi europei (inclusi quelli dell'est), il Giappone, la Russia, gli Stati Uniti, il Canada, l'Australia e la Nuova Zelanda. Gli obiettivi specifici di riduzione delle emissioni sono stati quantificati per il periodo 2008-2012. Per alcuni Paesi non è prevista alcuna riduzione delle emissioni, ma solo una stabilizzazione; ciò vale per la Russia, la Nuova Zelanda e l'Ucraina. Invece, rispetto al 1990, possono aumentare le loro emissioni fino all'1% la Norvegia, fino all'8% l'Australia e fino al 10% l'Islanda. Nessun tipo di limitazione alle emissioni di GHG viene previsto per i Paesi in via di sviluppo.

Il Protocollo di Kyoto impegna gli Stati membri dell'Unione Europea a ridurre, entro il periodo compreso tra il 2008 e il 2012, le emissioni dei gas ad effetto serra nella misura dell'8% rispetto ai livelli del 1990.

Con la decisione del Consiglio dei Ministri dell'Ambiente dell'Unione Europea del 17 giugno 1998, l'Italia si impegna ad una riduzione del 6,5% delle emissioni totali di CO₂, pari a 95-112 Mt a⁻¹ entro il 2008-2012. L'obiettivo italiano risulta molto ambizioso sia perché l'Italia è caratterizzata da una bassa intensità energetica sia per l'aumento tendenziale di emissioni di gas ad effetto serra che si è avuto dal 1990 ad oggi.

Il Protocollo di Kyoto è stato ratificato dall'Italia con la legge n. 120 del 1 giugno 2002.

2.4. Gli strumenti attuativi del Protocollo di Kyoto

Il Protocollo di Kyoto prevede due differenti strumenti per il raggiungimento degli obiettivi preposti, rispettivamente definiti:

- Politiche e misure;
- Meccanismi flessibili:

Le “politiche e misure” sono quegli interventi previsti dallo Stato attraverso programmi attuativi specifici realizzati all'interno del territorio nazionale. Il Protocollo di Kyoto, per quanto riguarda i Paesi industrializzati e i Paesi con economia in transizione, individua le azioni che dovranno essere realizzate per ottenere questa riduzione delle emissioni di CO₂.

Le politiche e le misure, elencate nell'art. 2 del Protocollo, sono:

- Miglioramento dell'efficacia energetica in settori rilevanti dell'economia nazionale;
- Protezione e miglioramento dei meccanismi di rimozione e di raccolta dei gas ad effetto serra, non inclusi nel Protocollo di Montreal, tenuto conto degli impegni assunti in virtù degli accordi internazionali ambientali; promozione di metodi sostenibili di gestione forestale, di imboschimento e di rimboschimento;
- Promozione di forme sostenibili di agricoltura, alla luce delle considerazioni relative ai cambiamenti climatici;
- Ricerca, promozione, sviluppo e maggiore utilizzazione di forme energetiche rinnovabili, di tecnologie per la cattura e l'isolamento del biossido di carbonio e di tecnologie avanzate ed innovative compatibili con l'ambiente;

- Riduzione progressiva, o eliminazione graduale, delle imperfezioni del mercato, degli incentivi fiscali, delle esenzioni tributarie e di sussidi, che siano contrari all'obiettivo della Convenzione, in tutti i settori responsabili di emissioni di gas ad effetto serra, ed applicazione di strumenti di mercato;
- Incoraggiamento di riforme appropriate nei settori pertinenti, al fine di promuovere politiche e misure che limitino o riducano le emissioni dei gas ad effetto serra non inclusi nel Protocollo di Montreal;
- Adozione di misure volte a limitare e/o ridurre le emissioni di gas ad effetto serra non inclusi nel Protocollo di Montreal nel settore dei trasporti;
- Limitazione e/o riduzione delle emissioni di metano attraverso il suo recupero ed utilizzazione nel settore della gestione dei rifiuti, come pure nella produzione, nel trasporto e nella distribuzione di energia.

I “meccanismi flessibili” previsti nel Protocollo danno la possibilità di utilizzare a proprio credito attività di riduzione delle emissioni effettuate al di fuori del territorio nazionale. Si ha la possibilità di sfruttare questi meccanismi flessibili perché i cambiamenti climatici sono un fenomeno globale, e la riduzione delle emissioni di gas serra producono effetti indipendentemente dal luogo del pianeta nel quale si realizza.

Si distinguono tre tipi di meccanismi flessibili: International Emissions Trading (IET), Clean Development Mechanism (CDM) e Joint Implementation (JI).

Il meccanismo di CDM, regolato dall'art. 12 del Protocollo, permette alle imprese dei paesi industrializzati con vincoli di emissione di realizzare progetti che mirino alla riduzione delle emissioni di gas serra nei paesi in via di sviluppo senza vincoli di emissione. Lo scopo di questo meccanismo è duplice: da una parte permette ai paesi in via di sviluppo di disporre di tecnologie più pulite e di orientarsi verso uno sviluppo sostenibile; dall'altra permette l'abbattimento delle emissioni lì dove è economicamente più conveniente e quindi la riduzione del costo complessivo d'adempimento degli obblighi derivanti dal Protocollo di Kyoto. Le emissioni evitate dalla realizzazione dei progetti generano crediti di emissioni o CERs (Certified Emission Reductions) che possono essere utilizzati per l'osservanza degli impegni di riduzione assegnati.

Il meccanismo di JI è uno dei meccanismi flessibili previsti dal Protocollo e permette alle imprese dei paesi con vincoli di emissione, Paesi industrializzati o ad economia in transizione, di realizzare progetti che mirino alla riduzione delle emissioni in altri paesi con

vincoli di emissione. I progetti JI sono “operazioni a somma zero” in quanto le emissioni totali permesse nei due paesi rimangono le stesse. Lo scopo del meccanismo di JI è di ridurre il costo complessivo d’adempimento degli obblighi di Kyoto, permettendo l’abbattimento delle emissioni dove è economicamente più conveniente. Il meccanismo di JI è regolato dagli Accordi di Marrakech, Decisione 16/COP 7, Linee guida per l’implementazione dell’Art. 6 del Protocollo di Kyoto. Le emissioni evitate dalla realizzazione dei progetti generano crediti di emissioni o ERUs (Emissions Reduction Units) che possono essere utilizzati per l’osservanza degli impegni di riduzione assegnati. Poiché la JI coinvolge paesi che hanno dei limiti alle emissioni, i crediti generati dai progetti sono sottratti dall’ammontare di permessi di emissione inizialmente assegnati al paese ospite.

I permessi di emissione, una volta allocati o creati, possono essere venduti, acquistati, accumulati o commerciati nel rispetto delle regole di Kyoto, salvo restando l’obbligo di mantenere un numero uguale o superiore di permessi rispetto alle emissioni reali. Tale meccanismo è definito IET e sarà il mercato a stabilire il prezzo per i permessi di emissione.

Capitolo 3. Politica e normativa della bioenergia

3.1. La politica dell'Europa e dell'Italia per la bioenergia

In Italia e nel resto del mondo le biomasse ligno-cellulosiche rappresentano la più consistente delle fonti rinnovabili di energia, ma anche la più difficili da utilizzare. Le difficoltà sono sia di natura tecnica sia di natura politica ed economica. Spesso esistono resistenze locali al recepimento delle politiche che giungono dalla programmazione centrale.

In Italia, fin dal 1988, il Piano Energetico Nazionale ha delineato le prospettive e le possibilità d'impiego delle biomasse, senza formulare un vero piano per la costruzione di un mercato dell'energia. In compenso, la legge n. 10 del 9 gennaio 1991, che indica le norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale, ha consentito alle Regioni l'attivazione dei primi progetti pilota. Questi sono stati finalizzati alla costituzione di caldaie alimentate a cippato, impiegati soprattutto per edifici pubblici, in particolare scuole, e per impianti di teleriscaldamento, usati principalmente nei piccoli comuni di montagna.

La Commissione Europea ha lavorato assiduamente per preparare una politica seria di approccio ai dettami posti alla Conferenza di Rio. L'UE ha deciso di promuovere l'impiego delle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) ed ha esplicitato tali intenzioni in un Libro Bianco che anticipa cronologicamente il Protocollo di Kyoto.

Il Libro Bianco (1997) dal titolo "Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili" ha stabilito l'obiettivo dell'ottenimento, entro il 2010, di un tasso lordo di energia prodotta nell'UE dalle FER del 12%, rispetto al 6% del 1995. L'UE vorrebbe incentivare e favorire la costituzione di una filiera bioenergetica, innescandovi uno sviluppo economico ed occupazionale. Si afferma che "La dipendenza dell'UE dalle importazioni di energia, già del 50 %, dovrebbe aumentare nei prossimi anni e raggiungere, in assenza di interventi, il 70 % nel 2020. Ciò è vero soprattutto per il petrolio e il gas che proverranno in misura crescente da zone molto distanti dall'Unione, spesso caratterizzate da rischi geopolitici. Si dovrà pertanto prestare sempre più attenzione alla sicurezza dell'approvvigionamento. Le energie rinnovabili, siccome fonti interne, saranno importanti per ridurre le importazioni di

energia, con effetti positivi per la bilancia commerciale e la sicurezza dell'approvvigionamento.”

Nel Libro Bianco, inoltre, si sottolinea l'importanza della Politica Agricola Comune (PAC). L'agricoltura è considerata un settore chiave per l'ottenimento della quota del 12%, incoraggiando l'uso e la produzione delle biomasse mediante l'applicazione di tutti gli strumenti politici disponibili (agricoli, fiscali ed industriali).

Il Libro Bianco, per ogni singola fonte energetica rinnovabile, fornisce i dati di utilizzo delle FER nel 1995 e ne stima le produzioni nel 2010. In particolare, la produzione di energia lorda ottenuta dalle biomasse dovrà passare dai 44,8 Mtep a⁻¹ (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio l'anno) del 1995 ai 135 Mtep a⁻¹ del 2010. Questa ipotesi farà passare la quota di energia lorda prodotta dalle biomasse dal 3,3% all'8,27%.

L'Italia si è posta degli obiettivi molto ambiziosi per quanto riguarda la politica delle FER. Tali obiettivi sono racchiusi nella delibera del CIPE, fondata sul Protocollo di Kyoto, n. 137 del 19 novembre 1998 dal titolo: “Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra”.

Per quanto riguarda il settore agricolo, la sua quota di riduzione è rilevante. Nelle linee guida, la riduzione che spetta alle fonti rinnovabili è di 18-20 Mt a⁻¹ di CO₂, con una quota più piccola che dovrebbe essere acquisita dall'aumento della CO₂ fissata nelle foreste (0,7 Mt a⁻¹ di CO₂). Tra le fonti rinnovabili sono compresi una serie di interventi, meglio definiti dal “Libro Bianco Nazionale” per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili.

In tale documento si sottolinea che gli obiettivi necessitano, per essere concretamente raggiunti, di interventi permanenti estesi al più ampio numero di settori. Una delle strategie più concrete da attuare, è lo sfruttamento delle risorse agricole che potrebbe, oltre alle misure nel settore industriale, contribuire alla razionalizzazione dei consumi energetici.

Successivamente, il MiPAF ha elaborato il Programma Nazionale Biocombustibili (PROBIO), predisposto in ottemperanza dell'art. 3 della legge n. 423/98, che recita:

“Per avviare le azioni nazionali derivanti dall'applicazione delle determinazioni adottate dalla conferenza di Kyoto per la riduzione delle emissioni gassose, il Ministro per le politiche agricole, d'intesa con la conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e Bolzano, presenta al CIPE, per l'approvazione, un programma nazionale denominato “Biocombustibili”...”.

Il PROBIO assorbe integralmente i precedenti programmi denominati:

1. Programma Nazionale Energia Rinnovabile da Biomasse (PNERB);
2. Programma Nazionale per la Valorizzazione delle Biomasse Agricole e Forestali (PNVBAF).

Il programma non ha previsto interventi di sostegno “ordinario” al mondo produttivo ma ha favorito l’attuazione di attività dimostrative e divulgative con una forte caratterizzazione territoriale, in grado di stimolare sia le Amministrazioni locali sia gli imprenditori agricoli ed industriali verso un ulteriore sviluppo dell’impiego dei biocombustibili.

Il PROBIO definisce il termine biocombustibile come l’insieme di quelle biomasse o prodotti derivanti dalle biomasse, che presentino caratteristiche fisiche e chimiche tali da renderli utilizzabili in processi di combustione od altra trasformazione termochimica.

Inoltre, in funzione del loro stato, questi prodotti possono essere classificati in:

1. solidi (legno, paglie, pellets, ecc.);
2. liquidi (oli vegetali, alcoli, eteri, esteri, ecc.);
3. gassosi (biogas da digestione anaerobica, ecc.).

Si distinguono le biomasse tal quali, e i combustibili derivati dalla trasformazione di queste.

Viste le esigue risorse disponibili il programma triennale è orientato verso il campo dei biocombustibili che, derivando dal processo di trasformazione di biomasse tal quali, presentino elevate caratteristiche di trasformabilità e di impiego al di fuori dei circuiti di autoconsumo. Le azioni previste dal PROBIO sono incentrate su due livelli, il primo centrale, di orientamento e di divulgazione, coordinato direttamente dal MiPAF con il contributo di rappresentanti regionali, il secondo regionale basato su progetti dimostrativi.

Ancora più importante, dal punto di vista della pianificazione per lo sviluppo dell’energia delle fonti rinnovabili, è il “Libro Bianco Nazionale”. Nel libro bianco sono trattate le fonti rinnovabili che avranno un potenziale sviluppo nel nostro Paese nel breve, medio e lungo periodo. L’elenco di queste fonti rinnovabili è il seguente:

- energia idraulica;
- geotermia per usi elettrici e termici;
- solare termico e fotovoltaico;
- eolico;

- biomasse e biogas;
- rifiuti.

In questo documento si fa esplicito riferimento ai tre milioni di ettari abbandonati dall'agricoltura tradizionale, che potrebbero essere sfruttati per le coltivazioni di biomasse a scopo energetico. Azzardando una stima in termini di potere calorifico inferiore, si pensa che questo possa rendere disponibile un'energia di 12 Mtep a⁻¹, assumendo una produzione annua di 10 t ha⁻¹ di sostanza secca (s.s.), con potere calorifico inferiore della biomassa di 4000 Kcal Kg⁻¹. Si stima che gli incrementi maggiori per la produzione di energia elettrica e calore deriveranno dallo sfruttamento delle biomasse. Si vorrebbe passare per la produzione di energia elettrica dalle effettive 0,125 Mtep a⁻¹ del 1997 (fonte ENEL) alle stimate 3,036 Mtep a⁻¹ del 2008-2012 per l'impiego di "Biomasse e Biogas". Nella stima è considerata l'energia prodotta dagli impianti di produzione di elettricità e cogenerazione che usano legno e residui legnosi e gli impianti di produzione di elettricità da biogas e discariche, fanghi e deiezioni animali. Per la produzione di energia termica si stima di passare dalle 1,070 Mtep a⁻¹ del 1997 alle 1,750 Mtep a⁻¹ del 2008-2012 per l'uso di "Biomasse e Biogas". Si include, in questa stima l'energia prodotta usando legna da ardere dei circuiti commerciali, legna da ardere e residui per impianti di teleriscaldamento, la frazione di legna e residui efficace per la produzione di calore in impianti di cogenerazione.

Successivamente sono state redatte ed approvate altre norme coerenti con la politica comunitaria ed italiana, utili all'incentivazione della produzione di energia dalle biomasse. Queste norme favoriscono, tramite obblighi e incentivi, l'utilizzo delle biomasse per la produzione di energia sia in campo industriale sia nel settore agrario.

Il D.M. del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali n. 401 dell'11 settembre 1999, "Regolamento recante norme di attuazione dell'art. 1, commi 3 e 4, del decreto legislativo 30.4.1998, n. 173 per la concessione di aiuti a favore della produzione ed utilizzazione di fonti energetiche rinnovabili nel settore agricolo" (come previsto dall'art. 55 della legge n. 449 del 27 dicembre 1997), concede aiuti per l'utilizzo a fini energetici delle produzioni agricole e forestali alle aziende agricole che, anche non condotte da imprenditore a titolo principale, vogliano ottenere risparmi di energia puntando al miglioramento dell'ambiente. Gli aiuti consistono in contributi per investimenti finalizzati all'autoproduzione aziendale o al recupero di energia termica, elettrica e meccanica da fonti rinnovabili e di sistemi idonei

a ridurre i consumi energetici, nonché per la realizzazione di progetti di assistenza tecnica.

In questo decreto sono considerate biomasse:

- la legna da ardere,
- altri prodotti o residui ligno-cellulosici puri,
- sottoprodotti di coltivazioni agricole,
- ittiche e di trasformazioni agroindustriali,
- colture agricole e forestali dedicate,
- liquami reflui zootecnici e acquicoli.

Inoltre, sono considerate fonti energetiche rinnovabili:

- il sole,
- il vento,
- l'energia idraulica,
- le risorse geotermiche,
- le maree e il moto ondoso.

Il D.Lgs. n. 79 del 16 marzo 1999, detto “Decreto Bersani”, nato per dare attuazione alla Direttiva Europea 96/92/CE, stabilisce all'art. 11 l'obbligo sin dal 2002 per i produttori di energia elettrica che producono o importano più di 100 GWh a⁻¹ ad immettere nel sistema elettrico nazionale una quota pari al 2% dell'energia prodotta da fonti rinnovabili.

A seguito della Direttiva 2001/77/CE sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, attuata secondo il D.Lgs. n. 387 del 29 dicembre 2003, dall'anno 2004 e fino al 2006 la quota minima di elettricità prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili è incrementata annualmente dello 0,35%. Il Ministro delle attività produttive, con propri decreti emanati di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, sentita la Conferenza unificata, stabilisce gli ulteriori incrementi della medesima quota minima, per il triennio 2007-2009 e per il triennio 2010-2012; tali decreti sono rispettivamente emanati entro il 31 dicembre 2004 ed entro il 31 dicembre 2007.

Il D.M. del Ministero dell'Ambiente n. 337 del 20 luglio 2000, che applica l'art. 8, comma 10, della legge 448/98 sulla tassazione delle emissioni di anidride carbonica, la cosiddetta “carbon-tax”, finanzia per un importo complessivo di 10 miliardi di lire, agevolazioni con credito di imposta pari a £ 20 per ogni chilowattora (Kwh) di calore fornito, da sottrarre sul prezzo di cessione all'utente finale, per la gestione di reti di teleriscaldamento alimentate

con biomassa quale fonte energetica nei comuni ricadenti nelle zone climatiche E e F. Le zone climatiche sono individuate secondo le regole dettate dal D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993 (“Regolamento recante norme per la progettazione, l’installazione, l’esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell’art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n.10”). In questo decreto il territorio nazionale è suddiviso in sei zone climatiche in funzione dei “gradi giorno”, indipendentemente dall’ubicazione geografica:

Zona A: comuni che presentano un numero di gradi-giorno non superiore a 600;

Zona B: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900;

Zona C: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400;

Zona D: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100;

Zona E: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;

Zona F: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 3.000.

Per “gradi giorno” (GG) di una località si considera la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell’ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera.

Con la legge n. 120 del 1 giugno 2002, che ratifica il Protocollo di Kyoto, all’art. 2 comma 1 viene approvata la deliberazione CIPE del 19 dicembre 2002 “Revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra”. Questa deliberazione approva il Piano di azione nazionale per la riduzione dei livelli di emissione dei gas serra, l’aumento del loro assorbimento redatto dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del territorio e livelli massimi di emissione assegnati ai singoli settori per il periodo 2008-2012. Questi ultimi sono calcolati come media delle emissioni annuali del periodo e sono stabiliti sulla base dello scenario di riferimento, ovvero sulla base dei risultati conseguibili con le misure individuate al 30 giugno 2002 con provvedimenti, programmi ed iniziative nei settori della produzione di energia elettrica, dei trasporti, dei consumi energetici negli usi civili e nel terziario, della cooperazione internazionale. In sostanza, è

previsto un aumento delle emissioni dei gas ad effetto serra, contrariamente a quanto stabilito negli accordi internazionali; di conseguenza sarà necessaria la formulazione di ulteriori misure per la riduzione delle emissioni dei gas serra, per un importo di 41,0 Mt a⁻¹ di CO₂ equivalente (tabella 1).

Tabella 1. Livelli massimi di emissioni dei gas effetto serra per il periodo 2008-2012
(Mt a⁻¹ di CO₂ eq.)

	Emissioni 1990	Emissioni 2000	Scenario tendenziale delle emissioni nel 2010	Livelli massimi di emissioni 2008-2012
Usi energetici	424,9	452,3	484,1	444,5
- Industrie energetiche	147,4	160,8	170,4	144,4
<i>Termoelettrico</i>	<i>124,9</i>	<i>140</i>	<i>150,1</i>	<i>124,1</i>
<i>Raffinazione (consumi diretti)</i>	<i>18,0</i>	<i>17,4</i>	<i>19,2</i>	<i>19,2</i>
<i>Altro</i>	<i>4,5</i>	<i>3,4</i>	<i>1,1</i>	<i>1,1</i>
- Industria	85,5	77,9	80,2	80,2
- Trasporti	103,5	124,7	142,2	134,7
- Civile (incluso terziario e Pubblica Amministrazione)	70,2	72,1	74,1	68,0
- Agricoltura	9,0	9,0	9,6	9,6
- Altro (fughe, militari, aziende di distribuzione)	9,3	7,8	7,6	7,6
Usi non energetici	96,1	94,5	95,6	95,6
- Processi industriali	35,9	33,9	30,4	30,4
- Agricoltura	43,4	42,6	41,0	41,0
- Rifiuti	13,7	14,2	7,5	7,5
- Altro (solventi, fluorurati)	3,1	3,8	16,7	16,7
Crediti di carbonio da JI e CDM				-12
Totale	521,0	546,8	579,7	528,1
Obiettivi (riduzione del 6,5% delle emissioni del 1990)				487,1
Ulteriore riduzione per raggiungere l'obiettivo				41,0

Con il D.Lgs. n. 128 del 30 maggio 2005 è stata ratificata la Direttiva 2003/30/CE relativa alla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti. Nell'art. 3 sono stati fissati gli obiettivi indicativi di immissione in consumo di biocarburanti ed altri carburanti rinnovabili, espressi come percentuale del totale del carburante diesel e di benzina nei trasporti immessi al consumo nel mercato nazionale, ipotizzando l'1% entro 2005 e il 2,5% entro il 2010; questi valori sono stati ampiamente ridotti rispetto alle ipotesi di riduzione contenute nell'art. 3, paragrafo 1, lettera b), della Direttiva; quest'ultima ipotizza una riduzione del 2% entro il 2005 e del 5,75% entro il 2010. Le giustificazioni addotte a questa scelta sono:

- il limitato potenziale nazionale di produzione di biocarburanti a partire dalle biomasse;
- l'ammontare delle risorse assegnate alla produzione di biomassa per usi energetici diversi dai trasporti e le specifiche caratteristiche tecniche o climatiche del mercato nazionale dei carburanti per il trasporto;
- le politiche nazionali che assegnano risorse comparabili alla produzione di altri carburanti per il trasporto basati su fonti energetiche rinnovabili in coerenza con gli obiettivi della citata direttiva.

Il Comitato economico e sociale europeo ha recentemente adottato un importante parere sul tema delle Fonti Energetiche Rinnovabili (2006/C 65/20). Partendo dal presupposto che lo sfruttamento dell'energia è alla base del nostro attuale stile di vita e delle nostra civiltà e che soltanto la disponibilità di energia in quantità sufficiente ha reso possibile il nostro attuale livello di vita, si chiariscono i tre obiettivi principali della politica energetica dell'UE:

- garantire la sicurezza dell'approvvigionamento energetico;
- rispondere alle esigenze economiche;
- ridurre l'impatto sull'ambiente.

La sicurezza dell'approvvigionamento nell'UE deve far fronte alla sfida di un'elevata e crescente dipendenza dalle fonti energetiche esterne. Al fine di soddisfare i bisogni fondamentali dei cittadini a prezzi accettabili e di garantire la competitività delle industrie, i prezzi dell'energia non andrebbero aumentati artificialmente mediante decisioni politiche ma dovrebbero essere tali da incentivare investimenti adeguati nel settore energetico. Le preoccupazioni ambientali vanno affrontate in modo efficace rispetto ai costi, integrando i

costi esterni nei prezzi dell'energia e tenendo presente l'esigenza di una competitività a livello globale.

Al fine di garantire un futuro sostenibile sul piano energetico, l'Europa deve anzitutto sfruttare le potenzialità esistenti per una migliore efficienza energetica. In secondo luogo, le fonti energetiche rinnovabili vanno considerate in via preferenziale in quanto sono sostenibili per definizione. Inoltre, possono essere prodotte a livello locale e di per se non emettono gas a effetto serra, contribuendo così alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla lotta contro i cambiamenti climatici. Tuttavia, nel prossimo futuro, le FER non saranno in grado di coprire da sole l'intero fabbisogno energetico. Sarà quindi necessario mettere a punto un sistema che garantisca un mix energetico ottimale per l'approvvigionamento energetico dell'UE.

3.2. La politica forestale orientata alla produzione delle biomasse

Prima di analizzare genericamente la passata politica forestale italiana, si vuole porre l'accento sulla confusione intervenuta con il passaggio di alcune competenze dallo Stato alle Regioni. Infatti, con i D.P.R. 15.1.1972 n. 11 e D.P.R. 24.7.77 n. 616 è iniziato il trasferimento alle Regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative in materia di agricoltura e foreste. Il passaggio delle competenze dallo Stato alle Regioni ha inciso profondamente sulla realtà forestale, essendo caratterizzato da alcuni significativi fattori come l'individuazione da parte delle Regioni di propri servizi forestali, l'emergere delle nuove funzioni dei boschi nel territorio e nella società, la ripartizione delle competenze sulle foreste in vari settori all'interno delle Regioni, lo scarso dinamismo e l'assenza di una politica di coordinamento a livello nazionale per gli aspetti produttivi e organizzativi del settore, alla luce del decentramento. Si è cercato di supplire a tali difficoltà attraverso l'introduzione della legge n. 752 dell'8 novembre 1986. Tale legge ha permesso la redazione dello Schema di Piano Nazionale Forestale (PNF) approvato dal CIPE il 2 dicembre 1987. E' il primo documento nazionale che riconosce come obiettivi, l'autonomia e la specificità del settore forestale; si ha la netta separazione del PNF dal Piano Agricolo Nazionale. Il bosco è inteso come risorsa naturale rinnovabile in grado di svolgere molte funzioni oltre la produzione legnosa. L'obiettivo guida del Piano è la valorizzazione economica e funzionale delle foreste. E' individuato come obiettivo

prioritario il potenziamento economico del sistema forestale, con il coinvolgimento diretto dei capitali e dell'attività dei privati. Tra gli obiettivi specifici del Piano compare una maggiore integrazione fra agricoltura e foreste e lo sviluppo di un rapporto più stretto fra le foreste e l'industria del legno, con un incremento dell'autoapprovvigionamento. Per la prima volta si distinguono bene le funzioni dell'amministrazione statale da quella regionale. In ambito regionale è ben evidenziata l'azione per lo sviluppo delle foreste e l'ampliamento dell'arboricoltura da legno e della pioppicoltura. Tale Piano, però, anche grazie ai problemi sottolineati in precedenza, ha avuto uno scarso impatto culturale a livello nazionale e regionale.

Successivamente il Regolamento comunitario 2080/92, accolto in un primo tempo con indifferenza dagli agricoltori, ha contribuito alla rivitalizzazione del settore sia a livello comunitario che nazionale. Il Regolamento, infatti, è stato un vero e proprio atto di politica forestale diretto ad incentivare e a migliorare la superficie boscata. Senza ritornare sulle misure riassorbite nel successivo Regolamento 1257/99, si vuole sottolineare la presa di coscienza relativa ad una corretta pianificazione forestale, anche in Italia dove l'applicazione del Regolamento è stata insufficiente.

La legge n. 499 del 23 dicembre 1999 "Razionalizzazione degli interventi nei settori agricolo, agroalimentare, agroindustriale e forestale", che integra la politica comunitaria, ha istituito il "Documento di programmazione agricolo, agroalimentare, agroindustriale e forestale" (DPAF), di competenza del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (MiPAF). Per il triennio 2001-2003 il DPAF ha prefigurato un quadro di riferimento per gli operatori del settore, agroalimentare e forestale, per il rilancio dell'agricoltura italiana considerata settore economico strategico inquadrandola nell'ottica di uno sviluppo sostenibile.

"La necessità di collocare la conservazione e la valorizzazione delle foreste e dei prodotti forestali in un approccio globale di gestione sostenibile delle risorse naturali rinnovabili, impone ad una nuova politica forestale i seguenti obiettivi:

- Collegare ed integrare il settore forestale e il settore agricolo;
- Realizzare piani di riforestazione con conseguente creazione di nuove foreste ponendo particolare attenzione all'esigenza di incentivare la nascita di foreste basate su essenze autoctone, contemperando la presenza d'aree di pascolo;

- Coniugare la difesa e l'incremento del patrimonio boschivo con gli interessi economici dell'intera filiera che vedono l'Italia primo Paese esportatore di prodotti lavorati in legno, importare segatura. Una legge quadro potrà definire, armonizzandoli, gli elementi per la ricostruzione e la valorizzazione del sistema forestale nazionale.

Le linee d'indirizzo e di coordinamento della politica forestale nazionale tengono conto di diverse necessità espresse dal settore:

- Quella di una nuova pianificazione intesa come momento di raccordo tra piani forestali regionali e gli scenari internazionali, attraverso il monitoraggio delle risorse e della filiera legno;
- La necessità di finalizzazione del sostegno alla selvicoltura per la salvaguardia della biodiversità, della tutela del paesaggio, della conservazione dei suoli e alla regimazione delle acque, del contenimento dei fenomeni di cambiamento climatico su scala globale e di desertificazione;
- L'incentivazione dell'associazionismo e dell'integrazione fra le attività forestali e le altre attività legate all'uso multiplo del bosco;
- La razionalizzazione ed adeguamento di processo e di prodotto delle produzioni forestali tradizionali uniti allo sviluppo delle forme d'utilizzazione a carattere più innovativo, e soprattutto ad un forte rilancio delle possibilità di valorizzazione economica integrata, legata alle possibilità d'impiego ai fini turistici, ricreativi e didattici delle superfici forestali;
- Prevenzione degli incendi anche attraverso il coinvolgimento responsabile degli agricoltori e la promozione di difese attive e pascolamento guidato.

Particolare attenzione andrà riservata agli impegni relativi alla riduzione delle emissioni di anidride carbonica, previsti sempre dal Protocollo di Kyoto; la creazione di "carbon sink" non dovrà comportare problemi alla tutela della biodiversità vegetale, né dovrà costituire alibi rispetto alla riduzione delle emissioni di anidride carbonica, né dovrà costituire un alibi ai tentativi di diminuire gli obiettivi di riduzione ma dovrà rappresentare un'occasione per aumentare il patrimonio boschivo." (DPAF, 2001-2003)

E' evidente come nel DPAF la notevole considerazione data alla costituzione di nuovi impianti forestali, siano essi nuovi boschi o impianti di arboricoltura da legno, non solo

come strumento per la creazione di depositi di CO₂ ma come opportunità concrete per accrescere il nostro patrimonio boschivo.

“A seguito del protocollo di Kyoto del '97 l'UE ha individuato nell'incremento dell'utilizzazione delle fonti d'energia rinnovabili il principale strumento di riduzione delle emissioni inquinanti. Le biomasse assumono un ruolo fondamentale per il raggiungimento dell'obiettivo del raddoppio del contributo delle rinnovabili al 2008-2012, come stabilito anche dal CIPE nel 1999.

L'agricoltura costituisce il principale interlocutore per la sua potenzialità produttiva sia in termini di utilizzazione dei residui di produzione sia poiché direttamente coinvolta nella produzione di biomasse e ciò anche considerando che nello stesso periodo si prevede un aumento delle superfici non coltivate nell'UE e nel nostro Paese prossimo al 20% del totale. Tuttavia il problema del differenziale di costo tra combustibili di origine vegetale e di origine fossile costituisce il principale freno allo sviluppo di questo settore.

Occorre incentivare la collaborazione tra settore primario e quello petrolifero e predisporre incentivi per stimolare una nuova domanda anche all'interno dello stesso settore agricolo.” (DPAF, 2001-2003)

Il settore primario è ritenuto molto importante per le politiche energetiche, in particolare, per la capacità di produrre energia rinnovabile da biomasse, proprio nell'ottica più generale di una sostenibilità dello sviluppo.

Il D.Lgs. n. 227 del 18 maggio 2001, che introduce le norme di “orientamento e modernizzazione del settore forestale” conseguenti alla legge n. 57 del 5 maggio 2001, definisce per la prima volta in una norma nazionale l'arboricoltura da legno. Infatti, all'art. 2 si definisce l'arboricoltura da legno come “...la coltivazione di alberi, in terreni non boscati, finalizzata esclusivamente alla produzione di legno e biomassa. La coltivazione è reversibile al termine del ciclo colturale.” Nello stesso articolo sono equiparati i termini bosco, selva e foresta e si stabiliscono alcuni criteri ai quali ogni Regione deve attenersi per identificare e definire chiaramente il bosco.

3.3. Lo sviluppo sostenibile e la Politica Agricola Comune (PAC)

A livello internazionale la Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo del 1992, ha approvato alcune convenzioni giuridicamente vincolanti che direttamente od

indirettamente si occupano dello sviluppo sostenibile nelle attività agro-forestali, in particolare la Convenzione sulla Diversità Biologica (UN Convention on Biological Diversity), la Convenzione sulla Desertificazione (UN Convention to Combat Desertification) e la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UN Framework Convention on Climate Change).

In quanto attività economiche, l'agricoltura e la selvicoltura sono orientate alla produzione ed esercitano sull'ambiente una pressione direttamente correlata alle necessarie disponibilità e all'uso delle risorse naturali. Lo sviluppo tecnologico e le strategie commerciali, volte a massimizzare i profitti e a minimizzare i costi, hanno determinato una notevole intensificazione dell'agricoltura. Anche in agricoltura ed in selvicoltura è nata l'esigenza, come nelle altre attività umane, di applicare i principi dell'economia ecologia e dello sviluppo sostenibile. Ciò comporta la conservazione sia di un equilibrio generale con l'ambiente sia delle risorse e del capitale naturale. Inoltre, la gestione delle risorse naturali deve garantire la durata nel tempo dei benefici; per realizzare questo l'attività agro-forestale non può rinunciare all'integrazione delle questioni ambientali. Una definizione più ampia di sostenibilità in agricoltura deve contemplare un corretto uso del capitale terra, la protezione degli spazi naturali, degli habitat e della biodiversità, e la gestione e lo smaltimento di prodotti, rifiuti ed inquinanti legati a quest'attività economica. Ad esempio, l'uso eccessivo di antiparassitari e di fertilizzanti, pratiche inadatte di bonifica od irrigazione, come pure un altro grado di meccanizzazione o un utilizzo improprio della terra, possono portare al degrado ambientale.

Per garantire uno sviluppo sostenibile, l'UE ha messo in atto azioni politiche volte all'integrazione delle problematiche ambientali e allo sviluppo di pratiche agricole che consentano la conservazione dell'ambiente e la salvaguardia del paesaggio. Per questo sono state adottate una serie di modifiche alla Politica Agricola Comune (PAC) volte a migliorare la sostenibilità degli ecosistemi agricoli. Per l'integrazione nella PAC delle problematiche ambientali, le misure adottate comprendono requisiti di tipo ambientale (condizionalità), incentivi inseriti nella politica di mercato e dei redditi e finalizzate misure ambientali nel quadro dei programmi di sviluppo rurale.

A partire dall'agenda 2000, la politica agricola comune è fondata su due pilastri: l'orientamento al mercato e ai redditi ("primo pilastro") e lo sviluppo sostenibile delle zone rurali ("secondo pilastro"). La riforma della PAC del 2003 ha imposto un salto di qualità

all'integrazione ambientale mediante l'adozione di misure nuove o modificate per la promozione della tutela dell'ambiente agricolo in entrambi i pilastri.

Con la riforma del 2000 si introduce il principio di condizionalità che stabilisce la necessità per gli agricoltori del rispetto di requisiti di protezione ambientali per poter accedere alle misure di sostegno del mercato. La condizionalità, che costituisce lo strumento principale della politica di mercato e dei redditi, viene reso obbligatorio con la riforma del 2003.

La riforma della PAC del 2003 introduce il disaccoppiamento della maggior parte degli aiuti diretti dalla produzione. A partire dal 2007, sarà adottato un regime di pagamento unico basato sugli importi storici di riferimento; questo comporterà una riduzione di molti incentivi accordati alla produzione intensiva, ritenuti all'origine dell'aumento dei rischi ambientali.

Il rispetto di requisiti ambientali minimi costituisce una delle condizioni essenziali per beneficiare di aiuti nel quadro di diverse misure di sviluppo rurale, come investimenti nelle aziende agricole, insediamento di giovani agricoltori, trasformazione e commercializzazione dei prodotti agricoli. Inoltre, solo un impegno in senso ambientale al di sopra del livello di riferimento delle buone pratiche agricole (BPA) consente di accedere ai pagamenti agroambientali. Le BPA dovrebbero corrispondere alle normali pratiche agricole che un agricoltore dotato di buon senso adotterebbe in una determinata regione agraria. Questo comporta l'ottemperanza delle vigenti norme obbligatorie in materia ambientale. Infatti, le BPA prevedono il rispetto delle disposizioni della direttiva sui nitrati e l'uso di prodotti fitosanitari; anche per ottenere il sostegno offerto alle zone svantaggiate è necessario rispettare le prescrizioni delle BPA.

Qualora l'intera comunità richieda agli agricoltori il conseguimento di obiettivi di protezione dell'ambiente, che rendano necessario il superamento del livello di riferimento delle buone pratiche agricole con conseguenti costi o riduzioni di reddito, si dovrà contribuire ai servizi ambientali forniti per mezzo delle misure agroambientali.

Gli agricoltori che si impegneranno, per un periodo minimo di cinque anni, ad adottare tecniche agricole rispettose dell'ambiente che vadano oltre le consuete BPA, riceveranno in cambio aiuti a titolo di compensazione dei costi supplementari e delle perdite di reddito, dovute alla modificazione delle pratiche agricole. Esempi di impegni previsti da regimi agroambientali sono:

- estensivizzazione agricola rispettosa dell'ambiente;

- gestione dei sistemi di pascoli a scarsa intensità;
- gestione integrata delle aziende agricole ed agricoltura biologica;
- tutela del paesaggio e di elementi caratteristici forgiati dal tempo quali siepi, fossi e boschi;
- salvaguardia degli habitat di alto valore naturale e della relativa biodiversità.

Per quanto riguarda il rapporto fra le attività agricole e i cambiamenti climatici in atto, l'agricoltura è responsabile di circa il 10% delle emissioni di gas a effetto serra nell'UE. Contemporaneamente, è riconosciuta all'agricoltura la possibilità di contribuire a fornire soluzioni alle sfide dell'UE in materia di cambiamento climatico. Il Programma europeo per il cambiamento climatico lanciato nel marzo 2000, European Climate Change Program (ECCP), contiene i piani attinenti le modalità con le quali l'UE manterrà gli impegni assunti nel protocollo di Kyoto nella riduzione delle emissioni di gas a effetto serra o Greenhouse Gas (GHG) dell'8% entro il 2012. Tre sono le principali fonti di emissioni GHG causate dall'agricoltura:

- emissioni di ossido di azoto (N_2O) dal suolo, ascrivibili principalmente all'utilizzo di concimi azotati;
- emissioni di metano (CH_4) dovute alla fermentazione enterica, il 41% di tutte le emissioni di CH_4 nell'UE proviene dal settore agricolo;
- emissioni di CH_4 e di N_2O dovute al trattamento del letame.

I gruppi di lavoro ECCP sull'agricoltura e sui cosiddetti “carbon sinks”, o “serbatoi di carbonio” (connessi ai terreni agricoli e alla selvicoltura) hanno individuato gli strumenti più efficaci per affrontare i problemi dei GHG nel settore agricolo nonché le modalità con cui l'agricoltura potrebbe incidere positivamente sul problema del cambio climatico. Essi hanno preso in esame misure suscettibili di ridurre i gas a effetto serra, i loro effetti collaterali per l'ambiente e il potenziale impatto a livello socioeconomico. Oltre a riconoscere le potenzialità di cattura del carbonio da parte dei terreni agricoli si ipotizza lo sviluppo della biomassa agricola e rinnovabile che potrebbe contribuire a ridurre le emissioni causate dall'energia e dai trasporti. Le colture energetiche sono attualmente prodotte su terreni ritirati dalla produzione, ma si è ritenuto necessario ricorrere a misure supplementari; la riforma della PAC del 2003 ha introdotto un sistema di “credito energetico” che offre incentivi finanziari agli agricoltori affinché producano biomassa.

Per quanto riguarda la selvicoltura, l'UE pratica una politica di sostegno alla conversione dei terreni agricoli in zone boschive e si propone di mantenere la stabilità ecologica dei boschi e la ricostituzione di quelli danneggiati. La selvicoltura, se correttamente gestita, può avere un impatto significativo e positivo sul paesaggio naturale e sulla biodiversità. I boschi contribuiscono anche a controbilanciare l'effetto serra e la minaccia del surriscaldamento del pianeta. La gestione delle foreste costituisce inoltre una fonte alternativa di reddito e di occupazione per le zone rurali, soprattutto nelle terre più marginali. La PAC concede incentivi finanziari agli agricoltori che convertono i terreni agricoli in zone boschive. La PAC sostiene anche il miglioramento dello stato delle foreste, l'attuazione di misure di tutela contro gli incendi boschivi e la costituzione di barriere frangivento (importanti nel contrastare l'erosione del suolo).

Nell'ambito della revisione di medio termine della PAC, inoltre, il Reg. (CE) 1782/2003 introduce significative novità su questa materia. L'UE ha concesso un credito di 45 € ha⁻¹ a⁻¹, su una superficie massima di 1,5 M ha, alle superfici seminate a colture destinate alla produzione dei seguenti prodotti energetici:

- biocarburanti;
- energia termica ed elettrica ricavata dalle biomasse.

Anche riguardo tali produzioni gli agricoltori, per beneficiari dell'aiuto, sono tenuti a rispettare i criteri di gestione obbligatori e a mantenere la terra in buone condizioni agronomiche e ambientali. L'aiuto sarà corrisposto ai produttori che stipulano un contratto con l'industria di trasformazione o che effettuano tale trasformazione nella propria azienda. Benché tale regolamento incentivi la produzione di biomassa energetica, è evidente come l'importo del premio stabilito nel regolamento non sia ancora sufficiente a modificare in modo sostanziale la scarsa convenienza per l'agricoltore a investire nel settore non alimentare. Tuttavia, la produzione di biomassa a fini energetici potrebbe divenire più conveniente a causa dell'aumento del prezzo del petrolio e delle modifiche introdotte nella PAC; il rafforzamento del processo di disaccoppiamento del sostegno dalla produzione realizzata dagli agricoltori, infatti, porterà le imprese agricole a riconsiderare le proprie scelte produttive, inserendo nuovi tipi di colture, tra le quali potranno figurare le biomasse. Già nell'attuale fase di programmazione, in numerosi PSR (Piani di Sviluppo Rurale), DocUP e POR predisposti da regioni e province autonome, sono previste misure a sostegno delle fonti energetiche rinnovabili. In particolare, nell'ambito dei PSR, gli interventi

previsti, anche quando riguardano le biomasse, come nel caso dell'imboschimento delle superfici agricole, solo a volte contemplano l'utilizzazione del legname a fini energetici; comunque il sostegno non varia in funzione degli obiettivi perseguiti, comprendendo sempre gli aiuti all'impianto, il premio per la manutenzione e i finanziamenti per il mancato reddito. Nell'ambito dei DocUP e dei POR, invece, la maggior parte delle regioni prevede l'attuazione di misure volte allo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili, che si concretizzano in aiuti per investimenti finalizzati alla creazione di impianti di combustione a biomassa.

Capitolo 4. La filiera del legno per uso energetico

4.1. Gli utilizzatori e le fonti energetiche della filiera

La filiera delle biomasse legnose è caratterizzata da problemi di notevole complessità. Esistono molti tipi di materiali e molte tipologie di consumatori che entrano in questa filiera. Gli utilizzatori, infatti, secondo l'impiego del materiale legnoso e della loro dislocazione sul territorio, sono disposti a sborsare una diversa somma in denaro per acquistare legno. Questi si distinguono:

- tradizionali, che consumano legna da ardere in aree rurali e che possono spesso ricorrere a forme di autoproduzione;
- in aree urbane o nelle seconde case in zone turistiche, generalmente, hanno una più alta disponibilità di reddito e comunque una più alta propensione a spendere per acquistare legno;
- imprese che consumano legna da ardere in attività connesse alla ristorazione;
- industrie del legno, comprese quelle che utilizzano i sottoprodotti e gli scarti di lavorazione del legno;
- centrali che producono energia e/o calore impiegando diverse tipologie di biomassa.

Per questi motivi pochi materiali sono effettivamente utili per la produzione di calore ed energia elettrica nelle centrali. Vanno quindi esclusi alcuni materiali, in particolare, la legna derivante dal taglio dei boschi che sul mercato spunta un prezzo più alto.

Quindi, oltre ai residui industriali, le fonti di approvvigionamento di un ipotetico combustibile vegetale sono essenzialmente tre:

- piante di scarso valore, derivanti dal primo diradamento delle piantagioni di conifere e dallo sgombero dei materiali fluviali;
- ramaglie ed apparati radicali. Le prime costituiscono lo scarto delle utilizzazioni forestali convenzionali, dove rappresentano mediamente un 20-25% del volume totale. A queste si aggiungono le ramaglie derivate dalla potatura di altre colture arboree: piantagioni forestali, colture agrarie e alberature stradali. Le radici si

ottengono dal taglio finale delle piantagioni artificiali soprattutto quando occorre rimettere il terreno in coltura;

- materiale derivante dall'utilizzazione di piantagioni artificiali appositamente costituite. Si tratta di piantagioni intensive con alta densità d'impianto governate a ceduo e tagliate ogni 2-5 anni, le cosiddette Short Rotation Forestry (SRF).

4.2. Definizione di cippato

Per cippato si intende il materiale che è ottenuto da un semplice processo di riduzione del materiale legnoso, chiamato sminuzzatura o cippatura, in elementi di piccole dimensioni, di vario tipo e forma (particelle o chips), tramite un'azione meccanica di taglio.

4.3. Usi alternativi del cippato

Il cippato trova i seguenti impieghi alternativi:

1. produzione di pannelli di particella o di fibre. Il cippato prodotto è idoneo anche se suscettibile a raffinatura e vagliatura, ad un'immissione diretta nel processo produttivo di questi pannelli. Le aziende del settore sono talvolta restie a ritirare il cippato prodotto all'esterno prevalentemente per motivi di carattere tecnico organizzativo e commerciale così sintetizzabili:
 - a. le particelle di legno sono soggette a processi di biodegradazione più intensi rispetto al tondame;
 - b. la qualità del cippato, al momento dell'acquisto, è più difficilmente controllabile e sono richieste apposite attrezzature per la sua movimentazione;
 - c. la stagionalità del mercato e le oscillazioni dei prezzi inducono gli operatori industriali a mantenere l'approvvigionamento del legname preferibilmente sotto forma di tronchetti, che permettono una più agevole gestione delle scorte sul piazzale;
2. produzione di carta. La possibilità d'impiego nel settore dell'industria cartaria si riduce al cippato prodotto senza corteccia. Inoltre, poiché i parametri del processo

di produzione della carta sono regolati in base alle caratteristiche chimico-meccaniche di una determinata specie legnosa o di suoi genotipi, l'attitudine di questa al processo di trasformazione deve essere alta;

3. uso combustibile. Le caratteristiche fondamentali da considerare nell'impiego del legno a fini energetici sono, in ordine d'importanza, le seguenti:
 - a. l'umidità del materiale, che anche per gli impianti sviluppati per cippato umido non deve superare l'80-100 % del peso secco;
 - b. le dimensioni delle particelle, devono essere omogenee e compatibili con il sistema di alimentazione della centrale termica (dimensioni standard 40 x 20 x 10 mm);
 - c. la specie legnosa, da cui dipendono alcune caratteristiche della materia prima molto importanti ai fini energetici, quali la massa volumica e la presenza di estrattivi antiossidanti, resine, ecc. Quasi tutte le specie possono essere utilizzate per la produzione di particelle di legname.

4.4. Caratteristiche del cippato

Per un proficuo impiego del cippato come combustibile, non è sufficiente individuare la specie legnosa e stabilire il contenuto di umidità, ma bisogna anche tenere conto delle caratteristiche particolari di questo assortimento che non si riscontrano nel legname tondo.

La composizione indica quale provenienza ha il materiale legnoso, di quale specie si tratta e quali porzioni di albero sono state utilizzate.

Per quanto riguarda il legno prodotto nelle piantagioni o in bosco il cippato si può presentare sotto tre forme:

- cippato bianco, derivante dalla sminuzzatura di solo legno, in altre parole di fusti o tronchetti preventivamente scortecciati;
- cippato marrone o con corteccia, presentante un colore più scuro del precedente e, a parità di altre condizioni, una massa volumica leggermente superiore poiché la corteccia si frantuma in particelle di dimensioni più piccole e riempie parte degli interstizi fra le particelle dando origine ad un cumulo più compatto;

- cippato verde, contenente anche fogliame, ottenuto dalla riduzione in chips di piante intere o di porzioni di chioma.

Il cippato è suddiviso in base alla sua lunghezza media in classi dimensionali. La granulometria del cippato, e ancora più la sua omogeneità, sono importanti ai fini dell'idoneità all'impiego negli impianti di riscaldamento automatici, in quanto particelle di dimensione e forma diversa possono causare inconvenienti al funzionamento del sistema di alimentazione della caldaia. Si parla di:

- cippato fine, quando le particelle hanno lunghezza media pari a 10-20 mm;
- cippato grossolano, per particelle di dimensioni pari a 50-70 mm.

Le dimensioni ottimali per gli impianti termici ad alimentazione automatica sono le seguenti:

- dimensione media: 40 x 20 x 10 mm (tolleranza 20%);
- dimensione massima 80 mm (1% delle particelle fino a 220 mm);
- particelle minute pari, al massimo, al 5%.

Le dimensioni delle particelle, determinate dal tipo di cippatura e dallo strumento utilizzato influiscono sulla densità del materiale e sul tempo di essiccazione.

La massa volumica, espressa in Kg m^{-3} o g cm^{-3} , indica la massa dell'unità di volume apparente del cippato, ove il volume è costituito da quello delle singole particelle legnose e dagli spazi vuoti tra esse. La massa volumica apparente dipende sia dalla massa volumica delle particelle sia dalle loro dimensioni, le quali influenzano il grado di costipazione del cumulo. Per legname fresco di taglio, la densità del cippato ottenuto può variare fra 150-200 e 350-450 Kg m^{-3} . I valori inferiori si riscontrano nel caso di specie a legno tenero come il pioppo e di particelle di grandi dimensioni. La densità varia anche in funzione dell'umidità del materiale legnoso, con l'aumentare di questa si ha un innalzamento della massa volumica apparente.

L'umidità del cippato con la specie legnosa ed influisce sul potere calorifico e la conservazione del materiale legnoso.

La caratteristica principale di un combustibile è il suo potere calorifico che rappresenta la quantità di calore sviluppata nella reazione di combustione in condizioni standard predefinite. In genere è misurato in Kcal kg^{-1} per i solidi e i liquidi, mentre per i gas si esprime con Kcal m^{-3} . Nella maggior parte dei combustibili, che contengono idrogeno, si distingue un potere calorifico superiore (che include il calore di condensazione del vapore

acqueo che si forma nella combustione) e un potere calorifico inferiore (che non considera tale calore). I combustibili utilizzati comunemente hanno p.c.i. molto variabile (tabella 3).

Il potere calorifico inferiore (p.c.i.) del legno esprime la quantità di calore che si sviluppa con la combustione completa di un Kg, considerando l'acqua allo stato di vapore a 100 °C, cioè la sola quota parte di calore effettivamente utilizzabile nei normali impianti di riscaldamento. Il p.c.i. è influenzato principalmente dall'umidità del legno dalla specie botanica. Il potere calorifico di una specie legnosa dipende dal suo contenuto in lignina (6000 Kcal Kg⁻¹), in cellulosa (4000 Kcal Kg⁻¹) e resina. Le varie specie legnose hanno generalmente un potere calorifico compreso tra le 2500 e le 4500 Kcal Kg⁻¹. Nelle conifere si hanno valori leggermente più alti che nelle latifoglie (tabella 2). Mediamente 1 Kg di s.s. di cippato di legna ha un p.c.i. di 4000 Kcal. Riferendosi al volume del legno, poiché 1 m³ di cippato fornisce circa 600-900 Mcal, in base al tipo di specie da cui deriva e secondo le condizioni di umidità, si può affermare che 1 m³ di gasolio ha un p.c.i. equivalente a quello di 12-16 m³ di cippato.

Il cippato, come detto, non si trova normalmente allo stato anidro, ma ha un contenuto di umidità variabile. Anche la quota di corteccia ha la sua influenza, perché il potere calorifico di questa parte vegetale è molto basso; un'elevata percentuale di corteccia ha l'effetto di deprimere il potere calorifico totale di una massa. Per i materiali come il cippato, caratterizzati da una forte variabilità potenziale di composizione, si fa riferimento al contenuto energetico (CE) ricavato dal p.c.i. con una formula correttiva che tiene conto dell'umidità della massa, espressa come percentuale sul tal quale:

$$CE = p.c.i. * (100 - U\%) / (100 - 0,025 * U\%)$$

Secondo questa formula, il CE del cippato, diminuisce all'aumentare dell'umidità espressa in percentuale. Quando l'umidità del cippato è del 50%, il suo CE diminuisce di circa il 23%, rispetto a quello riscontrato con umidità del 20%.

Le variazioni di contenuto energetico per unità di volume in funzione dell'umidità sono più contenute, rispetto a quelle riferite all'unità di peso. Anche per questo motivo il cippato di legno dovrebbe essere commercializzato a volume invece che a peso. Infatti, in 1 m³ di

cippato di legno con umidità del 50% si ha una variazione del CE solo del 4% rispetto a quello riscontrato con il cippato, con contenuto di umidità del 20%.

Tabella 2. Valori di potere calorifico inferiore del legno al 12-15% di umidità allo stato anidro

p.c.i.	Kcal Kg⁻¹
Conifere	3800
Latifoglie	3600
Medio generale	3700
Fonte: Atti del seminario “Approvvigionamento e gestione degli impianti termici alimentati a cippato di legno”	

Tabella 3. Potere calorifico inferiore dei principali combustibili

Combustibile	p.c.i. (Kcal kg⁻¹ - Kcal m⁻³)
Legna da ardere	2500 - 4500
Torba	3000 - 4500
Carbone di legna	7500
Lignite	4000 - 6200
Litantrace	6800 - 9000
Antracite	8000 - 8500
Coke	7000
Olio combustibile	9800
Combustibile per aerei	10400
Gasolio	10200
Benzina per auto	10500
Petrolio grezzo	10000
Gas di petrolio liquefatti	11000
Gas naturale	8300
Gas tecnico di cokeria	4300
Gas tecnico di altoforno	900
Fonte: www.utenti.lycos.it/unita di misura/temp-cal.htm	

4.5. Le tecnologie energetiche

Una trattazione generica sull'uso energetico delle biomasse dovrebbe prendere in esame le tecnologie energetiche che la utilizzano.

Tra i principali fruitori delle biomasse possono essere ricordati le centinaia di migliaia di possessori di apparecchi domestici di combustione, caminetti, stufe e termocucine, che utilizzano il legno in tronchetti come combustibile di riferimento. Tali apparecchi presentano notoriamente una scarsa efficienza termica. Negli ultimi anni ci sono state

importanti innovazioni nell'ambito del riscaldamento domestico dovuti all'immissione sul mercato di piccoli impianti continui (5-10 KW) che utilizzano materiale granulare di piccole dimensioni, in forma di pellets, ottenibile da molte tipologie di biomassa. I pellets presentano caratteristiche di ottima combustione e facilità di movimentazione automatica, dovute al basso contenuto di umidità e al fatto di essere ottenuti per compressione di biomasse in origine già fini o preventivamente macinate.

Nelle domande termiche maggiori, quindi negli impianti termici centralizzati o anche per unità immobiliari di una certa volumetria (> 30 KW), si passa alla tecnologia di combustione della biomassa legnosa in pezzatura fine, ovvero con cippato.

Il cippato può essere movimentato meccanicamente come un fluido soltanto se la sua composizione rispetta protocolli codificati in termini di dimensione. Tale proprietà consente la realizzazione di impianti completamente automatici, del tutto competitivi in termini di prestazione e di regolarità di funzionamento, rispetto a quelli alimentati con combustibili fossili.

Sono state realizzate caldaie di potenziale pari o maggiore a 4-5 MW termici. I grandi impianti a cippato possono provvedere alla produzione contemporanea di energia termica ed elettrica. Nella produzione termoelettrica in cogenerazione si provvede, mediante le caldaie, a riscaldare un fluido ad alta temperatura. Il contenuto energetico è inizialmente utilizzato, con una contemporanea perdita di temperatura e pressione, per produrre energia elettrica in una turbina. Il fluido riscaldato cede successivamente la sua parte utile di calore ad un circuito chiuso di utilizzazione termica, ad esempio una rete di teleriscaldamento, e poi ritorna in caldaia.

Gli impianti a cippato non possono utilizzare tutti i tipi di biomassa, ma solo quelli che possono essere ridotti a particelle movimentabili con rastrelli, nastri trasportatori, viti senza fine ed apparecchiature similari.

4.6. Le centrali a biomasse di media potenza elettrica

Esistono due famiglie di centrali a biomasse per fini energetici:

- le centrali dedicate;
- le centrali di servizi.

Le centrali dedicate possono trasformare due tipologie di prodotti:

- residuale, o secondario, da processi agroindustriali come nel caso delle sanse, delle vinacce, della pollina;
- dalle produzioni principali o dedicate, come la biomassa legnosa prodotta in impianti di arboricoltura per la produzione del legname.

Le centrali possono essere costruite fisicamente al centro di grandi bacini territoriali nei quali esistono gli impianti. Generalmente però gli impianti sorgono sempre a valle di un sistema produttivo.

Le centrali di servizio nascono dopo che si è individuato un sistema produttivo a monte, determinando un bacino territoriale che produca un'eccedenza di biomassa; questa è molto eterogenea ed è dispersa su tutto il territorio.

Nelle centrali dedicate la biomassa è un combustibile omogeneo. Tale fatto facilita l'ottimizzazione dei processi di combustione, sia a livello di investimenti iniziali che nei costi di gestione della centrale, garantendo un notevole risparmio. Altro grosso vantaggio è l'alta concentrazione di legname che facilita l'approvvigionamento del materiale. Uno svantaggio è dato dalla rarità delle grandi produzioni di biomassa, perché il rendimento economico dei produttori agricoli è ancora troppo basso rispetto alle possibili colture alternative.

I vantaggi delle centrali di servizio invece sono rappresentati da un mercato della biomassa con molti referenti e dalla possibilità di utilizzo di certi tipi di biomasse poco appetibili dal mercato, anche per questo poco costose. I problemi delle centrali di servizio, che rispecchiano i pregi delle centrali dedicate, sono quelli dovuti alla scarsa efficienza della combustione che, per essere mantenuta più alta possibile, ha bisogno di una continua manutenzione, anche per mantenere nei limiti le emissioni dei gas in atmosfera; questo rappresenta un notevole aumento dei costi di esercizio della centrale. Inoltre, il materiale è disperso e quindi l'organizzazione del sistema di raccolta deve garantire una continuità di approvvigionamento del prodotto ad un costo accettabile. Se ne deduce che le centrali possono essere realizzate vantaggiosamente solo dove, oltre ad un'elevata quantità di biomasse, esistano anche delle notevoli infrastrutture (porti, ferrovie, strade, ecc.). Le centrali di servizio, necessitano di una forte integrazione con il territorio rispetto alle centrali dedicate.

Le centrali elettriche possono avere varie dimensioni; comunque le centrali alimentate a biomassa, hanno potenze che non superano i 20-25 MWe. Questi valori, confrontati con le potenze delle centrali elettriche tradizionali che mediamente sono di 100 MWe, pongono un serio interrogativo sul potenziale utilizzo delle centrali elettriche a biomassa nella realtà italiana. Un esempio è dato dalla centrale di Forlimpopoli che ha una potenza di 22 MWe esige una quantità di biomasse ligno-cellulosiche pari a 210000 tonnellate l'anno. Il che significa che entrano nella centrale 55 camion il giorno con un carico unitario di 15-20 t di biomassa. L'ambito territoriale è quello dell'Emilia Romagna, in particolare, le province di Forlì, Ravenna, Rimini ma anche Ferrara e Bologna.

4.7. Gli impianti di teleriscaldamento

Il teleriscaldamento consiste nella distribuzione del calore prodotto da una o più centrali termiche con una rete di distribuzione che fornisce calore per il riscaldamento o per l'acqua, ad ogni singola utenza, tramite degli scambiatori installati lungo tutta la rete.

Tale tecnica può servire per il riscaldamento, o la produzione di acqua calda, sia in ambito domestico che a livello imprenditoriale, nel settore agricolo o industriale.

Esistono diversi sistemi:

- impianti la cui produzione del calore è accoppiata alla produzione di energia elettrica;
- impianti più modesti con caldaie che producono calore e alimentano una rete di teleriscaldamento.

Nel primo caso si ha un notevole risparmio energetico che va sotto il nome di cogenerazione. Questa tecnica sfrutta le necessarie acque di raffreddamento degli impianti delle centrali elettriche di qualsiasi tipo per produrre calore.

L'altro sistema fa impegnare le biomasse ligno-cellulosiche per l'ottenimento di calore su piccola scala e per piccola utenza. Tale sistema può sfruttare piccole centrali a biomasse molto più facilmente realizzabili e gestibili, anche economicamente, ottenendo in cambio grossi vantaggi di miglioramento dell'efficienza dello sfruttamento dell'energia contenuta nel materiale legnoso.

Si ricorda che impianti di questo tipo già esistono a livello di utenze familiari, ad esempio i camini e le stufe. Tali impianti hanno un rendimento molto basso che si aggira per i primi nell'ordine del 15%, mentre per le stufe è del 60%. Con le nuove centrali termiche, l'efficienza sale a percentuali dell'80%, con punte del 90%.

In Italia esistono notevoli esempi di tali impianti che utilizzano il teleriscaldamento come progetti pilota, soprattutto in edifici pubblici, o come vere e proprie applicazioni, generalmente in piccoli comuni di montagna. Queste piccole centrali termiche sono dislocate nelle Regioni del Nord dell'Italia, in particolare in Trentino Alto Adige, in Valle d'Aosta ed in Piemonte.

Capitolo 5. Piantagioni a breve rotazione

5.1. Generalità

La filiera della produzione della biomassa si attua secondo questa sequenza:

- scelta della specie;
- lavorazione del terreno e cure colturali;
- raccolta;
- stoccaggio;
- ripristino del terreno.

Le specie arboree che in Italia sono considerate utili per questo tipo di produzioni, sono i pioppi e i salici nelle pianure del nord e del centro, gli eucalitti nel centro sud e la robinia nei terreni collinari. La scelta della specie andrà effettuata tenendo conto delle caratteristiche pedo-climatiche della stazione. Per usufruire dei finanziamenti nei Piani di Sviluppo Rurale (PSR) sono indicate in dettaglio le specie utilizzabili per ogni determinato ambiente. I progetti per tali impianti devono essere approvati da organi competenti e collaudati da professionisti.

Per il pioppo e per il salice i terreni tradizionalmente vocati sono quelli pianeggianti e le golene dei grandi fiumi, in particolare quella del Po. Per il pioppo sono da prediligere terreni freschi, profondi e ben drenati, con contenuto di limo e argilla inferiore al 50% e pH compreso tra 5,5 e 7,5. Sono da evitare terreni torbosi e calcarei. Il salice può essere utilizzato anche su terreni più pesanti e sopporta molto bene falde freatiche alte e periodi di sommersione.

Gli eucalitti prediligono terreni a buona fertilità, in particolare, *E. globulus* è più esigente mentre l'*E. camaldulensis* si adatta a terreni più poveri, per sua maggiore plasticità ambientale.

La robinia (*R. pseudoacacia*) vegeta bene su un'ampia varietà di terreni e pur preferendo terreni permeabili, silicei e freschi, si adatta anche ai terreni calcarei.

Per i pioppi come per il salice, bassi costi d'impianto e semplicità operativa sono assicurati dalla possibilità di utilizzare per l'impianto talee legnose; in generale, la buona capacità di attecchimento e l'elevata maneggevolezza facilita la meccanizzazione.

Alcune sperimentazioni, in particolare quella svolta dall'ENEL-CRAM, ha ipotizzato densità di impianto di 7140 e 5710 piante ha⁻¹ con distanze di 2 x 0,7 m e 2,5 x 0,7 m rispettivamente. I cloni di pioppo utilizzati sono stati il "Villafranca" per *P. alba*, il "Lux" per *P. deltoides* e i cloni "Luisa Avanzo", "Cima", e "BL Costanzo" per l'ibrido *P. x euramericana*. Come si può notare sono stati utilizzati dei cloni iscritti al Registro Nazionale dei Cloni Forestali, caratterizzati da rapido accrescimento nel periodo giovanile e utilizzati in piantagioni tradizionali per la produzione di assortimenti di pregio. Ci sono state grosse differenze fra i cloni, in termini di biomassa secca prodotta alla fine dei due anni previsti della piantagione. Il "Lux" ha ottenuto il miglior risultato con circa 15,5 t ha⁻¹ mentre il peggiore è stato il "Villafranca" con 8,2 t ha⁻¹. Le produzioni si sono assestate al disotto della soglia di convenienza economica. Per ottenere produzioni economicamente vantaggiose, si sarebbero dovuti raggiungere alla raccolta valori di biomassa di 20-22 t ha⁻¹ (ENEL-CRAM, 1997).

Al contrario di altri tipi di biomasse legnose, per le quali il costo di utilizzazione comprende prevalentemente la raccolta e il trasporto (residui di prima e seconda lavorazione del legno, ramaglia di pioppeti e frutteti), le biomasse provenienti da piantagioni a turno breve in coltura specializzata si confrontano con i costi dell'intero ciclo produttivo. Obiettivo prioritario deve essere l'aumento della redditività per unità di prodotto; questo può essere ottenuto attraverso l'aumento delle produzioni e il contenimento dei costi.

Risulta necessaria un'ulteriore sperimentazione, procedendo anche al monitoraggio degli impianti realizzati per queste produzioni. E' necessario individuare e selezionare i migliori cloni e razionalizzare le tecniche d'impianto. Gli attuali indirizzi prevedono di adottare elevate densità d'impianto, tra le 8000 e le 15000 piante per ettaro. Attualmente queste tipologie produttive risultano competitive soltanto con l'aiuto dei sussidi. Solo l'adozione di un elevato livello di meccanizzazione su ampie superfici agricole potrebbe portare a rendimenti competitivi con gli investimenti alternativi nel settore agricolo. Il turno previsto per la raccolta per un ceduo di 10000 piante ha⁻¹ è di 2-3 anni, ripetendo questo ciclo per 6 volte prima dell'espianto.

La preparazione del terreno per l'impianto è simile a quella adottata per il mais; aratura a media profondità seguita da una sminuzzatura con erpice o fresa. Tra le tecniche di coltivazione è fondamentale il diserbo chimico post-impianto o in pre-emergenza con

composti antigerminello, in modo tale da evitare la competizione delle infestanti nei primi mesi dopo l'impianto o la ceduzione; un eventuale successivo intervento di controllo può essere affidato a lavorazioni meccaniche tra le interfila. Negli anni successivi l'ombreggiamento delle chiome è sufficiente a contenere le malerbe.

La fertilizzazione, sporadicamente effettuata nelle piantagioni a turno normale (pioppeti), è indispensabile nelle piantagioni per biomassa per compensare le perdite di nutrienti derivate dalla frequente asportazione di biomasse nettamente più ricche di minerali, rispetto a piante di maggiori dimensioni nelle quali il legno prevale nettamente su cortecce e ramaglie. Va ricordato che le piantagioni a breve rotazione potrebbero smaltire gran parte delle deiezioni animali dei grandi allevamenti zootecnici utilizzandole come concime. Le deiezioni sono un aggravio di spesa per le aziende zootecniche per il loro difficile smaltimento.

Le malattie crittogamiche e virali devono essere prevenute tramite la scelta di un adeguato materiale d'impianto, prevedendo una coltivazione senza l'uso di prodotti chimici, riducendo costi e migliorando l'impatto di queste colture sull'ambiente. Elevato sembra il rischio dovuto agli insetti dannosi, polifagi e particolarmente attivi su materiale perennemente giovane. Si temono in particolare il coleottero defogliatore *Melasma populi* e il curculionide *Cryptorhynchus laphati*. Questi, se non adeguatamente controllati, possono provocare gravi danni alle colture da biomassa e rappresentare pericolosi focolai d'infezione. La difesa fitosanitaria presenta complessivamente gravi problemi tecnici legati alla densità d'impianto.

Il principale problema tecnico è quello dell'utilizzazione del materiale, soprattutto per quello destinato alla produzione di energia elettrica; essendo legato alla stagionalità delle operazioni di taglio, si possono creare problemi rispetto al consumo nelle centrali, per il mancato approvvigionamento continuo durante l'arco dell'anno.

La raccolta del materiale può essere eseguita con due diversi sistemi. Il primo prevede il taglio, la raccolta, la sminuzzatura, secondo una sequenza successiva e continua, mentre il secondo prevede il taglio e la raccolta del materiale in una prima fase e la sminuzzatura, da effettuarsi in una fase successiva, con l'impiego di una cippatrice convenzionale.

Il primo sistema prevede l'utilizzo di una falcia-trincia-caricatrice eventualmente abbinata a due trattori con rimorchio che, avanzando parallelamente alla macchina, raccolgono alternativamente il cippato prodotto e lo scaricano presso il luogo dello stoccaggio; questo

può essere dislocato sia in azienda sia presso la centrale di trasformazione. Alla falcia - trincia - caricatrice può essere abbinato il cassone posteriormente ed è quindi la macchina a scaricare il materiale fuori del campo. La falcia - trincia - caricatrice è una macchina ingombrante, pesante, di elevata potenza e di alto costo. Non sono state ancora completamente risolte alcune questioni legate all'impiego di questi macchinari, in particolare sui loro organi di taglio. Questi si usurano rapidamente alla presenza di terreni non opportunamente livellati; per evitare tale fenomeno si può alzare l'organo di taglio, distanziandolo maggiormente dal terreno, incorrendo in una sicura perdita di biomassa raccolta. Inoltre, le macchine sembrano avere limiti di taglio, con massimi di 120-140 mm di diametro delle piante, perché si generano problemi al sistema di convogliamento delle piante verso l'organo sminuzzatore. Le macchine operatrici vanno utilizzate con pendenze non superiori al 15%.

Con l'adozione del secondo metodo di lavoro, la sminuzzatura del materiale può essere programmata di volta in volta in rapporto alle richieste di consegna da parte dell'utilizzatore finale; si sminuzza del materiale che ha già perso umidità e che quindi è già utilizzabile. Per la raccolta si possono utilizzare macchine che effettuano il taglio convogliando le piante in appositi cassoni in grado di autoscaricarle a bordo campo. In alternativa esistono macchine capaci di costituire fasci di fusti tagliati poi depositati in andane lungo le linee di taglio, oppure, che tagliano le piante lasciandole in campo. Per questi sistemi è necessario l'impiego di ulteriori macchine che trasporteranno e accumuleranno le piante al centro aziendale.

Lo stoccaggio del materiale, qualora non esistano le condizioni per la vendita del materiale fresco all'utilizzatore finale, dovrà essere effettuato in azienda per un tempo variabile. Il cippato può essere adeguatamente conservato solo quando il legno raggiunge un certo grado di essiccazione. La conservazione del prodotto ancora umido è difficile e richiede l'adozione di specifici accorgimenti per evitare fenomeni di fermentazione che possono portare all'autocombustione. Il cippato presenta anche il problema di essere ingombrante. Il deterioramento qualitativo delle particelle di legno e le notevoli perdite di massa (oltre il 20% di sostanza secca), determinate dall'azione dei batteri e dei funghi, sconsigliano la conservazione del cippato in grossi cumuli all'aperto. E' possibile invece adottare procedimenti di essiccazione naturale del prodotto che prevedono la conservazione in un'area coperta e ben areata, utilizzando preferibilmente le strutture già esistenti in

azienda. A questo proposito sono state sperimentate varie soluzioni, tutte in grado di contenere le perdite fino ad un massimo del 10% di sostanza secca e di portare il prodotto, nell'arco di 3-4 mesi, dallo stato fresco (umidità maggiore del 50%) a valori di umidità finale del 20-25% riferiti al peso anidro. L'essiccazione del prodotto avviene tramite correnti di aria calda, che si generano all'interno del cumulo durante i processi di biodegradazione, e che si arrestano quando il legno raggiunge un'umidità inferiore alla soglia di attività dei suddetti agenti di alterazione. L'area coperta deve avere una pavimentazione ben compattata, livellata e sistemata in modo tale da evitare possibili ristagni idrici, al fine di ridurre il deterioramento del materiale posto alla base del cumulo; in questo caso sono necessarie continue movimentazioni del cippato. Esistono altri sistemi come quelli che utilizzano pavimenti grigliati affinché l'aria possa circolare nella massa legnosa; questo sistema garantisce perdite contenute di materiale per respirazione tali da non superare il 10-15% del totale.

Alla fine del ciclo colturale è previsto il ripristino del terreno all'uso agricolo mediante estirpazione e accatastamento a bordo campo delle ceppaie. Anche queste potranno essere utilizzate per la produzione di cippato.

5.2. Problematiche delle SRF

I problemi sulle piantagioni a breve rotazione, per la produzione di biomassa, potranno essere risolti sicuramente con adeguati programmi di ricerca a condizione che si operi con opportune strategie a livello di filiera.

Il problema principale sembra essere quello delle produzioni ottenibili. Le stime effettuate in Italia fanno oscillare i valori tra le 8-10 e le 25-30 t ha⁻¹ anno⁻¹ di sostanza secca prodotta (Bisoffi, 2000). Mediamente le produzioni si aggirano intorno alle 10-15 t ha⁻¹ anno⁻¹ (Bisoffi, Facciotto, 2000). Nei terreni più fertili, e con l'impiego di materiale selezionato per questo tipo di coltivazione si potrebbero ottenere produzioni più elevate.

Altro problema è l'alto e frequente numero di ceduzioni che può incidere sul mantenimento di adeguate produttività con il trascorrere del tempo. Le ceduzioni, essendo molto ravvicinate, hanno evidenziato una lenta decadenza della produzione dopo il secondo o terzo turno nella sperimentazione con pioppi e salici. La morte delle ceppaie,

infatti, non compensa sufficientemente il maggiore accrescimento delle piante superstiti (Bisoffi, 2000).

Un punto tuttora irrisolto è quello, come già sottolineato, della raccolta e dello stoccaggio del materiale. I due modelli, descritti in precedenza, presentano una serie di vantaggi e svantaggi. Il primo, che prevede la cippatura in campo delle piante ha il vantaggio di minimizzare i costi di raccolta, elevando però quelli di stoccaggio del cippato. Infatti, molte centrali necessitano di un materiale che sia ad umidità del 25-35% contro un'umidità superiore al 50% del materiale alla raccolta (il cippato di pioppo ha umidità superiore al 100%). Per raggiungere l'umidità richiesta il materiale inizia a fermentare con perdite di sostanza secca e rischi di combustione. L'essiccazione del cippato necessita di strutture adeguate e spazio che fanno lievitare i costi. Inoltre, i macchinari difficilmente possono essere acquistati dalle piccole realtà imprenditoriali, per l'elevato costo d'investimento e di esercizio. Infine, non si deve sottovalutare che esiste una carenza di operatori, quali i contoterzisti, che dispongono di macchinari idonei per questi cantieri di lavoro.

Il secondo sistema, che consiste nella raccolta delle piante intere, è molto più lungo e laborioso tale da fare lievitare i costi.

Molto probabilmente, come indirizzo generale, si può affermare che il primo sistema è più adatto alle grandi realtà aziendali, o anche ad agricoltori che siano consorziati o associati, mentre il secondo sembra applicabile alle piccole realtà agricole.

Ultimo problema è quello della necessità di vendere il prodotto cippato a prezzi competitivi ed idonei ai costi di produzione. Sarebbe auspicabile la realizzazione di forme contrattuali che prevedano, tra le aziende agricole produttrici e gli utilizzatori finali, l'imposizione dell'acquisto durante l'intero ciclo produttivo ad un prezzo stabile, tenendo conto anche del tasso di inflazione. Questo potrebbe consentire dei prezzi stabili ed adeguati nell'intera filiera, creando assicurazioni nell'investimento, evitando speculazioni e differenze territoriali, garantendo l'approvvigionamento agli utilizzatori che necessitano di acquisizioni continue di materiale.

Capitolo 6. Il miglioramento genetico delle specie forestali

6.1. Principi di miglioramento genetico

La ricerca in genetica forestale persegue una doppia strategia:

- cercare l'informazione scientifica necessaria per conservare dinamicamente la biodiversità forestale naturale;
- studiare e valorizzare, attraverso il miglioramento genetico, le popolazioni caratterizzate da aspetti adattativi e produttivi più utili all'impiego pratico, legati alla produzione legnosa e al miglioramento ed alla ricostituzione ambientale.

In un qualsiasi programma di miglioramento genetico volto alla costituzione varietale, dopo aver definito le caratteristiche peculiari che la nuova varietà o clone dovrà presentare, ed aver individuato i materiali vegetali più idonei per il conseguimento degli obiettivi fissati, si dovranno scegliere gli individui che origineranno la generazione successiva (selezione) e stabilire il sistema di unione mediante il quale gli individui selezionati dovranno riprodursi. La scelta degli individui autorizzati a riprodursi non può essere effettuata soltanto sulla base del fenotipo ma deve tener conto del tipo di controllo genetico dei caratteri oggetto di selezione.

Le problematiche che il miglioratore genetico deve affrontare sono molteplici e di diversa natura a seconda del tipo di caratteri per i quali viene effettuata la selezione e del sistema riproduttivo che caratterizza la specie coltivata.

Il miglioramento genetico dovrà puntare sia all'individuazione dei caratteri espressione di resistenza e/o tolleranza a stress biotici ed abiotici sia al miglioramento quantitativo e qualitativo della produzione legnosa (Ducci, 2001).

Particolarmente utile ai fini della ricerca biologica e del miglioramento genetico è la biometria, cioè la disciplina scientifica che studia le tecniche di riconoscimento e classificazione di un individuo o di un insieme di individui in base alle caratteristiche fisiche. Molto spesso la ricerca ha necessità di valutare e selezionare individui per analizzare popolazioni, osservare un carattere o comunque comprendere un determinato fenomeno. Queste ricerche possono essere affrontate soltanto ricorrendo ad esperimenti controllati costituiti da un certo numero di unità sperimentali alle quali vengono applicati

appropriati modelli matematici che conducono alla determinazione di indici. Sulla base di tali indici sono formulate le ipotesi che permettono di descrivere il fenomeno oggetto di studio. I dati in uno studio biometrico sono generalmente basati sull'osservazione di individui appartenenti ad una popolazione; da un punto di vista statistico con il termine popolazione si intende un insieme di infiniti elementi comprendenti tutti i valori attribuibili ad una determinata variabile alla quale si può estendere un'analisi inferenziale effettuata su un campione rappresentativo. Il campione è una porzione della popolazione, il quale per essere rappresentativo deve essere estratto casualmente, cioè tutti gli elementi che compongono la popolazione devono avere la stessa probabilità di far parte del campione. E' ovvio che più il campione è numeroso più le inferenze effettuate sulla popolazione sono attendibili.

Il termine più comunemente impiegato in statistica è “variabile”, tuttavia in biologia la parola “carattere” viene di solito utilizzata come sinonimo. Le variabili possono essere suddivise in due categorie:

- variabili qualitative;
- variabili quantitative.

Le variabili qualitative sono quelle che possono essere espresse soltanto in modo qualitativo, non misurabili. Ad esempio, sono variabili qualitative il colore dei semi di pisello, la forma di una foglia ed il sesso di una pianta in una specie dioica, la presenza o l'assenza di reste in frumento tenero.

Le variabili quantitative sono quelle che possono essere misurate; se assumono un numero infinito di valori tra due punti qualsiasi vengono definite “continue” altrimenti se hanno valori numerici fissi, senza possibilità intermedia, vengono definiti “discrete” o “discontinue”. Molti caratteri studiati in biologia, come l'altezza, la superficie fogliare e la produttività, sono variabili continue. Esempi di variabili discrete sono il numero di piante in una determinata superficie, il numero delle discendenze, il numero di insetti catturati, il numero di cellule e il numero di colonie batteriche sviluppatesi.

Si chiamano varianti le diverse espressioni di un carattere: giallo e verde sono le varianti del carattere colore, pennata e palmata della forma di una foglia, maschile o femminile del sesso, i valori numerici corrispondenti ai singoli individui nel caso di caratteri quantitativi.

I caratteri qualitativi sono controllati da singole coppie alleliche e quindi la selezione a favore di questi caratteri è teoricamente semplice. In realtà da un punto di vista pratico

questo è vero soltanto parzialmente in quanto il gene che controlla il carattere oggetto di selezione può avere scarsa penetranza ed espressività nel nuovo contesto genetico oppure può essere strettamente associato a geni sfavorevoli. Un carattere qualitativo molto importante da un punto di vista del miglioramento genetico è quello legato alla resistenza ai patogeni.

I caratteri quantitativi sono quelli su cui risulta più difficile effettuare la selezione sia per la natura del loro controllo genetico che per l'influenza dell'ambiente nella loro manifestazione fenotipica. I caratteri quantitativi risentono molto di più dell'effetto dell'ambiente rispetto ai caratteri qualitativi. Essi, inoltre, sono controllati da una molteplicità di geni la cui azione si può ritenere uguale e cumulativa, o additiva, sul valore fenotipico ma il cui singolo effetto è in genere troppo piccolo affinché lo si possa seguire individualmente. Questi caratteri variano in modo continuo nella popolazione e non possono essere classificati secondo classi discrete ma possono essere misurati e quindi descritti mediante parametri numerici. La posizione occupata dai geni sui cromosomi che controllano i caratteri quantitativi corrispondono ai loci o tratti cromosomici per questi caratteri, comunemente definiti Quantitative Trait Loci (QTL) (Barcaccia, Falcinelli, 2005).

6.2. Fenotipo e genotipo

Il termine fenotipo indica il modo come il quale un individuo appare costituendo un determinato fenomeno. L'uso scientifico della parola "fenomeno" si collega al suo uso comune; si fa riferimento a quegli avvenimenti ed eventi che intorno a noi avvengono e si succedono, nel tempo e nello spazio, e che possono essere osservati.

Con il termine genotipo si indica la costituzione genetica di un individuo cioè l'insieme dei suoi geni nelle cellule somatiche.

Quando un carattere quantitativo è controllato da molti geni risulta difficile riconoscere le diverse classi genotipiche a livello fenotipico, poiché l'effetto additivo dei singoli geni è di solito troppo modesto per essere discriminato. Oltre al numero dei geni coinvolti bisogna poi considerare l'effetto che l'ambiente esercita sulla manifestazione di un carattere quantitativo, potendone modificare anche sostanzialmente il valore fenotipico. Tanto più l'ambiente è in grado di influenzare l'espressione quantitativa di un genotipo e tanto più

numerosi e varianti risulteranno i fenotipi, fintanto che il carattere apparirà distribuito secondo una curva normale o molto simile ad una normale. La variabilità totale presente in una popolazione, che prende il nome di variabilità fenotipica, è pertanto dovuta in parte a fattori genetici ed in parte a fattori ambientali. E' evidente che i fattori operanti che determinano la formazione della distribuzione continua dei caratteri quantitativi sono:

- il numero dei geni coinvolti;
- la variazione ambientale tra gli individui.

6.3. Componenti della varianza fenotipica e della varianza genetica

L'unico modo efficace per distinguere i fattori genetici da quelli ambientali è quello che prevede l'uso di popolazioni sperimentali appropriate.

La selezione per un carattere quantitativo ha come obiettivo finale quello di spostare nella direzione voluta la media del carattere nella popolazione da migliorare.

La previsione del progresso conseguibile con la selezione è incerta proprio perché i caratteri quantitativi sono controllati da molti geni che possono presentare additività, dominanza ed epistasia, con espressione condizionata dall'ambiente.

Il contributo relativo dei fattori genetici e dei fattori ambientali nella determinazione della variabilità fenotipica di un carattere quantitativo è misurato da un parametro che prende il nome di ereditabilità (h^2). L' ereditabilità equivale alla frazione ereditabile della variazione osservabile per un determinato carattere quantitativo in una popolazione ed è di fondamentale importanza per fare previsioni sui risultati ottenibili con un programma di selezione. Per determinare l'ereditabilità di un carattere quantitativo occorre per prima cosa misurarne la variabilità attraverso il calcolo della varianza, parametro che misura la fluttuazione dei dati individuali intorno alla media del campione, usando i dati fenotipici inerenti al campione di individui. Quindi è necessario suddividere la varianza fenotipica nelle sue componenti, poiché le differenze osservate tra gli individui del campione sono in realtà attribuibili a fonti diverse. In particolare, le componenti principali della varianza fenotipica (s^2_P) sono la varianza genetica (s^2_G), dovuta alle differenze genotipiche fra individui, e la varianza ambientale (s^2_E), attribuibile all'influenza delle condizioni ambientali sulle caratteristiche degli individui. La varianza genetica dipende quindi dalla

variabilità genotipica tra gli individui che costituiscono il campione, mentre la varianza ambientale include qualsiasi altra fonte di variabilità non dovuta a fattori genetici, come ad esempio le cure colturali, le condizioni climatiche, le caratteristiche del suolo, ecc.. Un'ulteriore fonte di variazione genotipica è quella connessa all'interazione del genotipo con l'ambiente (s^2_{GE}) che ha luogo quando l'espressione fenotipica di un particolare genotipo è diversa a seconda dell'ambiente. La varianza fenotipica include le componenti riconducibili alla variabilità genotipica, a quella ambientale e a l'interazione fra il genotipo e l'ambiente; l'equazione che esprime la varianza fenotipica è la seguente:

$$s^2_P = s^2_G + s^2_E + s^2_{GE}$$

Il contributo relativo di ciascuna di queste tre componenti della varianza fenotipica totale dipendono dalla struttura genetica della popolazione, dall'ambiente specifico di coltivazione e dall'interazione tra i geni portati dai singoli individui e l'ambiente di coltivazione. In una popolazione la varianza è contraddistinta dal simbolo σ^2 . L'espressione per una popolazione è la seguente:

$$\sigma^2_P = \sigma^2_G + \sigma^2_E + \sigma^2_{GE}$$

La varianza genetica può essere suddivisa ulteriormente nelle componenti riconducibili ai diversi tipi di interazione genica. Parte della varianza genetica è il risultato dell'effetto additivo dei geni, la manifestazione di un determinato carattere può infatti essere condizionata da più alleli a loci diversi aventi effetto cumulativo sul fenotipo. Invece, alcuni geni possono mostrare relazioni di dominanza, nel senso che un allele è in grado di mascherare l'espressione dell'altro allele allo stesso locus; parte della varianza genetica può essere quindi dovuta alla dominanza. Infine, la possibilità d'interazione di tipo epistatico tra geni fornisce un'altra fonte di varianza genetica; in presenza di epistasia il fenotipo è infatti determinato dall'interazione di alleli a loci diversi. Le componenti della varianza genetica sono, quindi, la varianza additiva (s^2_D), la varianza dovuta alla dominanza (s^2_H) e la varianza di interazione o epistatica (s^2_I). La varianza genetica, in un campione e in una popolazione, è quindi descritta dalle seguenti espressioni:

$$s^2_G = s^2_D + s^2_H + s^2_I$$

o

$$\sigma^2_G = \sigma^2_D + \sigma^2_H + \sigma^2_I$$

Di conseguenza la varianza fenotipica totale può essere riscritta nei seguenti modi:

$$s^2_P = s^2_D + s^2_H + s^2_I + s^2_E + s^2_{GE}$$

o

$$\sigma^2_P = \sigma^2_D + \sigma^2_H + \sigma^2_I + \sigma^2_E + \sigma^2_{GE}$$

Per accertare in quale misura i fattori genetici ed ambientali concorrono nella determinazione della variabilità fenotipica è necessario misurare la sua varianza e suddividerla nelle diverse componenti. In questi termini la varianza fenotipica (s^2_P) di un campione, ottenuta misurando il fenotipo degli individui, può essere scomposta, ricorrendo a particolari popolazioni e disegni sperimentali, in una varianza dovuta a cause genetiche (s^2_G) ed in una varianza dovuta a cause ambientali (s^2_E)

6.4. Stima dell'ereditabilità dei caratteri quantitativi

La scomposizione delle componenti della varianza fenotipica e della varianza genotipica è utile per la stima del valore dell'ereditabilità (h^2) di un carattere quantitativo, usualmente calcolato come rapporto tra la varianza dovuta a cause genetiche e la varianza totale:

$$h^2 = s^2_G / s^2_P$$

o

$$h^2 = \sigma^2_G / \sigma^2_P$$

Poiché molto spesso l'interazione fra il genotipo e l'ambiente è ritenuta trascurabile, l'ereditabilità può anche essere scritta come

$$h^2 = s^2_G / (s^2_G + s^2_E)$$

o

$$h^2 = \sigma^2_G / (\sigma^2_G + \sigma^2_E)$$

Questo parametro misura il contributo relativo dei fattori genetici e di quelli ambientali nella determinazione della varianza fenotipica di un carattere quantitativo. L'ereditabilità varia tra 0 e 1. Un'ereditabilità pari a 0 indica che la variabilità fenotipica esistente tra individui non è attribuibile a differenze genetiche. Un'ereditabilità di 0,5 significa che la metà della variabilità fenotipica è dovuta a differenze genetiche e che l'altra metà a cause ambientali. Un'ereditabilità pari ad 1 suggerisce che tutta la variabilità fenotipica osservata nella popolazione è riconducibile a differenze genetiche fra gli individui.

Esistono due tipi distinti di ereditabilità, a seconda delle componenti della varianza genetica usate per la sua stima:

- ereditabilità in senso largo (h^2_B), detta broad sense hereditability;
- ereditabilità in senso stretto (h^2_N), detta narrow sense hereditability.

L'ereditabilità in senso largo tiene conto di tutta la variabilità genetica dovuta a qualsiasi effetto genico, cioè include tutte le componenti della varianza genetica, addittività, dominanza ed epistasia, ed equivale pertanto al rapporto tra la varianza genetica complessiva e la varianza fenotipica:

$$h^2_B = s^2_G / s^2_P$$

o

$$h^2_B = \sigma^2_G / \sigma^2_P$$

Il calcolo di questo tipo di ereditabilità prevede il confronto tra popolazioni geneticamente uniformi e popolazioni geneticamente variabili. Gli esperimenti più semplici che consentono di stimare h^2_B implicano l'uso di popolazioni composte di individui genotipicamente uguali, come le linee pure, gli ibridi F_1 e i cloni, e di popolazioni che includono individui genotipicamente diversi, come le discendenze F_2 e interincroci. La valutazione fenotipica delle popolazioni geneticamente uniformi consente di stimare la varianza ambientale (s^2_E), cioè l'effetto dei fattori ambientali sul carattere quantitativo in esame, mentre la valutazione delle popolazioni geneticamente variabili consente di stimare in maniera cumulativa s^2_G e s^2_E , cioè la varianza fenotipica totale (s^2_P). L'effetto totale dei fattori genetici sul carattere quantitativo in esame, equivalente alla varianza genetica (s^2_G),

non è stimabile direttamente ma può essere ottenuto per differenza sottraendo alla varianza fenotipica totale la varianza attribuibile a cause ambientali. L'ereditabilità in senso largo può quindi essere stimata nel modo seguente:

$$h^2_B = (s^2_P - s^2_E) / s^2_P$$

Il calcolo dell' h^2_B richiede la disponibilità di popolazioni appositamente costituite nelle quali poter valutare, adottando le stesse condizioni sperimentali, il carattere quantitativo al fine di misurarne la variabilità totale e quella attribuibile a cause ambientali. Ad esempio, qualora fosse possibile predisporre una popolazione clonale (C) e produrre una popolazione da interincrocio (PI), ricorrendo alla propagazione vegetativa, la varianza ambientale può essere stimata valutando unicamente la popolazione geneticamente uniforme ($s^2_E = s^2_C$), mentre quella fenotipica totale valutando il carattere nella popolazione geneticamente variabile ($s^2_P = s^2_{PI}$). La varianza genetica sarebbe pertanto data da $s^2_G = s^2_{PI} - s^2_C$. In questo caso h^2_B può essere calcolata nel modo seguente:

$$h^2_B = (s^2_{PI} - s^2_C) / s^2_{PI}$$

Nei lavori di miglioramento genetico riveste un interesse particolare l'ereditabilità in senso stretto che tiene conto delle sole differenze genetiche attribuibili alle azioni geniche additive. Solo queste possono essere fissate con la selezione poiché rimangono inalterate nelle generazioni successive, essendo legate all'effetto medio dei geni. Quando le differenze fra i materiali selezionati sono dovute a specifiche interazioni geniche, cioè dominanza ed epistasia, queste possono essere fissate con la selezione, rimanendo inalterate nella nuova generazione. Questo può avvenire per effetto della segregazione e della ricombinazione, che garantiscono combinazioni di geni diverse da quelle della generazione precedente. Risulta pertanto necessario conoscere il contributo delle diverse componenti della varianza genetica di una popolazione:

- componente additiva (σ^2_D), dovuta all'effetto medio dei geni. Con il termine additività si intende l'effetto cumulativo di due o più alleli, allo stesso locus o a loci diversi, nella manifestazione fenotipica di un carattere in assenza di interazioni di

dominanza o di epistasia. Per un determinato locus rappresenta l'effetto medio prodotto da un allele che sostituisce un altro allele;

- componente dovuta alla dominanza (σ^2_H), cioè all'interazione fra alleli allo stesso locus (interazioni intra-alleliche). La dominanza è quel fenomeno per il quale il genotipo eterozigote manifesta un fenotipo diverso da quello dei due omozigoti, ma spostato verso l'uno o l'altro degli omozigoti. Nel caso in cui l'eterozigote possieda un valore intermedio tra i due omozigoti si ha assenza di dominanza. La dominanza può essere completa o incompleta nel caso in cui l'eterozigote abbia un fenotipo uguale o diverso a quello di uno dei due omozigote;
- componente dovuta all'epistasia (σ^2_I), cioè all'interazione interalleliche. Questa interazione si ha quando l'effetto fenotipico degli alleli ad un locus, gene ipostatico, è mascherato dall'azione degli alleli di un altro locus, gene epistatico. In presenza di epistasia la manifestazione fenotipica di un carattere è quindi il risultato delle interazioni alleliche di due o più geni. Nella genetica dei caratteri quantitativi l'epistasia comprende tutte le interazioni interalleliche.

Come già detto, la varianza genetica di una popolazione è quindi uguale a: $\sigma^2_G = \sigma^2_D + \sigma^2_H + \sigma^2_I$. L'ereditabilità in senso stretto equivale pertanto al rapporto tra la componente additiva della varianza genetica (σ^2_G) e la varianza fenotipica (σ^2_P):

$$h^2_N = \sigma^2_D / \sigma^2_P$$

Anche per poter stimare l'ereditabilità in senso stretto è necessario organizzare esperimenti appropriati che permettano la scomposizione della varianza genetica. Sono disponibili molti disegni sperimentali per calcolare la quota della varianza fenotipica che risponde in modo prevedibile alla selezione. Alla base di questi disegni c'è l'assunzione che, nel caso la costituzione genotipica abbia un ruolo importante nel determinare la varianza fenotipica, gli individui strettamente imparentati dovrebbero essere fenotipicamente più simili di quelli non imparentati dal momento che condividono un numero più elevato di geni. Qualora siano i fattori ambientali a determinare le differenze per un carattere quantitativo, gli individui imparentati e geneticamente simili non dovrebbero manifestare fenotipi più somiglianti di individui non imparentati. Al fine di misurare con precisione l'entità delle

differenze genetiche tra individui non imparentati è molto importante che vengano adottate le stesse condizioni ambientali.

Benché l'ereditabilità abbia senza dubbio una notevole utilità pratica, la sua stima evidenzia considerevoli limitazioni teoriche:

- non equivale a quanto l'espressione di un carattere dipenda da fattori genetici ma esprime solo la proporzione della varianza fenotipica tra gli individui di una popolazione attribuibile a differenze genetiche;
- non si riferisce ad un individuo ma una caratteristica di una popolazione;
- non è fissa poiché dipende dalla composizione di uno specifico gruppo di individui in un determinato ambiente;
- non può venire usata per trarre conclusioni riguardo la natura fra differenze genetiche tra popolazioni.

In genere, h^2_N è più piccolo di h^2_B e questi due termini possono coincidere solo se la varianza genetica è esclusivamente di tipo additivo. Per molti caratteri quantitativi è stato dimostrato che la varianza genetica di origine additiva è molto più grande sia di quella dovuta alla dominanza che di quella riconducibile alle interazioni epistatiche. In questi casi l'ereditabilità in senso largo e quella in senso stretto hanno valori molto simili.

Dal momento che con la selezione possono essere fissate le sole differenze genetiche attribuibili alle azioni geniche additive che, essendo legate all'effetto medio dei geni, sono le uniche che rimangono inalterate nelle generazioni successive, i genetisti preferiscono stabilire la proporzione della varianza fenotipica ascrivibile alla sola componente additiva della varianza genetica.

6.5 Selezione per i caratteri quantitativi

La conoscenza dell'ereditabilità dei caratteri quantitativi, in particolare dell'ereditabilità in senso stretto, consente di formulare previsioni molto accurate riguardo al grado di somiglianza tra individui parentali e quella della discendenza. Come già detto la selezione per un carattere quantitativo è lo spostamento nella direzione voluta della media del carattere nella popolazione da migliorare. La variabilità presente nelle popolazioni, sulla

quale si fa presa con la selezione, ha un diverso significato a seconda che si tratti di specie autogame, allogame o a propagazione vegetativa.

Nelle popolazioni naturali delle specie autogame la variabilità genetica è distribuita tra un gran numero di genotipi omozigoti e pochi cicli di selezione per un determinato carattere, sia qualitativo che quantitativo, sono in grado di esaurire la variabilità genetica libera. Ulteriori miglioramenti sono possibili soltanto creando nuova variabilità genetica ed operando la selezione nelle generazioni segreganti, tenendo conto del controllo genetico dei caratteri.

Il progresso conseguibile con la selezione all'interno di una popolazione naturale di una specie allogama, costituita da un insieme di genotipi eterozigoti che condividono un pool genico comune dipende:

- dall'ammontare della componente additiva della variabilità genetica;
- dall'ampiezza degli effetti delle componenti ambientali e delle interazioni di dominanza ed epistasia che tendono a mascherare la componente additiva;
- dall'intensità della selezione, cioè dal numero di individui selezionati sui quali verrà raccolto il seme.

In una popolazione con una distribuzione normale per un carattere quantitativo, con un valore medio pari ad x_0 affinché si possa procedere ad una selezione è necessario prelevare un insieme di individui aventi un valore medio del carattere quantitativo in esame pari a x_s . Questi individui selezionati devono essere interincrociati per dare origine alla generazione successiva la quale mostrerà anch'essa una distribuzione normale, avente con una media pari a x_1 . La differenza tra x_s e x_0 è il differenziale di selezione (S) che rappresenta la superiorità del gruppo di individui selezionato rispetto alla popolazione originaria (figura 2):

$$S = x_s - x_0$$

La differenza tra la media della progenie (x_1) e la media della popolazione originaria (x_0) è la risposta alla selezione (R) o guadagno conseguito con la selezione:

$$R = x_1 - x_0$$

Il guadagno conseguito con la selezione non deve essere confuso con il guadagno conseguibile con la selezione (G_S) che rappresenta una stima e non un dato reale. Quest'ultimo dipende fondamentalmente dall'ampiezza della variabilità genetica del carattere in esame misurata dalla varianza e quindi dalla sua ereditabilità (h^2) e dal differenziale di selezione. Il altri termini G_S è dato dal prodotto di questi due fattori (figura 2):

$$G_S = S * h^2$$

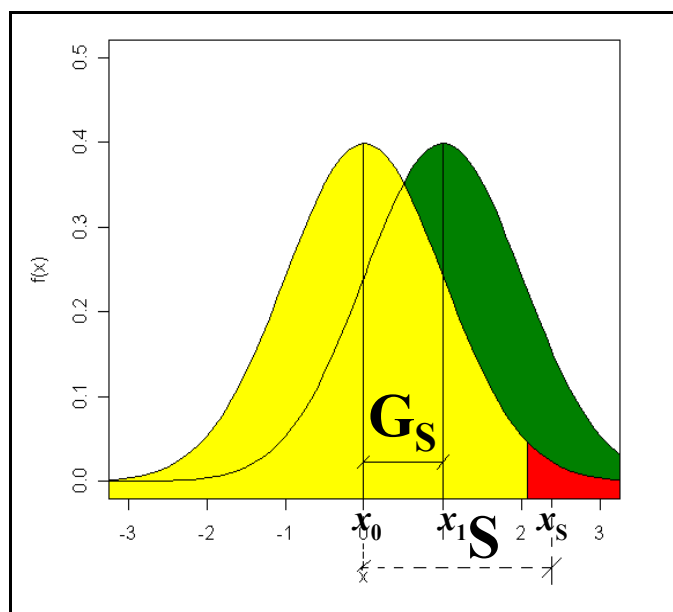


Figura 2. Distribuzione normale della popolazione e della progenie derivante da genotipi selezionati

In pratica non è possibile guadagnare con un solo ciclo di selezione l'intero differenziale in quanto la componente ambientale della varianza fenotipica totale non è ereditabile. Inoltre la varianza genetica (σ^2_G) è dovuta non soltanto agli effetti genetici di additività (σ^2_D) ma a quelli di dominanza (σ^2_H) ed epistasia (σ^2_I). Nel lavoro di selezione soltanto la componente additiva viene ereditata.

La produzione media delle progenie degli individui selezionati sarà pertanto compresa tra x_0 e x_s . La tendenza della media della popolazione migliorata a ritornare verso la media delle popolazioni originarie prende il nome di regressione. Questo fenomeno condizionato

dalla scelta degli individui da includere nel gruppo selezionato ed è basato sull'esame del fenotipo. Quest'ultimo è influenzato sia dall'ambiente e che dalle particolari interazioni fra i geni, attraverso la dominanza e l'epistasia presenti nei genotipi selezionati che possono venire a mancare nella progenie. Per tale ragione prima di intraprendere un lavoro di selezione è importante stimare il guadagno che si otterrà con la selezione stessa. La formula che consente di prevedere il risultato conseguibile con la selezione quando siano noti il differenziale di selezione e l'ereditabilità a rigore andrebbe applicata solo in presenza di unioni casuali. Conoscendo il differenziale di selezione e il guadagno conseguito con la selezione è possibile determinare l'ereditabilità realizzata (h^2_R):

$$h^2_R = R / S$$

Il guadagno della selezione sarà uguale a zero quando la componente additiva della variabile genetica è del tutto assente. La variabilità fenotipica osservata è dovuta esclusivamente a fattori ambientali e a componenti genetiche non ereditabili ($h^2_N = 0$). La media della progenie delle piante selezionate sarà pari alla media della popolazione originaria.

Il guadagno della selezione sarà massimo, cioè pari ad S, quando tutta la variabilità fenotipica osservata è dovuta ad effetti additivi ($h^2_N = 1$). La media della progenie delle piante selezionate sarà la medesima delle piante selezionate.

Nei programmi di miglioramento genetico difficilmente si pone l'attenzione soltanto su un singolo carattere alla volta, in genere si seleziona contemporaneamente per più caratteri. La risposta alla selezione per più caratteri dipende dalle relazioni genetiche tra loro esistenti e dalla loro importanza relativa nel determinare il valore agronomico della pianta. Per quanto riguarda il primo aspetto, le caratteristiche da migliorare possono essere indipendenti oppure legate da correlazioni positive o negative. Così, se la selezione ha lo scopo di incrementare il valore medio di caratteristiche favorevoli, una loro correlazione positiva risulterà vantaggiosa in quanto la selezione per un carattere porta automaticamente ad un miglioramento degli altri caratteri ad esso correlati. Infine, la selezione contemporanea per più caratteri, tra loro indipendenti, determina in linea di massima una riduzione dell'intensità di selezione che può essere definita come la percentuale di piante da selezionare nell'ambito di quelle totali da cui raccogliere il seme per la generazione

successiva. Teoricamente una forte intensità di selezione dovrebbe determinare un guadagno superiore con la selezione. L'intensità di selezione (i) può essere espressa come rapporto tra il differenziale di selezione (S) e la deviazione standard fenotipica (σ_P), cioè:

$$i = S / \sigma_P$$

che rappresenta una grandezza dimensionale che permette di confrontare le pressioni selettive esercitate in situazioni diverse come, ad esempio, popolazioni con medie e variabili diverse o differenziali di selezione diversi. Consentire di riprodursi all'1% degli individui comporta un'intensità di selezione più forte rispetto a quella che si avrebbe autorizzando a riprodursi il 10% degli individui. La formula dell'intensità di selezione permette di esprimere il differenziale di selezione come:

$$S = i * \sigma_P$$

e di conseguenza il guadagno conseguibile con la selezione può essere scritto anche nel seguente modo:

$$G_S = i * (\sigma_G^2 / \sigma_P^2) * \sigma_P = i * \sigma_G^2 / \sigma_P = i * h * \sigma_G$$

L'efficacia della selezione è pertanto proporzionale all'intensità di selezione, alla radice quadrata dell'ereditabilità del carattere e alla deviazione standard genetica della popolazione. Selezionando contemporaneamente per più caratteri, l'intensità di selezione per ciascuno di essi dovrà essere attenuata. Infatti, aumentando il numero dei caratteri, l'intensità di selezione (i) per ciascuno di essi decresce rapidamente fino ad un livello molto basso. Il secondo aspetto della selezione per più caratteri, cioè l'importanza relativa dei diversi caratteri, introduce un elemento soggettivo di valutazione e spetta quindi all'esperienza del selezionatore stabilire il peso dei diversi caratteri.

I procedimenti che il miglioratore genetico può seguire nel caso di selezione per più caratteri indipendenti sono tre:

- selezioni successive per singoli caratteri (tandem selections) nel quale ad ogni generazione si seleziona per un solo carattere;

- selezione contemporanea per più caratteri (independent culling levels) dove ad ogni generazione si selezionano tutti i caratteri in modo indipendente l'uno dall'altro fissando dei livelli minimi di scelta;
- impiegando l'indice di selezione (index of selection), ponderando in modo appropriato ciascun carattere. La somma dei valori ottenuti con la ponderazione costituisce l'indice in base al quale viene effettuata la selezione.

La selezione non punta mai su un singolo carattere o su pochi, ma piuttosto sull'ideotipo di pianta che si vuol costruire, il quale deve poter raggiungere determinati standard produttivi. La selezione non crea nuova variabilità genetica ma agisce su quella esistente all'interno delle popolazioni dove determina una diminuzione della variabilità, il cambiamento del valore medio dei caratteri oggetto di selezione e la costituzione di nuovi genotipi.

Su questo fronte stanno acquistando un peso sempre maggiore le biotecnologie, sia per lo studio della variabilità, sia per la produzione di materiale migliorato (Barcaccia, Falcinelli, 2005).

6.6 Varietà ibride ed eterosi

Per varietà ibrida si intende la generazione F_1 ottenuta dall'incrocio fra due linee inbred (specie allogame) o fra due linee pure (specie autogame) o fra due cloni (specie a propagazione vegetativa) opportunamente selezionate impiegando prove di progenie. Tale ibridazione intraspecifica è utile per il miglioratore genetico perché sfrutta il fenomeno dell'eterosi, per il quale il valore fenotipico dell'eterozigote è superiore a quello di entrambi gli omozigoti. L'eterosi si esprime non solo come maggiore vigore vegetativo e riproduttivo (lussureggiamento) degli ibridi rispetto alle linee parentali ma anche come maggiore produttività, qualità del prodotto, resistenza ad agenti biotici e stress abiotici, robustezza della pianta o qualsiasi altra caratteristica agronomicamente utile (Barcaccia, 2005).

Quando la costituzione dell'ibrido avviene con l'impiego di due genotipi pienamente vigorosi (linee pure o cloni) l'eterosi può essere quantificata come differenza fra la media del valore agronomico della progenie (F_1) e quella dei due individui parentali (P) per ogni carattere esaminato:

$$H = F_1 - P$$

Inoltre, può essere stimata un'eterosi considerando non la media dei due parentali ma il parentale con il valore maggiore (P_{MAX}) per un determinato carattere (Marron, 2006):

$$H = F_1 - P_{MAX}$$

Ancora oggi non sono chiare le basi genetiche e molecolari alla base del fenomeno dell'eterosi. Nel tempo sono state formulate due specifiche teorie per spiegare il valore ibrido e si suppone che interagiscano in maniera complementare sul fenomeno:

- la teoria della sovradominanza afferma che l'eterosi è connessa con la quota di eterozigosità dell'individuo ibrido determinando così per l'eterozigote un vantaggio rispetto ad entrambi gli omozigoti;
- la teoria della dominanza interpreta l'eterosi come il mascheramento di alleli recessivi deleteri trasmessi da uno dei due parentali da parte delle forme dominanti, sia a livello parziale che totale, trasmesse dall'altro parentale dell'incrocio.

6.7. Conservazione ed utilizzazione delle risorse genetiche

La genetica forestale per salvaguardare e valorizzare la biodiversità utilizza due sistemi di conservazione, protezione e gestione delle risorse genetiche forestali:

- la protezione *in situ*;
- la conservazione *ex situ*.

Nel primo caso è evidente l'importanza degli studi sulla genetica delle popolazioni e delle loro strutture per caratterizzare e conservare dinamicamente le popolazioni che interessano. Nel secondo, a parte pochi esempi in cui la conservazione *ex situ* diventa obbligatoria per il salvataggio di *taxa* in rischio di estinzione, ne è evidente l'interesse ai fini del miglioramento genetico. La conservazione *ex situ* assolve il compito di costituire le basi per successive azioni di valorizzazione del germoplasma raccolto (Ducci, 2001).

Capitolo 7. I pioppi e la pioppicoltura

7.1. Le Salicaceae

La famiglia delle *Salicaceae* è l'unica dell'ordine delle Salicales ed è costituita da specie arboree e arbustive, fra i quali arbusti prostrati o nani, anche con fusto e rami ipogei. Le foglie sono semplici, alterne, decidue. I fiori sono unisessuati e riuniti in amenti portati su piante sessualmente diverse. La famiglia è divisa in due generi, *Salix* L. al quale appartengono i salici con circa 300 specie, e *Populus* L. al quale fanno parte i pioppi con una trentina di specie. Le *Salicaceae* hanno per più temperamento eliofilo ed igrofilo con spiccate caratteristiche di pionierismo.

Le differenze morfologiche fra i due generi sono numerose cosicché è abbastanza semplice la loro identificazione.

La gemma è uniperulata per i salici mentre è pluriperulata per il pioppi.

La foglia è penninervia per lo più lanceolata con picciolo breve per i salici, mentre per i pioppi, la maggior parte delle volte, è palminervia, generalmente ovale o triangolare con picciolo lungo.

L'infiorescenza dei salici è un amento eretto mentre questo è pendulo nei pioppi.

I fiori hanno brattea intera con 1-2 nettari ed impollinazione prevalentemente entomofila nei salici, mentre nei pioppi la brattea si presenta dentata o ciliata-fimbriata, senza nettari e di conseguenza l'impollinazione è anemofila. Il fiore maschile, presenta 2-5 stami per i salici, un numero maggiore per i pioppi, variabile fra 4 e 60. Nel fiore femminile i due stigmi presentano stilo comune nei salici. Nel genere *Populus* gli stigmi hanno ognuno un proprio stilo.

La capsula, frutto di entrambi i generi, ha due valve nei salici mentre 2-4 valve per i pioppi.

Il legno ha raggi per lo più eterocellulari nei salici. Per i pioppi questi sono omocellulari.

7.2. Il genere Populus L.

Al genere *Populus*, come detto, appartengono una trentina di specie a portamento prevalentemente arboreo.

Molti di questi sono alberi a rapido accrescimento che possono raggiungere anche dimensioni ragguardevoli; la loro chioma è arrotondata o allungata.

Hanno corteccia di colore variabile con la specie, liscia da giovane, con ritidoma anche molto solcato in piante adulte.

La ramificazione è monopodiale, eccetto che in *P. euphratica* in cui la gemma apicale abscinde, e marcatamente eteroclasica con brachiblasti molto caratteristici.

Le gemme sono pluriperulate, con perule sottili. Quelle del primo paio sono piccole ed opposte mentre le altre sono embricate. Le gemme laterali possono essere anche pauciperulate. Sono sottese dalle cicatrici fogliari che mostrano tre tracce di cicatrici vascolari quasi equidistanti.

Le foglie sono caduche, alterne e spirale, semplici palminervie (più raramente penninervie). La lamina è ovaleggiante o triangolare con margine intero o dentato ed è frequentemente anfistomatica, cioè presenta gli stomi in entrambe le pagine fogliari. Il picciolo è più o meno lungo, spesso compresso lateralmente mentre le stipule sono caduche. Vi è quasi sempre un forte eteromorfismo fra le foglie brachiblastali e quelle macroblastali.

Sono piante dioiche, ad eccezione di *P. lasiocarpa*. I fiori, in amenti pedunculati, appaiono sui rami dell'anno precedente prima delle foglie. Gli amenti maschili sono di solito più brevi e più compatti di quelli femminili. Il calice ha forma di disco appiattito nel fiore maschile, di disco più a coppa nel fiore femminile. Il calice è sempre ascellato da una brattea, caduca, che è sempre dentata, incisa o laciniata. I fiori maschili portano 4-60 stami inseriti sul disco con il filamento libero, breve giallastro e con antere ovoidi o oblunghe, purpuree o rosse. I fiori femminili hanno ovario biloculare con 2 (4) carpelli e altrettanti stigmi interi. Mancano i nettari e l'impollinazione è anemofila.

La fase adulta della pianta inizia precocemente, verso i 5-15 anni; piante di origine agamica derivanti da talea o da ceduzione sono in grado di raggiungere prima la capacità riproduttiva, anche a (1) 2 anni. Il frutto è una capsula che di solito matura prima del pieno sviluppo delle foglie e che alla disseminazione si apre in 2-4 valve. I semi sono piccoli, ovoidali, arrotondati o acuti all'apice, muniti di numerosi peli sericei molto lunghi che in molte specie conferiscono loro un aspetto cotonoso. La loro germinabilità è elevata ma la

facoltà germinativa dura solo poche settimane. Le plantule hanno cotiledoni epigei, piccoli, troncati o rotondeggianti alla base; le prime foglie sono ovali e la prima coppia è opposta.

Diverse specie hanno grande attitudine alla rizogenesi e si possono propagare per talea; inoltre per diversi pioppi è molto alta l'emissione di polloni radicali.

L'apparato radicale si allarga ampiamente producendo anche grosse radici laterali; si rende profondo grazie a numerose radici verticali se la falda o altri fattori non lo impediscono. Il legno dei pioppi è omogeneo, a porosità diffusa, in alcuni casi discolore; i raggi sono sottili e omocellulari nella maggior parte delle specie.

Il genere è diffuso prevalentemente nelle regioni temperate e fredde dell'emisfero settentrionale, ma si ritrova anche in regioni subtropicali, su suoli umidi o molto umidi. Sono specie esigenti in luminosità, pioniere e spesso costituiscono cenosi ripicole. Molti pioppi sono specie ad accrescimento rapido e sostenuto. Il loro accrescimento longitudinale è solo parzialmente determinato e la crescita libera può prolungarsi nel tempo fino all'autunno. Queste caratteristiche fanno dei pioppi un genere molto importante per la produzione del legname. Attualmente l'agricoltura si basa su cloni selezionati e si attua tramite propagazione agamica lasciando quella gamica alla diffusione naturale e alla ricerca.

Il genere *Populus* è suddiviso in 5 sezioni (Gellini R., Grossoni P., 1997):

1. Sezione *Turanga* Bunge. La gemma apicale abscinde. I fiori maschili hanno 8-12 stami. E' limitata ad una sola specie *P. euphratica* Oliv., un grosso arbusto che si ritrova su terreni salmastri dell'Asia Minore e dell'Egitto e della Mongolia. In maniera disgiunta è presente anche in Africa settentrionale fino al Marocco.
2. Sezione *Populus* (= *Leuce* Duby). La corteccia a lungo liscia e chiara può essere anche bianca. Presenta gemme spesso tomentose ma con resina scarsa o assente; la squama fiorale è lungamente ciliata mentre la capsula è stretta e lunga. E' presente in tutte le regioni temperate di tutto l'emisfero (compresa l'Africa settentrionale).

Questa sezione viene a sua volta suddivisa in:

- a. Sottosezione *Albidae* nella quale i rametti e le gemme sono biancastri e pelosi. L'eterofillia è marcata con foglie dei macroblasti tomentose e biancastre nella pagina inferiore con picciolo di sezione quasi circolare. Caratteristico è *P. alba* L..

- b. Sottosezione *Trepidae* in cui i rametti e le gemme sono glabri o appena pubescenti. L'eterofillia è appena pronunciata con foglie tomentose solo al germogliamento. Il picciolo è molto appiattito. Si ricordano tra le specie *P. tremula* L., *P. tremuloides* Michx., *P. grandidentata* Michx..
3. Sezione *Aigeiros* Duby. La corteccia è fessurata mentre le gemme sono appuntite e resinose. Le foglie sono di forma deltoidale o romboidale, con il bordo traslucido, glabre e verdi, con picciolo appiattito. E' presente in tutte le regioni temperate dell'emisfero nord. Tra le specie di questa sezione ci sono *P. nigra* L., *P. deltoides* Marsh..
4. Sezione *Leucoides* Spach. Le gemme sono grosse, coniche, non vischiose e poco profumate. Le foglie sono molto grandi (anche 30 cm), spesso cordate e senza eterofillia accentuata. E' presente in Cina e in Nord America. Tra le specie c'è *P. lasiocarpa* Oliv. pianta monoica.
5. Sezione *Tacamahaca* L.. Le gemme sono grosse, vischiose, molto profumate. Le foglie sono biancastre nella pagina inferiore, acute all'apice e più lunghe che larghe. Le foglie macroblastali con piccioli più corti di quelli delle foglie brachiblastali. Le ghiandole fogliari sono ben visibili. E' presente in Asia settentrionale e centrale ed in Nord America. Le specie più importanti sono *P. balsamifera* L., *P. trichocarpa* Torr. & Gray, *P. laurifolia* Ledeb., *P. koreana* Rehd., *P. maximowiczii* Henry, *P. ciliata* Wall. ex Royle.

Altri autori (Pryor L. D.) hanno proposto la suddivisione del genere *Populus* in 7 sezioni, aggiungendo alle 5 precedenti la sezione *Tsavo* rappresentata dalla specie *P. ilicifolia* (Browicz, 1966) e la sezione *Abaso* rappresentata dalla specie *P. mexicana* (Eckenwalder, 1977). In Europa compresa l'Italia, sono autoctone 3 specie, il pioppo bianco (*P. alba*), il pioppo tremulo (*P. tremula*), il pioppo nero (*P. nigra*), più un'altra entità che è considerata ibridogena (*P. x canescens*). Oltre a questi taxa sono coltivate alcune specie esotiche e numerosi cloni ibridi ottenuti con impollinazione controllata.

7.3. La pioppicoltura

La pioppicoltura è una branca dell'arboricoltura da legno. E' una coltivazione specializzata di specie arboree per la produzione di legname che si inserisce nel normale ciclo produttivo dell'azienda agricola.

La forma più antica di coltivazione del pioppo è quella che in gergo si definisce pioppicoltura "di ripa". Tale coltivazione si svolge in filari che possono trovarsi ai fianchi delle strade, dei canali e dei fiumi sfruttando questi spazi per produrre legno, frasca da foraggio, azione frangivento e anche ombra ed ornamento. Ora questo sistema di coltivazione è in disuso e molti filari, soprattutto lungo la Pianura Padana, sono stati eliminati. Ciò ha prodotto soprattutto innumerevoli problemi di vento.

La pioppicoltura specializzata è un'attività più recente che implica l'impianto di pioppeti più o meno estesi, per della produzione di legno con turni di 9-15 anni. Questo ordinamento produttivo richiede una notevole capacità nella coltivazione e nella scelta del materiale di impianto. Tale pioppicoltura ha come obiettivo l'ottenimento di una produzione quali-quantitativa di legname. Alla fine del ciclo l'impianto può essere sostituito da altre specie o comunque rinnovato con un nuovo impianto.

Ultima delle coltivazioni di pioppo è quella degli impianti a breve rotazione per la produzione delle biomasse. Gli impianti hanno un ciclo di 2-5 anni che può essere reiterato più volte fino ad un massimo di 6, attraverso ceduzioni successive. Tali impianti hanno come scopo quello della produzione quantitativa del legname in tempi ridotti.

7.4. I criteri di miglioramento genetico dei cloni di pioppo

Nella omologazione e nella certificazione dei genotipi di pioppo di selezione recente, si garantisce che ciascuna di loro corrisponda ad unica origine di propagazione vegetativa. Di seguito sono elencate alcune delle linee guida per il miglioramento dei cloni di pioppo (Bernetti, 1995).

- Il sesso. I cloni femminili hanno l'inconveniente della fruttificazione abbondante. Questa fruttificazione riduce la quantità di sostanza che è trasferita dalla pianta per l'accrescimento. Inoltre, per le specie ornamentali è sconsigliato l'uso dei cloni femminili perché i semi, contenuti in un pappo cotonoso, hanno una forte azione allergica. Questo carattere è poco interessante per le piantagioni a breve ciclo, perché la pianta rimane in un perenne stato giovanile.

- La facilità di radicazione per talea legnosa. Alcune specie di pioppo hanno una bassa attitudine alla radicazione, ad esempio il pioppo bianco ed anche qualche clone di *P. deltoides*. Questo è un carattere che deve essere attentamente valutato soprattutto per le piantagioni a breve rotazione che sono costituite con talee. Sarebbe utile che il clone selezionato presentasse elevate percentuali di radicazione nelle più svariate condizioni climatiche.
- La prontezza dell'attecchimento a dimora consente una maggiore produzione e riduce gli attacchi di alcuni parassiti. Questo è un carattere sicuramente importante per le piantagioni a breve rotazione.
- Il fototropismo è un carattere molto importante per le produzioni di tipo tradizionale. Le piante non devono tendere ad incurvarsi alla ricerca della luce, perché altrimenti si danneggia la qualità del legno. I cloni più fototropici presentano, in filare, incurvamento alternativamente opposto. Nelle piantagioni, ai margini, le piante sono curve verso l'esterno, mentre internamente possono avere anche fusto sinuoso. Questo carattere per le piantagioni a breve rotazione non ha un grosso rilievo. Però possono essere importanti le riduzioni di produzione per un'eccessiva competizione per la luce, ovvero per un'eccessiva eliofilia delle piante.
- Il portamento è un carattere molto importante nella pioppicoltura specializzata. I cloni preferiti sono quelli che hanno i rami disposti secondo dei palchi. Invece, i genotipi che hanno un portamento fastigiato sono molto più interessanti per impianti densi e per i filari. Dove gli impianti hanno un'elevata densità per il migliore sfruttamento dell'energia radiante, in linea di principio, sono migliori quei cloni che utilizzano di più lo spazio attraverso un elevato numero di rami.
- La fenologia è un carattere importante per i possibili pericoli di danni da gelo, sia in autunno che in primavera.
- La resistenza al vento dipende dalla resistenza dei rami e dei tronchi nonché dall'ancoraggio più o meno profondo delle piante nel terreno.
- La rapidità di accrescimento è un carattere sicuramente molto importante per le piantagioni a breve rotazione. Questo carattere acquista importanza quando è massimo nella fase giovanile.

- La qualità del legno è un carattere ottenibile a seconda dello scopo della piantagione. Se per le piantagioni specializzate si cerca di ottenere legno più adatto a topi per la sfogliatura, per le piantagioni a breve rotazione il carattere più interessante risulta la densità basale.
- L'adattamento ai suoli e alle stazioni particolari è sempre più importante per il modificarsi delle condizioni climatiche del nostro pianeta. Sempre più importante diventerà la selezione di cloni capaci di tollerare situazioni difficili, come terreni con caratteristiche fisico-chimiche modificate (ad esempio i terreni soggetti a processi di salinizzazione).

7.5. I cloni di pioppo

I cloni di pioppo impiegati nella pioppicoltura specializzata delle pianure sono, generalmente, *P. x euramericana* (l'ibrido fra *P. deltoides* e *P. nigra*), più raramente, *P. x interamericana* (l'ibrido fra *P. deltoides* e *P. trichocarpa*) e *P. deltoides*.

I cloni di pioppo più utilizzati in Italia e che si auspica saranno integrati con cloni più resistenti alle malattie e maggiormente produttivi, sono:

- “I214”, “Boccalari”, “Adige”, “San Martino”, per *P. x euramericana*;
- “Lux” per *P. deltoides*;
- “Villafranca” per *P. alba*.

Per quanto riguarda i cloni adatti alle piantagioni a breve rotazione, attualmente non esistono dei cloni selezionati per questo scopo. La ricerca nel breve periodo è indirizzata ad individuare tra i precedenti cloni quelli che sono più adatti a questo tipo di piantagioni. Nel medio-lungo periodo, anche grazie alle nuove tecniche di miglioramento genetico, la ricerca sarà in grado di selezionare nuovi cloni, magari utilizzando specie autoctone più resistenti alle avversità biotiche coevolute con la malattia. Al riguardo si considera molto interessante *P. alba* e secondariamente *P. nigra*; quest'ultima specie sarà fondamentale per la selezione di nuovo materiale genetico utile per l'ibridazione con *P. deltoides* per la costituzione di *P x euramericana*.

Parte Sperimentale

Capitolo 8. Obiettivi della sperimentazione

Le produzioni di biomasse ligno-cellulosiche in piantagioni a turno breve, dette Short Rotation Forestry (SRF), hanno avuto un forte sviluppo, in Europa e in Italia, da poco più di un decennio.

Il genere *Populus* impiegato in questo tipo di coltivazioni è soggetto ad un'intensa attività di selezione e miglioramento genetico per il raggiungimento di alcuni obiettivi:

- elevata produzione legnosa, specificatamente di biomassa ligno-cellulosica epigea;
- rapido accrescimento delle piante nelle prime stagioni vegetative;
- maggiore tolleranza alle avversità biotiche ed abiotiche.

Tra le azioni di studio svolte in Italia nel campo delle SRF, è da sottolineare quella intrapresa dall'ENEL-CRAM. Quest'iniziativa ha previsto la sperimentazione nell'Italia centro settentrionale di alcuni cloni del gen. *Populus* utilizzati nella pioppicoltura specializzata, valutando le loro potenzialità nelle SRF. Tale ricerca, ha evidenziato l'inadeguatezza di questi cloni, principalmente per la scarsa resa in termini di biomassa (ENEL-CRAM, 1997).

Un'altra sperimentazione, svolta dal Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DiSAFRi) dell'Università della Tuscia presso Boscone a Cavallara (Mantova), ha mostrato l'elevata produttività dei cloni di pioppo bianco iscritti al Registro Nazionale dei Cloni Forestali (RNCF). Inoltre, sono state evidenziate le potenzialità delle specie autoctone di pioppo, *P. alba* e *P. nigra*, che, con adeguati programmi di selezione e di miglioramento genetico, potrebbero risultare competitive in termini di produzioni legnose con gli ibridi di *P. x euramericana*. Infine, le specie autoctone hanno dimostrato di avere una maggiore rusticità e una minore suscettibilità alle avversità biotiche ed abiotiche (Ricciotti, 2002).

Recentemente è stata svolta un'attività di ricerca, promossa da numerosi soggetti sia pubblici che privati, tra i quali l'Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale (IBAF) del CNR e il DiSAFRi dell'Università della Tuscia, con l'obiettivo di verificare le potenzialità produttive di cloni, specificatamente selezionati per la produzione delle biomasse. Anche quest'attività di ricerca è stata svolta in diversi siti sperimentali, sempre ubicati nel Nord

d'Italia, creati e gestiti con diversi cicli colturali. I nuovi cloni analizzati, messi a confronto con alcuni dei cloni già presenti sul mercato e iscritti al RNCF, hanno evidenziato promettenti produzioni (Mareschi, 2005).

Tutte queste sperimentazioni si sono sviluppate seguendo una linea tradizionale di selezione e miglioramento genetico, senza ipotizzare uno sfruttamento delle nuove tecniche legate alla genetica applicata. Sono ora necessari studi che, sfruttando le potenzialità delle biotecnologie, caratterizzino le popolazioni delle specie forestali, processo ormai in atto per molte specie vegetali, garantendo contemporaneamente la selezione e il miglioramento genetico delle stesse.

Presso il DiSAFRi dell'Università della Tuscia, sono state realizzate collezioni di germoplasma di *Populus*, in particolare di *P. alba* e *P. nigra*, utili alla conservazione *ex situ* delle popolazioni e delle specie ed a sviluppare le attività di ricerca nei campi dell'ecologia, dell'ecofisiologia e della genetica.

Dal materiale conservato presso le collezioni di germoplasma di *P. alba* e di *P. nigra* sono state prodotte numerose progenie con differenti scopi di ricerca.

In questo lavoro si utilizza una specifica progenie prodotta dall'incrocio di genotipi selezionati per le seguenti caratteristiche:

- l'appartenenza a popolazioni distinte geograficamente, caratterizzate da differenti condizioni ambientali;
- la marcata differenza dei caratteri morfologici e fisiologici delle popolazioni e delle famiglie di fratellastri di appartenenza.

Nell'ambito del progetto di ricerca europeo, denominato POPYOMICS, tramite lo studio di questa progenie si tenta di valutare e comprendere l'importanza di alcuni caratteri quantitativi coinvolti nella produzione delle biomasse ligno-cellulosiche nelle specie autoctona di *P. alba*.

All'interno di POPYOMICS, quest'attività di ricerca si integra con studi di biologia molecolare necessari all'individuazione dei marcatori genetici coinvolti nell'espressione dei caratteri, utilizzando un'analisi QTL (Quantitative Trait Loci) finalizzata al miglioramento genetico e allo sviluppo della selezione assistita da marcatori molecolari (MAS).

Al progetto POPYOMICS partecipano vari partner europei e ad ognuno di questi è affidato uno specifico compito. Il progetto è suddiviso in cinque settori di lavoro (Workpackage):

1. Produzione di materiale genetico e sviluppo di una rete sperimentale europea per il genoma e la genetica molecolare del pioppo;
2. Individuazione dei caratteri fisiologici legati alla produzione;
3. Individuazione dei caratteri che inducono la resistenza alle malattie;
4. Individuazione di QTL e sviluppo di una mappa genetica di marcatori molecolari del pioppo;
5. Identificazione e mappatura dei geni candidati.

L'Università della Tuscia è direttamente interessata in tre dei cinque settori di lavoro, in particolare nel primo, nel secondo e nel quarto. L'attività di ricerca presentata in questa tesi focalizza l'attenzione sul Workpackage 2, nel quale si individuano e descrivono i caratteri fisiologici legati strettamente alla produzione delle biomasse ligno-cellulosiche.

Il progetto di ricerca POPYOMICS nasce con la finalità di fornire gli strumenti scientifici utili all'attuazione delle politiche dell'UE, sia nella produzione delle biomasse ligno-cellulosiche, nell'ambito della Politica Agricola Comunitaria (PAC), sia nell'incentivazione dell'energia prodotta dalle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER).

Numerosi studi sono stati effettuati su diversi pedigree di *P. x euramericana* e di *P. x interamerica* per evidenziare come i caratteri quantitativi possano essere ereditati nella progenie in funzione dell'ereditabilità e della pressione di selezione che si esercita nel miglioramento genetico (Marron, 2006).

Capitolo 9. Materiali e metodi

9.1. Raccolta, selezione e produzione del materiale sperimentale

Il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DiSAFRi) dell'Università della Tuscia, negli ultimi anni, ha effettuato la raccolta e la conservazione delle popolazioni di *Populus alba* e *P. nigra* presenti nella penisola italiana, garantendo la protezione di buona parte della variabilità genetica di queste specie.

La strategia utilizzata per la conservazione *ex situ* di queste popolazioni è stata espletata tramite la raccolta di germoplasma da piante madri, le quali sono state scelte con metodi sistematici per garantire una bassa consanguinità.

Il materiale genetico raccolto è stato sviluppato all'interno dell'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia, le cui progenie hanno costituito famiglie di fraterastri (*half sib*). I singoli genotipi sono stati identificati per mezzo di un codice, il quale rende possibile l'identificazione della famiglia e della popolazione di appartenenza. Oltre alla conservazione *ex situ*, queste famiglie *half sib* risultano essere un'ottima base di partenza per studi di genetica delle popolazioni e di genetica quantitativa. Fin da subito sono evidenziate le differenze genetiche di ogni famiglia e popolazione; in particolare è stata effettuata l'analisi dei caratteri morfometrici (diametro, altezza, dimensioni fogliari, habitus vegetativo) e fisiologici (fenologia).

I caratteri quantitativi alla base della produzione delle biomasse ligno-cellulosiche possono essere compresi attraverso lo studio delle progenie di prima generazione generate da individui di pioppo appartenenti alla medesima specie o a specie differenti. Conseguentemente, è stato generato un pedigree che racchiudesse la più ampia variabilità genetica della specie, utilizzando dei parentali provenienti da ambienti e latitudini molto diverse (figura 3).

Il pedigree di pioppo bianco, denominato POP4 (142 cloni), studiato in quest'attività di ricerca, è stato ottenuto dall'incrocio dei cloni "14P11" e "6K3". Questi due cloni fanno parte di popolamenti naturali ben distinti. Il "14P11" è il parentale femminile (♀), ed appartiene alla famiglia derivante dalla pianta madre 14P, originaria dell'Italia meridionale (Policoro, MT). Il "6K3" (♂), che appartiene alla famiglia 6K, è originario dell'Italia settentrionale (Carcare, SV).

I due genotipi sono stati scelti perché appartenenti a popolazioni distinte, che suppone una distanza genetica dovuta alle barriere geografiche (figura 3).

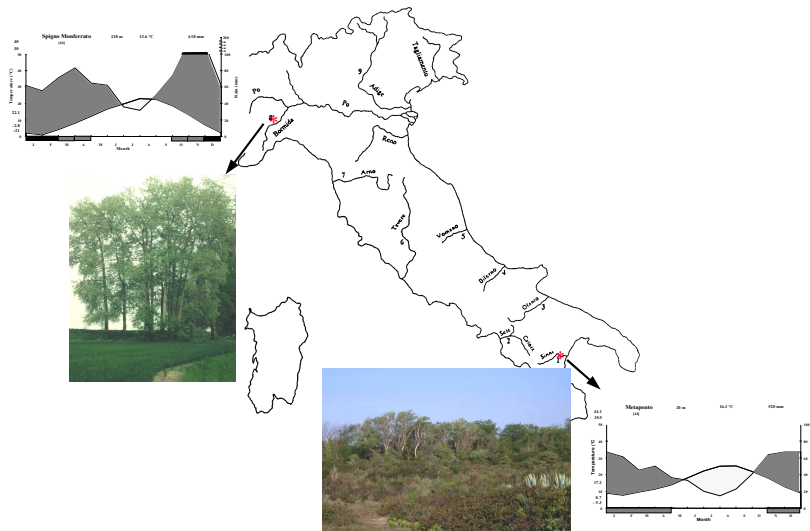


Figura 3. Aree geografiche di provenienza dei parentali

Inoltre, i due parentali presentano una notevole diversità morfologica e fisiologica se collocati nella stessa stazione, facendo ipotizzare risposte adattative diverse con il variare delle condizioni ambientali (figura 4).



Figura 4. Habitus vegetativo dei parentali, a destra il 14P11 (♀), a sinistra il 6K3 (♂)

9.2. Rete di ricerca

Il protocollo di ricerca ha previsto la produzione di materiale genetico per lo sviluppo di una rete sperimentale europea, costituita da tre siti diversi, ubicati rispettivamente in Inghilterra, Francia ed Italia.

I criteri seguiti nella realizzazione degli impianti sono stati codificati all'interno del progetto POPYOMICS nella riunione tenuta a Londra nel dicembre 2002. E' stato previsto l'applicazione del seguente protocollo:

- cinque differenti popolazioni esaminate di pioppo, identificate nei lavori del progetto con il suffisso POP;
- disegno sperimentale omogeneo, in particolare a blocchi randomizzato;
- distanze d'impianto uguali in tutti i siti, specificatamente 2 x 0,75 m;
- sei repliche di ogni popolazione nei diversi campi sperimentali. Per il *P. alba* (POP4) si sono previste 9 repliche, garantendo un numero sufficiente di individui nell'ipotesi di un basso attecchimento delle talee;
- separazione delle popolazioni di pioppo;
- presenza, all'interno di ogni replica, di 6 genotipi (bridges clones) appartenenti alle diverse popolazioni esaminate;
- presenza dei parentali nelle repliche delle popolazione di riferimento;
- due file di bordo realizzate con cloni appartenenti alla stessa specie o ibrido, per eliminare ogni possibile effetto bordo nei diversi blocchi sperimentali;
- selezione di un solo fusto per talea, una volta affermati gli individui, per facilitare le misure morfologiche e fisiologiche;
- periodo definito di tempo per la realizzazione degli impianti, in particolare tra l'ultima decade di marzo e la prima di aprile del 2003, utilizzando talee prelevate nei primi mesi dell'anno, conservate in buste di plastica a -1°C.

Da gennaio a marzo del 2003 è stato individuato, catalogato e preparato il materiale sperimentale sufficiente alla realizzazione dei tre impianti sperimentali e successivamente scambiato con gli altri partner nella riunione tecnica di progetto di Orleans, svolta presso l'INRA a metà marzo 2003.

Oltre al POP4, il gruppo di ricerca del DiSAFRi ha studiato nella stessa sperimentazione, nel sito di Cavallermaggiore altri pedigree:

- l'incrocio di prima generazione (F1) di *P. nigra* fra il "58-861" e il "Poli" (POP5), presente anche nel sito di Montelibretti (figura 4);
- il back cross (B1) di *P. alba* fra il "14P11" e il "23PK" (POP6);
- il back cross (B2) di *P. alba* fra il "34PK" e il "6K3" (POP7);
- l'incrocio di seconda generazione (F2) di *P. alba* fra due genotipi della F1 il "34PK" e il "23PK" (POP8).

9.3. Siti sperimentali

Le piantagioni sperimentali sono dislocate nelle seguenti stazioni (figura 5):

- Headley Nursery (UK), situato nell'Inghilterra meridionale;
- Ardon (F), che si trova nella Francia centrale;
- Cavallermaggiore (I), ubicato in Piemonte nella provincia di Cuneo.

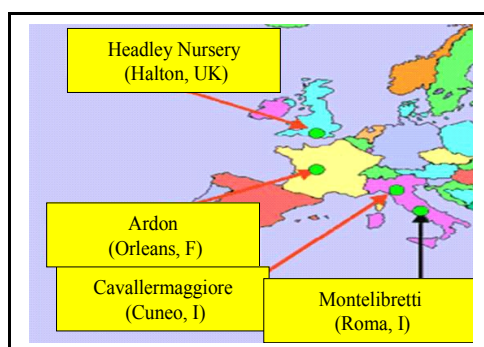


Figura 5. Localizzazione delle piantagioni sperimentali

Le tre stazioni presentano caratteristiche climatiche molto differenti fra loro (tabella 4). Anche le caratteristiche pedologiche sono ben distinte, ma hanno in comune la presenza di suoli permeabili con giacitura pianeggiante o leggermente acclivi, e condizioni omogenee all'interno di ogni sito sperimentale.

Tabella 4. Caratteristiche termopluviometriche dei siti sperimentali (2003)

Sito	Cod	Lat	Long	Alt (m s.l.m.)	Media giornaliera delle temperature (°C)				Dati cumulati delle precipitazioni (mm)			
					Primavera	Estate	Altro	Anno	Primavera	Estate	Altro	Anno
Cavallermaggiore	I	44°42' N	7°40' E	285	17,9	21,9	6,3	12,3	123,4	91,2	307,4	533,2
Ardon	F	47°46' N	1°52' E	110	15,6	19,7	6,8	11,7	188,3	113,5	242,4	685,0
Headly Nursery	UK	51°07' N	0°50' W	60	12,9	17,0	7,9	10,9	141,4	62,1	335,2	729,3

Il sito di Cavallermaggiore, il più grande, ha caratteristiche climatiche molto favorevoli allo sviluppo delle coltivazioni di pioppo, siano esse piantagioni a breve rotazione o in coltura specializzata. In esso sono presenti tutti i pedigree studiati all'interno di POPYOMICS (figura 6, tabella 5).

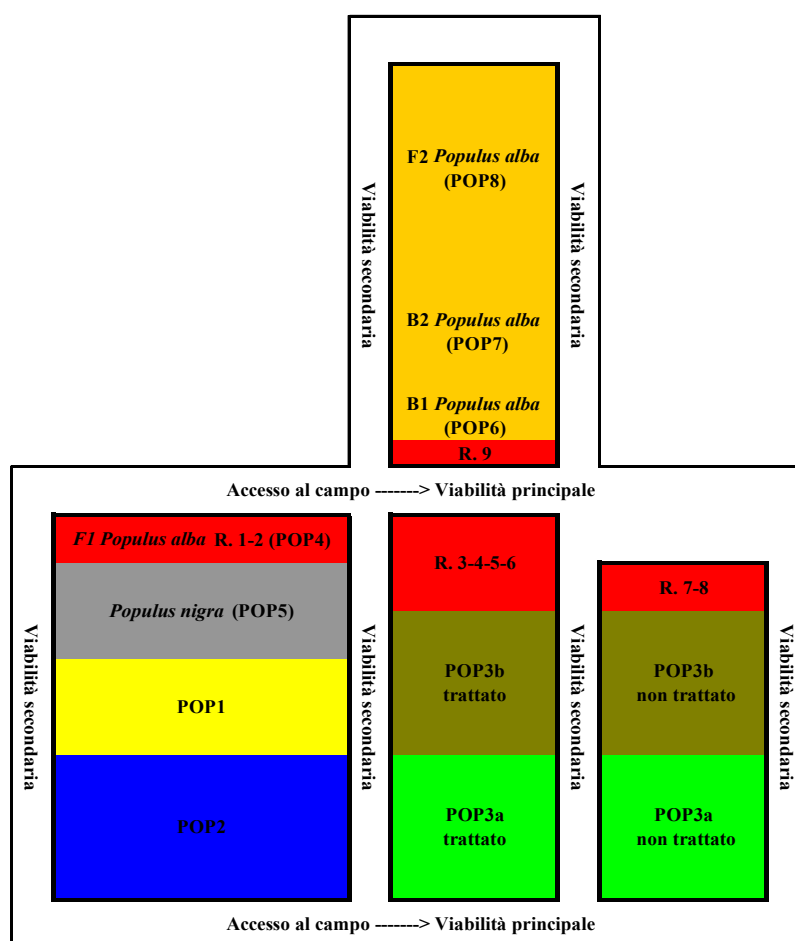


Figura 6. Distribuzione spaziale dei pedigree e delle repliche nella piantagione sperimentale di Cavallermaggiore

Tabella 5. Caratteristiche generali dei pedigree sperimentali

Pedigree	Parentali (¹)	Genotipi	Numero delle repliche			
			Headley Nursery	Ardon	Cavallermaggiore	Montelibretti
POP1	T x D	206	6	6	6	-
POP2	D x T	333	6	6	6	-
POP3a	D x N	180	6	6 + 6 (²)	6 + 6 (²)	-
POP3b	D x T	182	6	6 + 6 (²)	6 + 6 (²)	-
POP4	A x A	142	9	9	9	-
POP5	N x N	160	-	-	6	6
POP6	A x A	40	-	-	6	-
POP7	A x A	126	-	-	6	-
POP8	AxA	296	-	-	6	-

(¹) T = *P. trichocarpa*, D = *P. deltoides*, N = *P. nigra*, A = *P. alba*
(²) 6 repliche sottoposte alle normali cure colturali + 6 repliche non trattate contro i patogeni fungini comunemente definiti “ruggini”

E' necessario sottolineare come la sperimentazione sia coincisa con il verificarsi di un fenomeno meteorologico particolare, un'estate torrida e seccitosa (2003). Nella stazione termopluviometrica sita a Villanova Solaro, distante 10 km dalla piantagione di Cavallermaggiore, si sono evidenziate piovosità più contenute, 533 mm contro i 768 mm medi, e valori termici elevatissimi, registrando la temperatura più alta fino ad ora rilevata in quella stazione, 39,2 °C (figura 7).

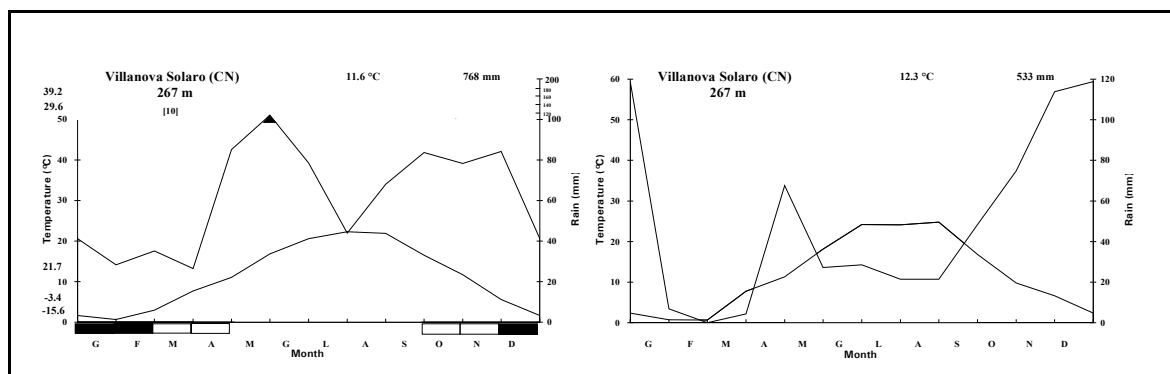


Figura 7. Stazione termopluviometrica di Villanova Solaro (media di 10 anni e 2003)

9.4. Piano generale di lavoro

Per raggiungere gli obiettivi preposti, la sperimentazione è stata condotta secondo un piano generale di lavoro ben definito. Tale piano è suddivisibile secondo queste fasi:

1. Collezione dei dati (morfometrici, fogliari, produttivi);
2. Correzione dei dati (individuazione degli outliers, trasformazione dei dati, aggiustamento spaziale dei dati);
3. Analisi dei dati intrasito (medie genotipiche aggiustate, ereditabilità individuale e genotipica, correlazione fra i caratteri, eterosi);
4. Analisi dei dati intersito (componenti della varianza, correlazione fra i siti per i singoli caratteri).

9.5. Collezione dei dati

Per la maggior parte dei parametri rilevati, il protocollo sperimentale per la raccolta dei dati è stato definito all'interno del Workpackage 2 del progetto POPYOMICS.

Alcuni parametri, quali le caratteristiche fogliari dei pedigree esaminati sono stati definiti all'interno del gruppo di ricerca del DiSAFRi.

La stima dei caratteri quantitativi è stata eseguita usando gli idonei strumenti forestali; i dati così acquisiti sono stati raccolti in formato digitale grazie all'utilizzo di un computer palmare (COMPAQ 3950 iPAQ), snellendo le procedure di archiviazione degli stessi e riducendo al minimo gli errori di trascrizione.

I dati relativi ai caratteri presi in esame sono stati organizzati in un database aggiornabile automaticamente (Excel). Per questo scopo si sono utilizzati dei file origine che, riproducendo lo schema sperimentale di ogni impianto, hanno garantito l'aggiornamento del database tramite la sincronizzazione dei file.

Il risultato di questo processo è stato un database, privo di errori e di facile gestione sia nella acquisizione dei dati sia nella successiva analisi statistica.

9.5.1. Caratteri morfometrici

I caratteri morfometrici sono stati stimati effettuando le misure in campo nei periodi di riposo vegetativo, tra novembre e marzo.

I valori che descrivono i caratteri dell'accrescimento di una pianta possono essere presi sia direttamente che indirettamente. Questi ultimi vengono ricavati dai primi tramite funzioni elementari (tabella 6).

I caratteri misurati direttamente sono (figura 8):

- circonferenza del fusto della pianta (2003-2004). Questo valore è stato stimato per mezzo di una fettuccia di scala millimetrata, misurando la circonferenza del fusto ad un metro di altezza (C03, C04);
- altezza della pianta (2003-2004). Tale valore è stato stimato per mezzo di una stadia forestale di scala centimetrata. Nel primo anno è stata utilizzata una stadia di 5 m, mentre nel secondo anno è stato necessario l'uso di una stadia di 10 m di altezza (H03, H04);
- numero dei rami sillettici (2003). Il numero dei rami è stato ricavato su tutta la lunghezza del fusto alla fine della prima stagione vegetativa (R03);



Figura 8. Rilievi morfometrici (1. diametro, 2. rami, 3. altezza, 4. gemme)

I caratteri misurati indirettamente sono:

- indice di volume (2003-2004). Tale valore è stimato ipotizzando le piante di forma conica, cioè la forma geometrica che meglio interpreta la pianta di giovane età. L'indice di volume è ricavato dalla seguente formula, $IV = (C^2 * H^3) / [12\pi * (H - 100)^2]$ (IV03, IV04);
- indice dei rami (2003). Questo parametro è dato dal rapporto del numero dei rami sillettici per la lunghezza della pianta, $IR = R / H$ (IR03).

Tabella 6 Quadro sinottico dei caratteri morfometrici

Carattere	Simbolo	Rilievi		Formula	Unità di misura
Circonferenza	C	C03	C04	-	cm
Altezza	H	H03	H04	-	cm
Numero dei rami sillettici	R	R03	-	-	-
Indice di volume	IV	IV03	IV04	$IV = (C^2 * H^3) / [12\pi * (H - 100)^2]$	cm ³
Indice dei rami	IR	IR03	-	$IR = R / H$	cm ⁻¹

9.5.3. Caratteri fogliari

Il protocollo sperimentale adottato per l'analisi dei caratteri fogliari ha previsto primariamente la costituzione di un idoneo campione, rappresentativo, concretizzabile ed affidabile scientificamente (figura 9).

Il campione è stato costituito su tutti i genotipi, prelevando una foglia da ogni individuo. In totale, per il pedigree in esame, sono state raccolte circa 2000 foglie. Ogni singola foglia, per evidenziare le caratteristiche tipiche del genotipo, doveva presentarsi ben formata e matura; per questo e per garantire la massima omogeneità e casualità nella scelta del campione è stata prelevata la foglia 15 (± 2) dall'apice vegetativo, considerando la foglia 0 quella avente la lamina fogliare di 2 cm. Il periodo scelto per il campionamento, diverso in ogni sito in base alle differenti condizioni climatiche, è stato quello terminale della stagione vegetativa, comunque prima della conclusione dell'accrescimento longitudinale delle piante. In definitiva il campionamento è stato eseguito nella seconda metà del mese di agosto, nei siti I e F, e nella prima settimana del mese di settembre, nel sito UK.

La seconda fase, immediatamente successiva al campionamento, ha previsto l'immagazzinamento in formato digitale delle immagini fogliari tramite la scansione di ogni singola foglia. Ogni immagine a colori è stata acquisita a grandezza naturale, con

formato digitale .jpg, avente risoluzione di 59,055 pixel cm⁻¹ (150 pixel inch⁻¹). Per l'acquisizione delle immagini è stato utilizzato lo scanner EPSON PERFECTION 1260. Per l'identificazione delle foglie è stata apposta una sigla sulla pagina superiore con la quale è stato possibile identificare il pedigree, il clone e la replica di appartenenza (figura 10).

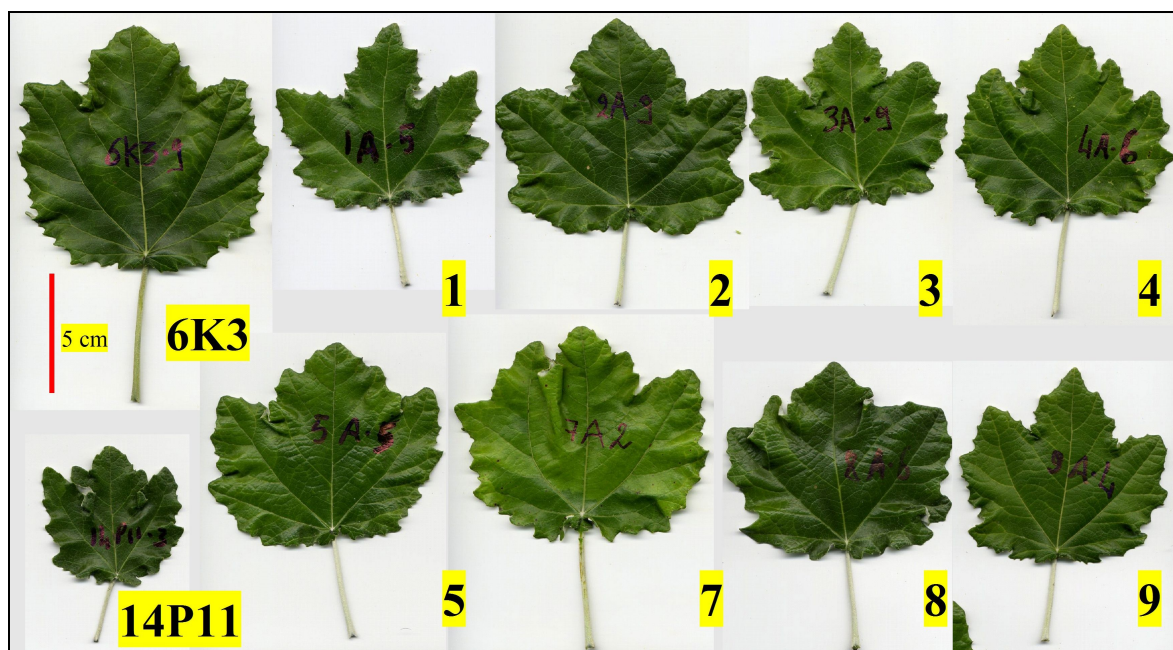


Figura 9. Immagini fogliari dei parentali, 14P11 (♀), 6K3 (♂), e di alcuni genotipi della progenie

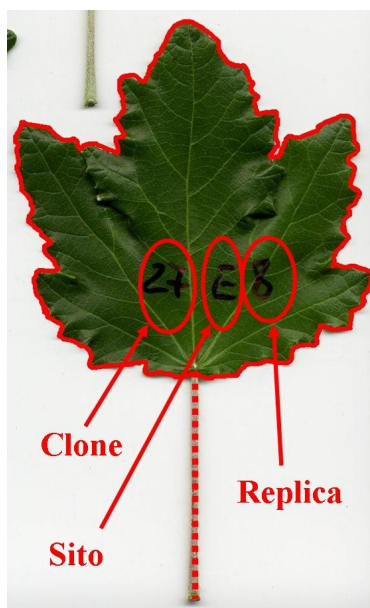


Figura 10. Identificazione delle foglie del campione

9.5.3.1. Area fogliare

Per la stima dell'area fogliare (tabella 7) sono stati utilizzati i software PHOTOSHOP 6.0 ed Excel. La procedura adottata ha previsto più fasi:

- apertura delle singole immagini fogliari nel programma PHOTOSHOP 6.0;
- selezione della pagina fogliare tramite la funzione lazo magnetico con il quale è possibile differenziare parte di un'immagine ad elevato contrasto;
- stima dei pixel contenuti nella selezione tramite la funzione istogramma e trascrizione di questo valore su foglio elettronico di Excel;
- stima dell'area fogliare per mezzo del rapporto fra il numero di pixel della pagina fogliare selezionata e il numero costante di pixel contenuto nell'unità di superficie ($3487,493025 \text{ pixel cm}^{-2}$).

I valori ottenuti con questa stima sono molto attendibili. Prove preliminari hanno evidenziato che misure ripetute su una singola foglia hanno valori dell'errore standard (se) e del coefficiente di variazione (CV) molto contenuti (tabella 8). Per ogni singola foglia è stato quindi sufficiente effettuare la stima in unica misura.

9.5.3.2. Lunghezza del picciolo

Per la stima della lunghezza del picciolo (tabella 7) sono stati utilizzati i software ImageTool 3.0 ed Excel. La procedura adottata ha previsto più fasi:

- apertura delle singole immagini fogliari nel programma ImageTool 3.0;
- stima dei pixel del profilo del picciolo tramite la funzione Distance, che costituisce una spezzata lungo il profilo del picciolo;
- trascrizione dei valori ottenuti, per ogni picciolo, su foglio elettronico di Excel;
- stima della lunghezza del picciolo tramite il rapporto fra il numero di pixel della spezzata che lo rappresenta e il numero costante di pixel contenuto nell'unità di lunghezza (59,055 pixel cm⁻²).

I valori ottenuti con questa stima sono molto attendibili. Similmente ai risultati dell'area fogliare, le prove preliminari hanno evidenziato misure valori dell'errore standard (se) e del coefficiente di variazione (CV) molto contenuti, comunque superiori a quelli dell'area fogliare (tabella 8). Anche in questo caso si è proceduto alla stima della lunghezza del picciolo in unica misura.

Tabella 7. Quadro sinottico dei parametri identificativi della biomassa epigea

Carattere	Simbolo	Unità di misura
Area fogliare	AF	cm ²
Lunghezza del picciolo	LP	cm

Tabella 8. Risultati delle prove preliminari nella stima dell'area fogliare e della lunghezza del picciolo (genotipo casuale)

Replica	Area fogliare (pixel)	Area fogliare (cm ²)	Lunghezza picciolo (pixel)	Lunghezza picciolo (cm)
1	208837	59,88	311,54	5,28
2	208566	59,80	312,04	5,28
3	209026	59,94	308,05	5,22
4	209310	60,02	309,84	5,25
5	208912	59,90	308,79	5,23
6	208574	59,81	309,84	5,25
7	209077	59,95	308,54	5,22
8	208790	59,87	309,59	5,24
9	209384	60,04	310,37	5,26
10	208523	59,79	308,67	5,23
Media	208899,9	59,90	309,73	5,24
Deviazione standard	302,90	0,09	1,30	0,02
Errore standard	95,79	0,03	0,41	0,01
Coefficiente di variazione	0,14	0,14	0,42	0,42
Minimo	208523	59,79	308,05	5,22
Massimo	209384	60,04	312,04	5,28

9.5.4. Caratteri produttivi

Per valutare le capacità produttive dei diversi pedigree nelle differenti condizioni ambientali e l'influenza dei caratteri morfometrici principali nella produzione di biomassa, è stata prevista la raccolta di una parte del materiale prodotto. Il rilievo è stato eseguito, tra dicembre 2004 e febbraio 2005, alla fine della seconda stagione vegetativa.

Il protocollo per la raccolta di biomassa, deciso in ambito di progetto, ha previsto la costituzione di un campione di 20 cloni, più i due parentali. Previa esclusione delle piante "outliers" (piante malformate, anomale nelle dimensioni, ecc.), è stato previsto il prelievo di 3 individui per clone; gli individui sono stati selezionati, tenendo conto della presenza di piante rappresentative di tutte le dimensioni e di tutti i differenti habitus vegetativi. Per la scelta dei cloni si è utilizzato il pacchetto statistico R che, attraverso un apposito algoritmo ha effettuato la selezione, considerando i parametri circonferenza (C04), altezza (H04) e numero dei rami sillettici (R03).

Per ogni pianta scelta sono stati pesati il fusto ed i rami separatamente, ottenendo il peso fresco totale della pianta mediante la somma delle due componenti. La relazione fra il

diametro e il peso fresco ha permesso la stima della biomassa epigea fresca prodotta da ogni pianta del pedigree.

Per ottenere il peso secco delle piante si sono utilizzati quattro campioni, due prelevati dal fusto e due dai rami. Questi campioni rappresentano rispettivamente circa il 10% del peso fresco totale di ogni pianta. Ogni campione di fusto è stato composto, prelevando due frammenti, uno nella parte basale ed uno nella parte apicale della pianta. Ogni campione di rami è stato ottenuto dalla selezione puramente casuale dei rami della pianta (figura 13).



Figura 11. Stima della biomassa, fasi di laboratorio (1. potatura, 2. campionamento, 3. pesatura, 4. immagazzinamento)

I valori ottenuti sono stati successivamente riportati nell'unità di superficie e su una scala annuale di produzione (tabella 9). Tramite una semplice equazione sono stati stimati i valori di tutti gli individui del pedigree (dati gentilmente concessi dal dott. Maurizio Sabatti).

Tabella 9. Quadro sinottico dei parametri identificativi della biomassa epigea

Carattere	Simbolo	Unità di misura
Biomassa secca del fusto	PSF	t ha ⁻¹ a ⁻¹
Biomassa secca totale	PST	t ha ⁻¹ a ⁻¹

9.6. Analisi dati

Una volta effettuata l'acquisizione dei dati, nella prima fase del piano generale di lavoro, i caratteri quantitativi sono stati analizzati secondo uno specifico protocollo statistico.

9.6.1. Validazione dei dati

Dopo aver archiviato i dati grezzi, è stato necessario evidenziare i valori individuali palesemente discordanti con l'intera popolazione campionaria. La prima fase ha previsto una divisione dei dati palesemente anomali. Si è proceduto con excel attraverso la funzione filtro, distinguendo ed eliminando i valori manifestamente in disaccordo con la descrizione di un determinato fenomeno. Ad esempio piante alte 10 cm contro una media di 300 cm, “non possono” esistere nella popolazione campionaria.

La presenza di questi pochi valori anomali (outliers) è dovuta all'errata acquisizione e/o trascrizione dei dati. Inoltre, individui particolarmente inconsueti hanno prodotto valori palesemente discordanti con quelli del genotipo, e per questo sono stati esclusi dalla sperimentazione.

Notevole importanza ha avuto l'identificazione dei possibili outliers in campo, permettendo lo snellimento del lavoro di validazione dei dati.

9.6.2. Analisi dati intrasito

L'analisi intrasito, di ogni specifico carattere preso in esame, è stata effettuata su tutti i genotipi che presentavano tre dati per sito sperimentale. Inoltre, sono stati esclusi dall'analisi gli individui appartenenti ai due parentali del pedigree.

La prima fase dell'analisi statistica è stata di tipo descrittivo. Al riguardo, si sono utilizzati i valori statistici che descrivono la posizione e la distribuzione della popolazione dei dati, il minimo, il massimo, la mediana, la media, la deviazione standard e la distribuzione di frequenza.

In ogni sito sperimentale è stata effettuata l'analisi della varianza (ANOVA) con il modello lineare generale (lm), utilizzando il programma R (versione 1.9.1):

$$Y_{ij} = \mu + B_i + G_j + \varepsilon_{ij}$$

in cui:

- Y_{ij} rappresenta il valore dell'individuo appartenente al genotipo (j) nella replica (i);
- μ rappresenta la media generale del carattere considerato;
- B_i è l'effetto della replica i-esima (*fixed*);
- G_j è l'effetto del genotipo (*random*);
- ε_{ij} rappresenta l'errore sperimentale dovuto alla variabilità tra le piante di uno stesso genotipo.

Successivamente è stata effettuata l'analisi grafica della distribuzione di frequenza. Utilizzando sempre R, è stato possibile descrivere e caratterizzare la distribuzione e i suoi residui con i seguenti grafici (Allegato A):

- Normal Q-Q;
- Residuals vs Fitted;
- Scale-Location;
- Cook's distance.

Tramite questi grafici è stato possibile individuare visivamente i valori individuali che più si discostavano dalla media generale e dalla media del singolo genotipo. Tali valori individuali sono stati valutati e, nel caso di superamento di determinate soglie di tolleranza, scartati dalla popolazione campionaria.

Successivamente, per i diversi caratteri esaminati, è stato effettuato un test di normalità della distribuzione con il metodo di BoxCox. Quando la distribuzione ha presentato un sostanziale di scostamento dalla normalità (asimmetria e curtosi), si è proceduto alla trasformazione dei dati, in coerenza con i risultati del test di BoxCox (Soliani, 2004). La trasformazione applicata è stata la medesima in ogni sito sperimentale, anche nel caso di discordanza del test di BoxCox. In questo caso, è stata applicata la trasformazione che restituiva una distribuzione normale in almeno due siti sperimentali.

Dopo la trasformazione dei dati è stato necessario l'eseguimento di un'altra analisi della varianza, utilizzando i valori trasformati.

Per la stima delle componenti *random* della varianza, cioè la varianza ambientale (σ^2_E) e la varianza genetica (σ^2_G), si sono utilizzate semplici equazioni di primo grado (Tabella 10).

Tabella 10. Modello dell'ANOVA, stima delle componenti della varianza (intrasito)

Fattore	Gradi di libertà	Varianza	Formula della varianza	Stima delle componenti della varianza
Replica	$r-1$	V_1	$\sigma^2_E + g\sigma^2_B$	$\sigma^2_B = (V_1 - V_3)/g$
Genotipo	$g-1$	V_2	$\sigma^2_E + r\sigma^2_G$	$\sigma^2_G = (V_2 - V_3)/r$
Errore	$(r-1)(g-1)$	V_3	σ^2_E	$\sigma^2_E = V_3$
Repliche	r			
Genotipi	g			

Successivamente, è stata stimata l'eterosi percentuale sia rispetto alla media dei parentali (H_1) sia rispetto al valore medio del parentale con la prestazione maggiore (H_2):

$$H_1 = (F_1 - P) / P * 100$$

$$H_2 = (F_1 - P_{MAX}) / P_{MAX} * 100$$

in cui:

- F_1 rappresenta la media del valore agronomico della progenie;
- P la media dei due genotipi parentali;
- P_{MAX} il valore del parentale con la maggiore prestazione.

In seguito, è stata stimata l'ereditabilità senso lato, sia genotipica che individuale, ricavata dalle seguenti espressioni:

$$h^2_I = \sigma^2_G / (\sigma^2_G + \sigma^2_E)$$

$$h^2_G = \sigma^2_G / (\sigma^2_G + (\sigma^2_E / n_i))$$

in cui:

- h^2_I rappresenta l'ereditabilità individuale;
- h^2_G l'ereditabilità genotipica;
- σ^2_G la varianza di tipo genetico;
- σ^2_E la varianza ambientale;
- n_i il numero medio di individui per genotipo.

Inoltre, è stata effettuata la correlazione fra i diversi caratteri esaminati, utilizzando il metodo di Pearson.

9.6.3. Analisi dati intersito

Prima di procedere con l'analisi intersito, nel caso di differenze significative fra le repliche di un sito sperimentale è stata necessaria la correzione dei dati per l'effetto blocco, effettuata utilizzando R (allegato A).

L'analisi della varianza è stata eseguita con il medesimo software, applicando il modello lineare (lm):

$$Y'_{jkl} = \mu + G_j + S_k + G*S_{jk} + \varepsilon_{jkl}$$

in cui:

- Y'_{jkl} il valore individuale aggiustato per l'effetto blocco in ogni sito sperimentale ($Y' = Y - B_i$, dove B_i è l'effetto della replica) appartenente al clone (j) nel sito (k);
- μ rappresenta la media generale del carattere considerato;
- G_j è l'effetto del genotipo (*random*);
- S_k è l'effetto del sito (*random*);
- $G*S_{jk}$ è l'effetto dell'interazione fra il genotipo e il sito (*random*);
- ε_{jkl} rappresenta l'errore sperimentale.

Per la stima delle componenti della varianza *random*, cioè la varianza genetica (σ^2_G), la varianza del sito (σ^2_S), la varianza d'interazione genotipo per ambiente (σ^2_{GS}) e la varianza ambientale (σ^2_E), si sono utilizzate semplici equazioni di primo grado (Tabella 11).

Tabella 11. Modello dell'ANOVA, stima delle componenti della varianza (intersito)

Fattore	Gradi di libertà	Varianza	Formula della varianza	Stima delle componenti della varianza
Sito	s-1	V_1	$\sigma^2_E + r\sigma^2_{GE} + rg\sigma^2_S$	$\sigma^2_S = (V_1 - V_3)/rg$
Genotipo	g-1	V_2	$\sigma^2_E + r\sigma^2_{GE} + rs\sigma^2_G$	$\sigma^2_G = (V_2 - V_3)/rs$
Sito * Genotipo	(s-1)(g-1)	V_3	$\sigma^2_E + r\sigma^2_{GE}$	$\sigma^2_{GE} = (V_3 - V_4)/r$
Errore	s(r-1)(g-1)	V_4	σ^2_E	$\sigma^2_E = V_4$
Siti	s			
Repliche	r			
Genotipi	g			

Più grande è l'interazione genotipo per ambiente ($G*S_{jk}$), meno stabile e prevedibile sono le relative prestazioni in un determinato ambiente.

Quando l'ANOVA ha mostrato effetti significativi di interazione genotipo per ambiente ($G*S_{jk}$) per un determinato carattere, è stata effettuata la correlazione fra i diversi siti con il metodo di Spearman, valutando la plasticità fenotipica del pedigree al variare delle condizioni ambientali.

Capitolo 10. Risultati

10.1. Analisi dei dati intrasito

10.1.1. Trasformazione dei dati

Prima di procedere con l'analisi intrasito dei singoli caratteri, è stata effettuata un'analisi preliminare per valutare la normalità delle diverse distribuzioni dei dati per mezzo del test di BoxCox (allegato B). I risultati di quest'analisi hanno evidenziato la necessità di procedere per alcuni caratteri alla trasformazione dei dati sperimentali, effettuando la radice quadrata dei valori (tabella 12).

Tabella 12. Trasformazione dei dati

Nome del carattere	Codice	Trasformazione dei dati
Peso secco totale	PST	-
Peso secco del fusto	PSF	-
Indice di volume 2003	IV03	Radice quadrata
Indice di volume 2004	IV04	Radice quadrata
Altezza 2003	H03	-
Altezza 2004	H04	-
Circonferenza 2003	C03	-
Circonferenza 2004	C04	-
Rami sillettici 2003	R03	Radice quadrata
Indice dei rami 2003	IR03	Radice quadrata
Area Fogliare	AF	Radice quadrata
Lunghezza del picciolo	LP	-

10.1.2. Distribuzione dei dati, Analisi della varianza e test di normalità

Per tutti i caratteri esaminati è stata effettuata l'analisi della varianza e successivamente sono stati effettuati test di normalità per valutare la qualità dei dati (BoxCox, Bartlett).

Tutti i caratteri hanno presentato differenze significative sia per il fattore replica che per il genotipo. Soltanto in alcuni casi non sono state riscontrate differenze significative fra le repliche, R03 nel sito I, IR03 nel sito F, AF nel sito I, LP nel sito I.

Discorso a parte va effettuato per la stima dei caratteri PSF e PST, dove non ci sono state differenze significative fra le repliche. Tali valori sono stati stimati, utilizzando i dati corretti per l'effetto blocco dei caratteri C04, H04, R03.

I test di normalità hanno dato in generale una valutazione positiva sulla qualità dei dati. I caratteri presi in esame hanno avuto comportamenti simili nei tre siti sperimentali garantendo, così il corretto confronto intersito.

10.1.2.1. Circonferenza 2003

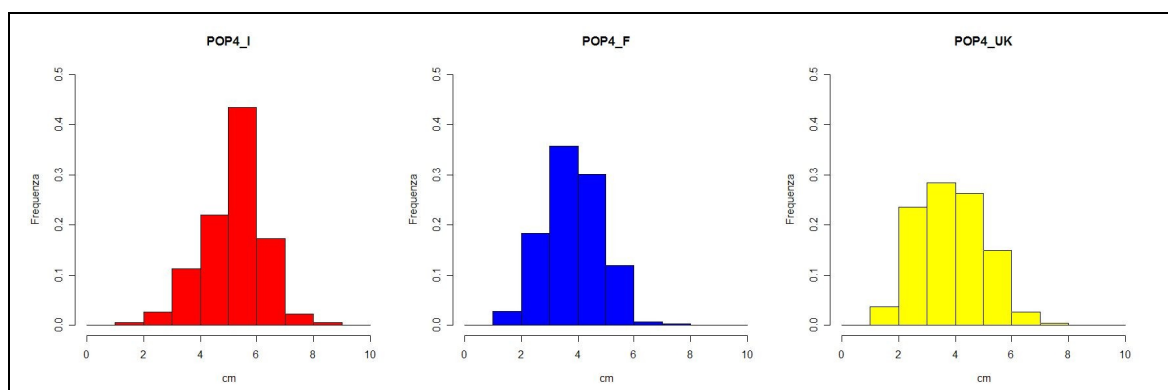


Figura 12. C03, distribuzione di frequenza

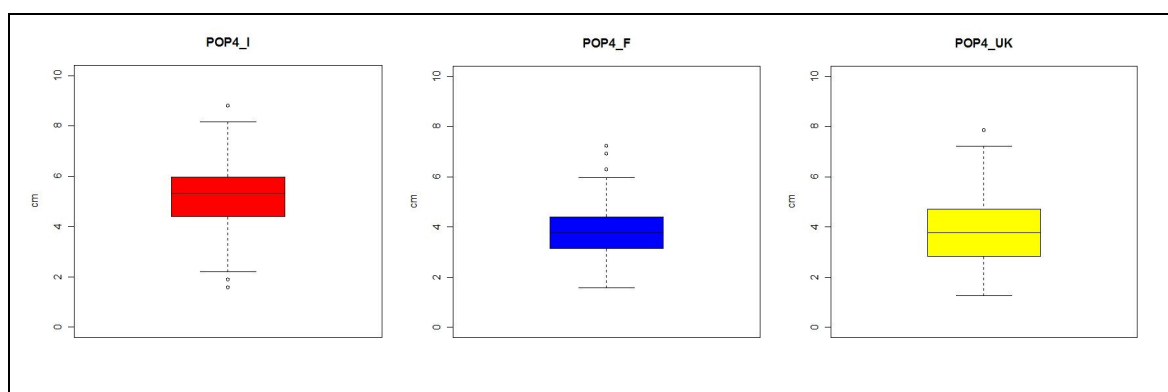


Figura 13. C03, diagramma scatola a baffi

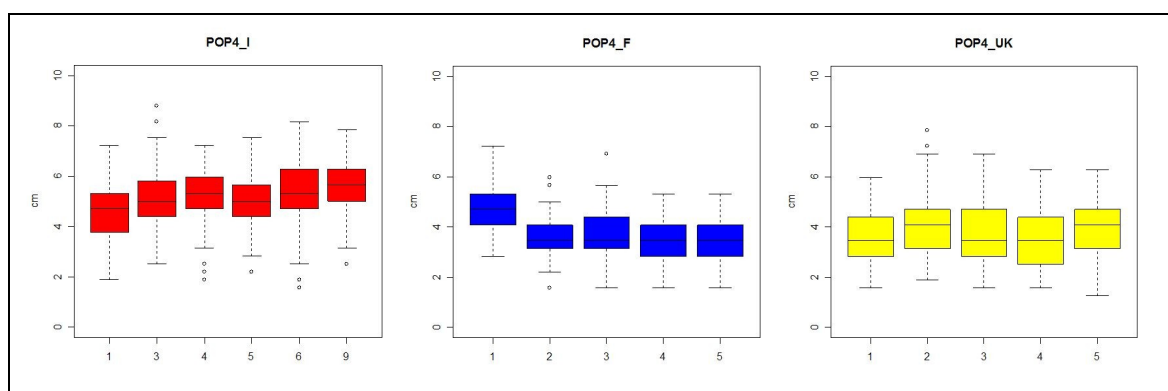


Figura 14. C03, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	5	51.86	10.37	10.0632	3.211e-09	***
Genotype	134	269.08	2.01	1.9484	9.280e-08	***
Residuals	533	549.32	1.03			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Figura 15. C03, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	124.957	31.239	45.8680	< 2.2e-16	***
Genotype	138	130.693	0.947	1.3905	0.006698	**
Residuals	435	296.266	0.681			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Figura 16. C03, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	29.49	7.37	6.5889	3.877e-05	***
Genotype	124	231.82	1.87	1.6710	0.0001146	***
Residuals	387	432.96	1.12			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Figura 17. C03, risultato dell'ANOVA nel sito UK

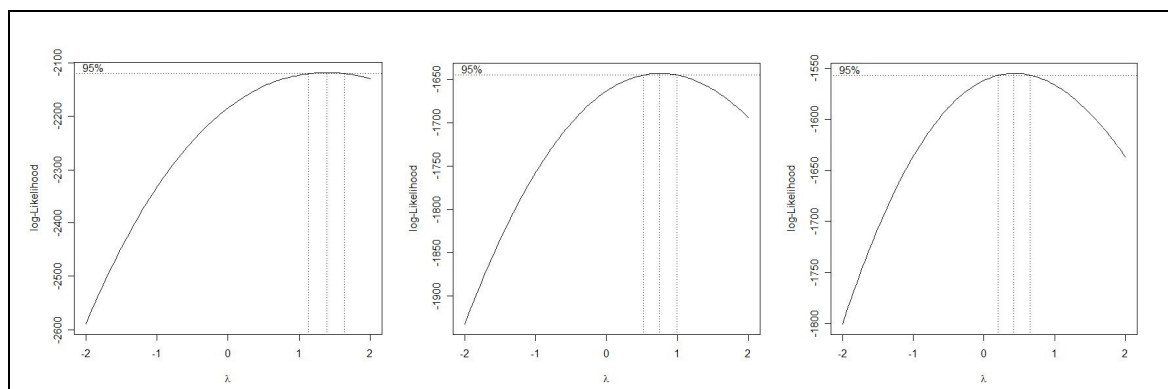


Figura 18. C03, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
data: circonferenza.03 by block
Bartlett's K-squared = 11.8548, df = 5, p-value = 0.03683
Bartlett test for homogeneity of variances
data: circonferenza.03 by genotype
Bartlett's K-squared = 136.7165, df = 134, p-value = 0.4186

Figura 19. C03, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
data: circonferenza.03 by block
Bartlett's K-squared = 5.6018, df = 4, p-value = 0.2309
Bartlett test for homogeneity of variances
data: circonferenza.03 by genotype
Bartlett's K-squared = 130.5455, df = 138, p-value = 0.6616

Figura 20. C03, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
data: circonferenza.03 by block
Bartlett's K-squared = 5.8274, df = 4, p-value = 0.2124
Bartlett test for homogeneity of variances
data: circonferenza.03 by genotype
Bartlett's K-squared = 123.7531, df = 124, p-value = 0.4894

Figura 21. C03, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.2. Circonferenza 2004

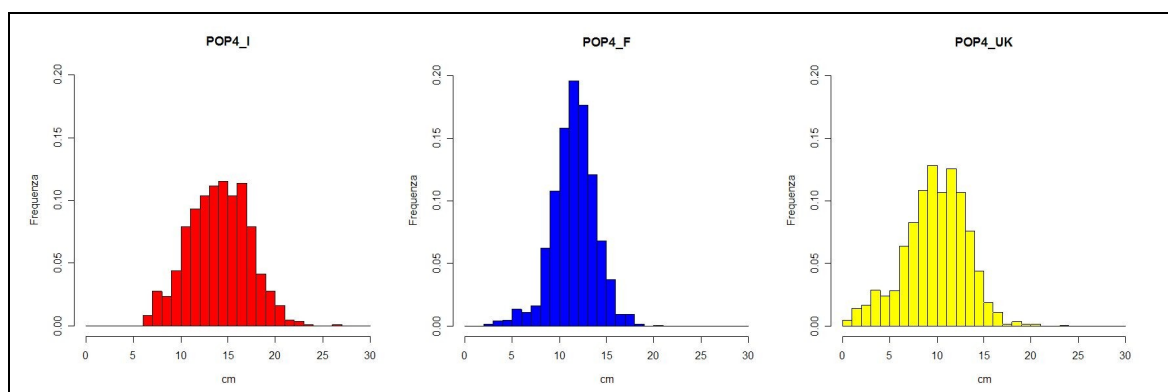


Figura 22. C04, distribuzione di frequenza

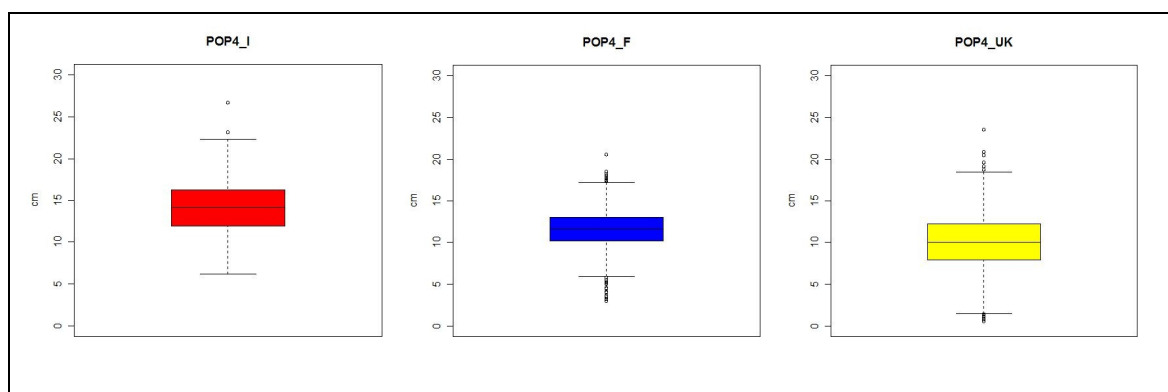


Figura 23. C04, diagramma scatola a baffi

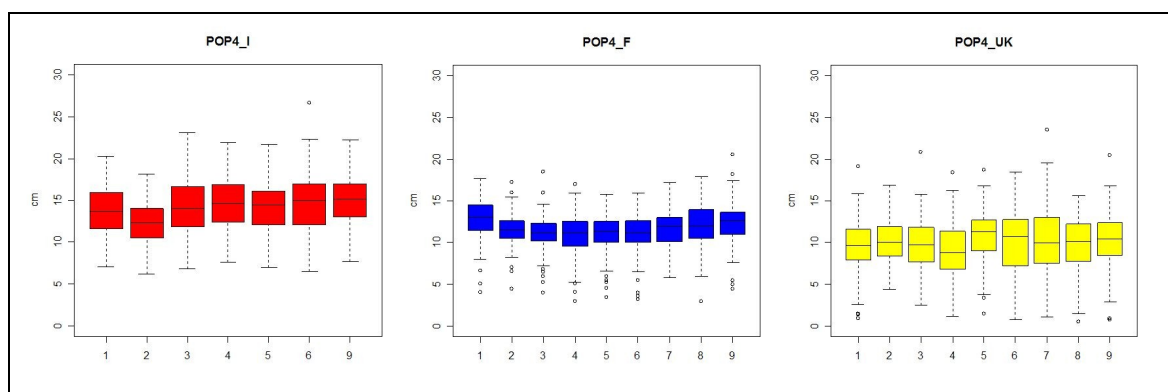


Figura 24. C04, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	6	508.1	84.7	11.6827	1.846e-12 ***
Genotype	134	2834.8	21.2	2.9184	< 2.2e-16 ***
Residuals	657	4762.5	7.2		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 25. C04, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	8	428.9	53.6	11.9309	2.278e-16 ***
Genotype	141	1235.3	8.8	1.9496	4.767e-09 ***
Residuals	1025	4606.0	4.5		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 26. C04, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	8	248.4	31.0	3.2270	0.001257 **
Genotype	140	2887.3	20.6	2.1436	3.211e-11 ***
Residuals	918	8832.2	9.6		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 27. C04, risultato dell'ANOVA nel sito UK

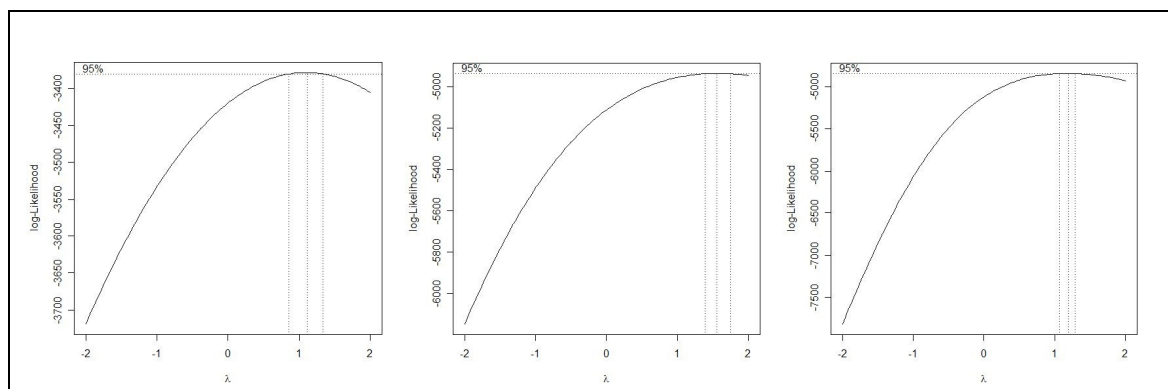


Figura 28. C04, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: circonferenza.04 by block
 Bartlett's K-squared = 7.9873, df = 6, p-value = 0.2390
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: circonferenza.04 by genotype
 Bartlett's K-squared = 130.0516, df = 134, p-value = 0.5803

Figura 29. C04, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: circonferenza.04 by block
 Bartlett's K-squared = 21.55, df = 8, p-value = 0.005821
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: circonferenza.04 by genotype
 Bartlett's K-squared = 206.1933, df = 141, p-value = 0.0002855

Figura 30. C04, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: circonferenza.04 by block
 Bartlett's K-squared = 53.8626, df = 8, p-value = 7.34e-09
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: circonferenza.04 by genotype
 Bartlett's K-squared = 180.184, df = 140, p-value = 0.01245

Figura 31. C04, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.3. Altezza 2003

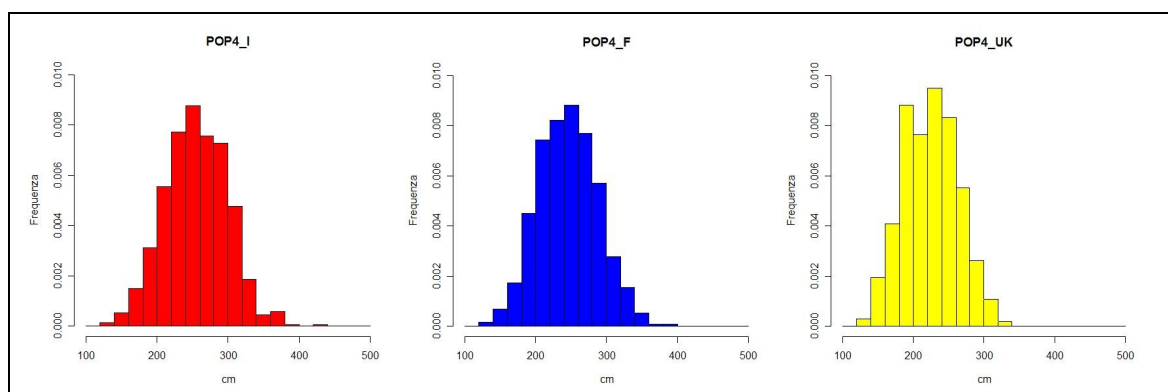


Figura 32. H03, distribuzione di frequenza

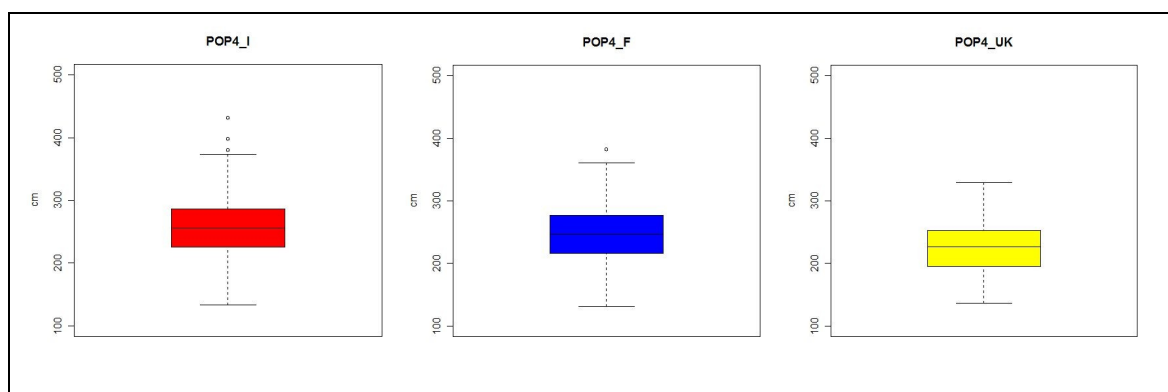


Figura 33. H03, diagramma scatola a baffi

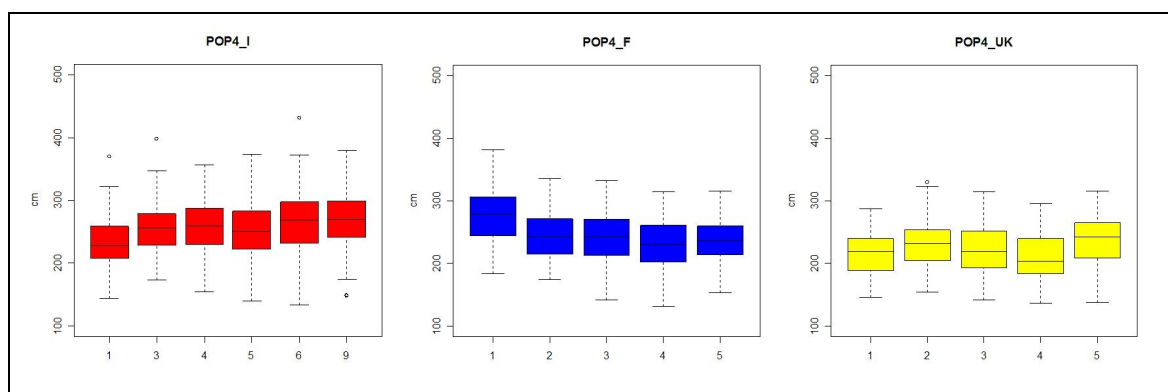


Figura 34. H03, diagramma scatola a baffi distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	5	78889	15778	10.5456	1.137e-09	***
Genotype	134	440134	3285	2.1953	2.805e-10	***
Residuals	533	797450	1496			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Figura 35. H03, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	154872	38718	31.0651	< 2.2e-16	***
Genotype	138	332035	2406	1.9305	2.483e-07	***
Residuals	435	542163	1246			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Figura 36. H03, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	45714	11429	10.5360	4.116e-08	***
Genotype	124	307982	2484	2.2897	7.126e-10	***
Residuals	387	419786	1085			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Figura 37. H03, risultato dell'ANOVA nel sito UK

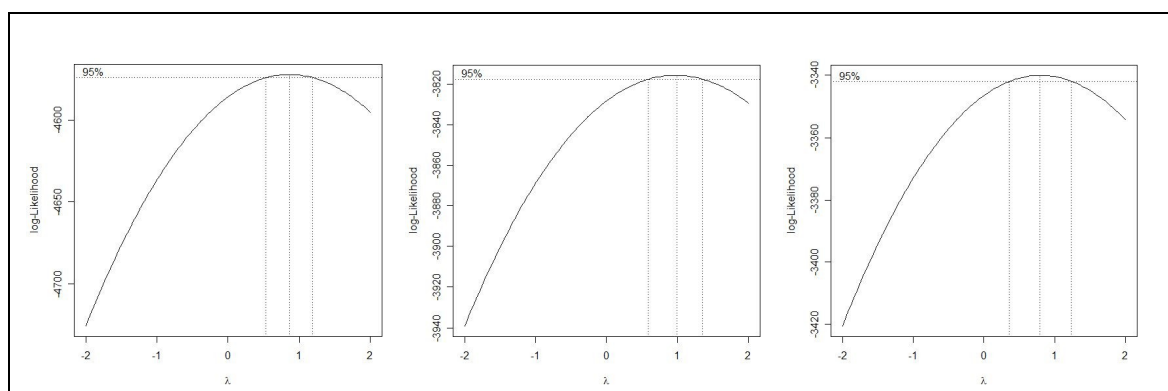


Figura 38. H03, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.03 by block
Bartlett's K-squared = 6.685, df = 5, p-value = 0.2451
Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.03 by genotype
Bartlett's K-squared = 140.7133, df = 134, p-value = 0.3285

Figura 39. H03, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.03 by block
Bartlett's K-squared = 8.6096, df = 4, p-value = 0.07163
Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.03 by genotype
Bartlett's K-squared = 126.4038, df = 138, p-value = 0.7512

Figura 40. H03, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.03 by block
Bartlett's K-squared = 2.0755, df = 4, p-value = 0.7219
Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.03 by genotype
Bartlett's K-squared = 103.165, df = 124, p-value = 0.9135

Figura 41. H03, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.4. Altezza 2004

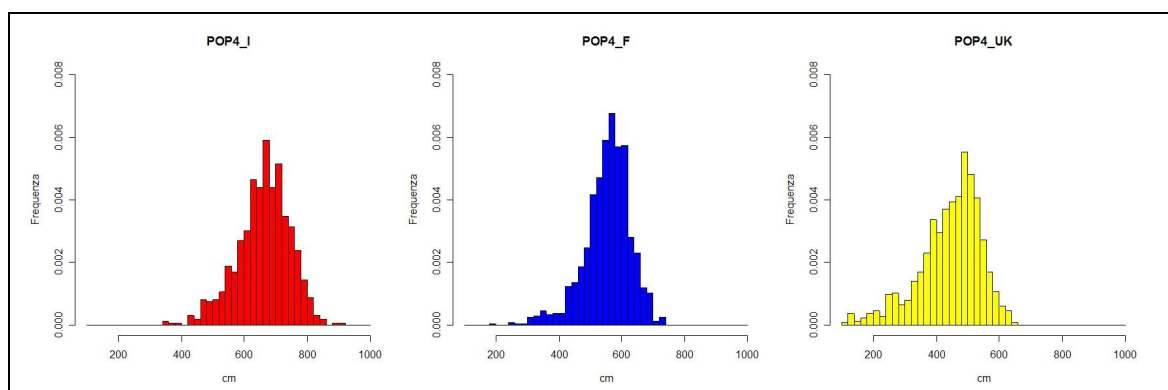


Figura 42. H04, distribuzione di frequenza

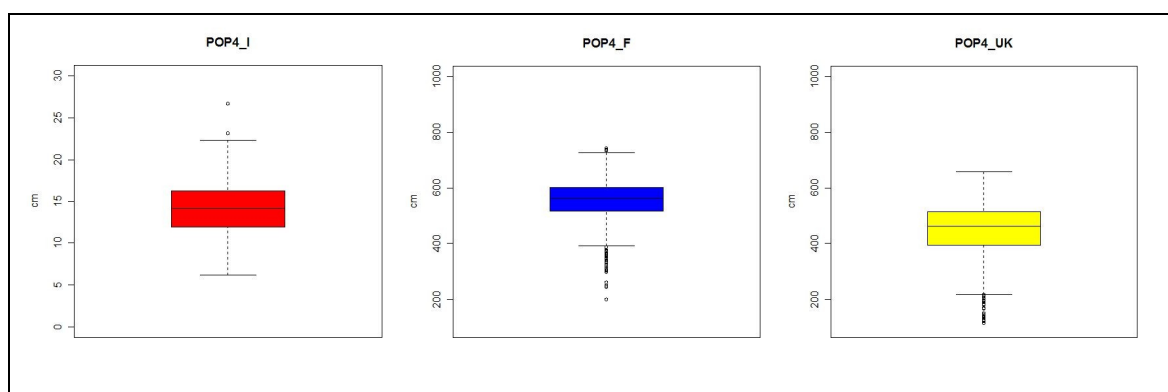


Figura 43. H04, diagramma scatola a baffi

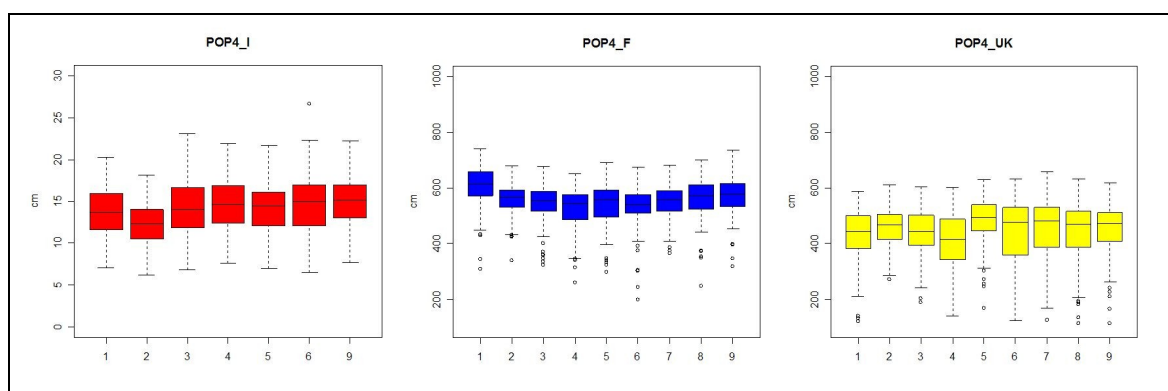


Figura 44. H04, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	6	1236499	206083	45.895	< 2.2e-16 ***
Genotype	134	1383298	10323	2.299	5.791e-12 ***
Residuals	654	2936670	4490		
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' ' 1

Figura 45. H04, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	8	636291	79536	20.0941	< 2.2e-16 ***
Genotype	141	1793395	12719	3.2134	< 2.2e-16 ***
Residuals	1025	4057158	3958		
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' ' 1

Figura 46. H04, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	8	322004	40250	5.0206	4.074e-06 ***
Genotype	140	2576123	18401	2.2952	3.718e-13 ***
Residuals	918	7359657	8017		
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' ' 1

Figura 47. H04, risultato dell'ANOVA nel sito UK

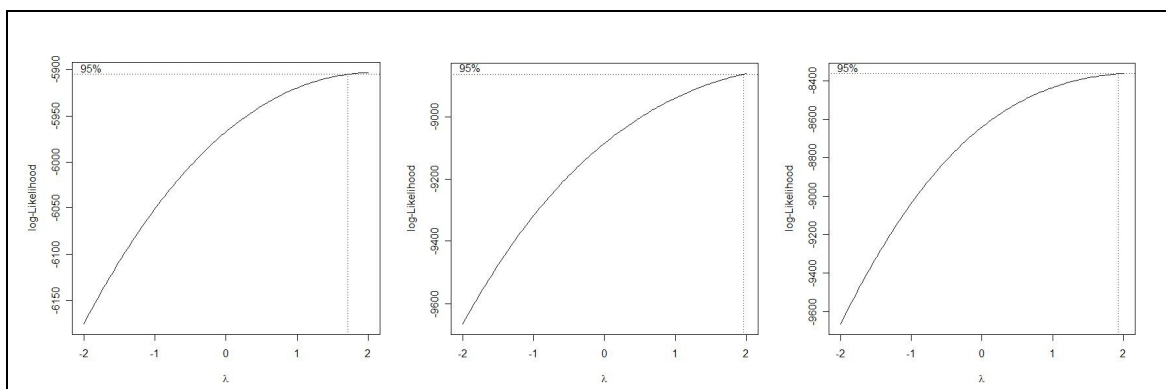


Figura 48. H04, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.04 by block
Bartlett's K-squared = 27.3676, df = 6, p-value = 0.0001236
Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.04 by genotype
Bartlett's K-squared = 138.7467, df = 134, p-value = 0.3718

Figura 49. H04, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.04 by block
Bartlett's K-squared = 16.067, df = 8, p-value = 0.04143
Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.04 by genotype
Bartlett's K-squared = 298.2163, df = 141, p-value = 2.597e-13

Figura 50. H04, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.04 by block
Bartlett's K-squared = 67.0044, df = 8, p-value = 1.935e-11
Bartlett test for homogeneity of variances
data: altezza.04 by genotype
Bartlett's K-squared = 230.4862, df = 140, p-value = 2.253e-06

Figura 51. H04, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.5. Indice di volume 2003

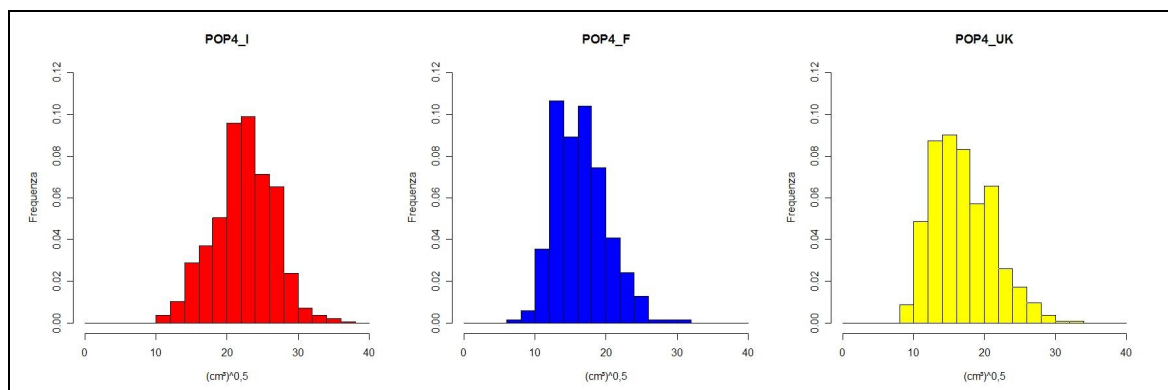


Figura 52. IV03, distribuzione di frequenza

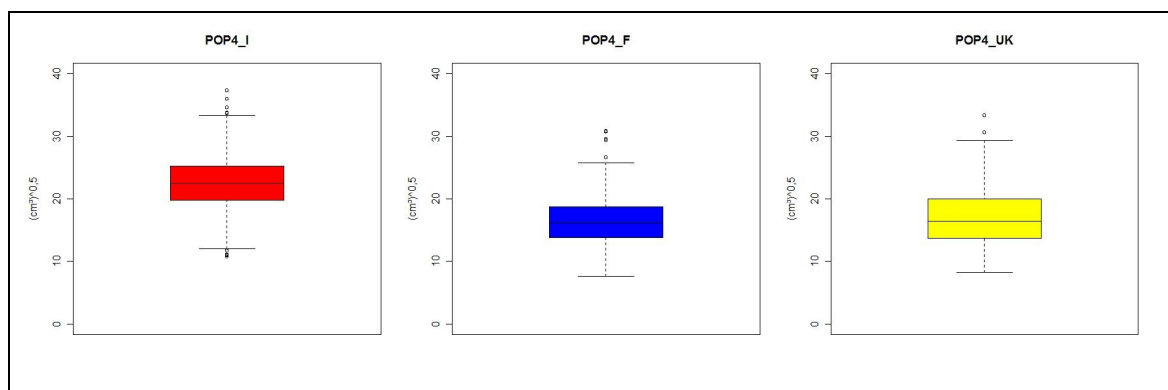


Figura 53. IV03, diagramma scatola a baffi

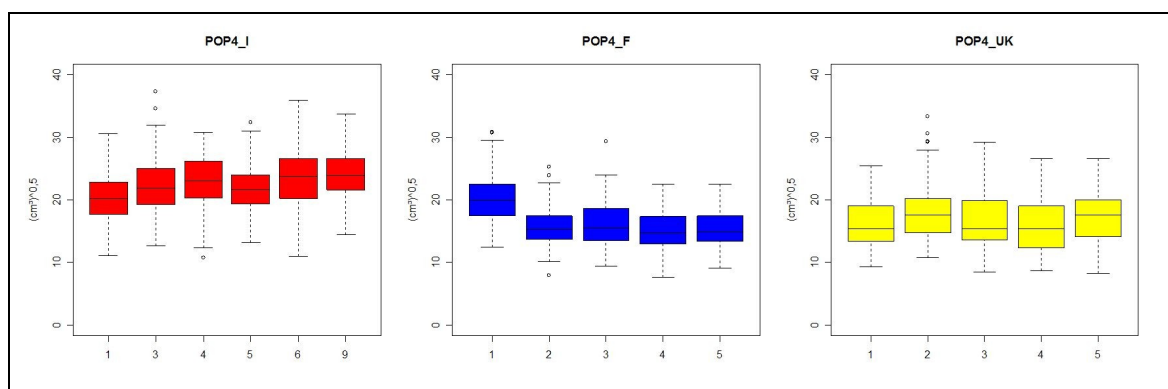


Figura 54. IV03, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	5	727.9	145.6	9.6851	7.252e-09	***
Genotype	134	3968.8	29.6	1.9703	5.630e-08	***
Residuals	533	8012.2	15.0			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Figura 55. IV03, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	1920.5	480.1	47.9463	< 2.2e-16	***
Genotype	138	1888.4	13.7	1.3666	0.009624	**
Residuals	435	4356.0	10.0			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Figura 56. IV03, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	357.2	89.3	5.6441	0.0002005	***
Genotype	124	2981.7	24.0	1.5199	0.0014018	**
Residuals	387	6122.6	15.8			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Figura 57. IV03, risultato dell'ANOVA nel sito UK

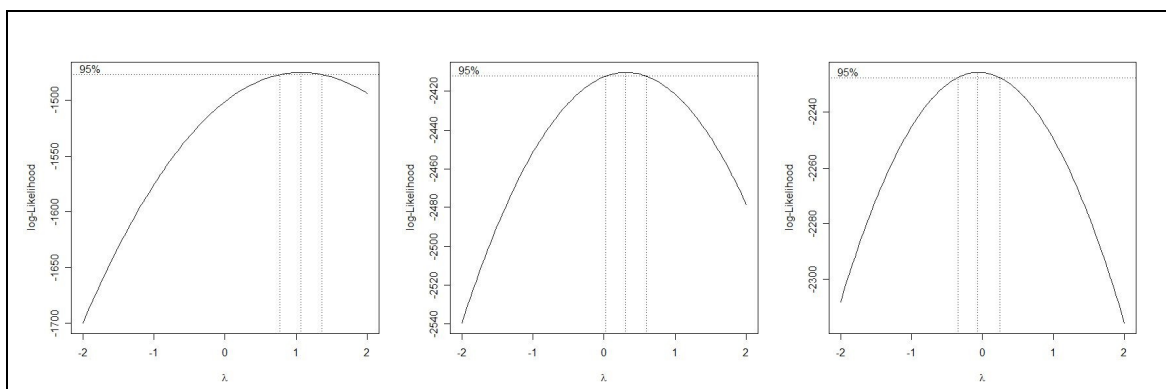


Figura 58. IV03, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.volume.03sqrt by block
 Bartlett's K-squared = 15.5941, df = 5, p-value = 0.008104
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.volume.03sqrt by genotype
 Bartlett's K-squared = 124.9985, df = 134, p-value = 0.699

Figura 59. IV03, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.volume.03sqrt by block
 Bartlett's K-squared = 10.256, df = 4, p-value = 0.03633
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.volume.03sqrt by genotype
 Bartlett's K-squared = 148.33, df = 138, p-value = 0.2589

Figura 60. IV03, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.volume.03sqrt by block
 Bartlett's K-squared = 8.5465, df = 4, p-value = 0.07349
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.volume.03sqrt by genotype
 Bartlett's K-squared = 139.2633, df = 124, p-value = 0.1650

Figura 61. IV03, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.6. Indice di volume 2004

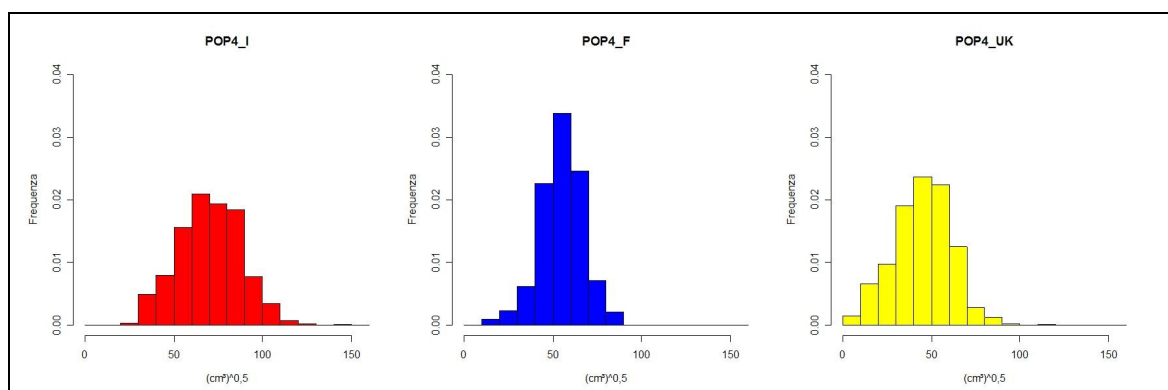


Figura 62. IV04, distribuzione di frequenza

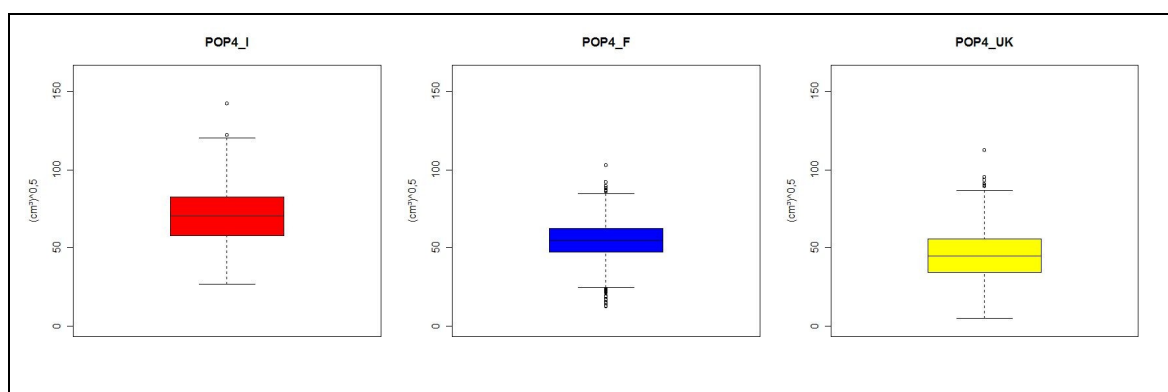


Figura 63. IV04, diagramma scatola a baffi

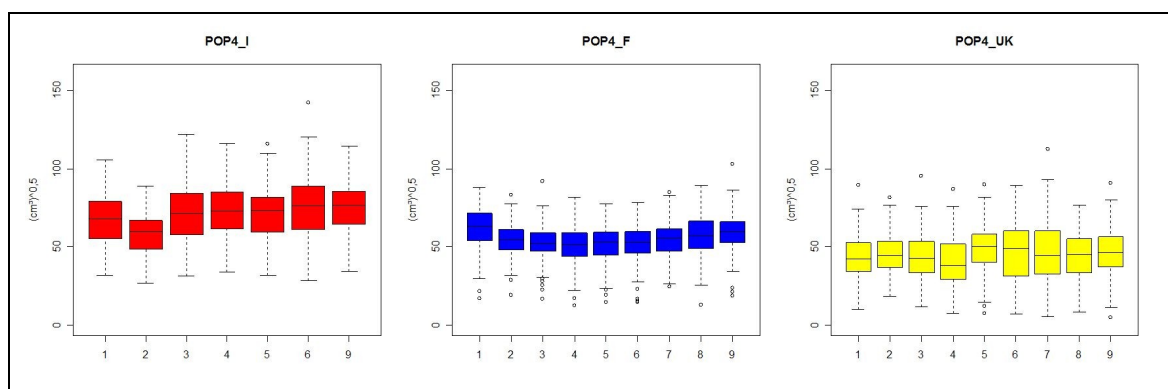


Figura 64. IV04, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	6	21157	3526	16.1746	< 2.2e-16	***
Genotype	134	87120	650	2.9822	< 2.2e-16	***
Residuals	654	142578	218			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Figura 65. IV04, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	8	14277	1785	14.6211	< 2.2e-16	***
Genotype	141	36718	260	2.1335	2.353e-11	***
Residuals	1025	125111	122			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Figura 66. IV04, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	8	6102	763	3.4477	0.0006364	***
Genotype	141	68435	485	2.1937	6.542e-12	***
Residuals	919	203329	221			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Figura 67. IV04, risultato dell'ANOVA nel sito UK

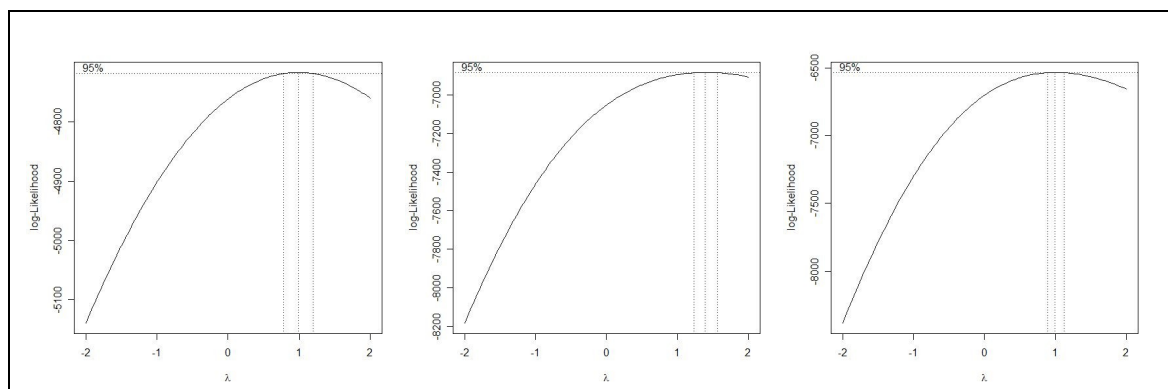


Figura 68. IV04, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
data: indice.volume.04sqrt by block
Bartlett's K-squared = 13.2687, df = 6, p-value = 0.03896
Bartlett test for homogeneity of variances
data: indice.volume.04sqrt by genotype
Bartlett's K-squared = 130.6401, df = 134, p-value = 0.566

Figura 69. IV04, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
data: indice.volume.04sqrt by block
Bartlett's K-squared = 24.1495, df = 8, p-value = 0.002163
Bartlett test for homogeneity of variances
data: indice.volume.04sqrt by genotype
Bartlett's K-squared = 197.2466, df = 141, p-value = 0.001247

Figura 70. IV04, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
data: indice.volume.04sqrt by block
Bartlett's K-squared = 47.8391, df = 8, p-value = 1.060e-07
Bartlett test for homogeneity of variances
data: indice.volume.04sqrt by genotype
Bartlett's K-squared = 167.7552, df = 141, p-value = 0.0616

Figura 71. IV04, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.7. Rami sillettici 2003

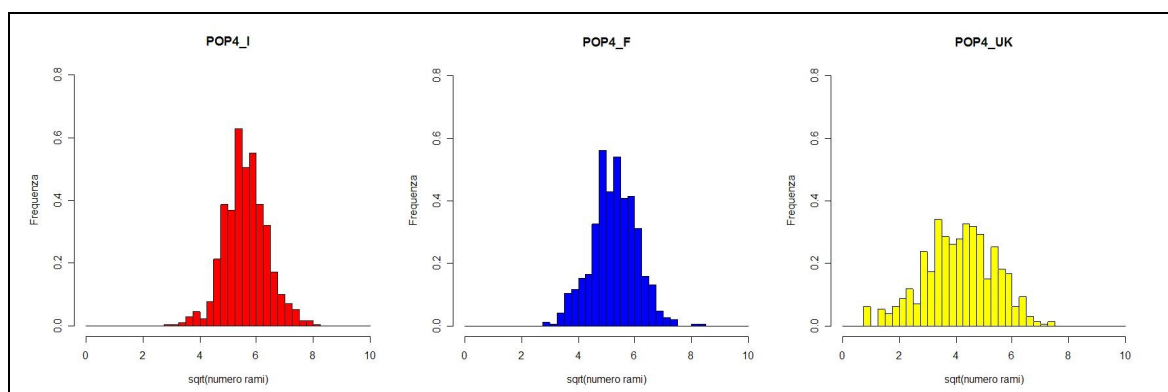


Figura 72. R03, distribuzione di frequenza

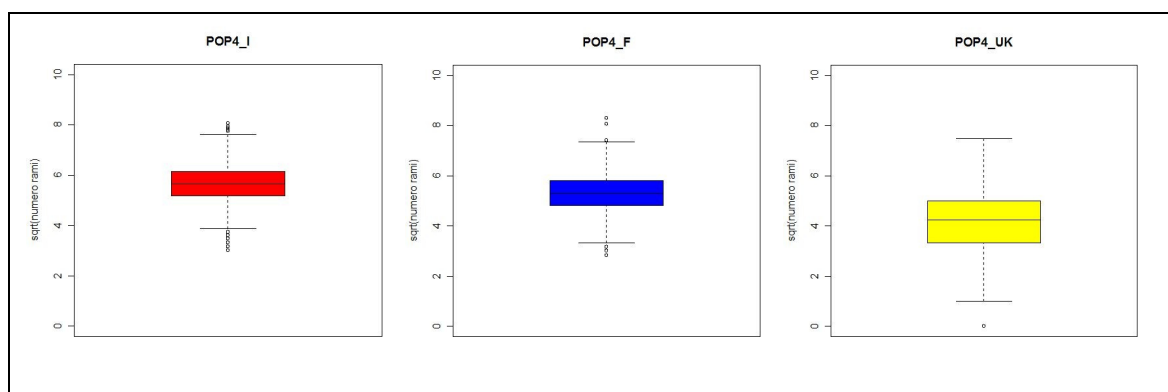


Figura 73. R03, diagramma scatola a baffi

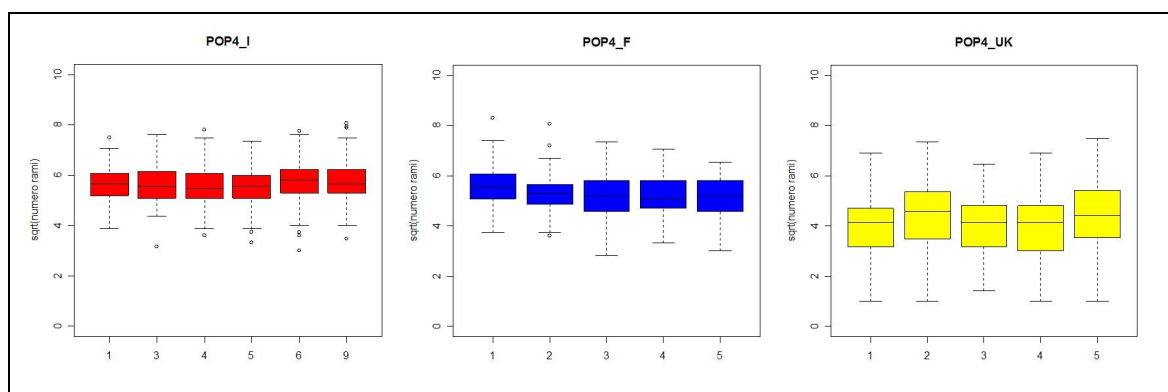


Figura 74. R03, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	5	4.092	0.818	2.1897	0.05407 .
Genotype	133	186.099	1.399	3.7435	< 2e-16 ***
Residuals	530	198.105	0.374		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 75. R03, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	4	13.358	3.340	8.0368	2.944e-06 ***
Genotype	138	178.080	1.290	3.1055	< 2.2e-16 ***
Residuals	434	180.341	0.416		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 76. R03, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	4	28.01	7.00	6.4318	5.151e-05 ***
Genotype	124	342.47	2.76	2.5365	5.375e-12 ***
Residuals	375	408.31	1.09		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 77. R03, risultato dell'ANOVA nel sito UK

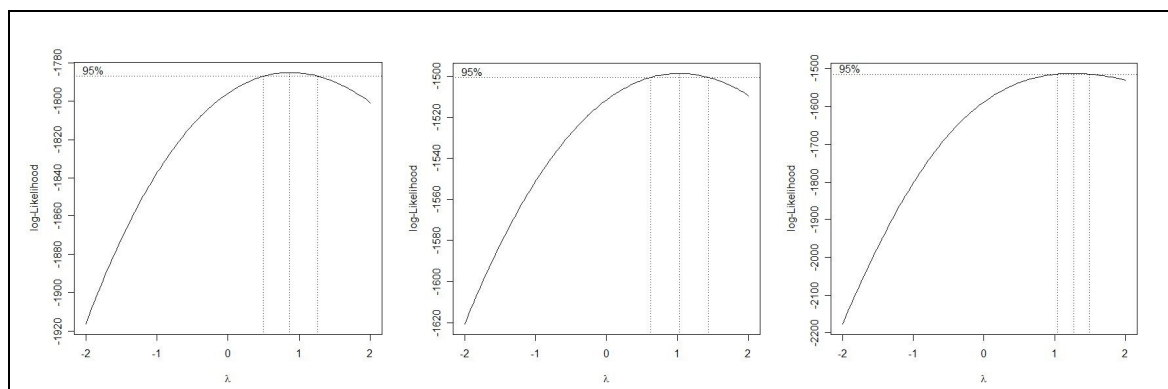


Figura 78. R03, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
data: rami.sillettici.03sqrt by block
Bartlett's K-squared = 6.3199, df = 5, p-value = 0.2763
Bartlett test for homogeneity of variances
data: rami.sillettici.03sqrt by genotype
Bartlett's K-squared = 130.701, df = 133, p-value = 0.5402

Figura 79. R03, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
data: rami.sillettici.03sqrt by block
Bartlett's K-squared = 9.9736, df = 4, p-value = 0.04087
Bartlett test for homogeneity of variances
data: rami.sillettici.03sqrt by genotype
Bartlett's K-squared = 125.6411, df = 138, p-value = 0.7664

Figura 80. R03, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
data: rami.sillettici.03sqrt by block
Bartlett's K-squared = 0.2427, df = 4, p-value = 0.9932
Bartlett test for homogeneity of variances
data: rami.sillettici.03sqrt by genotype
Bartlett's K-squared = 106.1546, df = 124, p-value = 0.8749

Figura 81. R03, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.8. Indice dei rami 2003

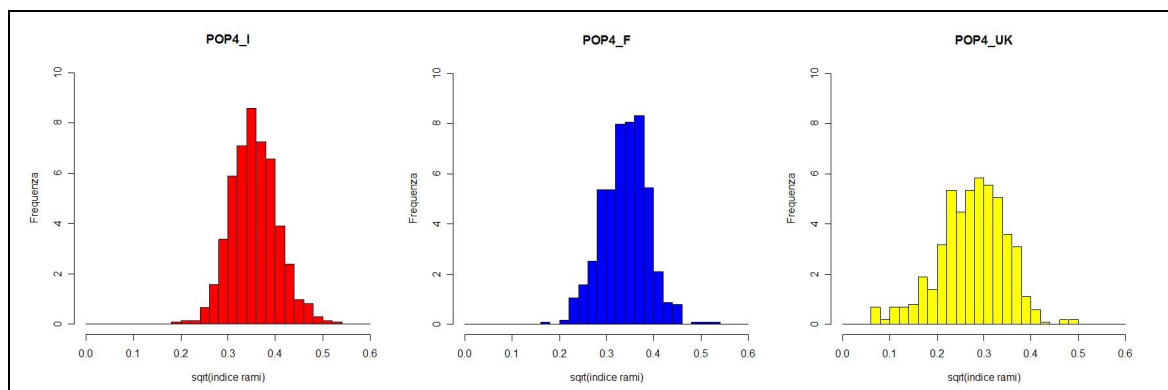


Figura 82. IR03, distribuzione di frequenza

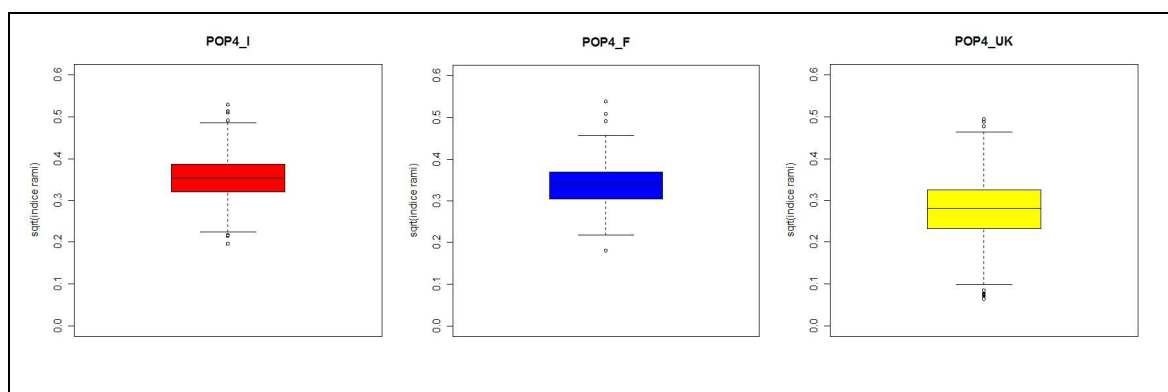


Figura 83. IR03, diagramma scatola a baffi

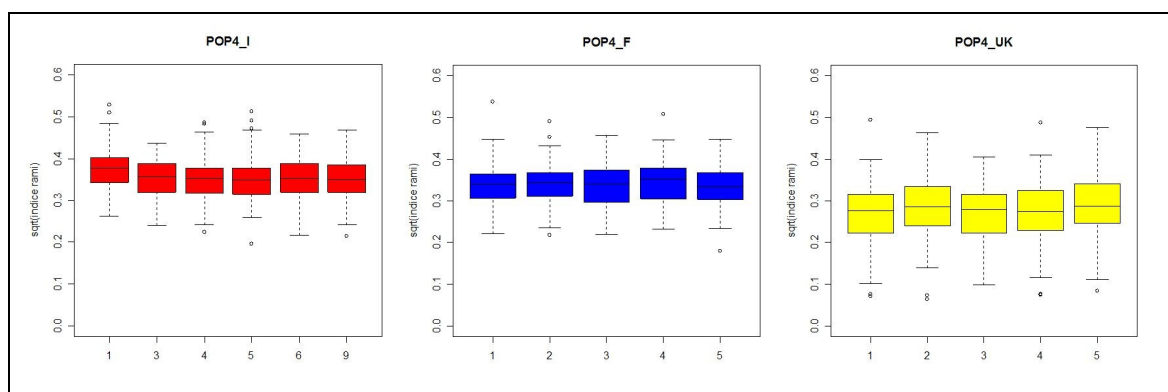


Figura 84. IR03, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	5	0.04075	0.00815	5.9237	2.424e-05 ***
Genotype	133	0.85118	0.00640	4.6519	< 2.2e-16 ***
Residuals	530	0.72914	0.00138		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 85. R03, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	4	0.00639	0.00160	1.1242	0.3444
Genotype	138	0.70060	0.00508	3.5738	<2e-16 ***
Residuals	433	0.61510	0.00142		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 86. R03, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	4	0.05386	0.01346	4.1568	0.002628 **
Genotype	124	1.27833	0.01031	3.1827	< 2.2e-16 ***
Residuals	375	1.21467	0.00324		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 87. R03, risultato dell'ANOVA nel sito UK

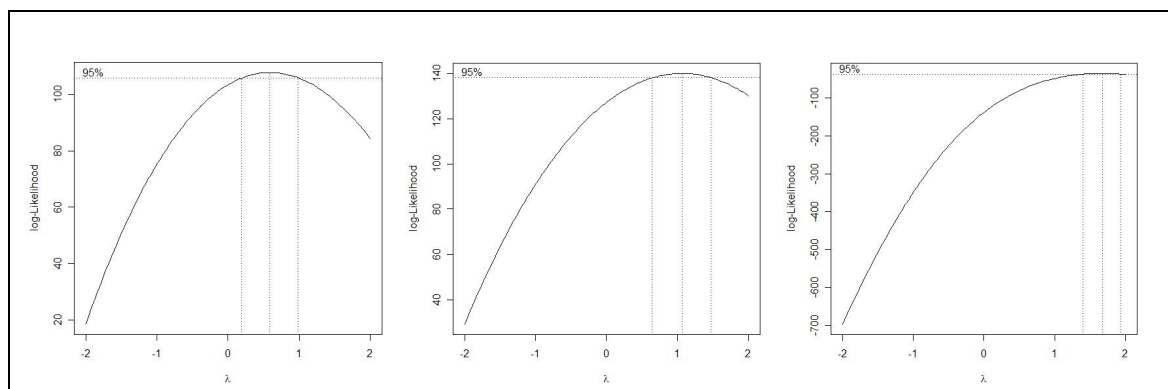


Figura 88. R03, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.rami.03sqrt by block
 Bartlett's K-squared = 5.0913, df = 5, p-value = 0.4048
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.rami.03sqrt by genotype
 Bartlett's K-squared = 138.8876, df = 133, p-value = 0.3459

Figura 89. R03, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.rami.03sqrt by block
 Bartlett's K-squared = 2.3407, df = 4, p-value = 0.6734
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.rami.03sqrt by genotype
 Bartlett's K-squared = 133.4872, df = 138, p-value = 0.5927

Figura 90. R03, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.rami.03sqrt by block
 Bartlett's K-squared = 1.9183, df = 4, p-value = 0.7508
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: indice.rami.03sqrt by genotype
 Bartlett's K-squared = 139.6334, df = 124, p-value = 0.1597

Figura 91. R03, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.9. Area fogliare

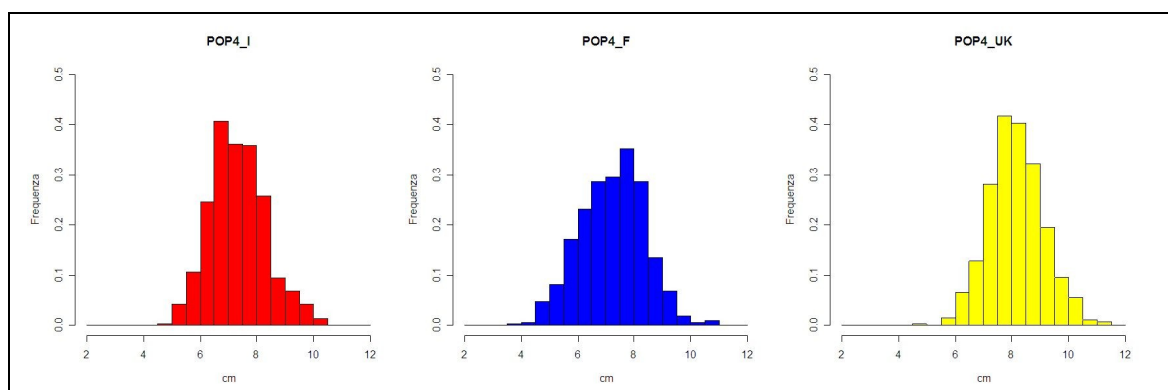


Figura 92. AF, distribuzione di frequenza

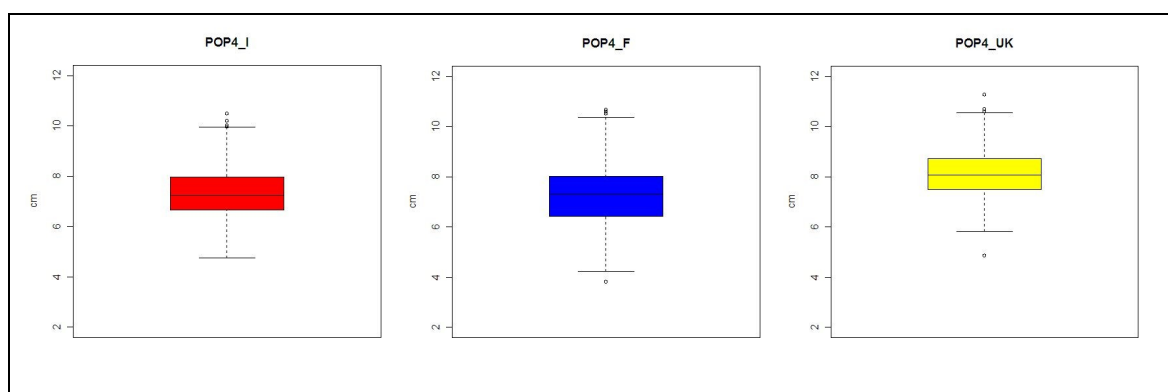


Figura 93. AF, diagramma scatola a baffi

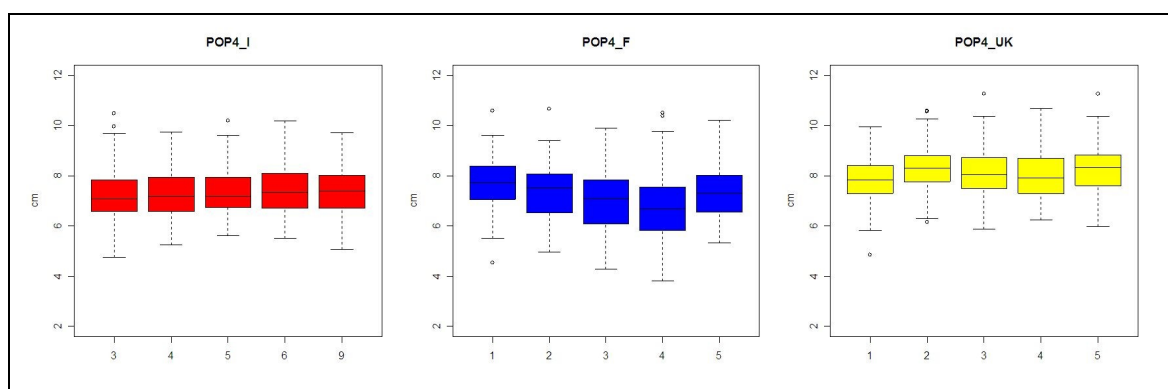


Figura 94. AF, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	4.18	1.04	1.3265	0.2590	
Genotype	135	228.28	1.69	2.1483	1.466e-09	***
Residuals	479	377.03	0.79			
Signif. codes:	0`***`	0.001`**`	0.01`*`	0.05`.	0.1`‘	1

Figura 95. AF, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	68.21	17.05	18.6541	2.705e-14	***
Genotype	141	309.70	2.20	2.4027	1.368e-12	***
Residuals	495	452.51	0.91			
Signif. codes:	0`***`	0.001`**`	0.01`*`	0.05`.	0.1`‘	1

Figura 96. AF, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	17.354	4.338	8.4749	1.403e-06	***
Genotype	128	279.509	2.184	4.2657	< 2.2e-16	***
Residuals	413	211.418	0.512			
Signif. codes:	0`***`	0.001`**`	0.01`*`	0.05`.	0.1`‘	1

Figura 97. AF, risultato dell'ANOVA nel sito UK

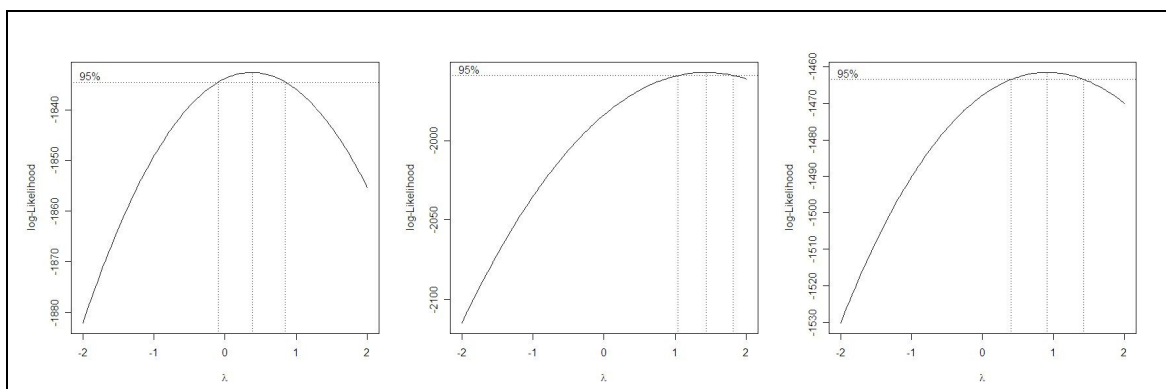


Figura 98. AF, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
data: area.fsqr by block
Bartlett's K-squared = 4.2124, df = 4, p-value = 0.378
Bartlett test for homogeneity of variances
data: area.fsqr by genotype
Bartlett's K-squared = 138.7982, df = 135, p-value = 0.3938

Figura 99. AF, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
data: area.fsqr by block
Bartlett's K-squared = 7.5081, df = 4, p-value = 0.1114
Bartlett test for homogeneity of variances
data: area.fsqr by genotype
Bartlett's K-squared = 182.4317, df = 141, p-value = 0.01076

Figura 100. AF, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
data: area.fsqr by block
Bartlett's K-squared = 3.1584, df = 4, p-value = 0.5317
Bartlett test for homogeneity of variances
data: area.fsqr by genotype
Bartlett's K-squared = 171.1093, df = 128, p-value = 0.006554

Figura 101. AF, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.10. Lunghezza del picciolo

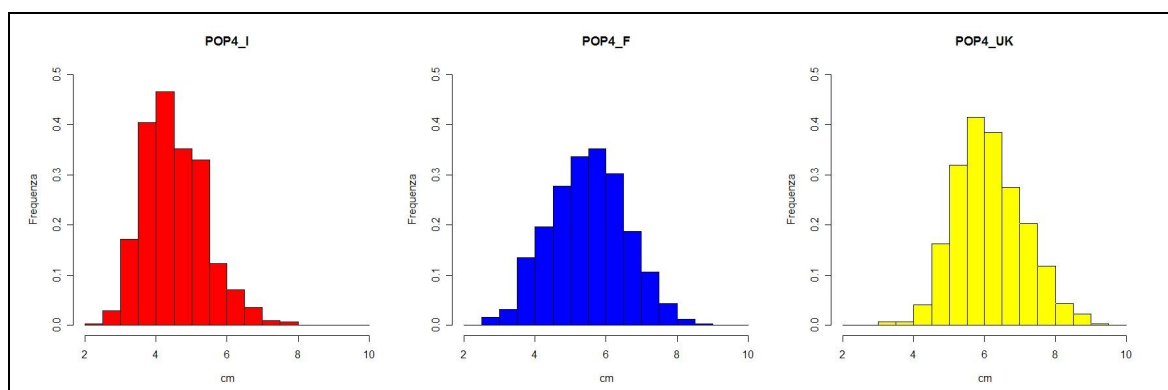


Figura 102. LP, distribuzione di frequenza

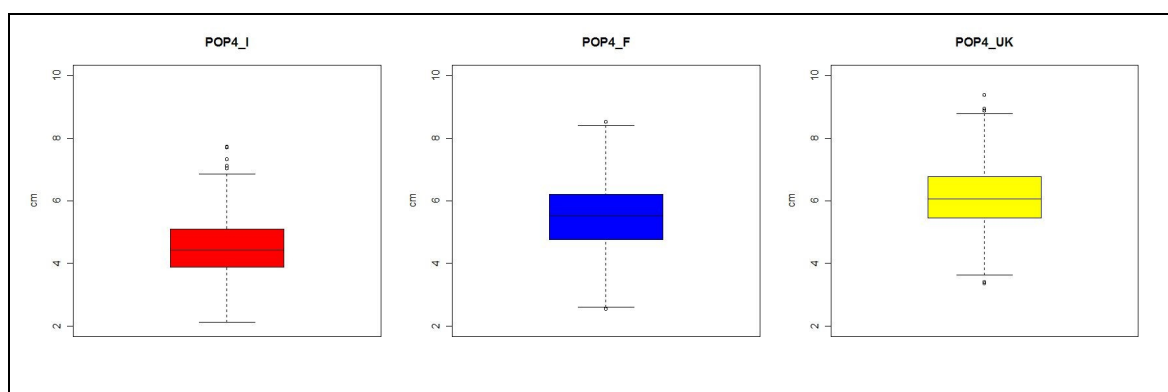


Figura 103. LP, diagramma scatola a baffi

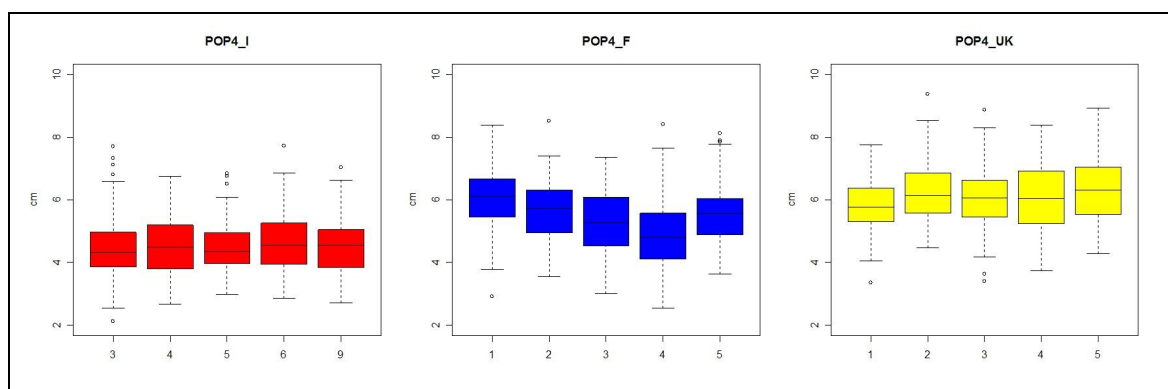


Figura 104. LP, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	2.950	0.737	1.3209	0.2611	
Genotype	135	198.985	1.474	2.6403	1.128e-14	***
Residuals	479	267.408	0.558			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Figura 105. LP, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	98.88	24.72	35.5095	< 2.2e-16	***
Genotype	141	302.82	2.15	3.0851	< 2.2e-16	***
Residuals	495	344.59	0.70			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Figura 106. LP, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	4	17.516	4.379	9.4009	2.797e-07	***
Genotype	128	307.257	2.400	5.1533	< 2.2e-16	***
Residuals	412	191.915	0.466			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1

Figura 107. LP, risultato dell'ANOVA nel sito UK

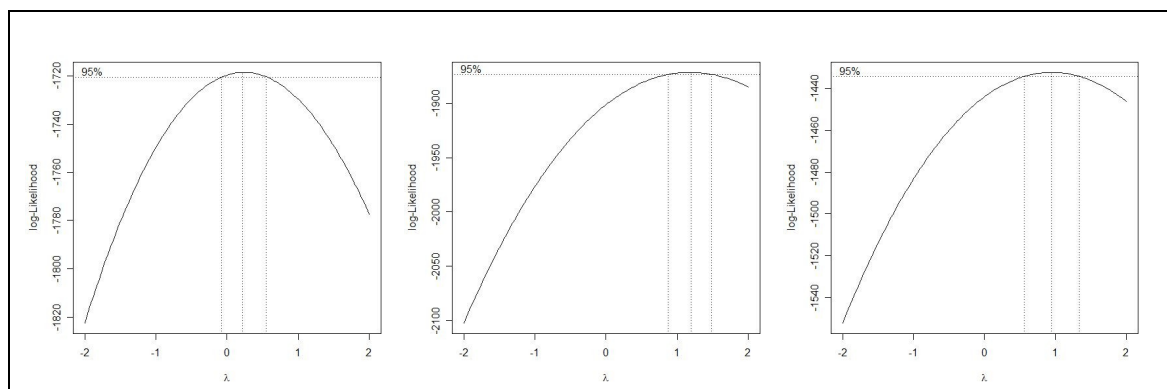


Figura 108. LP, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
data: lunghezza.p by block
Bartlett's K-squared = 6.9333, df = 4, p-value = 0.1395
Bartlett test for homogeneity of variances
data: lunghezza.p by genotype
Bartlett's K-squared = 156.7161, df = 135, p-value = 0.09735

Figura 109. LP, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
data: lunghezza.p by block
Bartlett's K-squared = 2.6931, df = 4, p-value = 0.6104
Bartlett test for homogeneity of variances
data: lunghezza.p by genotype
Bartlett's K-squared = 182.2035, df = 141, p-value = 0.01109

Figura 110. LP, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
data: lunghezza.p by block
Bartlett's K-squared = 6.9275, df = 4, p-value = 0.1398
Bartlett test for homogeneity of variances
data: lunghezza.p by genotype
Bartlett's K-squared = 148.5821, df = 128, p-value = 0.1030

Figura 111. LP, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.11. Biomassa secca del fusto

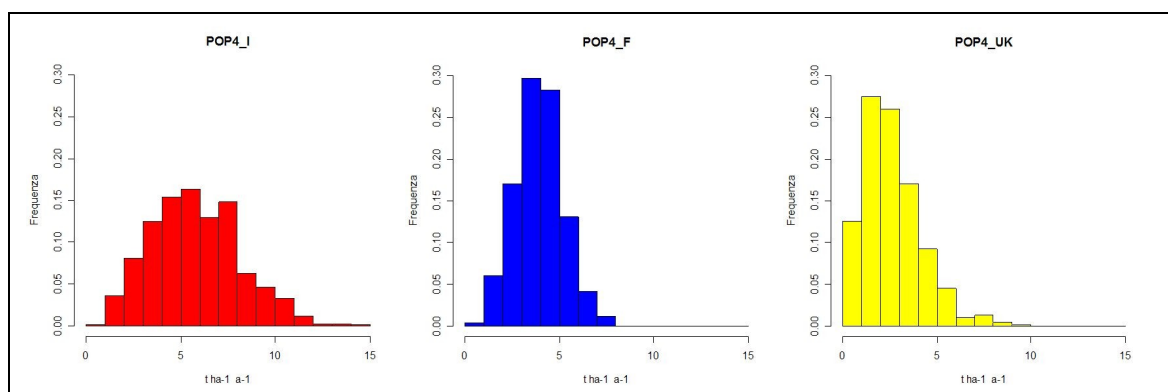


Figura 112. PSF, distribuzione di frequenza

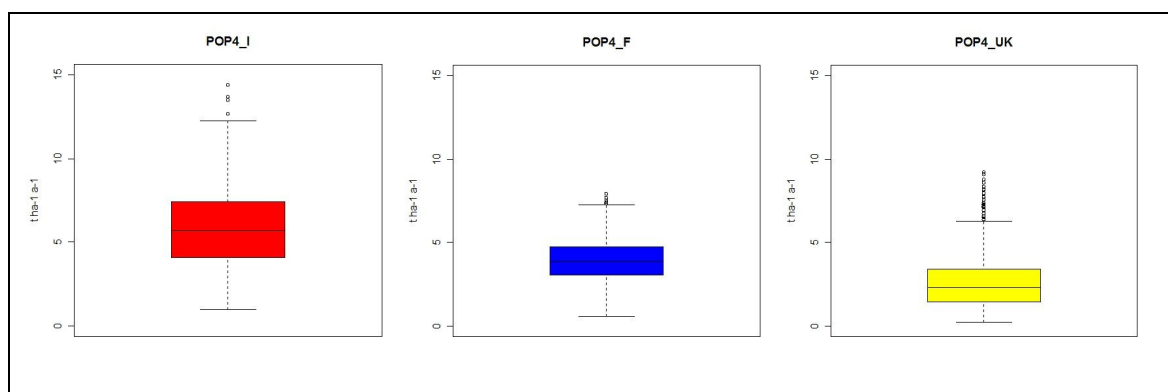


Figura 113. PSF, diagramma scatola a baffi

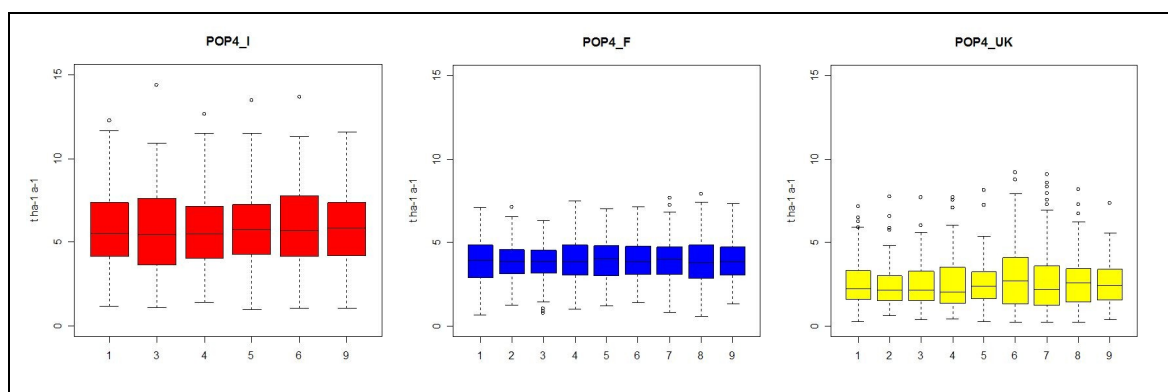


Figura 114. PSF, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	5	2.44	0.49	0.1207	0.9878
Genotype	131	1626.47	12.42	3.0642	<2e-16 ***
Residuals	530	2147.47	4.05		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 115. PSF, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	8	1.72	0.21	0.1687	0.9949
Genotype	141	541.00	3.84	3.0183	<2e-16 ***
Residuals	993	1262.29	1.27		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 116. PSF, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	8	14.28	1.79	0.8965	0.5187
Genotype	136	687.29	5.05	2.5373	6.006e-16 ***
Residuals	890	1772.63	1.99		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 117. PSF, risultato dell'ANOVA nel sito UK

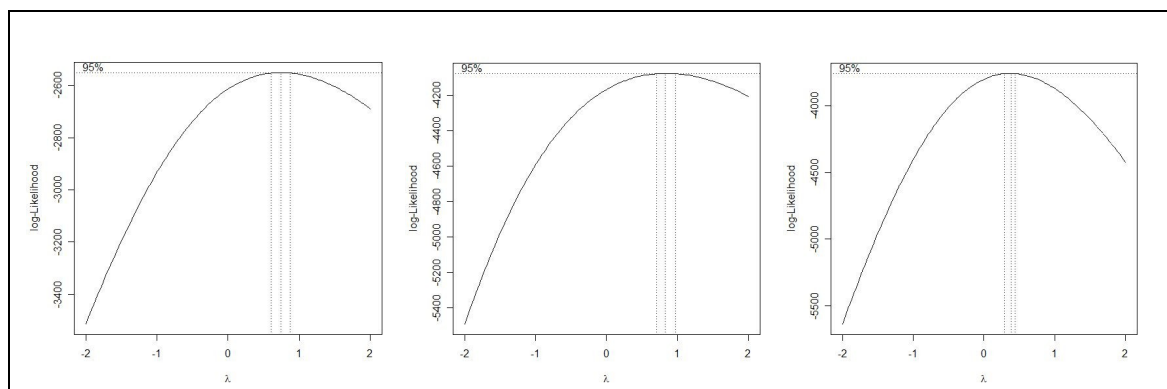


Figura 118. PSF, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: biomassa.secca.fusto by block
 Bartlett's K-squared = 1.8614, df = 5, p-value = 0.868
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: biomassa.secca.fusto by genotype
 Bartlett's K-squared = 113.9474, df = 131, p-value = 0.8557

Figura 119. PSF, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: biomassa.secca.fusto by block
 Bartlett's K-squared = 26.8124, df = 8, p-value = 0.0007617
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: biomassa.secca.fusto by genotype
 Bartlett's K-squared = 158.2256, df = 141, p-value = 0.1524

Figura 120. PSF, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
 data: biomassa.secca.fusto by block
 Bartlett's K-squared = 55.2304, df = 8, p-value = 3.982e-09
 Bartlett test for homogeneity of variances
 data: biomassa.secca.fusto by genotype
 Bartlett's K-squared = 288.2672, df = 136, p-value = 5.569e-13

Figura 121. PSF, test di bartlett nel sito UK

10.1.2.12. Biomassa secca totale

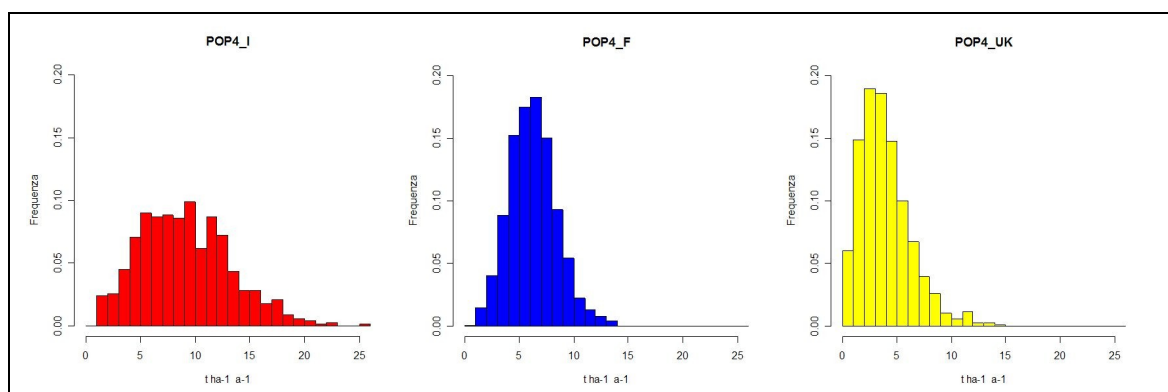


Figura 122. PST, distribuzione di frequenza

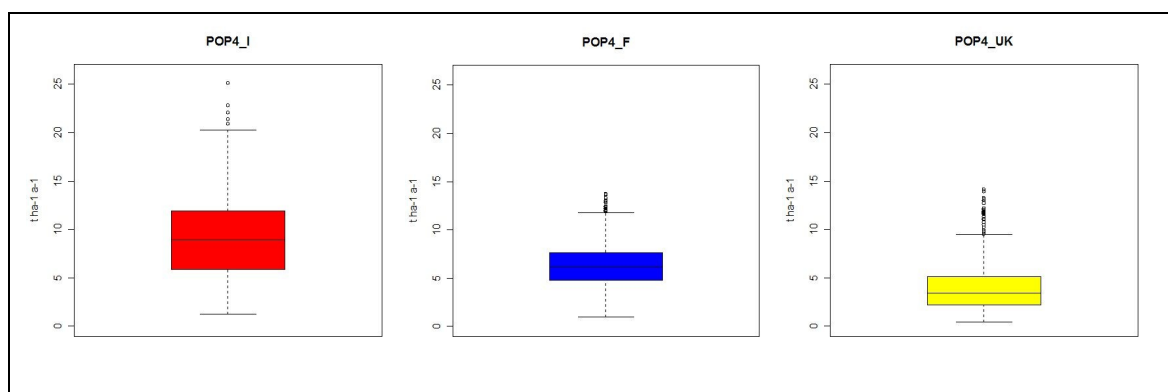


Figura 123. PST, diagramma scatola a baffi

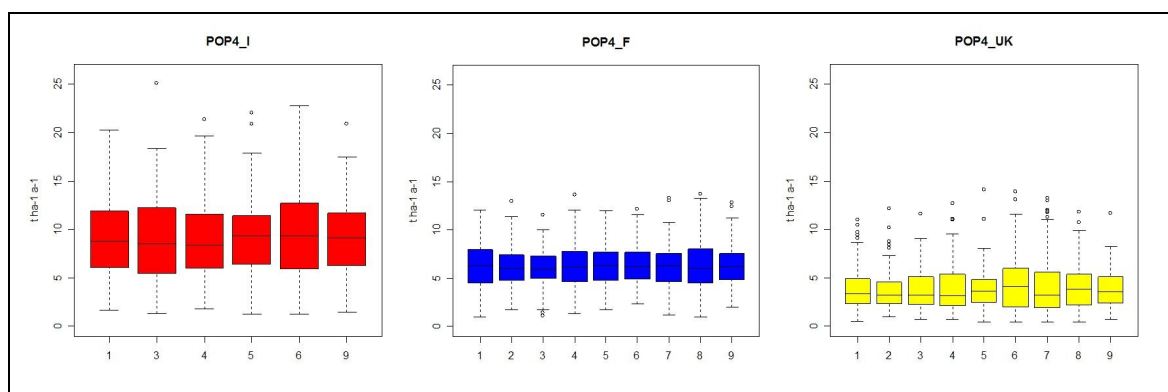


Figura 124. PST, diagramma scatola a baffi, distinti per blocco

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	5	4.5	0.9	0.0735	0.9962
Genotype	131	5038.2	38.5	3.1231	<2e-16 ***
Residuals	530	6526.6	12.3		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 125. PST, risultato dell'ANOVA nel sito I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	8	7.9	1.0	0.2501	0.9809
Genotype	141	1392.9	9.9	2.5087	2.62e-16 ***
Residuals	993	3910.2	3.9		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 126. PST, risultato dell'ANOVA nel sito F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Block	8	28.0	3.5	0.7489	0.6482
Genotype	136	1506.2	11.1	2.3717	8.437e-14 ***
Residuals	890	4156.0	4.7		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Figura 127. PST, risultato dell'ANOVA nel sito UK

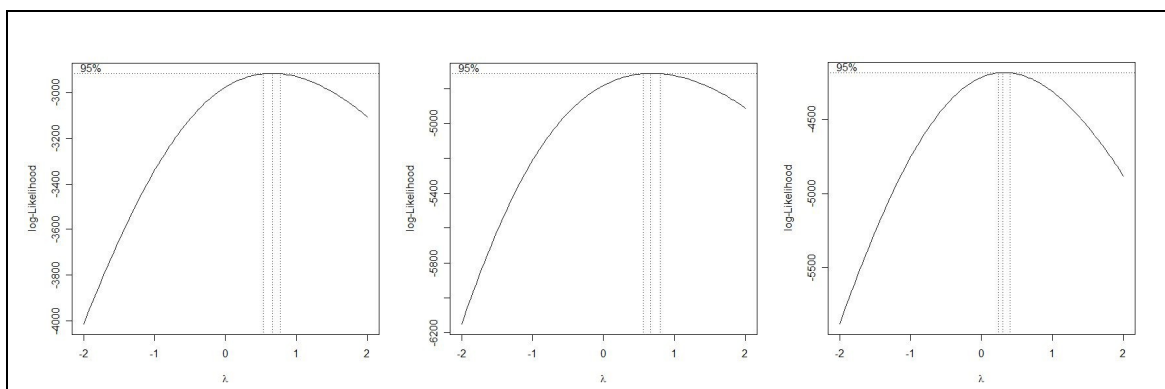


Figura 128. PST, test boxcox nei tre siti sperimentali

Bartlett test for homogeneity of variances
data: biomassa.secca.totale by block
Bartlett's K-squared = 1.323, df = 5, p-value = 0.9325
Bartlett test for homogeneity of variances
data: biomassa.secca.totale by genotype
Bartlett's K-squared = 122.6175, df = 131, p-value = 0.6872

Figura 129. PST, test di bartlett nel sito I

Bartlett test for homogeneity of variances
data: biomassa.secca.totale by block
Bartlett's K-squared = 27.804, df = 8, p-value = 0.000513
Bartlett test for homogeneity of variances
data: biomassa.secca.totale by genotype
Bartlett's K-squared = 169.4519, df = 141, p-value = 0.05143

Figura 130. PST, test di bartlett nel sito F

Bartlett test for homogeneity of variances
data: biomassa.secca.totale by block
Bartlett's K-squared = 49.8565, df = 8, p-value = 4.355e-08
Bartlett test for homogeneity of variances
data: biomassa.secca.totale by genotype
Bartlett's K-squared = 295.9105, df = 136, p-value = 6.891e-14

Figura 131. PST, test di bartlett nel sito UK

10.1.3. Stima delle medie genotipiche

Una volta effettuata l'analisi della varianza e vagliata la qualità dei dati, per mezzo del software R, sono state calcolate le medie genotipiche dei diversi caratteri. Tali valori sono ottenuti dalle medie dei valori individuali di ogni genotipo nei diversi siti, dopo aver effettuato l'aggiustamento dei dati per l'effetto blocco (allegati C-P).

10.1.4. Stima dell'ereditabilità

I risultati ottenuti dell'ereditabilità, sia di tipo individuale che genotipiche, hanno dato origine a differenze evidenti di comportamento nei diversi caratteri esaminati (tabella 13).

L'ereditabilità individuale presenta valori molto bassi per i caratteri legati all'accrescimento, mentre si hanno valori medi per i caratteri che descrivono le caratteristiche dei rami e delle foglie. I valori più bassi si hanno per i caratteri IV03 e C03 con valori di 0,08 e 0,09 nel sito F, mentre quelli più alti si hanno per i caratteri LP e AF nel sito UK con valori di 0,5 e 0,44.

L'ereditabilità genotipica più bassa si ha per i caratteri legati all'accrescimento e alla produzione con valori che oscillano tra 0,27 per IV03 in UK e 0,28 per C03 in I, a valori di 0,68 per PST in I e 0,69 per H04 in F. Valori più alti si hanno per le caratteristiche dei rami con valori compresi fra 0,61 per R03 in UK e 0,78 per IR03 in I. Inoltre, si può notare come IR03 abbia valori più alti di ereditabilità rispetto al carattere da cui è derivato, cioè R03. Le caratteristiche fogliari presentano anch'esse valori di ereditabilità genotipica molto alta compresi fra 0,53 per AF in I e 0,81 per LP in UK. In generale si può concludere che il carattere LP ha un'ereditabilità maggiore rispetto al carattere AF, evidenziando una maggiore stabilità ai fattori ambientali.

Tabella 13. Valori dell'ereditabilità dei caratteri ed errore standard

Carattere	Sito	Ereditabilità individuale		Ereditabilità genotipica	
		h^2_I	se	h^2_G	se
C03	I	0,16	±0,04	0,49	±0,04
C03	F	0,09	±0,04	0,28	±0,05
C03	UK	0,14	±0,04	0,40	±0,05
C04	I	0,25	±0,04	0,66	±0,04
C04	F	0,10	±0,02	0,49	±0,04
C04	UK	0,13	±0,03	0,53	±0,04
H03	I	0,19	±0,04	0,54	±0,04
H03	F	0,18	±0,04	0,48	±0,05
H03	UK	0,24	±0,05	0,56	±0,05
H04	I	0,18	±0,04	0,57	±0,04
H04	F	0,21	±0,03	0,69	±0,03
H04	UK	0,15	±0,03	0,56	±0,04
IV03	I	0,16	±0,04	0,49	±0,04
IV03	F	0,08	±0,04	0,27	±0,05
IV03	UK	0,11	±0,04	0,34	±0,05
IV04	I	0,25	±0,04	0,66	±0,03
IV04	F	0,12	±0,03	0,53	±0,04
IV04	UK	0,14	±0,03	0,54	±0,04
R03	I	0,35	±0,04	0,73	±0,03
R03	F	0,34	±0,05	0,68	±0,04
R03	UK	0,28	±0,05	0,61	±0,04
IR03	I	0,42	±0,05	0,78	±0,03
IR03	F	0,38	±0,05	0,72	±0,03
IR03	UK	0,35	±0,05	0,69	±0,04
AF	I	0,20	±0,04	0,53	±0,04
AF	F	0,24	±0,04	0,59	±0,04
AF	UK	0,44	±0,05	0,77	±0,03
LP	I	0,27	± 0,04	0,62	± 0,04
LP	F	0,31	± 0,04	0,67	± 0,03
LP	UK	0,50	± 0,05	0,81	± 0,03
PSF	I	0,29	± 0,04	0,67	± 0,04
PSF	F	0,20	± 0,03	0,67	± 0,03
PSF	UK	0,17	± 0,03	0,61	± 0,04
PST	I	0,30	± 0,04	0,68	± 0,04
PST	F	0,16	± 0,03	0,61	± 0,03
PST	UK	0,15	± 0,03	0,58	± 0,04

10.1.5. Correlazione intrasito

I caratteri presi in esame presentano fra loro, in tutti i siti sperimentali, un'alta correlazione statistica. La correlazione dei dati è stata eseguita nei tre siti sperimentali I (tabella 14), F (tabella 15) e UK (tabella 16), dopo aver corretto i dati per l'effetto blocco (allegato A).

I valori di correlazione statistica intrasito distinguono tre gruppi principali di caratteri. I più lontani nel comportamento sono quelli legati alla ramificazione delle piante. Il carattere IV04 è quello che presenta i valori di correlazione più alti con PST con valori di $r = 0,79-0,99$. I valori più bassi di correlazione con il carattere PST sono quelli dei caratteri che esprimono le caratteristiche fogliari, LP e AF, con valori di $r = 0,26-0,39$. Inoltre, si evince chiaramente che i caratteri di ramificazione, R03 e IR03, sono poco o per nulla correlati con i caratteri fogliari, LP e AF. Infatti, il coefficiente di correlazione, quando è significativo, è di $r = -0,18$.

Tabella 14. Correlazione tra i caratteri presi in esame nel sito I

Codice	AF	LP	IR03	R03	C03	C04	H03	H04	IV03	IV04	PSF
PST	0,26 ***	0,34 ***	-0,24 ***	0,21 ***	0,77 ***	0,98 ***	0,73 ***	0,74 ***	0,33 ***	0,99 ***	0,99 ***
PSF	0,26 ***	0,35 ***	-0,25 ***	0,21 ***	0,78 ***	0,97 ***	0,74 ***	0,82 ***	0,34 ***	0,98 ***	
IV04	0,27 ***	0,36 ***	-0,24 ***	0,23 ***	0,79 ***	0,99 ***	0,75 ***	0,78 ***	0,35 ***		
IV03	0,13 **	0,20 ***	-0,06	0,14 ***	0,41 ***	0,34 ***	0,31 ***	0,29 ***			
H04	0,20 ***	0,31 ***	-0,21 ***	0,18 ***	0,62 ***	0,73 ***	0,62 ***				
H03	0,24 ***	0,32 ***	-0,33 ***	0,29 ***	0,81 ***	0,74 ***					
C04	0,27 ***	0,36 ***	-0,23 ***	0,23 ***	0,78 ***						
C03	0,20 ***	0,35 ***	-0,16 ***	0,36 ***							
R03	-0,04	0,04	0,80 ***								
IR03	-0,18 ***	-0,14 ***									
LP	0,70 ***										
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1											

Tabella 15. Correlazione tra i caratteri presi in esame nel sito F

Codice	AF	LP	IR03	R03	C03	C04	H03	H04	IV03	IV04	PSF
PST	0,27 ***	0,31 ***	0,01	0,39 ***	0,78 ***	0,99 ***	0,72 ***	0,79 ***	0,47 ***	0,81 ***	0,98 ***
PSF	0,25 ***	0,30 ***	-0,04	0,35 ***	0,75 ***	0,95 ***	0,73 ***	0,89 ***	0,45 ***	0,79 ***	
IV04	0,21 ***	0,23 ***	0,01	0,31 ***	0,59 ***	0,84 ***	0,55 ***	0,71 ***	0,87 ***		
IV03	0,25 ***	0,27 ***	0,05	0,32 ***	0,63 ***	0,49 ***	0,49 ***	0,35 ***			
H04	0,18 ***	0,24 ***	-0,11 **	0,24 ***	0,60 ***	0,80 ***	0,64 ***				
H03	0,31 ***	0,34 ***	-0,18 ***	0,37 ***	0,83 ***	0,72 ***					
C04	0,27 ***	0,30 ***	0,04	0,43 ***	0,79 ***						
C03	0,39 ***	0,40 ***	0,05	0,50 ***							
R03	0,03	0,03	0,84 ***								
IR03	-0,15 ***	-0,16 ***									
LP	0,82 ***										
Signif. codes: 0'***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1											

Tabella 16. Correlazione tra i caratteri presi in esame nel sito UK

Codice	AF	LP	IR03	R03	C03	C04	H03	H04	IV03	IV04	PSF
PST	0,39 ***	0,34 ***	0,49 ***	0,62 ***	0,82 ***	0,92 ***	0,79 ***	0,84 ***	0,81 ***	0,94 ***	0,99 ***
PSF	0,41 ***	0,35 ***	0,47 ***	0,61 ***	0,82 ***	0,91 ***	0,80 ***	0,87 ***	0,80 ***	0,94 ***	
IV04	0,41 ***	0,36 ***	0,54 ***	0,68 ***	0,85 ***	0,99 ***	0,83 ***	0,91 ***	0,83 ***		
IV03	0,42 ***	0,32 ***	0,57 ***	0,73 ***	0,99 ***	0,83 ***	0,89 ***	0,72 ***			
H04	0,43 ***	0,37 ***	0,45 ***	0,58 ***	0,75 ***	0,90 ***	0,80 ***				
H03	0,43 ***	0,34 ***	0,48 ***	0,67 ***	0,93 ***	0,82 ***					
C04	0,40 ***	0,36 ***	0,56 ***	0,68 ***	0,85 ***						
C03	0,44 ***	0,33 ***	0,57 ***	0,73 ***							
R03	0,12 **	0,06	0,97 ***								
IR03	0,02	-0,02									
LP	0,77 ***										
Signif. codes: 0'***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1											

10.1.6. Stima dell'eterosi

La stima dell'eterosi, sia rispetto alla media dei parentali (H_1) sia rispetto al valore medio del parentale con la prestazione maggiore (H_2), ha prodotto risultati chiari rispetto al comportamento dei caratteri presi in esame. I valori più alti di eterosi sono stati riscontrati nei caratteri legati all'accrescimento delle piante, circonferenza (tabelle 17, 18), altezza (tabelle 19, 20), indice di volume (tabelle 21, 22), biomassa prodotta (tabelle 27, 28), in particolare nei siti sperimentali situati in F ed in UK. Nel sito I, l'eterosi per questi caratteri è stata minima o comunque trascurabile, perché si è riscontrato un buon accrescimento del parentale "6K3".

Tabella 17. Valori descrittivi del carattere C03 e stima dell'eterosi

Carattere Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV _G	CV _R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
C03.I	1,43	4,57	5,21	5,90	8,85	673	135	5,18	0,06	8,56	19,60	4,74	4,34	0,44	5,13	0,13	8,52	0,93
C03.F	1,67	3,24	3,74	4,37	7,00	578	139	3,79	0,04	6,67	21,77	2,70	2,51	0,36	2,89	0,18	28,75	23,78
C03.UK	1,14	3,03	3,65	4,60	7,47	516	125	3,81	0,06	11,20	27,80	2,24	1,70	0,16	2,78	0,34	41,20	26,95

Tabella 18. Valori descrittivi del carattere C04 e stima dell'eterosi

Caratter e Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV _G	CV _R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
C04.I	6,05	11,94	14,23	16,35	26,15	798	135	14,11	0,16	10,91	19,02	10,97	7,14	0,61	14,80	0,44	22,23	-4,91
C04.F	2,61	10,41	11,71	13,09	19,82	1175	142	11,64	0,09	6,19	18,22	8,48	7,96	0,74	9,00	0,22	27,14	22,69
C04.UK	0,49	7,89	10,11	12,14	23,22	1067	141	9,93	0,14	12,15	31,21	6,22	5,30	0,85	7,14	0,54	37,32	28,03

Tabella 19. Valori descrittivi del carattere H03 e stima dell'eterosi

Carattere Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV _G	CV _R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
H03.I	124	228	257	286	421	673	135	256	4,99	7,39	15,10	236	211	15,29	260	14,31	8,08	-1,48
H03.F	146	218	247	276	351	578	139	247	4,16	6,77	14,31	206	201	15,62	211	4,57	16,59	14,60
H03.UK	128	197	225	254	320	516	125	225	4,13	8,18	14,63	173	159	4,95	187	14,75	23,20	16,86

Tabella 20. Valori descrittivi del carattere H04 e stima dell'eterosi

Caratter e Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV _G	CV _R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
H04.I	328	624	664	711	883	795	135	662	3,66	4,75	10,12	574	442	24,91	705	28,51	13,38	-6,51
H04.F	225	520	564	602	717	1175	142	555	3,26	5,87	11,34	469	365	27,39	573	12,30	15,48	-3,28
H04.UK	109	395	460	513	647	1067	141	445	4,28	8,33	20,13	337	275	25,78	399	26,87	24,19	10,28

Tabella 21. Valori descrittivi del carattere IV03 e stima dell'eterosi

Caratter e Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV _G	CV _R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
IV03.I	10,26	19,89	22,48	25,27	37,45	673	135	22,46	5,21	7,62	17,24	21,05	19,99	1,36	22,12	0,43	6,27	1,53
IV03.F	8,53	14,22	16,13	18,73	29,78	578	139	16,52	2,87	5,71	19,14	12,34	11,67	1,26	13,01	0,76	25,31	21,25
IV03.UK	8,77	13,78	16,18	19,79	31,61	516	125	16,97	3,05	8,30	23,42	11,67	9,58	1,10	13,75	0,96	31,26	18,96

Tabella 22. Valori descrittivi del carattere IV04 e stima dell'eterosi

Caratter e Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV _G	CV _R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
IV04.I	26,32	57,96	70,63	82,05	137,56	795	135	70,12	0,91	12,21	21,06	54,21	33,75	2,59	74,67	2,78	22,69	-6,49
IV04.F	11,34	47,92	55,46	62,45	98,36	1175	142	54,82	0,47	7,45	20,15	40,28	37,30	2,59	43,27	1,43	26,52	21,07
IV04.UK	3,75	34,38	44,91	55,62	110,17	1069	142	44,86	0,68	13,20	33,14	29,02	26,92	3,37	31,12	3,53	35,31	30,63

Per i caratteri legati allo studio della ramificazione si sono avuti valori discordanti nei tre siti sperimentali (tabelle 23, 24). Si è avuta un'alta eterosi soltanto nel sito UK, mentre nel sito F e nel sito I si sono presentati valori bassi o nulli.

Tabella 23. Valori descrittivi del carattere R03 e stima dell'eterosi

Carattere Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV _G	CV _R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
R03.I	2,19	5,17	5,63	6,14	7,96	669	134	5,65	0,003	0,56	0,66	6,02	7,36	0,24	4,68	0,43	17,12	-6,60
R03.F	2,88	4,81	5,28	5,84	8,07	576	139	5,30	0,003	0,56	0,71	4,71	5,82	0,49	3,60	0,23	32,03	11,16
R03.UK	-0,30	3,22	4,18	4,99	7,18	504	125	4,06	0,005	1,03	1,40	3,19	5,35	0,24	1,03	0,53	74,74	21,57

Tabella 24. Valori descrittivi del carattere IR03 e stima dell'eterosi

Carattere Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV _G	CV _R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
IR03.I	0,20	0,32	0,35	0,39	0,56	669	134	0,36	0,04	127,31	171,83	0,40	0,51	0,01	0,29	0,02	18,86	-12,23
IR03.F	0,18	0,31	0,34	0,37	0,54	577	139	0,34	0,05	135,12	189,92	0,33	0,41	0,02	0,25	0,02	26,83	3,16
IR03.UK	-0,01	0,23	0,28	0,32	0,50	504	125	0,27	0,07	239,92	389,20	0,25	0,42	0,02	0,07	0,04	73,45	7,58

I caratteri legati alla morfologia della foglia (tabelle 25, 26) hanno mostrato valori di H₁ di poco positivi, mentre H₂ ha prodotto sempre valori negativi.

Tabella 25. Valori descrittivi del carattere AF e stima dell'eterosi

Caratter e Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV _G	CV _R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
AF.I	4,85	6,68	7,25	7,98	10,59	619	136	7,34	0,80	6,06	12,11	6,94	4,90	0,25	8,98	0,41	5,45	-22,36
AF.F	4,07	6,43	7,28	7,99	10,98	641	142	7,23	0,88	7,39	13,19	6,88	4,91	0,14	8,86	0,20	4,81	-22,44
AF.UK	5,13	7,51	8,11	8,69	11,29	546	129	8,14	1,04	7,73	8,79	7,75	5,27	0,12	10,24	0,33	4,69	-25,81

Tabella 26. Valori descrittivi del carattere LP e stima dell'eterosi

Carattere Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV_G	CV_R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
LP.I	2,36	4,78	5,49	6,16	9,03	619	135	5,49	0,91	8,17	13,60	4,52	2,78	0,13	6,25	0,38	17,80	-13,78
LP.F	2,19	3,89	4,44	5,09	7,75	641	142	4,52	0,47	12,53	18,50	5,28	3,01	0,11	7,54	0,19	-16,63	-66,72
LP.UK	3,47	5,44	6,08	6,75	9,21	545	142	6,13	0,68	11,03	11,13	6,00	3,42	0,18	8,58	0,17	2,15	-39,88

Tabella 27. Valori descrittivi del carattere BSF e stima dell'eterosi

Carattere Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV_G	CV_R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
PSF.I	0,98	4,06	5,67	7,40	14,36	667	132	5,81	0,14	22,14	34,62	3,19	0,96	0,17	5,43	0,29	45,05	6,54
PSF.F	0,60	3,06	3,89	4,75	7,92	1143	142	3,92	0,06	14,42	28,77	2,19	1,65	0,20	2,72	0,27	44,20	30,58
PSF.UK	0,26	1,48	2,30	3,42	9,21	1035	137	2,61	0,07	24,36	53,98	1,06	0,78	0,07	1,34	0,22	59,41	48,75

Tabella 28. Valori descrittivi del carattere PST e stima dell'eterosi

Carattere Sito	Min	1st	Mediana	3rd	Max	Ind	Gen	μ_G	se	CV_G	CV_R	μ_P	14P11	se	6K3	se	H ₁	H ₂
PST.I	1,26	5,85	8,87	11,86	25,07	667	132	9,13	0,24	24,93	38,40	6,65	1,77	0,30	11,52	0,51	27,20	-26,20
PST.F	0,97	4,76	6,15	7,60	13,71	1143	142	6,25	0,09	13,82	31,62	3,55	3,32	0,37	3,77	0,50	43,23	39,60
PST.UK	0,44	2,21	3,41	5,12	14,14	1035	137	3,93	0,10	23,39	55,10	1,70	1,57	0,20	1,84	0,30	56,75	53,31

10.2. Analisi intersito

Per effettuare l'analisi dei dati intersito si sono utilizzati i dati corretti per l'effetto blocco. Nell'analisi dei dati intersito sono stati previsti, l'analisi della varianza, la stima delle sue componenti e la stima delle correlazioni tra i siti.

10.2.1. Analisi della varianza

I risultati dell'analisi della varianza evidenziano un'alta significatività per tutti i caratteri esaminati, sia nel fattore sito che in quello legato al genotipo e all'interazione sito * genotipo.

Tabella 29. C03, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	774,65	387,32	414,9821	< 2,2E-16	***
Genotype	141	321,73	2,28	2,4447	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	266	337,18	1,27	1,3581	0,000386	***
Residuals	1374	1282,42	0,93			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 30. C04, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	7123,8	3561,9	513,3251	< 2,2E-16	***
Genotype	141	3808,7	27	3,8928	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	267	3041,5	11,4	1,6417	2,57E-09	***
Residuals	2499	17340,3	6,9			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 31. H03, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	19987619	9993810	1804,912	< 2,2E-16	***
Genotype	141	3430880	24332	4,3945	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	266	459685	1728	1,3479	5,23E-04	***
Residuals	1374	1761560	1282			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 32. H04, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	19580805	9790402	1768,176	< 2,2E-16	***
Genotype	141	3837694	27218	4,9156	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	267	2212178	8285	1,4964	1,33E-06	***
Residuals	2496	13820370	5537			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 33. IV03, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	13297	6648,5	494,5421	< 2,2E-16	***
Genotype	141	4384,4	31,1	2,313	2,33E-14	***
Site * Genotype	266	4845,9	18,2	1,3551	4,23E-04	***
Residuals	1374	18471,7	13,4			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 34. IV04, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	259388	129694	727,2963	< 2,2E-16	***
Genotype	141	106128	753	4,2209	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	267	83749	314	1,759	9,49E-12	***
Residuals	2496	445095	178			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 35. R03, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	10020	5010	18198,32	< 2,2E-16	***
Genotype	141	463,6	3,3	11,942	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	266	142,9	0,5	1,9516	1,45E-14	***
Residuals	1374	378,3	0,3			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 36. IR03, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	2498,4	2586,4	6176,385	< 2,2E-16	***
Genotype	141	318,9	2,3	5,5907	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	266	296,3	1,1	2,7533	9,49E-12	***
Residuals	1372	555	0,4			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 37. AF, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	265,88	132,94	180,539	< 2,2E-16	***
Genotype	141	589,31	4,18	5,676	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	265	243,02	0,92	1,2454	8,35E-03	**
Residuals	1391	1024,25	0,74			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 38. LP, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	727,47	363,73	635,8703	< 2,2E-16	***
Genotype	141	629,2	4,46	7,8011	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	265	227,05	0,86	1,4978	3,79E-06	***
Residuals	1390	795,11	0,57			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 39. PSF, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	4078,4	2039,2	954,1189	< 2,2E-16	***
Genotype	141	1562,7	11,1	5,1856	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	267	1365,3	5,1	2,3925	< 2,2E-16	***
Residuals	2434	5202,1	2,1			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabella 40. PST, analisi della varianza intersito

Factor	Df	Sum sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Site	2	10835,6	5417,8	900,8254	< 2,2E-16	***
Genotype	141	4062,1	28,8	4,7902	< 2,2E-16	***
Site * Genotype	267	4040,3	15,1	2,516	< 2,2E-16	***
Residuals	2434	14638,8	6			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

10.2.2. Stima delle componenti della varianza

Dai risultati dell'analisi della varianza è possibile ricavare i valori delle sue componenti (tabella 41). I risultati ottenuti mettono in evidenza come i diversi caratteri abbiano un'alta incidenza della componente della varianza legata all'errore, escludendo da questo giudizio i dati relativi allo studio della ramificazione.

La componente della varianza d'interazione sito*genotipo si aggira su valori che non raggiungono mai il 10%. I valori più alti si hanno per il PST e il PSF, con valori del 9,91% e dell'8,99%.

I caratteri R03 e IR03 presentano un'altissima componente della varianza legata al sito che racchiude buona parte della componente fenotipica.

I caratteri fogliari hanno invece un'alta componente genetica che raggiunge il 20,37% per il carattere AF e il 18,59% per il carattere LP.

I caratteri legati all'accrescimento presentano valori della componente genetica variabile, ma sostanzialmente molto bassi. Il valore maggiore in questo tipo di dati si ha nel carattere H03 con l'11,82% sul totale della varianza fenotipica.

Tabella 41. Valori sinottici delle componenti della varianza

Carattere	σ^2_S	σ^2_G	σ^2_{G*S}	σ^2_E	σ^2_P
<i>(%)</i>	σ^2_S / σ^2_P	σ^2_G / σ^2_P	$\sigma^2_{G*S} / \sigma^2_P$	σ^2_E / σ^2_P	σ^2_P
PST	5,70	0,68	1,36	6,00	13,74
<i>PST (%)</i>	<i>41,45</i>	<i>4,97</i>	<i>9,91</i>	<i>43,66</i>	<i>100</i>
PSF	2,14	0,30	0,45	2,10	4,99
<i>PSF (%)</i>	<i>42,95</i>	<i>6,00</i>	<i>8,99</i>	<i>42,06</i>	<i>100</i>
AF	0,22	0,26	0,04	0,74	1,26
<i>AF (%)</i>	<i>17,43</i>	<i>20,37</i>	<i>3,37</i>	<i>58,82</i>	<i>100</i>
LP	0,60	0,28	0,07	0,57	1,53
<i>LP (%)</i>	<i>39,58</i>	<i>18,59</i>	<i>4,49</i>	<i>37,34</i>	<i>100</i>
R03	8,58	0,23	0,05	0,30	9,16
<i>R03 (%)</i>	<i>93,71</i>	<i>2,48</i>	<i>0,53</i>	<i>3,28</i>	<i>100</i>
IR03	4,24	0,09	0,16	0,40	4,90
<i>IR03 (%)</i>	<i>86,60</i>	<i>1,90</i>	<i>3,33</i>	<i>8,16</i>	<i>100</i>
C03	0,66	0,08	0,08	0,93	1,75
<i>C03 (%)</i>	<i>37,55</i>	<i>4,63</i>	<i>4,68</i>	<i>53,13</i>	<i>100</i>
C04	3,50	0,73	0,63	6,90	11,76
<i>C04 (%)</i>	<i>29,78</i>	<i>6,19</i>	<i>5,36</i>	<i>58,67</i>	<i>100</i>
H03	262,26	221,37	107,47	1282,00	1873,10
<i>H03 (%)</i>	<i>14,00</i>	<i>11,82</i>	<i>5,74</i>	<i>68,44</i>	<i>100</i>
H04	9661,73	885,13	385,41	5537,00	16469,28
<i>H04 (%)</i>	<i>58,67</i>	<i>5,37</i>	<i>2,34</i>	<i>33,62</i>	<i>100</i>
IV03	11,25	1,04	1,16	13,40	26,84
<i>IV03 (%)</i>	<i>41,91</i>	<i>3,86</i>	<i>4,31</i>	<i>49,92</i>	<i>100</i>
IV04	127,79	20,52	19,07	178,00	345,39
<i>IV04 (%)</i>	<i>37,00</i>	<i>5,94</i>	<i>5,52</i>	<i>51,54</i>	<i>100</i>

10.2.3. Correlazione intersito

Per tutti i caratteri presi in esame è stata riscontrata una correlazione significativa fra i valori medi dei genotipi, evidenziando differenti comportamenti per i diversi caratteri (Figura 132).

Tutti i caratteri legati all'accrescimento hanno evidenziato una bassa correlazione rispetto ai caratteri legati alla ramificazione e alle dimensioni delle foglie. Il valore più alto di correlazione si è avuto fra il sito I e il sito F per il carattere rami sillettici 2003 ($r = 0,63^{***}$).

Il valore più basso è stato riscontrato fra il sito I e il sito F per il carattere indice di volume 2003 ($r = 0,21$), risultando i due siti per quel carattere non significativamente correlati.

I caratteri legati alla ramificazione e alle dimensioni fogliari hanno maggiore stabilità con il cambiare delle condizioni ambientali, mentre i caratteri legati all'accrescimento hanno un'espressione fenotipica maggiormente legate alle condizioni ambientali.

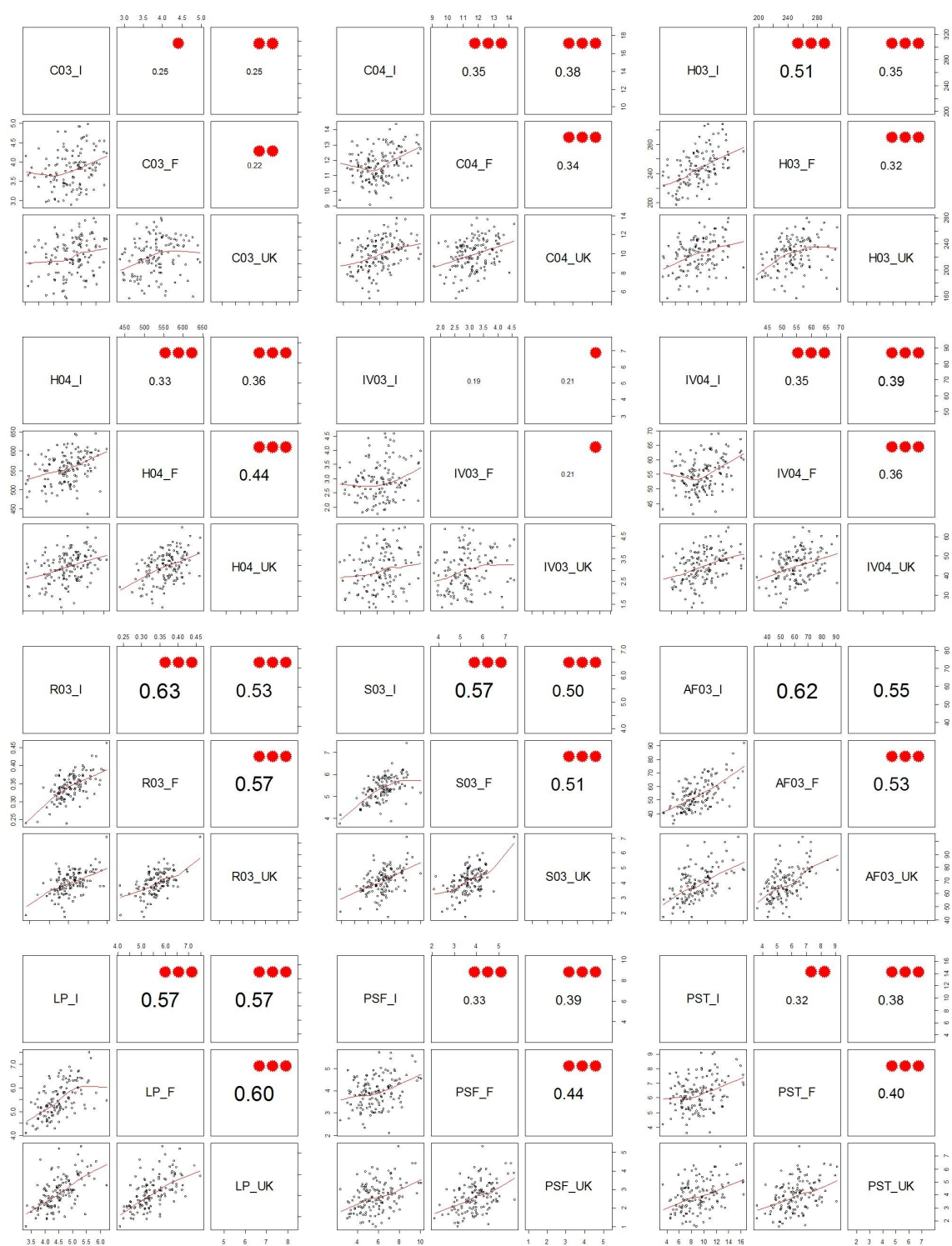


Figura 132. Risultati della correlazione intersito per i diversi caratteri esaminati
(Signif. codes: 0 * 0.001 ** 0.01 * 0.05)**

Capitolo 11. Discussioni e conclusioni

Negli ultimi anni si sono sviluppate nuove linee di ricerca applicate al settore agroforestale, finalizzate allo sviluppo delle migliori tecniche e alla selezione e al miglioramento genetico di materiale vegetale per la produzione delle biomasse lignocellulosiche. Questi studi sperimentali sono stati favoriti dalle necessità politiche generate dall'eccessivo consumo energetico dei Paesi industrializzati ed emergenti, i quali sono soggetti ad un intenso sviluppo economico ed al contemporaneo aumento dei costi delle fonti energetiche fossili. La scarsità di queste fonti, ed il loro implicito aumento di prezzo, sono conseguenza della connaturata esauribilità di questi beni nel lungo periodo, della crescita significativa della domanda globale non supportata da un aumento di produzione nel breve e medio periodo, e delle continue tensioni politico-militari che si hanno in molti Stati produttori.

Fin dai primi anni '70, l'opinione pubblica di alcuni Paesi industrializzati ha posto una pressione crescente sui propri governi affinché si applicassero politiche di tutela nei confronti dell'ambiente. Nel 1972, nell'ambito della Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente Umano (UN Conference on the Human Environment) tenutasi a Stoccolma, si dichiara esplicitamente la necessità di uno sviluppo compatibile con le risorse del Pianeta. Da questa consapevolezza, orientata ad un'eco-gestione del territorio e delle attività antropiche, prende avvio il concetto di "sviluppo sostenibile", contenuto nel Rapporto Our Common Future della Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo (World Commission on Environment and Development) del 1987, detto Rapporto Brundtland, definito come lo sviluppo che garantisce i bisogni delle generazioni attuali senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri. In quegli anni si pongono le premesse economiche e culturali per le teorie dell'economia ecologica (ecological economics) che si fonda su tre parametri, il lavoro, il capitale naturale e il capitale prodotto dall'uomo. Rispetto all'economia classica, è innovativo il concetto di capitale naturale, considerato come l'insieme dei sistemi naturali (mari, fiumi, laghi, foreste, flora, fauna, territorio), i prodotti agricoli, i prodotti della pesca, della caccia e della raccolta e il patrimonio artistico-culturale presente nel territorio. Per la gestione delle risorse sono individuabili due principi di sviluppo sostenibile. Il primo stabilisce la necessità che il tasso di prelievo debba essere pari al tasso di rigenerazione; il secondo

sancisce che il tasso di produzione dei rifiuti debba essere uguale alle capacità naturali di assorbimento da parte degli ecosistemi in cui i rifiuti sono emessi. Le capacità di rigenerazione e di assorbimento debbono essere trattate come capitale naturale e il fallimento nel mantenere queste capacità deve essere considerato come consumo del capitale e per questo non sostenibile.

Nell'ambito della Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo (UN Conference on Environment and Development), tenutasi a Rio de Janeiro dal 3 al 14 giugno del 1992, si sono elaborati due testi giuridicamente vincolanti, la Convenzione sulla Diversità Biologica (UN Convention on Biological Diversity) e la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UN Framework Convention on Climate Change), e tre dichiarazioni non vincolanti, la Dichiarazione di Rio su Ambiente e Sviluppo (Rio Declaration on Environment and Development), l'Agenda 21 e la Dichiarazione dei principi per la gestione sostenibile delle foreste (Principles for a Global Consensus on the Management, Conservation and Sustainable Development of all types of Forests). Successivamente nel 1994, è stata redatta la Convenzione sulla Desertificazione (UN Convention to Combat Desertification).

Nel 1997 la Terza Conferenza delle Parti (Conference of the Parties), l'organo decisionale con il compito di dare attuazione ai principi Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, ha redatto il Protocollo di Kyoto, nel quale i Paesi industrializzati si sono impegnati a ridurre, entro il 2008-2012, le emissioni di gas ad effetto serra del 5% rispetto ai livelli del 1990.

In questo quadro, tutti i Paesi dovranno definire programmi che incidano significativamente sulle politiche economiche, in particolare quelle industriali ed energetiche, affinché sia delineato un modello di sviluppo in sintonia con i fattori limitanti della produzione, cioè quelli endogeni del capitale naturale, così definito dalle nuove teorie dell'economia ecologica.

L'Unione Europea (UE), che per il protocollo di Kyoto deve ridurre entro il 2008-2012 le emissioni di gas serra dell'8%, ha mosso i primi passi verso una politica orientata alla riduzione degli sprechi energetici, redigendo nel 1997 il Libro Bianco per lo sviluppo e l'incentivazione delle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER). Le motivazioni politiche che inducono l'UE ad incentivare le FER sono sia di natura economica che di carattere ambientale. La dipendenza dell'UE verso i combustibili fossili produce un forte deficit

commerciale verso i Paesi “caldi” a forte rischio politico, i quali possono in ogni momento bloccare il sistema produttivo dell’UE. La questione ambientale, molto sentita dall’opinione pubblica europea, riguarda l’aumento della concentrazione di alcuni gas, in particolare di anidride carbonica (CO₂), legato ad un eccessivo uso di combustibili fossili. Questo fenomeno definito come “effetto serra” è associato all’aumento dell’energia contenuta nell’atmosfera, misurato dall’innalzamento della temperatura della Terra. L’effetto serra genera una serie di cambiamenti climatici globali capaci di produrre conseguenze disastrose sulle attività umane, in particolare nel settore agro-forestale. Nel Libro Bianco, oltre a definirsi l’incidenza delle diverse FER nell’offerta aggregata di energia dell’UE, si sottolinea l’importanza dell’agricoltura come settore cardine per la produzione delle biomasse ligno-cellulosiche.

Nel campo della Politica Agricola Comune (PAC), i finanziamenti proposti dall’UE agli agricoltori, per incentivare e disincentivare le produzioni agricole, forestali e zootecniche, hanno ridotto la Superficie Agraria Utile (SAU) destinata alle colture alimentari. Inoltre, si è garantito un sostegno significativo al reddito degli agricoltori europei, una diminuzione delle eccedenze alimentari, una maggiore efficienza del settore agricolo per l’abbandono dei terreni marginali ed un uso alternativo degli stessi attraverso l’impiego di colture non alimentari, come le specie arboree per la produzione delle biomasse ligno-cellulosiche.

Per la produzione delle biomasse in campo agro-forestale, le piantagioni forestali a turno breve (Short Rotation Forestry) potranno avere un ruolo significativo soltanto se le difficoltà di natura tecnica ed economica, oggi riscontrabili in questo particolare settore dell’agricoltura, saranno affrontate e risolte. In Italia, le specie considerate utili per queste produzioni sono quelle a rapido accrescimento dei generi *Eucalyptus* L., *Populus* L. e *Salix* L.. Nei terreni considerati marginali si ipotizza l’impiego di *Robinia pseudoacacia* L.. Per quanto riguarda il genere *Populus*, gli obiettivi dell’attività di selezione e miglioramento genetico puntano ad ottenere un’elevata produzione, un rapido accrescimento e una maggiore tolleranza alle avversità biotiche ed abiotiche.

Il genere *Populus* impiegato in questo tipo di coltivazioni è soggetto ad un’intensa attività di selezione e miglioramento genetico per il raggiungimento di alcuni obiettivi:

- elevata produzione legnosa, specificatamente di biomassa ligno-cellulosica epigea;
- rapido accrescimento delle piante nelle prime stagioni vegetative;
- maggiore tolleranza alle avversità biotiche ed abiotiche.

Tra le azioni di studio svolte in Italia nel campo delle SRF, è da sottolineare quella intrapresa dall'ENEL-CRAM. Quest'iniziativa ha previsto la sperimentazione nell'Italia centro settentrionale di alcuni cloni del gen. *Populus* utilizzati nella pioppicoltura specializzata, valutando le loro potenzialità nelle SRF. Tale ricerca, ha evidenziato l'inadeguatezza di questi cloni, principalmente per la scarsa resa in termini di biomassa (ENEL-CRAM, 1997).

Un'altra sperimentazione, svolta dal Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DiSAFRi) dell'Università della Tuscia presso Boscone a Cavallara (Mantova), ha mostrato l'elevata produttività dei cloni di pioppo bianco iscritti al Registro Nazionale dei Cloni Forestali (RNCF). Inoltre, sono state evidenziate le potenzialità delle specie autoctone di pioppo, *P. alba* e *P. nigra*, che, con adeguati programmi di selezione e di miglioramento genetico, potrebbero risultare competitive in termini di produzioni legnose con gli ibridi di *P. x euramericana*. Infine, le specie autoctone hanno dimostrato di avere una maggiore rusticità e una minore suscettibilità alle avversità biotiche ed abiotiche (Ricciotti, 2002).

Recentemente è stata svolta un'attività di ricerca, promossa da numerosi soggetti sia pubblici che privati, tra i quali l'Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale (IBAF) del CNR e il DiSAFRi dell'Università della Tuscia, con l'obiettivo di verificare le potenzialità produttive di cloni, specificatamente selezionati per la produzione delle biomasse. Anche quest'attività di ricerca è stata svolta in diversi siti sperimentali, sempre ubicati nel Nord d'Italia, creati e gestiti con diversi cicli colturali. I nuovi cloni analizzati, messi a confronto con alcuni dei cloni già presenti sul mercato e iscritti al RNCF, hanno evidenziato promettenti produzioni (Mareschi, 2005).

Tutte queste sperimentazioni si sono sviluppate seguendo una linea tradizionale di selezione e miglioramento genetico, senza ipotizzare uno sfruttamento delle nuove tecniche legate alla genetica applicata. Sono ora necessari studi che, sfruttando le potenzialità delle biotecnologie, caratterizzino le popolazioni delle specie forestali, processo ormai in atto per molte specie vegetali, garantendo contemporaneamente la selezione e il miglioramento genetico delle stesse.

Presso il DiSAFRi dell'Università della Tuscia, sono state realizzate collezioni di germoplasma di *Populus*, in particolare di *P. alba* e *P. nigra*, utili alla conservazione *ex*

situ delle popolazioni e delle specie ed a sviluppare le attività di ricerca nei campi dell'ecologia, dell'ecofisiologia e della genetica.

Dal materiale conservato presso le collezioni di germoplasma di *P. alba* e di *P. nigra* sono state prodotte numerose progenie con differenti scopi di ricerca.

In questo lavoro si utilizza una specifica progenie prodotta dall'incrocio di genotipi selezionati per le seguenti caratteristiche:

- l'appartenenza a popolazioni distinte geograficamente, caratterizzate da differenti condizioni ambientali;
- la marcata differenza dei caratteri morfologici e fisiologici delle popolazioni e delle famiglie di fraterastri di appartenenza.

Il pedigree di pioppo bianco, denominato POP4 (142 cloni), studiato in quest'attività di ricerca, è stato ottenuto dall'incrocio dei cloni "14P11" e "6K3". Questi due cloni fanno parte di popolamenti naturali ben distinti. Il "14P11" è il parentale femminile (♀), ed appartiene alla famiglia derivante dalla pianta madre 14P, originaria dell'Italia meridionale (Policoro, MT). Il "6K3" (♂), che appartiene alla famiglia 6K, è originario dell'Italia settentrionale (Carcare, SV).

Nell'ambito del progetto di ricerca europeo, denominato POPYOMICS, tramite lo studio di questa progenie si tenta di valutare e comprendere l'importanza di alcuni caratteri quantitativi coinvolti nella produzione delle biomasse ligno-cellulosiche nelle specie autoctone di *P. alba*.

All'interno di POPYOMICS, quest'attività di ricerca si integra con studi di biologia molecolare necessari all'individuazione dei marcatori genetici coinvolti nell'espressione dei caratteri, utilizzando un'analisi QTL (Quantitative Trait Loci) finalizzata al miglioramento genetico e allo sviluppo della selezione assistita da marcatori molecolari (MAS).

Al progetto POPYOMICS partecipano vari partner europei e ad ognuno di questi è affidato uno specifico compito. Il progetto è suddiviso in cinque settori di lavoro:

1. Produzione di materiale genetico e sviluppo di una rete sperimentale europea per il genoma e la genetica molecolare del pioppo;
2. Individuazione dei caratteri fisiologici legati alla produzione;
3. Individuazione dei caratteri che inducono la resistenza alle malattie;

4. Individuazione di QTL e sviluppo di una mappa genetica di marcatori molecolari del pioppo;
5. Identificazione e mappatura dei geni candidati.

L'Università della Tuscia è direttamente interessata in tre dei cinque settori di lavoro, in particolare nel primo, nel secondo e nel quarto. L'attività di ricerca presentata in questa tesi focalizza l'attenzione sul secondo settore, nel quale si individuano e descrivono i caratteri fisiologici legati strettamente alla produzione delle biomasse ligno-cellulosiche.

Numerosi studi sono stati effettuati su diversi pedigree di *P. x euramericana* e di *P. x interamerica* per evidenziare come i caratteri quantitativi possano essere ereditati nella progenie in funzione dell'ereditabilità e della pressione di selezione che si esercita nel miglioramento genetico (Marron, 2006).

Per raggiungere gli obiettivi preposti, la sperimentazione è stata condotta secondo un piano generale di lavoro ben definito. Tale piano è suddivisibile secondo queste fasi:

1. Collezione dei dati (morfometrici, fogliari, produttivi);
2. Correzione dei dati (individuazione degli outliers, trasformazione dei dati, aggiustamento spaziale dei dati);
3. Analisi dei dati intrasito (medie genotipiche aggiustate, ereditabilità individuale e genotipica, correlazione fra i caratteri, eterosi);
4. Analisi dei dati intersito (componenti della varianza, correlazione fra i siti per i singoli caratteri).

Tutti i caratteri hanno presentato differenze significative sia per il fattore replica che per il genotipo. Soltanto in alcuni casi non sono state riscontrate differenze significative fra le repliche, R03 nel sito I, IR03 nel sito F, AF nel sito I, LP nel sito I.

Discorso a parte va effettuato per la stima dei caratteri PSF e PST, dove non ci sono state differenze significative fra le repliche. Tali valori, infatti, sono stati stimati utilizzando i dati corretti per l'effetto blocco dei caratteri C04, H04, R03.

I test di normalità hanno dato in generale una valutazione buona sulla qualità dei dati. I caratteri presi in esame hanno avuto comportamenti simili nei tre siti sperimentali garantendo così il corretto confronto intersito.

Grazie a questo procedimento è stato possibile ottenere per i caratteri presi in esame i valori delle medie genotipiche per tutti i siti sperimentali. Tali valori possono essere utilizzati per l'individuazione dei QTL.

I caratteri hanno presentato valori di ereditabilità individuale e genotipica molto diversi fra loro.

L'ereditabilità individuale presenta valori molto bassi per i caratteri legati all'accrescimento, mentre si hanno valori medi per i caratteri che descrivono le caratteristiche dei rami e delle foglie. I valori più bassi si hanno per i caratteri IV03 e C03 con valori di 0,08 e 0,09 nel sito F, mentre quelli più alti si hanno per i caratteri LP e AF nel sito UK con valori di 0,5 e 0,44.

L'ereditabilità genotipica più bassa si ha nei caratteri legati all'accrescimento e alla produzione con valori che oscillano tra 0,27 per IV03 in UK e 0,28 per C03 in I, a valori di 0,68 per PST in I e 0,69 per H04 in F. Valori più alti si hanno per le caratteristiche dei rami con valori compresi fra 0,61 per R03 in UK e 0,78 per IR03 in I. Inoltre, si può notare come IR03 abbia valori più alti di ereditabilità rispetto al carattere da cui è derivato, cioè R03. Le caratteristiche fogliari presentano anch'esse valori di ereditabilità genotipica molto alta compresi fra 0,53 per AF in I e 0,81 per LP in UK. In generale si può concludere che il carattere LP ha un'ereditabilità maggiore rispetto al carattere AF, evidenziando una maggiore stabilità ai fattori ambientali.

Questi valori sono coerenti con i risultati pubblicati in altri lavori scientifici fin qui prodotti all'interno del progetto di ricerca POPYOMICS (Marron, 2006). Inoltre, è chiaramente evidente come i caratteri legati all'accrescimento sono più influenzati dai fattori ambientali rispetto ai caratteri fogliari e di ramificazione delle piante.

Tutti i caratteri esaminati incidono nella produzione della biomassa come dimostrato dall'analisi della correlazione statistica all'interno di ogni sito sperimentale. I caratteri fogliari hanno valori bassi di correlazione con i caratteri espressione della biomassa prodotta ($r = 0,3-0,4$). I valori più alti di correlazione sono fra il carattere IV04 e i caratteri legati alla produzione PSF e PST ($r = 0,9-0,99$) dimostrando come l'indice di volume sia il migliore strumento per valutare le capacità produttive in questo tipo di piantagioni. Valori discordanti si sono avuti tra i caratteri legati alla ramificazione nei diversi siti sperimentali, evidenziando un diverso comportamento nell'espressione dei caratteri R03 e IR03 rispetto agli altri. I caratteri legati alla ramificazione, R03 e IR03, non sono correlati con i caratteri legati alle dimensioni fogliari, AF e LP.

La stima dell'eterosi, sia rispetto alla media dei parentali (H_1) sia rispetto al valore medio del parentale con la prestazione maggiore (H_2), ha prodotto risultati chiarificatori sul

comportamento dei caratteri presi in esame. I valori più alti di eterosi sono stati riscontrati nei caratteri legati all'accrescimento delle piante, circonferenza, altezza, indice di volume, biomassa prodotta, in particolare nei siti sperimentali situati in F ed in UK. Nel sito I, l'eterosi per questi caratteri è stata minima o comunque trascurabile, perché si è riscontrato un buon accrescimento del parentale "6K3".

Per i caratteri legati allo studio della ramificazione si sono avuti valori discordanti nei tre siti sperimentali, con un'alta eterosi soltanto nel sito UK, mentre nei siti F ed I l'eterosi ha presentato valori bassi o nulli.

I caratteri legati alla morfologia della foglia hanno mostrato valori di H_1 di poco positivi, mentre H_2 ha prodotto sempre valori negativi.

In conclusione, i caratteri legati all'accrescimento e alla produzione presentano un effetto ibrido nella progenie con valori maggiori alla media dei parentali. Viceversa, i caratteri della ramificazione e delle dimensioni fogliari, hanno un effetto ibrido pressoché nullo.

Il notevole effetto ibrido che si ottenuto incrociando individui appartenenti alla stessa specie, come nel caso del POP4, è circa la metà di quello che si ottiene dall'ibridazione interspecifica del genere *Populus* (Marron, 2006).

Dai risultati dell'analisi della varianza intersito è possibile ricavare i valori delle sue componenti. I risultati ottenuti evidenziano come i diversi caratteri abbiano un'alta incidenza della componente legata all'errore, escludendo i dati relativi allo studio della ramificazione.

I caratteri R03 e IR03 presentano un'altissima componente della varianza legata al sito che racchiude buona parte della componente fenotipica. I caratteri fogliari hanno invece un'alta componente genetica che raggiunge il 20,37% per il carattere AF e il 18,59% per il carattere LP. La componente della varianza d'interazione sito*genotipo si aggira su valori che non raggiungono mai il 10%. I valori più alti si hanno per il PST e il PSF, con valori del 9,91% e dell'8,99%.

Per tutti i caratteri presi in esame è stata riscontrata una correlazione significativa intersito. I caratteri legati all'accrescimento hanno evidenziato una bassa correlazione rispetto ai caratteri legati alla ramificazione e alle dimensioni delle foglie. Il valore più alto di correlazione si è avuto fra il sito I e il sito F per il carattere rami sillettici 2003 ($r = 0,63^{***}$). Il valore più basso è stato riscontrato fra il sito I e il sito F per il carattere indice di volume 2003 ($r = 0,21$), risultando i due siti non significativamente correlati.

I caratteri legati alla ramificazione e alle dimensioni fogliari hanno maggiore stabilità al cambiare delle condizioni ambientali, mentre i caratteri legati all'accrescimento hanno un'espressione fenotipica legate alle condizioni ambientali.

In conclusione, si possono ben distinguere diversi comportamenti dei caratteri quantitativi esaminati, differenziando nettamente tre gruppi, i caratteri fogliari, i caratteri legati all'accrescimento delle piante, i caratteri che descrivono la ramificazione delle piante.

Si evince, ancora una volta, come l'espressione fenotipica di un genotipo di *P alba* sia molto legata alla componente ambientale. Allo stesso tempo ci sono notevoli possibilità per la selezione e il miglioramento genetico della specie, per l'ottenimento del migliore materiale vegetale per un impiego nella produzione delle biomasse ligno-cellulosiche nelle piantagioni a breve rotazione.

Il lavoro qui descritto racchiude soltanto una parte dei caratteri quantitativi esaminati per lo studio della produzione delle biomasse ligno-cellulosiche. Infatti, alcuni caratteri hanno la necessità di una specifica analisi, quali la fenologia, rendendo improba una trattazione unitaria. Con questo lavoro si conclude una parte importante della ricerca da me effettuata all'interno del DiSAFRi nell'arco di un intero lustro. Penso di non essere riuscito ad esprimere in pieno l'enorme mole di lavoro svolto, spesso con mezzi di fortuna, con fantasia e risorse limitate. Spero che il lettore di questo lavoro capisca la quantità di sudore che è stata versata sopra queste misere pagine e che perdoni i sicuri errori e le inesattezze ivi contenute.

Bibliografia

- AA. VV., 2000. *Energia e ambiente 2000*. L'Annuario, maggio 2000.
- AA. VV., 2004. *Il Protocollo di Kyoto, i meccanismi flessibili e gli effetti attesi sul sistema energetico nazionale*. OSSERVATORIO SULLA POLITICA ENERGETICA FONDAZIONE EINAUDI
- Accademia Nazionale di Agricoltura, 1992. *Arboricoltura da legno, in collina e in montagna*. Edagricole, 1992.
- Agazia E., 2000. *Produzione legnosa a fini energetici e valorizzazione delle proprietà forestali collettive. L'esempio di Bolzano Bellunese (BL)*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.
- Alier J. M., 2004. *Crescita/Decrescita. L'ecologismo dei poveri. Conflitti ambientali e linguaggi di valutazione*. CNS-Ecologia Politica, nn. 1-2, gennaio-giugno 2004, Anno XIV, fascicoli 57-58
- ARSIA, 2003. *La certificazione forestale: lo schema PEFC*. EFFEEMME LITO srl, 2003
- Baldini S., 1999. *Appunti delle lezioni di Utilizzazioni Forestali*.
- Baradat, Terrier, 2003. *Papadakis. Un ajustement multi-dimensionnel du Phenotype à l'Environnement*. UMR AMAP/INRA Dept FMN.
- Barcaccia G., Falcinelli M., 2005. *Genetica e genomica. Vol. II. Miglioramento genetico*. Liguori Editore, 2005.
- Barcaccia G., Lorenzetti S., Falcinelli M., 2006. *L'eterosi nelle piante: dall'ipotesi genetica di Jones all'era genomica*. Ricerca 24/03/2006.
- Bernetti G. La Marca O., 1983. *Elementi di dendrometria*. SCAF, 1983.
- Bernetti G., 1995. *I pioppi e la pioppicoltura*. Cap. XXV in *Selvicoltura Speciale*, p. 259-270, UTET.
- Berton M., 2000. *Il bosco di energia nell'azienda agricola. Situazione attuale e proposte per il futuro nella Regione Veneto*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.
- Bisoffi S., 2000. *Biomasse legnose per la produzione di energia: sono una cosa seria?*. SHERWOOD n.54/Marzo 2000.
- Bisoffi S., Facciotto G., 2000. *I cedui a turno breve (SRF)*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.

- Bonciarelli F., 1989. *Fondamenti di Agronomia*. Edagricole, 1989.
- Camussi A., Moller F., Ottaviano E., Gorla M. S., 1986. *Metodi statistici per la sperimentazione biologica*. Zanichelli, 1986.
- CIPE, 1993. *Piano Nazionale per lo sviluppo sostenibile, in attuazione dell'Agenda 21*.
- CIPE, 1998. *Linea guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra*. Delibera n. 137 del 19/11/1998.
- CIPE, 1999. *Libro bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili*. Delibera n. 126 del 6/08/1999.
- CIPE, 2000. *Programma Nazionale Biocombustibili*. Delibera n. 27 del 15/02/2000.
- CIPE, 2002. *Revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra (Legge 120/2002)*.
- Cividini R., 1991. *Tecnologia Forestale*. Edagricole, marzo 1991.
- CNEL, 2000. *L'evoluzione della politica forestale italiana dalla legge Serpieri alle sfide europee; obiettivi e strategie*. Gruppo di Lavoro sulle materie riguardanti il settore Legno, Roma 9/05/2000.
- Corona E., 1999. *Appunti delle lezioni di tecnologie del legno*.
- Cortignani G. D., 2001. *Piantagioni di pioppo per biomasse ed energia: produttività ed interazione con i fattori ambientali*. Tesi di Laurea a.a. 2000/2001, Università degli Studi della Toscana.
- D. Lgs. 128/2005. *Attuazione della direttiva 2003/30/CE relativa alla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti*. Gazzetta Ufficiale del 12/7/2005.
- D. Lgs. 387/2003. *Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità*. Gazzetta Ufficiale del 31/01/2004
- D. Lgs. 59/2005. *Attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento*. Gazzetta Ufficiale del 22/04/2005.
- D. Lgs. n. 227/2001. *Orientamento e modernizzazione del settore forestale, a norma dell'articolo 7 della legge 5 marzo 2001, n. 57*. Gazzetta Ufficiale n. 137 del 15 giugno 2001. Supplemento ordinario n. 149.

- D. Lgs. n. 79/1999. *Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica*. Gazzetta ufficiale n. 75 del 31/03/1999.
- D.M. del Ministero dell'Ambiente n. 337/2000. *Regolamento recante criteri e modalità di utilizzazione delle risorse destinate per l'anno 1999 alle finalità di cui all'articolo 8, comma 10, lettera f), della legge 23/12/98, n. 448*.
- D.M. del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali n. 401/1999. *Regolamento recante norme di attuazione dell'articolo 1, commi 3 e 4, del decreto legislativo 30/04/98, n.173 per la concessione di aiuti a favore della produzione e utilizzazione di fonti energetiche rinnovabili nel settore agricolo*.
- D.P.R. n. 412/1993. *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10*.
- Del Bava, 2000. *Gestione forestale e produzione legnosa a fini energetici*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.
- Del Gatto A., Laureti D., 2006. *Il miglioramento genetico del girasole alto oleico per la produzione di biodiesel*. Ricerca, 24/03/2006.
- Delfini L., Sacchet L., 2003. *Sviluppo sostenibile delle foreste e certificazione*. www.lexambiente.com.
- Dir. 2001/77/CE. *Direttiva del Parlamento Europeo e del consiglio del 27 settembre 2001 sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità*. GUCE, 27/10/2001.
- Dir. 2003/54/CE. *Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2003, relativa a norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica e che abroga la direttiva 96/92/CE*. GUCE, 15/07/2003.
- Dodero N., Toscani J., 1986. *Lezioni di matematica*. Ghisetti e Corvi editori, 1986.
- Ducci F., 2001. *Conservazione ed utilizzazione delle risorse genetiche forestali in Italia*. Laboratorio di Genetica Forestale, Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo, 2001.
- ENEL-CRAM, 1995. *Selvicoltura a breve rotazione (SRF) per la produzione di biomassa ad uso energetico*. Rapporto di avanzamento 1995, gennaio 1997.
- Federico V.. *Cacciatori di pellicce e gas*. www.village.it/italianostra/gasserra.html.

- Ferrara V.. *Le decisioni di Kyoto*.
- Fregolent A., Grespan R.. *Landscape Ecology del Medio Piave*. Capitolo IX *Il sottosistema fitologico*. Tesi di Laurea, www.tragol.it/cap_9.htm.
- Frewen B. E. et al., 1999. *Quantitative Trait Loci and candidate Gene Mapping of bud set and bud flush in Populus*. Genetics 154: 837-845 (February 2000).
- Gellini R., Grossoni P., 1997. *Botanica Forestale*. Vol. II *Angiosperme* p. 213-242. CEDAM, 1997.
- Hawken P., Lovins A., Hunter Lovins L., 2001. *Capitalismo naturale. La prossima rivoluzione industriale*. Edizioni Ambiente, Milano, 2001
- INEA, 2005. *Politiche strutturali per l'agricoltura*. Bollettino dell' Osservatorio Politiche Strutturali n. 21.
- IPC, 1992. *Poplar and willow growing in combination with agriculture*. 19th Session of the International Poplar Commission, Zaragoza, 22-25/09/1992, Volumen I, Antonio PADRO.
- IPGRI, 2001. *In situ conservation of Populus nigra*.
- IPGRI, 2003. *Technical guidelines for genetic conservation and use European black poplar*.
- IPGRI, 2004. *Populus nigra Network*. Report of seventh (25–27 October 2001, Osijek, Croatia) and eighth meetings (22–24 May 2003, Treppeln, Germany).
- L. 120/2002. *Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997*. Gazzetta Ufficiale n. 142 del 19 giugno 2002. Supplemento ordinario.
- L. n. 10/1991. *Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di un uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*.
- L. n. 423/1998. *Interventi strutturali e urgenti nel settore agricolo, agrumicole e zootecnico*.
- L. n. 499/1999. *Razionalizzazione degli interventi nei settori, agricolo, agroalimentare, agroindustriale e forestale*.
- Landi R., 1987. *Metodologia sperimentale in agricoltura*. CEDAM, 1987.
- Lazzari P., 2000. *L'utilizzo di residui agricoli ligno-cellulosici*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.

- Mareschi L., 2005. *Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti*. L'informatore Agrario 18/2005.
- Marron N. et al., 2005. *Plasticity of growth and sylleptic branchiness in two poplar families grown at three sites across Europe*. Tree Physiology 26, pp. 935-946, 2006.
- Mezzalana G., 2000. *La produzione di legno a fini energetici nei boschi e nei campi*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.
- Ministero dell'Ambiente, 2001. *Strategia nazionale ambientale per uno sviluppo sostenibile*.
- MiPAF, 1999. *Documento di Programmazione agricolo, agroalimentare, agroindustriale e forestale per gli anni 2001-2003 ai sensi dell'art. 2 della L. n. 499 del 23/12/1999*.
- MiPAF, 2001. *Atti del seminario Le filiere bioenergetiche: prospettive opportunità per le Amministrazioni locali*. Gruppo di Supporto Tecnico-Scientifico "Bioenergia". Roma 18/04/2001.
- MiPAF, 2005. *Piano Strategico Nazionale per lo Sviluppo Rurale (art. 11 Reg. Ce 1698/2005)*. Bozza dicembre 2005.
- MiPAF, 2005. *Programmazione sviluppo rurale 2007-2013. Contributo tematico alla stesura del piano strategico nazionale*. Gruppo di lavoro "Foreste e cambiamento climatico", 22/12/2005.
- MiPAF. *Programma Nazionale Energia Rinnovabile da Biomasse (PNERB)*.
- MiPAF. *Programma Nazionale per la Valorizzazione delle Biomasse Agricole e Forestali (PNVBAF)*.
- Mori P., 2000. *Un'occasione su cui riflettere*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.
- Muggeo V., 2002. *Il linguaggio di R: concetti introduttivi ed esempi*.
- Mussu I., 2001. *Economia e... Scienze Ambientali*.
- Nardi Berti R., 1994. *La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legni italiani di più corrente impiego*. CNR (Istituto del legno), Firenze 1994.
- Ntare B. R., Williams J. H., 1998. *Heritability and genotype x environment interaction for yield and components of a yield model in segregating populations of groundnut under semi-arid conditions*. African Crop Science Journal, vol. 6 n. 2, pp. 119-127, 1998.

- Pettenella D., 2000. *Costi di produzione e possibilità di marketing del legno cippato per impieghi energetici*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.
- Pettenella D., Secco L., Zanuttini R., 200. *La certificazione della gestione aziendale e dei prodotti nel sistema foresta-legno*. Direzione Regionale per le Foreste e l'Economia Montana, Mestre (VE), 2000.
- Piuksi P., 1994. *Selvicoltura generale*. UTET, 1994.
- PRO SILVA, 1996. *I principi di gestione delle foreste*. Trento, 10 giugno 1996
- Provincia di Torino. *Programma Energetico Provinciale*.
- Reg. (CE) n. 1290/2005. *Regolamento del Consiglio, del 21 giugno 2005, relativo al finanziamento della politica agricola comune*. GUCE, 11/08/2005.
- Reg. (CE) n. 1698/2005. *Regolamento del Consiglio, del 20 settembre 2005, sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR)*. GUCE, 21/10/2005.
- Reg. (CE) n.1257/1999. *Regolamento del Consiglio del 17 maggio 1999 sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo europeo agricolo di orientamento e di garanzia (FEAOG) e che modifica ed abroga taluni regolamenti*. GUCE, 26/6/1999.
- Reg. (CE) n.1782/2003. *Regolamento del Consiglio del 29 settembre 2003 che stabilisce norme comuni relative ai regimi di sostegno diretto nell'ambito della politica agricola comune e istituisce taluni regimi di sostegno a favore degli agricoltori e che modifica i regolamenti (CEE) n. 2019/93, (CE) n. 1452/2001, (CE) n. 1453/2001, (CE) n. 1454/2001, (CE) n. 1868/94, (CE) n. 1251/1999, (CE) n. 1254/1999, (CE) n. 1673/2000, (CEE) n. 2358/71 e (CE) n. 2529/2001*. GUCE, 21/10/2003.
- Regione Emilia Romagna. *Il pioppo*. I supplementi di Agricoltura, <http://www.regione.emilia-romagna.it/agricoltura/rivista/supplementi/pioppo/>.
- Regione Piemonte, 1997. Atti del seminario *Approvvigionamento e gestione degli impianti termici alimentati a cippato di legno*. Cuneo, 10/02/97. Verbania 11/02/97.
- Regione Piemonte, 1998. Atti del seminario *Biomasse lignocellulosiche per usi energetici, inventario per il Piemonte*.

- Ricciardi L., Filippetti A., 2003. *L'erosione genetica di specie agrarie in ambito medi-terraneo: rilevanza del problema e strategie d'intervento*. Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 53.
- Ricciotti L., Sabatti M., Kuzminsky E., Nardin F., Scarascia Mugnozza G., 2004. *Poplar germplasm resources in short rotation forestry: implications for biomass production*.
- Ronchi E., Caminiti N. M., Federico T., 2004. *Il Protocollo di Kyoto in Italia. Le politiche e le misure sul cambiamento climatico*. ISTITUTO SVILUPPO SOSTENIBILE ITALIA, 2004
- Sabatti M., Kuzminsky E., Giordano E., Anselmi N., Scarascia Mugnozza G., 2000. *Esperienze di rinaturalizzazione di terreni agricoli in pianura padana mediante piantagioni forestali*. L'Italia Forestale e Montana, Anno LV, Fasc. n. 4: 241-252, Luglio-Agosto 2000.
- Salvatori del Prato O., 1981. *Il pioppo, moderne tecniche colturali*. Universale Edagricole, aprile 1981.
- Sarà M., 2002. *L'integrazione di genotipo e fenotipo alle soglie del 2000*. *Systema Naturae*, 2002, Vol. 4, pp. 181-208.
- Singh M., Ceccarelli S., Hamblin J., 1992. *Estimation of heritability from varietal trials data*. *Theor. Appl. Genet.* (1993) 86: 437-441.
- Soliani L., 2005. *Manuale di statistica per la ricerca e la professione. Statistica univariata e bivariata parametrica e non parametrica per le discipline ambientali e biologiche*. www.dsa.unipr.it/soliani/soliani.html
- Sperandio G., Verani S., 2000. *Piantagioni a breve rotazione per la produzione di biomassa ad uso energetico. Elementi per una analisi dei costi*. SHERWOOD n.62/Dicembre 2000.
- Spinelli R., Verani S., 2000. *La raccolta del legno per uso energetico industriale*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.
- Tassinari G., 1976. *Manuale dell'Agronomo*. V edizione, REDA, 1976.
- Taylor G. et al, 2003. *Spatial and temporal effects of free-air CO₂ enrichment (POPFACE) on leaf growth, cell expansion, and cell production in a closed canopy of poplar*. *Plant Physiology*, January 2003, vol. 131, pp. 177-185.

- Taylor G. et al., 2001. *Identifying QTL for yield in UK biomass poplar*. Aspects of Applied Biology 65, 2001.
- Taylor G., 2002. *Populus: Arabidopsis for Forestry. Do we need a model tree?* Annals of Botany 90: 681-689, 2002.
- Tedeschi V., Lumicisi A., 2006. *L'attuazione del Protocollo di Kyoto nel settore forestale: il punto sulla situazione attuale e le prospettive future*. Forest@ 3 (1): 3-5, 2006.
- Tiezzi E., Marchettini N., 1999. *Che cos'è lo sviluppo sostenibile?* Donzelli Editore. Roma, 1999
- Tomassetti G., 2000. *I consumi di legno nelle famiglie italiane*. SHERWOOD n.59/Settembre 2000.
- UE, 1999. *Orientamenti per un'agricoltura sostenibile*. COM/99/0022 def.
- UE, Comitato economico e sociale europeo, 2002. *Orientamenti per un'agricoltura sostenibile*. Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee 2002.
- UE, Comitato economico e sociale europeo, 2006. *Le fonti energetiche rinnovabili*. 2006/C 65/20.
- UE, Commissione Europea, 1997. *Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili*. Libro bianco per una strategia e un piano di azione della Comunità del 26/11/1997 [COM (97) 599].
- UE, Commissione europea, Direzione generale dell'Agricoltura, 2003. *L'agricoltura e l'ambiente*. Eugène LEGUEN DE LACROIX, 2003.
- UE, Consiglio dell'Unione Europea. *Riforma della PAC. Compromesso finale della Presidenza d'accordo con la Commissione*. Lussemburgo, 26 giugno 2003.
- UE, European Commission, Directorate-General for Agriculture, 2003. *Reform of the common agricultural policy. A long term perspective for sustainable agriculture*.
- UE, European Commission, Directorate-General for Agriculture, 2005. *Le colture energetiche*.
- UN, 1972. *Declaration on the Human Environment*. Conferenza di Stoccolma, 16 giugno 1972.

- UN, 1987. *Our Common Future*. Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo.
- UN, 1992. *Convention on Biological Diversity*.
- UN, 1992. *Declaration on Environment and Development*. Conferenza di Rio de Janeiro, dal 3 al 14 giugno 1992.
- UN, 1992. *Framework Convention on Climate Change*.
- UN, 1992. *Principles for a Global Consensus on the Management, Conservation and Sustainable Development of all types of Forests*.
- UN, CP.3, 1997. *Protocollo di Kyoto*.
- UNIF, Università degli studi della Tuscia, CNR, 2000. Riassunti del Convegno *Biomasse agricole e forestali per uso energetico*. Villa Cahen, Selva di Meana, Allerona (TR), 28-29 settembre 2000.
- Vicentini M., 2004. *Il fenomeno*. 004/051 Dossier (9), p.30-34.
- Vidrich V., 1998. *Il legno e suoi impieghi chimici*. Edizioni Agricole, aprile 1998.
- Volpi G., 2006. *Il Protocollo di Kyoto*.

Allegato A. Protocollo sperimentale per l'analisi dei dati (1)

Procedura standard del gruppo di lavoro del progetto POPYOMICS

- 1) Archiviazione dei dati in file di tipo excel (".xls");**
- 2) Individuazione dei dati anomali o outliers (prima cernita);**
- 3) Costituzione di file testo (".txt") per l'analisi statistica con il software "R";**
- 4) Importazione dei file testo in ambiente "R";**
- 5) Individuazione del pedigree e dei cloni da analizzare;**
- 6) Analisi della varianza (ANOVA);**
- 7) Individuazione dei dati anomali o outliers (seconda cernita);**
- 8) Test di normalità della distribuzione (boxcox) e di omoscedasticità della varianza (Bartlett.test);**
- 9) Eventuale trasformazione dei dati secondo i risultati del test di normalità (boxcox);**
- 10) Analisi della varianza dei dati trasformati;**
- 11) Eventuale trasformazione dei dati per l'effetto blocco;**
- 12) Esportazione dei dati trasformati;**
- 13) Stima delle medie genotipiche.**

-1-

L'archiviazione dei dati deve essere fatta secondo un procedimento standard ripetuto per tutti i plot del sito sperimentale. I database devono essere composti ed organizzati in fogli elettronici di excel (".xls"). Nelle matrici di dati (dataframe), così ottenute, ogni riga rappresenta una singola pianta. Le colonne descrivono le caratteristiche delle piante individuando la loro posizione (sito, plot, coordinate all'interno del plot), identificando l'individuo e il genotipo (progressivo, pedigree, genotipo), le cure colturali dell'esperimento (trattamento), e i valori quantitativi dei caratteri morfo-fisiologici presi in esame. Per semplificare il lavoro tutti i file devono avere le stesse colonne per numero e contenuto anche quando queste sono vuote perché non è stata effettuata nessuna misurazione. Fondamentali sono le colonne seguenti:

Il sito (site). I siti presenti nella sperimentazione sono tre identificati tutti da un numero: Headley (UK) dal numero “1”, Ardon (F) dal “2”, Cavallermaggiore (I, CN) dal “3”, Montelibretti (I, RM) dal “4”.

Il plot (plot). In ogni sito si identifica un singola unità sperimentale chiamata plot dove è testato un intero pedigree e nel quale sono inseriti dei genotipi chiamati bridge clones; questi sono dei genotipi specifici, sei per ogni pedigree, presenti in tutti i plot. Tutte le piante del plot hanno la stessa numerazione pur appartenendo a diversi pedigree. Nel nostro caso i plot sono identificati sempre attraverso un numero che corrisponde al pedigree di riferimento: POP4 (F1 di *Populus alba*, “14P11” x “6K3”) dal numero “4”, POP5 (F1 di *Populus nigra*, “58-861” x “Poli”) dal “5”, POP6 (B1 di *Populus alba*, “14P11” x “34PK”) dal “6”, POP7 (B2 di *Populus alba*, “23PK” x “6K3”) dal “7”, POP8 (F2 di *Populus alba*, “23PK” x “34PK”) dall’ “8”.

Il numero progressivo (progressive.number). In ogni plot questo identifica inequivocabilmente tutti gli individui. E’ costituita da una numerazione progressiva da “1” in poi. E’ utile per l’individuazione rapida delle singole piante nell’analisi statistica dei dati.

Il pedigree (pop). Il pedigree identifica un gruppo di cloni che sono geneticamente fratelli pieni. La numerazione seguita è la medesima dei plot. All’interno dei plot sono presenti, come detto, i bridge clones; questi hanno la numerazione di origine dei loro pedigree: POP1 dal numero “1”, POP2 dal “2”, POP3a dal “31” e POP3b dal “32”.

Il genotipo (genotype). I genotipi hanno una numerazione propria che è stata assegnata al momento della costituzione dei pedigree. I nostri pedigree sono stati numerati seguendo la progressione numerica da “1” in poi.

La replica o blocco (block). Ogni plot è suddiviso da più unità che riproduco più volte il medesimo esperimento. Ogni singola replica è composta da una pianta per genotipo. In ogni replica ci sono le piante del pedigree analizzato, i suoi parentali e i bridge clones. Le repliche variano da sei a nove ed hanno una numerazione progressiva a partire da “1”. In particolare, solo il POP4 ha nove repliche.

riga e colonna (row e column). Possono avere numerazione diversa a seconda del modo con il quale è stato costituito il campo sperimentale, il plot e le repliche. Il loro obiettivo è quello di identificare la posizione delle piante, sia per una loro individuazione spaziale sia per un’analisi spaziale dell’andamento dell’esperimento.

Le altre colonne riguardano i caratteri esaminati. I dati mancanti vanno identificati tramite la dicitura “NA” (“Not Available”) utile alla successiva analisi statistica.

-2-

Tramite la funzione filtro del software excel si deve procedere all’individuazione degli errori di misurazione, trascrizione e registrazione delle caratteristiche di ogni singola pianta. Tali valori anomali, dovuti ad errori accidentali dell’operatore, vanno immediatamente esclusi. Al posto del dato anomalo individuato si inserisce la dicitura “NA”, con lo stesso criterio dei dati mancanti.

-3-

Una volta organizzato il file di excel, nel modo descritto, questo va trasformato in un file testo (“.txt”) delimitato da tabulazioni. Tale file sarà poi utilizzato per l’analisi statistica, utilizzando il software “R”. Il file testo, che corrisponde ad una matrice di dati (dataframe), non deve presentare elementi della matrice vuoti. I valori numerici dei caratteri devono avere separate la parte intera da quella decimale con il punto e non con la virgola, affinché il software li riconosca come tali. Inoltre vanno lasciate le intestazioni delle colonne. Se non vengono rispettate queste procedure il passaggio seguente produrrà un messaggio di errore.

-4-

Prima di procedere ad importare i dati contenuti nelle matrici in formato testo in “R” è necessario costituire una cartella in cui siano contenuti sia “R” che la matrice dei dati. Mentre la procedura per la creazione di una cartella in ambiente windows è semplice, come il trasferire o copiare la matrice dei dati, perché prassi quotidiana del lavoro al PC, risulta meno immediata la procedura del trasferimento di “R”. La procedura è la seguente:

aprire “R”;

selezionate sulla barra dei menu la voce “File” e scegliete il comando “Change dir...” (Change directory) che aprirà una nuova finestra;

attraverso il pulsante “Browse” selezionate la cartella nella quale è stato inserito il file testo che rappresenta la matrice dei dati.

Per esplicitare la procedura di lavoro si può adottare un esempio nel quale la matrice dei dati riguarda il pedigree POP4 (plot “4”, pop “4”) nel sito di Cavallermaggiore (site “3”). L’analisi statistica presa in esame è quella del carattere quantitativo altezza delle piante, che è stata misurata per la stagione vegetativa 2003. (“altezza.03”). La matrice dei dati da importare è stata chiamata “I.txt”, dove dal nome è possibile identificare il pedigree e il sito. Il comando adottato per importare il file ed alcune importanti passaggi successivi sono i seguente:

```
p4i<-read.table(“I.txt”,header=T,row.names=NULL)
```

inserimento della matrice con il nome “p4i”

```
options(na.action=na.omit)
```

specifica che i dati NA sono da omettere dall’analisi

```
summary(p4i)
```

riporta il sommario di tutte le colonne sia quello considerate fattore di analisi sia quelle valori numerici

```
p4i$site<-factor(p4i$site)
```

```
p4i$pop<-factor(p4i$pop)
```

```
p4i$genotype<-factor(p4i$genotype)
```

```
p4i$block<-factor(p4i$block)
```

trasformazione delle variabili considerate erroneamente valori numerici e non fattori. Per semplicità si indicano tutte le variabili da considerare fattori

-5-

La fase successiva è l’individuazione del pedigree da analizzare e dei suoi genotipi, escludendo tutti i cloni che per determinati caratteri non presentano almeno tre valori e i parentali del pedigree. I comandi sono i seguenti:

```
p4i.4<-p4i[p4i$pop==“4”,]
```

creazione di una nuova matrice (“p4i.4”) nei quali sono contenuti tutti i genotipi e parentali del pedigree numero “4”

```
summary(p4i.4$genotype[is.finite(p4i.4$altezza.03)],maxsum=200)
```

riepilogo del numero di valori presenti per ogni genotipo della matrice dei dati “p4i.4” per il carattere altezza 2003

```
p4i.43<-p4i.4[match(p4i.4$genotype,c(“14P11”,“6K3”,“8”,“69”,“99”),  
nomatch=0)==0,]
```

creazione di una nuova matrice denominata “p4i.4pa03” derivata dalla matrice “p4i.4”, eliminando da questa i parentali e i genotipi con meno tre valori.

-6-

A questo punto è possibile eseguire l’analisi della varianza (ANOVA) secondo il modello:
Y = Block + Genotype.

Per eseguire con “R” l’analisi bisogna digitare la seguente funzione:

```
aov.p4i.43.h03<-(aov(altezza.03~block+genotype,p4i.43,na.action=na.omit)
```

per conoscere i risultati dell’analisi della varianza si digita il comando

```
summary(aov.p4i.43.h03)
```

dal quale per ogni fattore compariranno i gradi di libertà, la devianza, la varianza e la F di Fisher con il relativo test.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	6	282197	47033	32.6561	< 2.2e-16	***
Genotype	136	448649	3299	2.2905	9.559e-12	***
Residuals	603	868470	1440			

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

-7-

Per individuare i dati anomali si procede con un’analisi grafica dei residui della distribuzione proposta nell’analisi della varianza. Con il comando

```
plot(aov.p4i.43.h03)
```

usciranno quattro grafici diversi (Normal Q-Q, Residuals vs Fitted, Scale-Location, Cook’s distance) dai quali è possibile descrivere e caratterizzare la distribuzione e i residui (Figura

133). Tramite questi grafici, inoltre, si ottengono visivamente quali siano i valori più lontani dalla media generale, sia quelli che si discostano troppo dalla media del singolo genotipo. Graficamente “R” rileva i tre valori più lontani per ogni tipo di grafico. Questi dati valori vanno controllati ed eventualmente scartati con una procedura simile a quella usata per i genotipi, utilizzando la colonna del numero progressivo delle piante.

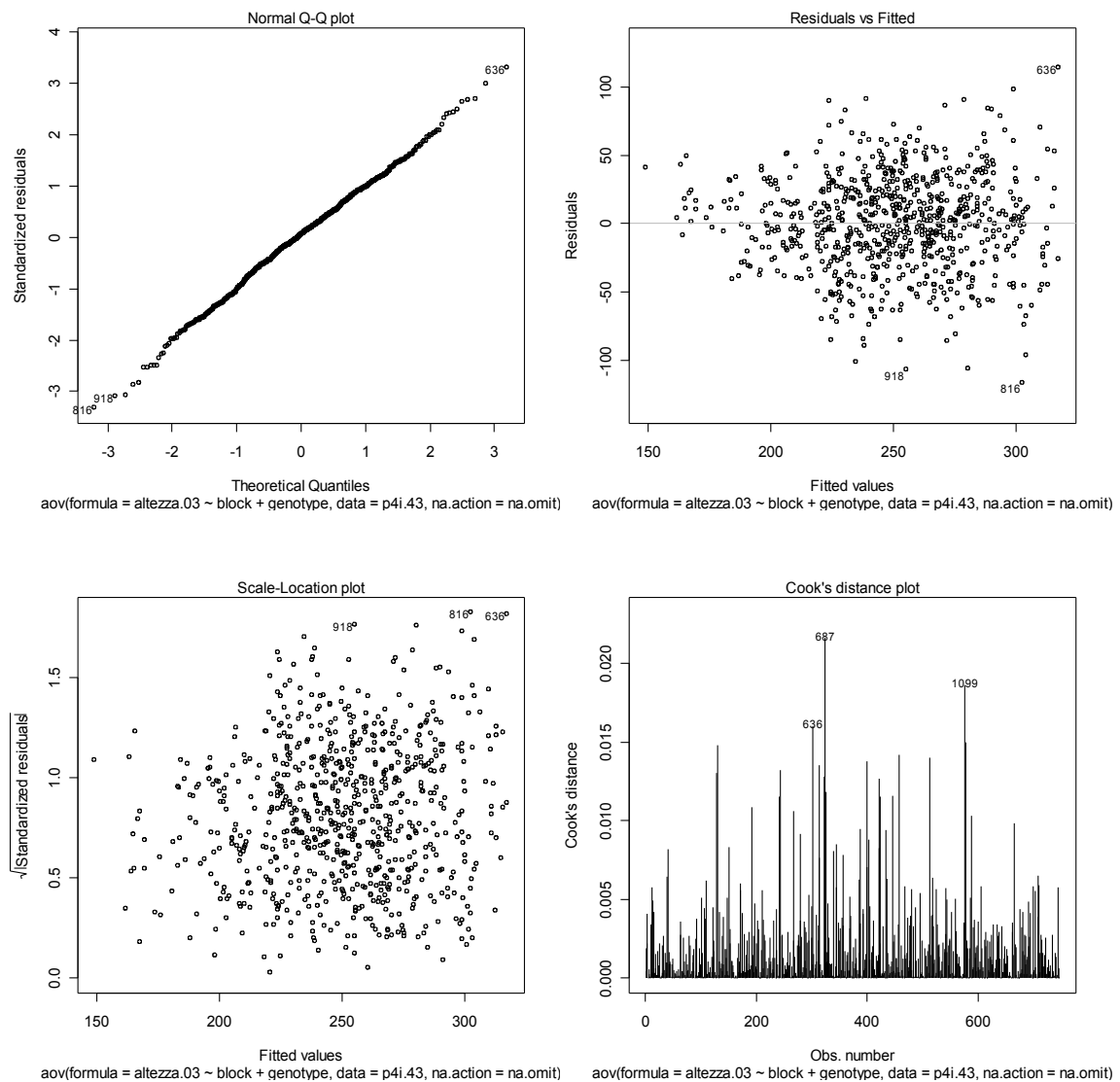


Figura 133. Analisi grafica dei residui e della distribuzione

A questo punto è necessario effettuare dei test che valutino la normalità della distribuzione e l'omoscedasticità della varianza. Si usa rispettivamente il test detto di BOXCOX e il test di Bartlett. I comandi da digitare sono i seguenti:

library(MASS)

che serve per introdurre un pacchetto d'analisi statistica in cui è contenuta la funzione BOXCOX

boxcox(aov.p4i.43.h03)

dalla quale sarà possibile evidenziare graficamente se la distribuzione dei dati a un andamento normale. La variabile λ che meglio normalizza la distribuzione è quello che rende massima la funzione L (nota come log-likelihood function). La distribuzione normale ha il valore massimo della L pari ad "1". Per alcuni caratteri quali l'altezza delle piante questo risultato è quello atteso.

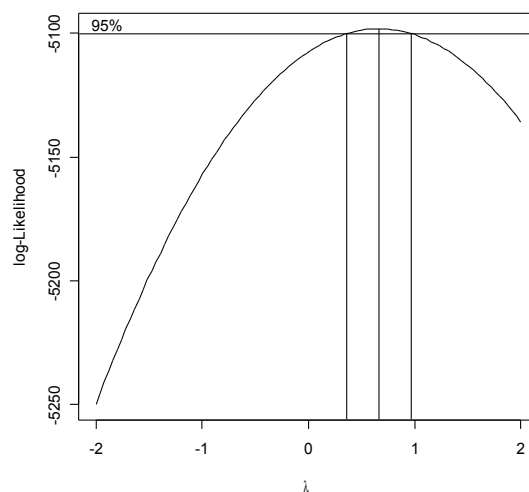


Figura 134. Test BoxCox

Per il test di Bartlett

bartlett.test(altezza.03~block,data= p4i.43)

bartlett.test(altezza.03~genotype,data=p4i.43)

la tabella statistica del χ^2 si usa per valutare i valori del p-value prendendo in considerazione i gradi di libertà del test.

Bartlett test for homogeneity of variances data: altezza.03 by block Bartlett's K-squared = 14,3484, df = 6, p-value = 0,02598 Bartlett test for homogeneity of variances data: altezza.03 by genotype Bartlett's K-squared = 141,6873, df = 136, p-value = 0,3518
--

Figura 135. Test di Bartlett

-9-

In alcuni casi il test di normalità BOXCOX presenta, per i tre siti esaminati, valori della λ che si allontanano dall'unità. E' possibile che nei tre siti il risultato del test del BOXCOX dia valori sostanzialmente diversi. In ogni caso quando due dei tre siti hanno valori diversi dall'unità come nel caso del carattere area fogliare, i dati in tutti i siti devono essere trasformati nelle stesse modalità. Nel caso dell'area fogliare la trasformazione richiesta, con valori della λ di "0,5", è la radice quadrata del dato originario. Altre trasformazioni possibili sono la logaritmica, con valori di "0" e il reciproco con valori di "-1". In un eventuale trasformazione dei dati è necessario digitare il comando: `dataframe $ variabile.trasformata <- tipo.di.trasformazione.numerica (dataframe $ variabile)`, in cui il tipo di trasformazione numerica può essere `sqrt` (radice quadrata), `log` (logaritmica), ecc..

-10-

Se è stata effettuata la trasformazione dei dati o se sono stati eliminate delle piante è necessario procedere ad una nuova ANOVA come descritto in precedenza, utilizzando in questo caso la variabile trasformata.

-11-

Nel caso in cui esista una differenza fra i blocchi è necessario effettuare una correzione dei dati per l'effetto blocco. Al riguardo è stata utilizzata una funzione denominata "ajuind.aov". Tale funzione va inserita digitando integralmente questa parte:

```

ajuind.aov<-function(object.df, object.aov, num.effets, ...)
{
# ajustement de valeurs individuelles È un ou plusieurs effets donnees
# en sortie de aov
#
# Date de creation : 27 Juillet 1998
# Auteur : Catherine.Bastien
#

  effets <- model.tables(object.aov, type = "effects")
  noms <- names(effets[[1]])
  names(noms) <- 1:length(noms)
  nomvar <- dimnames(attributes(object.aov$terms)$factors)[[1]][1]
  if(missing(num.effets)) {
    cat("\n Les effets contenus dans le modele d'analyse de variance",
        substitute(object.aov), "sont les suivants : \n")
    print(noms)
    cat("\n Nombre d'effets a prendre en compte dans l'ajustement ? : \n"
        )
    nb.effets <- as.numeric(readline())
    num.effets <- vector(length = nb.effets)
    for(i in 1:length(num.effets)) {
      cat("\n Numero de l'effet ", i,
          "a prendre en compte: \n")
      num.effets[i] <- as.numeric(readline())
    }
  }

# test sur la presence de la variable dans le data.frame
  nb.effets <- length(num.effets)
  nomvar.df <- names(object.df)
  test.nomvar <- match(nomvar, nomvar.df, nomatch = NA)
  if(any(is.na(test.nomvar))) stop(

```

"la variable etudiee dans le modele d' ANOVA n' existe pas dans le dataframe !"

```
)  
# test sur les effets et la presence d'effets d'interaction  
nom.effets.aju <- noms[num.effets]  
ordre.effets.aju <- attr(object.aov$terms, "order")[num.effets]  
#if(length(grep("3", ordre.effets.aju)) >= 1)  
# stop("Un effet d' interaction d'ordre 3 a ete choisi : attendre la  
prochaine version"  
# )  
test.nom.effets <- match(nom.effets.aju[ordre.effets.aju == 1],  
nomvar.df, nomatch = NA)  
if(any(is.na(test.nom.effets))) stop(  
"le facteur choisi dans le modele d'ANOVA n'existe pas dans le  
dataframe !"  
)
```

**# pour version avec interaction voir la construction d'une table
avec attr(object.aov\$terms,"factors")
construction de la matrice (n,k) a n lignes des k effets pris en compte dans
l'ajustement**

```
table.fact <- attr(object.aov$terms, "factors")  
mataju <- matrix(0, nrow = dim(object.df)[1], ncol = nb.effets)  
# creation de la table de correspondance numero effet, numero data.frame  
table.effet <- matrix(0, nrow = nb.effets, ncol = 5)  
table.effet[, 1] <- num.effets  
table.effet[, 2] <- ordre.effets.aju  
table.effet[, 3] <- match(nom.effets.aju, nomvar.df, nomatch = NA)  
num.effet.ordre <- table.effet[ordre.effets.aju == 2, 1]  
for(i in 1:length(num.effet.ordre)) {  
  code.fact <- table.fact[, num.effet.ordre[i]]  
  table.effet[num.effet.ordre[i], 4] <- table.effet[match(  
    dimnames(table.fact)[[1]][code.fact == 1][1], noms), 3]
```

```

    table.effet[num.effet.ordre[i], 5] <- table.effet[match(
      dimnames(table.fact)[[1]][code.fact == 1][2], noms), 3]
  }
  dimnames(table.effet) <- list(nom.effets.aju, c("num.effet", "ordre",
    "num.df", "num.f1", "num.f2"))
  for(i in 1:nb.effets) {
    if(table.effet[i, 2] == 1) {
      mataju[, i] <- effets[[1]][[num.effets[i]]][match(
        object.df[, table.effet[i, 3]], names(effets[[1]
          ])[[num.effets[i]]])]
    }
    else {
      noms.niv <- dimnames(effets[[1]][[num.effets[i]]])
      mat <-<= effets[[1]][[num.effets[i]]]
      mat.num.ind <- cbind(match(object.df[, table.effet[
        num.effets[i], 4]], noms.niv[[1]]), match(
          object.df[, table.effet[i, 5]], noms.niv[[2]]))
      mataju[, i] <- apply(mat.num.ind, 1, FUN = function(x)
        mat[x[1], x[2]])
    }
  }

# creation du dataframe des valeurs ajustees avec comme colonnes les facteurs et
variables pris en
# compte dans l'ajustement
object.df.aju <- object.df[, c(table.effet[table.effet[, 2] == 1, 3],
  test.nomvar)]
nb.effets.princ <- length(table.effet[table.effet[, 2] == 1, 1])
names(object.df.aju)[nb.effets.princ + 1] <- paste(nomvar, ".aju", sep
  = "")
object.df.aju[, nb.effets.princ + 1] <- object.df.aju[, nb.effets.princ +
  1] - apply(mataju, 1, sum)

# ajout à la fin du fichier

```

```

resul<-cbind.data.frame(object.df,object.df.aju[,nb.effets.princ+1])
ncol<-dim(resul)[2]
names(resul)[ncol]<-paste(nomvar, ".aju", sep="")
resul
}

```

e successivamente:

```

p4i.43<-ajuind.aov(p4i.43,aov.p4i.43.h03,1)

```

in cui “1” rappresenta il fattore blocco dell’analisi della varianza. Il prodotto di tale funzione sarà una nuova colonna della matrice con il nome della variabile precedente seguita dal suffisso “.aju”. Nel nostro caso “altezza.03.aju”.

-12-

Adesso è possibile esportare da “R” le matrici trasformate per poter svolgere altre analisi statistiche, quali ad esempio la stima delle componenti della varianza, il test di tukey, la stima delle medie genotipiche, ecc.. Il comando da scrivere è il seguente:

```

write.table(p4i.4pa03,file="p4i.4pa03.csv",sep=",")

```

con il quale si ottiene un file nella stessa cartella di lavoro nel formato “.csv” compatibile con excel.

-13-

La stima delle medie genotipiche può essere richiesta tramite il seguente comando, dopo aver nuovamente fatto l’analisi della varianza della variabile trasformata per l’effetto blocco:

```

aov.p4i.43.h03.aju<-aov(altezza.03.aju~block+genotype,p4i.43,na.action=na.omit)
model.tables(aov.p4i.43.h03.aju,type="means",ordered=T)

```

Per ogni genotipo sarà presente il valore medio del carattere e il numero di ripetizioni.

Allegato B. Protocollo sperimentale per l'analisi dei dati (2)
Effetto della trasformazione dei dati sull'analisi della varianza

```
aov.p4i.44.v04<-aov(indice.volume.04~block+genotype,p4i.44,na.action=na.omit)
```

```
summary(aov.p4i.44.v04)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	6	42027	7004	15.7164	< 2.2e-16	***
Genotype	134	183924	1373	3.0797	< 2.2e-16	***
Residuals	654	291472	446			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
aov.p4i.44.v04tra<-
```

```
aov(indice.volume.04sqrt~block+genotype,p4i.44,na.action=na.omit)
```

```
summary(aov.p4i.44.v04tra)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Block	6	211.57	35.26	16.1746	< 2.2e-16	***
Genotype	134	871.20	6.50	2.9822	< 2.2e-16	***
Residuals	654	1425.78	2.18			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

boxcox(aov.p4i.44.v04)

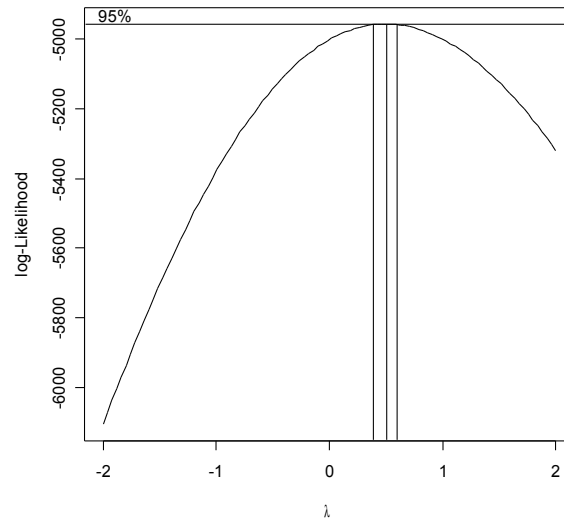


Figura 136 Test di boxcox prima della trasformazione dei dati

boxcox(aov.p4i.44.v04tra)

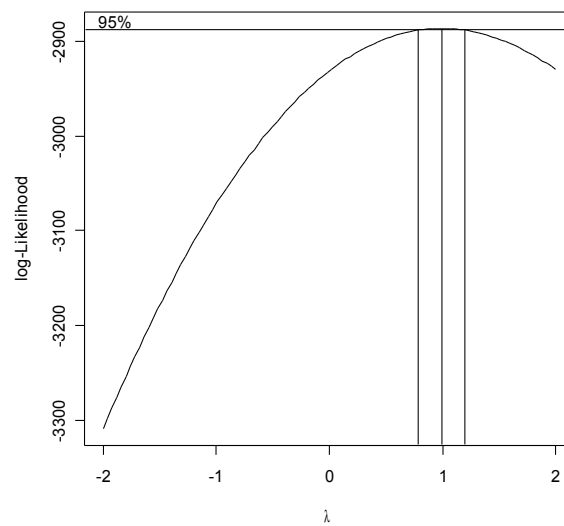


Figura 137 Test di boxcox dopo la trasformazione dei dati

bartlett.test(indice.volume.04~block,data= p4i.44)

Bartlett test for homogeneity of variances

data: indice.volume.04 by block

Bartlett's K-squared = 39.1175, df = 6, p-value = 6.788e-07

bartlett.test(indice.volume.04~genotype,data=p4i.44)

Bartlett test for homogeneity of variances

data: indice.volume.04 by genotype

Bartlett's K-squared = 173.876, df = 134, p-value = 0.01164

bartlett.test(indice.volume.04sqrt ~block,data= p4i.44)

Bartlett test for homogeneity of variances

data: indice.volume.04sqrt by block

Bartlett's K-squared = 13.2687, df = 6, p-value = 0.03896

bartlett.test(indice.volume.04sqrt ~genotype,data=p4i.44)

Bartlett test for homogeneity of variances

data: indice.volume.04sqrt by genotype

Bartlett's K-squared = 130.6401, df = 134, p-value = 0.566

`plot(aov.p4i.44.v04)`

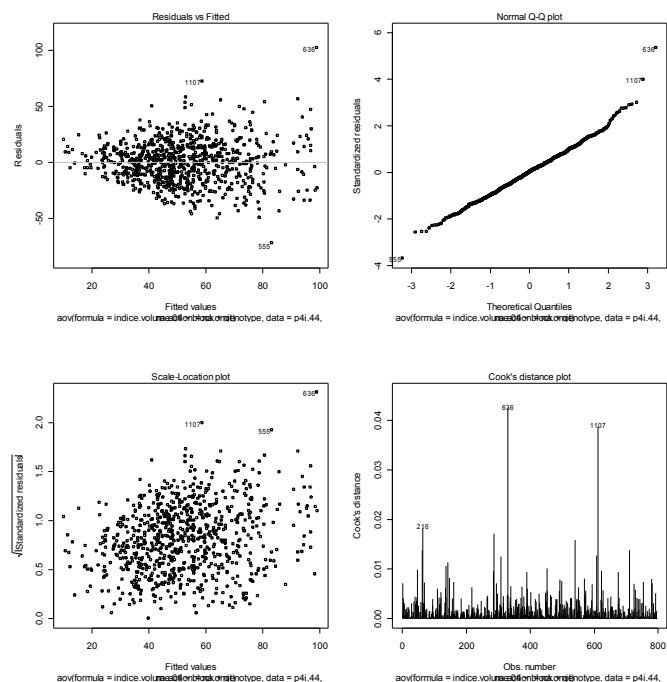


Figura 138 Analisi grafica prima della trasformazione dei dati

`plot(aov.p4i.44.v04tra)`

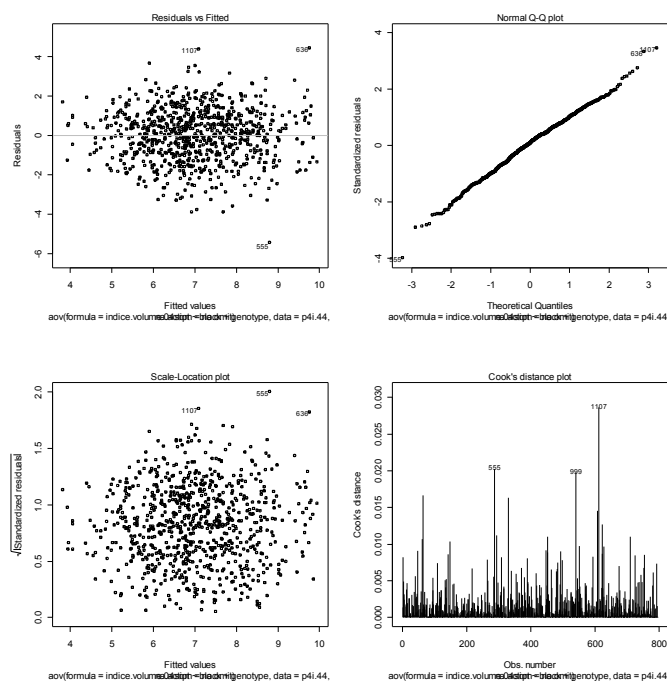


Figura 139 Analisi grafica dopo la trasformazione dati

Allegato C. Medie genotipiche della conferenza (2003)

Sito Genotipo	I		F		UK	
	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	NA	NA	2,974	3	NA	NA
2	5,189	5	4,159	5	4,445	4
3	5,097	6	3,4	4	3,525	3
4	4,836	6	4,084	4	2,458	4
5	4,873	4	3,443	4	3,008	4
7	4,432	5	3,478	4	3,533	5
8	NA	NA	3,478	4	NA	NA
9	5,162	4	3,768	3	4,726	5
10	6,301	6	3,405	5	4,421	4
11	5,454	5	3,845	5	4,412	5
12	4,26	6	4,071	4	2,325	4
14	5,687	4	2,838	3	NA	NA
15	5,778	6	3,84	4	4,003	4
16	5,493	4	3,212	4	3,008	4
17	5,437	5	3,142	4	3,596	5
18	4,679	6	4,106	4	4,538	5
19	4,559	3	3,357	4	2,897	3
20	4,888	6	4,473	5	4,553	4
21	4,888	6	4,389	4	4,185	4
22	5,165	4	3,217	5	3,091	3
23	5,34	4	3,279	5	4,412	5
24	5,705	5	4,542	4	4,161	5
25	3,581	4	4,221	5	NA	NA
26	4,975	5	3,142	4	2,198	4
27	6,319	5	4,542	4	4,355	4
28	5,831	5	3,679	4	3,793	4
29	5,411	6	4,154	4	4,185	4
30	5,935	6	4,464	4	3,073	3
31	5,422	4	3,845	5	4,867	4
32	4,37	4	3,907	5	3,479	4
33	5,729	5	4,975	5	3,533	5
34	3,859	4	3,593	4	4,131	4
36	5,464	6	4,005	4	4,538	5
37	3,893	3	NA	NA	NA	NA
38	5,2	5	3,468	5	3,63	3
39	5,137	5	3,439	3	NA	NA
40	4,886	5	2,991	3	2,897	3
41	4,687	5	2,976	4	3,165	4
42	5,126	5	3,871	4	3,66	4
43	5,202	6	NA	NA	4,107	4
44	6,615	6	3,365	4	NA	NA
45	5,956	5	4,307	4	4,412	5
46	4,888	6	3,468	5	2,478	3
48	4,938	5	4,084	4	4,161	5
49	5,202	6	3,286	4	4,257	3
50	4,347	5	3	3	3,086	4
51	4,469	6	3,217	5	3,793	4

52	5,074	5	3,97	5	3,156	5
53	NA	NA	4,14	3	4,192	3
54	5,894	5	3,931	3	4,611	3
55	4,651	4	3,949	4	3,47	5
56	5,39	4	3,918	4	NA	NA
57	5,46	5	4,912	5	4,161	5
59	6,025	5	4,41	5	4,161	5
60	5,001	5	3,4	4	4,065	3
61	5,352	5	3,028	5	3,91	5
62	5,687	4	4,681	3	4,347	3
63	NA	NA	2,838	3	NA	NA
64	6,294	5	4,263	4	3,533	5
65	5,202	6	3,593	5	3,596	5
68	3,684	3	3,719	5	3,503	4
69	NA	NA	3,757	4	5,04	5
71	5,427	3	3,334	3	4,97	4
72	5,415	5	3,972	3	4,475	5
73	5,6	3	4,654	3	2,863	4
74	5,248	5	3,978	3	3,95	4
75	4,634	4	3,679	4	4,602	4
76	4,888	6	3,377	4	2,747	4
77	6,382	5	4,221	5	4,412	5
79	4,572	5	3,043	4	4,048	3
80	5,629	5	3,907	5	2,615	4
82	6,039	6	3,97	5	2,718	4
84	5,629	5	3,985	4	5,103	5
85	4,398	4	3,656	5	3,533	5
86	5,566	5	3,985	4	3,847	5
87	4,635	5	3,531	5	NA	NA
88	4,006	4	4,35	3	4,366	4
89	5,388	5	3,828	4	3,596	5
90	5,464	6	3,091	5	NA	NA
91	3,535	4	NA	NA	NA	NA
92	5,307	6	3,993	4	4,475	5
93	4,94	6	4,787	5	2,269	3
95	4,121	5	3,691	4	4,088	3
96	5,464	6	4,221	5	4,224	5
97	4,583	4	3,907	5	3,721	5
98	5,778	6	3,6	4	3,721	5
99	NA	NA	3,478	4	NA	NA
100	4,958	4	4,319	4	2,785	4
101	3,996	5	3,357	4	3,001	3
102	4,687	5	3,714	4	NA	NA
103	5,525	4	4,613	4	4,538	5
105	4,938	5	3,757	4	3,669	3
107	5,46	5	3,436	4	3,659	5
108	5,673	6	3,279	5	2,826	4
109	5,522	5	3,828	3	4,355	4
110	5,359	6	3,914	4	3,146	3
111	5,94	4	3,97	5	5,184	3
112	5,359	6	3,826	3	NA	NA
113	5,46	5	3,4	4	3,614	3

114	5,252	5	3,369	4	NA	NA
115	6,153	4	3,949	4	3,346	4
116	4,266	5	3,613	4	3,721	5
117	3,633	5	3,656	5	2,654	5
118	5,411	6	3,914	4	3,345	5
119	5,822	4	3,836	4	4,601	5
120	5,516	6	4,335	3	4,601	5
121	6,005	5	3,845	5	4,098	5
122	NA	NA	3,739	3	4,242	3
123	5,359	6	4,41	5	3,784	5
124	4,679	6	4,778	4	4,474	4
125	4,927	3	3,449	3	3,983	3
126	4,975	5	3,419	3	2,897	3
127	4,574	6	3,028	5	2,882	3
128	4,624	5	3,522	4	3,974	4
129	5,307	6	3,719	5	NA	NA
130	4,247	5	3,828	4	4,242	3
131	5,454	5	3,828	3	3,424	4
132	6,144	6	4,535	5	4,131	4
133	5,202	6	4,284	5	3,47	5
134	4,984	3	3,918	4	3,973	5
135	4,888	6	3,531	5	4,052	4
136	5,415	5	4,914	3	3,662	3
137	5,876	5	3,656	5	4,656	4
138	4,426	4	3,656	5	3,63	3
139	5,138	4	2,894	4	3,648	4
140	3,538	4	4,15	4	3,91	5
141	4,258	5	2,965	5	3,839	3
142	5,252	5	3,593	5	4,288	4
143	5,629	5	3,78	3	3,738	4
144	4,679	6	4,299	4	4,098	5
145	5,899	5	3,792	4	3,219	5
147	4,522	6	3,531	5	2,391	3
148	5,516	6	4,598	5	3,454	4
149	3,752	4	3,845	5	2,842	5
150	5,683	4	3,164	4	2,851	4
151	5,001	5	4,284	5	3,636	4
152	5,996	4	3,782	5	5,024	4
153	4,616	4	3,714	4	3,156	5
154	5,202	6	3,617	3	3,491	4
156	5,5	5	3,303	3	4,107	4
157	5,935	6	3,279	5	3,02	4
158	4,574	6	3,593	4	4,837	4
Media pedigree	5,16		3,79		3,80	
Standard error	0,056		0,041		0,061	
Genotipi	135		139		125	
Individui	673		578		516	
Individui per genotipo	4,99		4,16		4,13	

Allegato D. Medie genotipiche della conferenza (2004)

Sito Genotipo	I		F		UK	
	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	12,88	3	10,54	5	5,247	7
2	15,62	7	12,04	9	10,13	7
3	11,62	7	11,32	9	10,65	6
4	12,9	7	12,38	8	7,368	6
5	12,85	7	11,52	9	9,482	7
7	13,15	6	12,57	9	11,4	9
8	NA	NA	10,83	9	8,234	6
9	14,49	7	11,58	7	12,97	9
10	16,7	6	11,83	8	10,82	8
11	15,5	5	12,21	8	10,82	8
12	12,09	6	10,6	8	10,66	8
14	15,29	3	9,534	8	7,746	7
15	18,43	7	13,02	9	9,443	9
16	13,36	7	10,87	9	7,17	7
17	14,9	7	11,93	8	9,456	7
18	12,69	7	11,25	9	10,77	8
19	12,01	4	10,97	7	8,54	6
20	13,34	6	13,05	9	9,073	7
21	14,48	7	13,31	8	12,06	6
22	12,04	4	10,25	9	9,625	6
23	14,72	5	12,25	8	12,11	8
24	15,4	6	13,23	9	11,04	7
25	10,8	5	11,93	9	8,06	6
26	12,12	6	11,25	9	6,34	6
27	18,15	7	13,14	9	11,34	8
28	14,62	7	11,98	8	9,646	8
29	15,95	7	11,72	8	10,58	8
30	16,39	7	12,49	8	9,27	8
31	13,89	4	11,77	8	11,96	8
32	10,41	4	11,48	9	7,782	7
33	16,92	7	13,5	9	10,28	9
34	9,554	4	9,407	9	11,08	8
36	15,96	7	12,71	8	12,4	9
37	13,27	4	12,25	8	10,17	6
38	13,04	6	11,51	9	9,725	7
39	13,56	6	10,01	6	10,7	4
40	12,99	5	9,096	8	8,643	7
41	12,02	7	11,17	8	10,25	8
42	15,06	5	10,47	9	8,721	9
43	14,28	7	10,93	8	10,61	9
44	17,19	7	10,84	9	10,86	8
45	16,13	5	11	8	10,94	8
46	13,86	7	10,95	9	6,07	8
48	12,89	7	11,98	9	12,31	9
49	13,38	7	10,93	9	10,77	8
50	12,48	6	10,66	7	8,732	9
51	14,38	7	10,66	9	9,354	9

52	12,77	6	11,55	9	8,054	9
53	NA	NA	10,65	7	9,535	5
54	16,72	7	13,34	8	11,04	8
55	13,26	6	11,91	9	8,977	9
56	14,4	5	11,14	9	8,961	6
57	13,91	6	13,36	9	9,11	9
59	14,88	6	10,53	9	11,14	9
60	13,52	6	10,94	9	8,682	7
61	14,33	6	10,78	9	9,762	8
62	15,09	4	10,98	7	10,15	5
63	NA	NA	8,784	8	NA	NA
64	18,58	6	12,72	9	9,92	8
65	16,53	7	10,67	9	10,6	9
68	NA	NA	10,52	8	8,528	8
69	NA	NA	12,01	8	13,78	8
71	12,56	3	10,7	8	9,151	6
72	12,68	6	13,37	7	11,58	9
73	16,55	4	12,54	5	11,21	7
74	12,21	6	10,17	8	8,29	8
75	13,42	5	10,8	8	10,24	8
76	12,89	7	9,918	9	7,51	9
77	18,33	6	12,47	9	10,61	9
79	14,47	5	10,34	8	8,658	8
80	12,82	7	10,74	9	5,921	9
82	14,95	7	11,58	8	8,342	7
84	14,2	6	10,83	9	11,39	7
85	NA	NA	11,38	8	10,07	7
86	16,36	7	12,07	8	11,41	6
87	13,81	6	11,75	9	7,859	4
88	12,5	4	11,49	6	10,57	8
89	12,79	6	12,1	7	9,894	8
90	15,92	7	11,92	9	13,74	6
91	10,67	5	12,39	6	8,56	4
92	16,23	7	12,92	9	10,4	8
93	12,85	6	11,9	9	8,188	9
95	11,94	6	10,92	9	10,87	7
96	14,8	7	13,32	9	11,79	9
97	13,58	5	11,08	9	10,81	9
98	14,7	7	10,56	9	9,616	7
99	NA	NA	12,01	6	6,84	3
100	14,43	6	12,18	7	8,436	8
101	10,77	3	11,41	8	7,6	6
102	13,66	7	11,15	9	10,37	6
103	14,98	5	13,04	8	12,82	9
105	15,97	6	11,81	9	10,52	7
107	16,16	6	12,9	7	8,943	9
108	14,19	5	11,32	9	9,05	8
109	15,23	6	12,46	8	12,09	8
110	15,15	7	14,02	8	7,968	7
111	16,45	5	12,88	8	10,46	6
112	14,3	7	11,95	6	11,59	5
113	14,31	5	11,22	9	9,486	8

114	12,92	6	10,55	9	8,633	5
115	13,45	7	11,43	9	9,457	8
116	12,61	6	11,38	9	9,056	7
117	12,01	6	12,48	9	9,077	9
118	16,13	7	11,64	9	10,38	6
119	15,23	5	13,14	8	11,92	8
120	13,6	7	10,66	9	10,13	9
121	17,55	6	11,61	9	12,05	9
122	13,58	3	11,58	7	11,33	7
123	14,32	7	11,38	9	9,588	9
124	12,78	7	12	6	10,86	7
125	13,61	4	9,882	7	11,3	7
126	10,95	7	11,41	8	7,618	7
127	13,18	6	10,4	9	6,882	7
128	12,42	5	11,75	9	10,46	7
129	13,23	7	11,1	9	11,24	8
130	11,64	6	12,33	8	11,56	7
131	15,56	6	13,06	8	8,81	9
132	18,22	6	13,64	9	11,94	9
133	14,33	7	12,44	9	8,199	9
134	11,03	7	10,97	8	9,877	9
135	12	6	11,6	9	8,588	9
136	15,7	5	12,47	7	8,917	6
137	14,41	6	12,31	9	10,94	9
138	11,5	4	12	9	7,112	6
139	14,77	4	10,94	8	9,486	8
140	10,96	5	12,37	9	11,4	8
141	11,05	7	10,52	9	7,525	8
142	13,53	5	12,04	7	11,9	9
143	15,45	6	10,86	8	10,73	8
144	11,68	7	11,59	8	8,199	9
145	15,72	5	11,67	9	11,62	7
147	11,6	7	11,83	9	8,06	5
148	14,79	7	13,19	8	10,1	9
149	10,93	5	13,22	9	9,677	9
150	13,7	5	9,812	7	6,794	8
151	11,54	5	12,94	9	10,33	8
152	15,9	5	14,34	9	13,09	9
153	11,68	6	11,65	8	8,632	9
154	13,69	7	10,37	7	9,449	8
156	16,95	6	12,59	8	13,59	6
157	17,15	7	11,6	9	9,421	9
158	14,42	7	11,28	7	11,6	7
Media pedigree	14,09		11,64		9,91	
Standard error	0,16		0,09		0,14	
Genotipi	135		142		141	
Individui	798		1175		1067	
Individui per genotipo	5,91		8,27		7,57	

Allegato E. Medie genotipiche dell'altezza (2003)

Sito Genotipo	I		F		UK	
	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	NA	NA	221,2	3	NA	NA
2	248,6	5	266,9	5	245,8	4
3	243,5	6	224,6	4	232,4	3
4	241,3	6	261,5	4	174,3	4
5	255,6	4	238,1	4	200,5	4
7	241,1	5	223,1	4	221,1	5
8	NA	NA	242,1	4	NA	NA
9	251,4	4	238,9	3	251,5	5
10	274,8	6	242,3	5	242	4
11	248,2	5	244,1	5	230,5	5
12	208,2	6	251,6	4	156	4
14	238,9	4	195,3	3	NA	NA
15	301,5	6	258	4	236,4	4
16	226,5	4	204,5	4	188,3	4
17	270,9	5	249	4	215,7	5
18	258,2	6	290,1	4	272,3	5
19	259,3	3	245,5	4	195,4	3
20	255,3	6	263,1	5	245,2	4
21	252,7	6	263,5	4	235,8	4
22	221,5	4	197,1	5	186,2	3
23	264,4	4	230,5	5	242,9	5
24	279	5	264,8	4	230,3	5
25	201	4	268,5	5	NA	NA
26	226,5	5	221	4	169,9	4
27	263,6	5	259,8	4	249	4
28	303,4	5	248,1	4	235,8	4
29	256,5	6	243	4	233,3	4
30	273,2	6	285,6	4	200,3	3
31	266,1	4	250,3	5	265,4	4
32	244,1	4	250,3	5	222,8	4
33	293,7	5	300,9	5	214,7	5
34	210,1	4	234,5	4	236,5	4
36	248,5	6	268,5	4	249,3	5
37	210,8	3	NA	NA	NA	NA
38	261,1	5	218,5	5	215,8	3
39	239,9	5	249,2	3	NA	NA
40	239,9	5	227,1	3	198,4	3
41	232	5	206,2	4	198	4
42	267,8	5	244,6	4	209,7	4
43	253,7	6	NA		227,5	4
44	297,5	6	248,1	4	NA	NA
45	297,2	5	260,1	4	243,3	5
46	227,7	6	232,1	5	175,4	3
48	268,2	5	270,3	4	247,1	5
49	252,8	6	243,3	4	238,1	3
50	227,3	5	220,3	3	205,5	4
51	224	6	203,7	5	224,3	4

52	254,7	5	270,3	5	204,9	5
53	NA	NA	254,5	3	233	3
54	297	5	261,8	3	262	3
55	243,4	4	245,6	4	208,1	5
56	257,1	4	245,5	4	NA	NA
57	265,7	5	305,1	5	231,3	5
59	278,5	5	270,7	5	243,5	5
60	263,6	5	227,8	4	248,1	3
61	271,9	5	237,9	5	229,1	5
62	275,2	4	280,2	3	254,2	3
63	NA	NA	198,3	3	NA	NA
64	301,7	5	247,3	4	219,3	5
65	250,2	6	242,9	5	212,5	5
68	203,1	3	222,9	5	217,5	4
69	NA	NA	252,1	4	275,5	5
71	302,4	3	265,8	3	279,3	4
72	268,7	5	282	3	249,5	5
73	325,5	3	270	3	203,3	4
74	273,1	5	242,5	3	231,5	4
75	226,2	4	231,6	4	256,3	4
76	223,3	6	216,3	4	187,4	4
77	294,4	5	252,5	5	249,7	5
79	237,5	5	224,7	4	230,4	3
80	299	5	293,3	5	187,8	4
82	279,8	6	252,3	5	201,7	4
84	283	5	238,7	4	263,1	5
85	251,4	4	250,5	5	228,3	5
86	294,2	5	248,2	4	228,5	5
87	258,5	5	247,1	5	NA	NA
88	227,7	4	257,2	3	242,7	4
89	237,3	5	244,5	4	215,5	5
90	287	6	227,3	5	NA	NA
91	228,4	4	NA	NA	NA	NA
92	281,2	6	261,1	4	263,1	5
93	271,5	6	307,5	5	171,1	3
95	226,8	5	237	4	231,4	3
96	287,7	6	276,9	5	237,5	5
97	242,1	4	230,9	5	230,1	5
98	272,3	6	234,6	4	228,3	5
99	NA	NA	230,3	4	NA	NA
100	237,9	4	262,5	4	191,5	4
101	210,2	5	213	4	191,4	3
102	238	5	216,8	4	NA	NA
103	293,8	4	307,7	4	265,1	5
105	256,4	5	221,8	4	227,4	3
107	269,9	5	223,7	4	213,3	5
108	284,2	6	225,5	5	187,9	4
109	254,1	5	271,1	3	244,8	4
110	252,2	6	250,3	4	202,7	3
111	301,6	4	269,3	5	273,2	3
112	274,8	6	254,8	3	NA	NA
113	271,5	5	243,3	4	221,8	3

114	234,2	5	240,7	4	NA	NA
115	285,1	4	260,3	4	208	4
116	221,5	5	211	4	226,3	5
117	200,8	5	236,7	5	188,9	5
118	273,5	6	257,6	4	215,9	5
119	298,9	4	285,8	4	261,1	5
120	253,8	6	238,5	3	247,5	5
121	274,6	5	260,7	5	230,3	5
122	NA	NA	215,2	3	243,8	3
123	262,2	6	267,9	5	221,5	5
124	223,8	6	258,6	4	221,2	4
125	245,3	3	253,3	3	245,4	3
126	228,7	5	225,9	3	198,8	3
127	216,5	6	209,3	5	194,8	3
128	230,8	5	242,3	4	234,8	4
129	248,7	6	249,5	5	NA	NA
130	229,4	5	251	4	239,5	3
131	242,2	5	256,8	3	226,3	4
132	287,8	6	295,1	5	236,2	4
133	262	6	246,9	5	208,3	5
134	238,8	3	235,2	4	220,1	5
135	235,2	6	226,9	5	221	4
136	279,3	5	294,3	3	220,7	3
137	280,1	5	245,9	5	253,5	4
138	243,1	4	238,3	5	210,1	3
139	239,7	4	205,8	4	206,8	4
140	201,8	4	242,8	4	220,7	5
141	222,1	5	205,5	5	216,8	3
142	282,4	5	240,3	5	244	4
143	281,4	5	246,6	3	206,7	4
144	233,7	6	270,5	4	231,9	5
145	277,1	5	256,3	4	209,7	5
147	254,2	6	235,3	5	167,1	3
148	256,2	6	269,3	5	215,4	4
149	208,7	4	258,9	5	204,9	5
150	273,3	4	204,6	4	189,3	4
151	251,2	5	280,9	5	234,8	4
152	256,3	4	243,9	5	247,2	4
153	233,5	4	228,1	4	197,1	5
154	256,8	6	226,5	3	209	4
156	258,5	5	233,2	3	232,3	4
157	254,2	6	208,9	5	189,8	4
158	224,8	6	229,5	4	249,7	4
Media pedigree	255,85		246,39		224,85	
Standard error	2,269		2,022		2,234	
Genotipi	135		139		125	
Individui	673		578		516	
Individui per genotipo	4,99		4,16		4,13	

Allegato F. Medie genotipiche dell'altezza (2004)

Sito Genotipo	I		F		UK	
	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	645,2	3	546,7	5	310,7	7
2	661,2	7	568,9	9	445,5	7
3	605	7	527,2	9	493,5	6
4	690,4	7	581,3	8	400	6
5	649,2	7	540,1	9	436,4	7
7	656,3	6	586,9	9	488,2	9
8	NA	NA	546,9	9	413	6
9	651,5	7	542,2	7	510,6	9
10	710,1	6	534,3	8	443,7	8
11	687,5	4	573,2	8	472,1	8
12	648,7	6	498,6	8	385,7	8
14	709,8	3	437	8	379	7
15	710,4	7	609,4	9	450,7	9
16	623,2	7	491,1	9	347	7
17	652,4	7	563,3	8	407,6	7
18	670,8	7	594,4	9	507,9	8
19	651,1	4	536,4	7	428,5	6
20	651,1	6	586,5	9	405,5	7
21	625,8	7	579,7	8	459	6
22	619,5	4	514	9	433,4	6
23	641,4	5	548,6	8	479,7	8
24	711,9	6	548,4	9	455	7
25	606,7	5	585	9	408,2	6
26	605,7	6	506,9	9	353,2	6
27	724,8	7	577,5	9	498,6	8
28	673,1	7	617,8	8	465,7	8
29	705	7	563,4	8	463,5	8
30	688,2	7	597	8	409,8	8
31	708,4	4	593,4	8	520,7	8
32	628	4	576,6	9	399,1	7
33	717,1	7	596,1	9	457,6	9
34	560,5	4	480,5	9	454,9	8
36	717,8	7	584,4	8	511,4	9
37	616	4	565,5	8	448,5	6
38	646,8	6	570,1	9	445,8	7
39	653,1	6	518,7	6	483,5	4
40	636	5	485,5	8	432,9	7
41	613,4	7	527,4	8	466,5	8
42	684,9	5	496,3	9	399,4	9
43	683,1	7	534,8	8	471,5	9
44	742	7	495,3	9	468,1	8
45	718,5	5	547,8	8	480,4	8
46	677,5	7	521,6	9	324,3	8
48	668,8	7	567,7	9	516,4	9
49	654,2	7	520,6	9	460,8	8
50	621	6	506,7	7	410,2	9
51	666,2	7	512,6	9	414,1	9

52	671,1	6	583,4	9	427,9	9
53	NA	NA	515,7	7	438,8	5
54	683	7	640,3	8	491,6	8
55	651,1	6	560,3	9	413,7	9
56	598,5	5	496,9	9	371,9	6
57	652,7	6	617	9	424,3	9
59	704,7	6	540,1	9	480	9
60	650,5	6	571,5	9	419,1	7
61	646,9	6	514,6	9	445,1	8
62	660,5	4	534,3	7	449,9	5
63	NA	NA	484,8	8	280,3	2
64	700,4	6	583	9	449,6	8
65	669,4	7	511,6	9	450,4	9
68	NA	NA	472,6	8	392,8	8
69	NA	NA	578,1	8	565,7	8
71	736,1	3	588,3	8	436,5	6
72	626,7	6	574,8	7	467,4	9
73	713,6	4	565	5	500,1	7
74	667,4	6	507,3	8	429,5	8
75	654,9	5	546,8	8	467	8
76	608,8	7	469,2	9	360,6	9
77	757,1	6	605,1	9	468,6	9
79	683,3	5	522,4	8	405,3	8
80	658	7	546,4	9	373,4	9
82	685,2	7	555,5	8	400,7	7
84	669,1	6	501,6	9	456,9	7
85	NA	NA	539,5	8	471,2	7
86	707,1	7	573,8	8	527,2	6
87	720,8	6	596,1	9	424,3	4
88	599,2	4	564,9	6	484,1	8
89	642,3	6	557,4	7	436,8	8
90	711,1	6	598,7	9	575	6
91	564,3	5	590,4	6	443,3	4
92	731,1	7	603,6	9	493,6	8
93	592,2	6	552	9	356,9	9
95	580,6	6	566,4	9	464,3	7
96	705,1	7	600,6	9	482,2	9
97	651,6	5	559,5	9	488,7	9
98	694,4	7	578,4	9	440,2	7
99	NA	NA	583,6	6	372,9	3
100	658	6	553,6	7	404	8
101	565,7	3	533,9	8	378,7	6
102	687,7	7	570,5	9	476,4	6
103	661,4	5	618,6	8	545,2	9
105	687,5	6	584,5	9	494,8	7
107	717,5	6	555	7	392	9
108	728,5	5	557,5	9	450,7	8
109	641,4	6	541,7	8	436,2	8
110	680,1	7	643,3	8	414	7
111	737,8	5	600,6	8	471,5	6
112	702,5	7	584,9	6	523,4	5
113	675	4	553,2	9	448,4	8

114	685,1	6	477,5	9	404,6	5
115	665	7	571,1	9	456,6	8
116	658,5	6	576,2	9	433	7
117	629,8	6	579,4	9	433,7	9
118	692	7	565,9	9	487,6	6
119	658,5	5	609,9	8	489,1	8
120	668,5	7	513,1	9	473,5	9
121	676,1	6	549,5	9	483,6	9
122	660,4	3	559,4	7	482,9	7
123	686	7	567,2	9	444,3	9
124	678	7	508,7	6	447,4	7
125	607,5	4	547,4	7	508,1	7
126	562	7	524,2	8	380,2	7
127	642,4	6	520,1	9	338,7	7
128	649,3	5	596,4	9	473	7
129	643,4	7	519,9	9	468,9	8
130	635,2	6	614,9	8	515,6	7
131	695,1	6	599,3	8	410,7	9
132	731,1	6	645,3	9	539,9	9
133	663,5	7	549,5	9	380,4	9
134	557,4	7	514,3	8	423,4	9
135	567,1	6	495,4	9	349,4	9
136	696	5	566,6	7	412,2	6
137	685,4	6	552,1	9	468,7	9
138	613,5	4	602,4	9	389,4	6
139	678,5	4	537,8	8	437,6	8
140	604	5	549,3	9	457,1	8
141	607,1	7	489	9	373,6	8
142	666,1	5	549,2	7	506,7	9
143	688,3	6	568,6	8	479,1	8
144	617,7	7	577,6	8	387,1	9
145	707,2	5	573,1	9	477	7
147	611,1	7	550	9	416,5	5
148	687,2	7	610,1	8	482,7	9
149	616,8	5	565,1	9	418,3	9
150	662,4	5	519,9	7	363	8
151	597,3	5	591,3	9	449,6	8
152	681	5	604,9	9	494,4	9
153	640,5	6	551,3	8	408,7	9
154	603,5	7	508,8	7	419,6	8
156	671,8	6	562,7	8	515,1	6
157	656,2	7	540,5	9	373,7	9
158	641,5	7	516,7	7	460,8	7
Media pedigree	661,87		554,69		444,31	
Standard error	3,66		3,26		4,28	
Genotipi	135		142		142	
Individui	795		1175		1069	
Individui per genotipo	5,89		8,27		7,53	

Allegato G. Medie genotipiche dell'indice di volume (2003)

Sito Genotipo	I		F		UK	
	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	NA	NA	1,994	3	NA	NA
2	5,001	5	3,394	5	4,166	4
3	5,359	6	2,377	4	2,381	3
4	4,527	6	3,107	4	1,579	4
5	4,421	4	2,311	4	2,056	4
7	3,849	5	2,407	4	2,532	5
8	NA	NA	2,325	4	NA	NA
9	5,022	4	2,843	3	4,546	5
10	7,529	6	2,212	5	3,801	4
11	5,598	5	2,802	5	4,01	5
12	3,869	6	3,098	4	1,908	4
14	6,258	4	1,966	3	NA	NA
15	6,137	6	2,858	4	3,224	4
16	5,997	4	2,205	4	2,066	4
17	5,491	5	1,925	4	2,776	5
18	4,07	6	3,2	4	3,886	5
19	3,79	3	2,135	4	1,899	3
20	4,51	6	3,838	5	4,009	4
21	4,512	6	3,745	4	3,404	4
22	5,636	4	2,35	5	2,422	3
23	5,54	4	2,128	5	3,796	5
24	6,024	5	4,328	4	3,43	5
25	2,771	4	3,378	5	NA	NA
26	4,944	5	2,06	4	1,339	4
27	7,639	5	3,978	4	4,018	4
28	6,424	5	2,683	4	2,779	4
29	5,699	6	3,305	4	3,494	4
30	6,639	6	3,731	4	2,018	3
31	5,429	4	2,798	5	4,317	4
32	3,76	4	2,892	5	2,404	4
33	6,016	5	4,586	5	2,564	5
34	3,036	4	2,475	4	3,435	4
36	5,707	6	2,96	4	4,134	5
37	3,201	3	NA	NA	NA	NA
38	5,196	5	2,488	5	2,756	3
39	5,078	5	2,496	3	NA	NA
40	4,728	5	1,9	3	1,902	3
41	4,443	5	1,91	4	2,326	4
42	5,001	5	2,865	4	2,918	4
43	5,21	6	NA	NA	3,696	4
44	8,12	6	2,128	4	NA	NA
45	6,388	5	3,781	4	3,978	5
46	4,792	6	2,378	5	1,516	3
48	4,675	5	3,062	4	3,43	5
49	5,177	6	2,126	4	3,461	3
50	4,354	5	1,881	3	2,081	4
51	4,025	6	2,33	5	3,019	4

52	4,818	5	3,064	5	2,11	5
53	NA	NA	4,158	3	3,55	3
54	6,474	5	2,851	3	3,933	3
55	4,11	4	3,035	4	2,612	5
56	5,765	4	3	4	NA	NA
57	5,486	5	4,584	5	4,348	5
59	6,79	5	3,662	5	3,292	5
60	4,825	5	2,28	4	3,118	3
61	5,42	5	1,89	5	3,436	5
62	6,01	4	3,926	3	3,572	3
63	NA	NA	1,906	3	NA	NA
64	7,52	5	3,537	4	2,644	5
65	5,145	6	2,626	5	2,678	5
68	2,931	3	2,81	5	2,521	4
69	NA	NA	2,648	4	4,74	5
71	5,379	3	2,159	3	4,819	4
72	5,408	5	2,971	3	3,936	5
73	5,727	3	4,157	3	1,823	4
74	5,323	5	3,03	3	3,064	4
75	4,163	4	3,033	4	4,191	4
76	4,934	6	2,457	4	1,874	4
77	7,557	5	3,572	5	3,658	5
79	4,112	5	1,818	4	3,321	3
80	5,947	5	3,046	5	1,596	4
82	6,825	6	2,928	5	1,628	4
84	6,013	5	3,153	4	4,776	5
85	3,638	4	2,716	5	2,44	5
86	5,665	5	3,203	4	3,084	5
87	3,95	5	2,438	5	NA	NA
88	3,355	4	3,575	3	3,673	4
89	5,81	5	2,96	4	2,682	5
90	5,874	6	1,872	5	NA	NA
91	2,533	4	NA	NA	NA	NA
92	5,252	6	3,023	4	3,736	5
93	4,539	6	4,168	5	1,359	3
95	3,943	5	2,702	4	3,49	3
96	5,512	6	3,362	5	3,6	5
97	4,221	4	3,274	5	2,75	5
98	6,14	6	2,523	4	2,718	5
99	NA	NA	2,385	4	NA	NA
100	5,054	4	3,562	4	1,93	4
101	3,311	5	2,435	4	2,005	3
102	4,551	5	2,905	4	NA	NA
103	5,583	4	3,905	4	4,182	5
105	4,643	5	2,888	4	2,763	3
107	5,474	5	2,528	4	2,864	5
108	6,137	6	2,152	5	1,842	4
109	5,856	5	2,823	3	3,735	4
110	5,314	6	2,968	4	2,156	3
111	6,362	4	3,014	5	4,855	3
112	5,37	6	2,738	3	NA	NA
113	5,776	5	2,192	4	2,772	3

114	5,591	5	2,28	4	NA	NA
115	6,983	4	2,985	4	2,391	4
116	3,806	5	2,875	4	2,77	5
117	3,052	5	2,6	5	1,676	5
118	5,385	6	2,878	4	2,322	5
119	6,366	4	2,771	4	4,006	5
120	5,774	6	3,748	3	4,05	5
121	6,723	5	2,76	5	3,432	5
122	NA	NA	3,043	3	3,482	3
123	5,489	6	3,602	5	2,964	5
124	4,487	6	4,433	4	4,082	4
125	5,645	3	2,251	3	3,003	3
126	4,94	5	2,361	3	1,846	3
127	4,782	6	2,014	5	1,895	3
128	4,315	5	2,356	4	3,361	4
129	5,654	6	2,76	5	NA	NA
130	3,609	5	2,73	4	3,445	3
131	5,78	5	2,843	3	2,311	4
132	7,074	6	3,798	5	3,333	4
133	5,182	6	3,466	5	2,688	5
134	4,748	3	2,958	4	3,524	5
135	4,609	6	2,632	5	3,251	4
136	5,536	5	4,451	3	2,648	3
137	6,237	5	2,682	5	4,306	4
138	3,748	4	2,95	5	2,736	3
139	5,033	4	1,756	4	2,865	4
140	2,729	4	3,383	4	3,352	5
141	3,652	5	2,156	5	2,979	3
142	5,325	5	2,656	5	4,008	4
143	5,797	5	2,846	3	3,01	4
144	4,324	6	3,788	4	3,404	5
145	6,496	5	2,827	4	2,196	5
147	4,14	6	2,468	5	1,768	3
148	5,83	6	4,356	5	2,492	4
149	3,106	4	2,882	5	1,742	5
150	6,013	4	2,265	4	1,949	4
151	4,919	5	3,356	5	2,536	4
152	6,7	4	2,766	5	4,899	4
153	4,234	4	2,95	4	2,25	5
154	5,225	6	2,531	3	2,623	4
156	5,75	5	2,131	3	3,456	4
157	6,632	6	2,252	5	2,178	4
158	4,289	6	2,633	4	4,423	4
Media pedigree	5,21		2,87		3,05	
Standard error	0,096		0,056		0,078	
Genotipi	135		139		125	
Individui	673		578		516	
Individui per genotipo	4,99		4,16		4,13	

Allegato H. Medie genotipiche dell'indice di volume (2004)

Sito Genotipo	I		F		UK	
	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	62,86	3	49,6	5	23,5	7
2	77,37	7	57,27	9	46,05	7
3	56,73	7	52,72	9	48,73	6
4	64,6	7	58,76	8	32,53	6
5	63,16	7	53,67	9	42,26	7
7	64,77	6	59,95	9	51,86	9
8	NA	NA	50,98	9	37,29	6
9	71,48	7	54,12	7	59,69	9
10	84,71	6	54,94	8	48,09	8
11	79,91	4	57,72	8	48,75	8
12	59,35	6	48,97	8	46,51	8
14	77,81	3	42,21	8	33,68	7
15	93,55	7	62,98	9	43,51	9
16	64,75	7	49,67	9	30,9	7
17	73,26	7	56,16	8	42,32	7
18	62,92	7	53,8	9	49,47	8
19	59,44	4	51,03	7	38,16	6
20	65,5	6	62,23	9	40,96	7
21	70,49	7	63,36	8	54,17	6
22	58,7	4	47,28	9	42,52	6
23	72,36	5	57,23	8	54,75	8
24	78,29	6	62,51	9	49,51	7
25	52	5	57,63	9	36,74	6
26	58,86	6	51,6	9	27,69	6
27	93,01	7	62,3	9	51,82	8
28	73,22	7	58	8	43,76	8
29	80,57	7	55,18	8	47,83	8
30	82,42	7	59,85	8	40,65	8
31	70,3	4	56,24	8	55,48	8
32	50,69	4	54,46	9	33,91	7
33	85,8	7	64,62	9	46,3	9
34	44,55	4	42,84	9	49,78	8
36	81,19	7	60,37	8	57,23	9
37	64,06	4	58,08	8	46,21	6
38	64,21	6	54,36	9	44,02	7
39	66,71	6	46,83	6	48,4	4
40	63,57	5	41,37	8	39,01	7
41	58,3	7	51,86	8	46,05	8
42	75,45	5	47,97	9	38,4	9
43	71,51	7	51,02	8	47,88	9
44	88,26	7	49,61	9	49,25	8
45	82,15	5	51,48	8	50,27	8
46	69,23	7	50,42	9	26,04	8
48	63,97	7	56,69	9	56,76	9
49	65,96	7	50,51	9	48,78	8
50	61,02	6	48,88	7	39,8	9
51	71,2	7	48,91	9	41,84	9

52	63,47	6	54,94	9	35,76	9
53	NA	NA	49,71	7	42,56	5
54	84,38	7	65,22	8	51,54	8
55	65,15	6	56,25	9	40	9
56	69,78	5	50,92	9	39,16	6
57	68,52	6	64,75	9	42,27	9
59	75,53	6	49,12	9	50,38	9
60	66,66	6	51,72	9	39,99	7
61	70,24	6	49,86	9	44,08	8
62	74,61	4	51,45	7	45,6	5
63	NA	NA	40,17	8	33,6	2
64	93,87	6	60,59	9	45,19	8
65	82,2	7	49,08	9	47,37	9
68	NA	NA	47,54	8	37,65	8
69	NA	NA	57,06	8	65,03	8
71	64,39	3	51,08	8	42,56	6
72	62,09	6	63,23	7	52,64	9
73	83,73	4	59,29	5	51,43	7
74	61,41	6	46,84	8	37,02	8
75	66,2	5	51,52	8	46,71	8
76	62,43	7	44,59	9	33,36	9
77	94,99	6	59,97	9	48,73	9
79	72,42	5	47,91	8	38,21	8
80	64,04	7	51,35	9	25,7	9
82	75,33	7	54,29	8	37,48	7
84	70,44	6	49,53	9	51,13	7
85	NA	NA	53,34	8	45,67	7
86	82,63	7	57,36	8	53,21	6
87	70,14	6	56,46	9	35,45	4
88	60,2	4	54,25	6	47,89	8
89	62,83	6	56,88	7	45,76	8
90	85,7	6	57,13	9	64,77	6
91	50,7	5	59,43	6	37,89	4
92	82,97	7	62,06	9	47,73	8
93	62,06	6	55,73	9	35,6	9
95	57,7	6	52,09	9	49,16	7
96	74,83	7	63,88	9	53,71	9
97	67,14	5	52,48	9	49,15	9
98	73,9	7	50,15	9	43,02	7
99	NA	NA	57	6	30,58	3
100	71,25	6	57,07	7	37,76	8
101	50,76	3	52,86	8	32,93	6
102	68,74	7	53	9	47,58	6
103	74,5	5	63,51	8	60,14	9
105	79,8	6	56,82	9	48,05	7
107	82,1	6	60,84	7	40,12	9
108	72,54	5	53,37	9	40,75	8
109	74,52	6	57,9	8	53,66	8
110	75,36	7	68,73	8	36,28	7
111	84,46	5	61,8	8	48,27	6
112	72,14	7	56,86	6	53,44	5
113	74,48	4	52,57	9	42,83	8

114	64,89	6	48,71	9	38,91	5
115	66,89	7	54,31	9	42,51	8
116	62,63	6	54,14	9	40,67	7
117	58,68	6	59,28	9	40,35	9
118	80,98	7	55,05	9	47,44	6
119	75,33	5	63,35	8	54,15	8
120	67,5	7	49,17	9	45,67	9
121	87,47	6	54,49	9	54,83	9
122	67,17	3	54,88	7	51,9	7
123	71,85	7	53,71	9	43,08	9
124	63,63	7	55,74	6	48,98	7
125	66,47	4	47,24	7	51,69	7
126	51,92	7	52,67	8	34,43	7
127	65,43	6	48,06	9	30,55	7
128	61,47	5	56,32	9	47,82	7
129	65,15	7	51,32	9	51,93	8
130	57,01	6	59,6	8	53,77	7
131	78,28	6	62,9	8	41,13	9
132	93,27	6	67	9	55,95	9
133	71,12	7	58,19	9	36,13	9
134	52,15	7	50,31	8	44,12	9
135	57,07	6	52,78	9	38	9
136	79,1	5	58,9	7	39,53	6
137	72,33	6	57,75	9	49,41	9
138	55,44	4	57,96	9	32,13	6
139	73,62	4	50,82	8	42,05	8
140	53,14	5	57,86	9	51,29	8
141	53,17	7	47,72	9	34,06	8
142	67,49	5	56,46	7	55,2	9
143	77,36	6	51,75	8	48,42	8
144	56,52	7	55,03	8	36,99	9
145	80,12	5	55,36	9	52,78	7
147	56,2	7	55,32	9	35,83	5
148	74,12	7	63,74	8	45,69	9
149	53,22	5	62,5	9	42,55	9
150	67,66	5	45,65	7	29,66	8
151	55,48	5	61,74	9	46,4	8
152	79,47	5	68,91	9	60,12	9
153	57,44	6	54,8	8	37,92	9
154	66,1	7	47,87	7	41,8	8
156	84,14	6	59,27	8	62,65	6
157	84,57	7	53,97	9	40,95	9
158	70,99	7	52,42	7	52,1	7
Media pedigree	70,07		54,84		44,78	
Standard error	0,91		0,47		0,68	
Genotipi	135		142		142	
Individui	795		1175		1069	
Individui per genotipo	5,89		8,27		7,53	

Allegato I. Medie genotipiche dei rami sillettici (2003)

Sito Genotipo	I		F		UK	
	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	5,425	3	4,486	3	NA	NA
2	4,806	6	4,632	5	3,498	4
3	5,818	6	5,275	4	4,236	3
4	5,37	7	4,93	4	2,65	3
5	5,587	5	5,213	4	3,177	4
7	5,063	6	4,568	4	3,387	5
8	NA	NA	4,835	4	NA	NA
9	5,315	5	5,335	3	3,852	5
10	5,506	6	5,03	5	4,504	4
11	5,093	5	5,318	5	4,782	5
12	5,517	6	5,2	4	2,822	3
14	5,539	4	3,945	3	NA	NA
15	5,587	6	4,706	4	3,374	4
16	6,052	5	5,554	4	4,596	4
17	5,879	6	5,315	4	4,956	5
18	5,762	7	6,151	4	5,218	5
19	6,292	3	6,029	4	4,64	3
20	5,665	6	6,127	5	5,293	4
21	6,356	6	5,857	4	4,989	4
22	4,725	5	4,389	5	2,263	3
23	5,855	5	5,212	5	5,211	5
24	5,574	5	5,885	4	4,274	5
25	4,544	4	5,147	5	NA	NA
26	5,739	5	5,839	4	3,72	4
27	5,443	5	5,746	4	4,636	4
28	5,715	5	5,279	4	3,816	4
29	5,568	7	5,496	4	4,625	4
30	5,578	6	4,836	4	3,547	3
31	5,237	4	5,86	5	5,507	4
32	5,377	4	5,874	5	3,107	4
33	5,466	6	5,436	5	4,237	5
34	4,587	4	4,925	4	3,776	4
36	4,972	7	4,714	4	4,505	5
37	5,093	4	NA	NA	NA	NA
38	5,138	6	5,039	5	3,852	3
39	5,963	6	5,458	3	NA	NA
40	5,993	5	5,31	3	4,515	3
41	5,07	5	4,944	4	4,146	4
42	5,894	5	5,684	4	4,879	4
43	6,163	6	NA	NA	4,916	4
44	5,457	7	5,061	4	NA	NA
45	5,033	6	5,273	4	4,63	4
46	6,409	7	5,474	5	3,468	3
48	4,737	6	4,381	4	3,609	5
49	5,874	6	5,32	4	4,934	3
50	5,483	5	4,22	3	3,805	4
51	4,961	7	4,68	4	3,712	4

52	5,684	5	5,771	5	3,553	5
53	NA	NA	4,9	3	4,1	3
54	5,612	5	5,054	3	4,396	3
55	5,886	5	5,844	4	4,214	5
56	6,147	4	6,203	4	NA	NA
57	5,404	5	5,909	5	3,594	5
59	5,677	6	5,516	5	3,963	5
60	6,459	6	5,863	4	5,553	3
61	4,956	5	4,589	5	3,078	5
62	5,655	4	5,919	3	4,564	3
63	NA	NA	4,259	3	NA	NA
64	5,285	6	4,973	4	2,707	5
65	5,607	7	5,817	5	4,853	5
68	6,127	3	5,81	5	4,918	4
69	NA	NA	5,17	4	5,019	5
71	5,883	3	3,865	3	4,415	4
72	5,598	5	5,342	3	4,961	5
73	5,546	4	5,383	3	3,244	4
74	5,048	5	5,403	3	3,694	4
75	5,729	4	5,648	4	4,235	4
76	6,322	7	6,175	4	4,797	3
77	5,791	6	5,318	5	4,317	5
79	5,621	5	5,19	4	4,18	3
80	5,771	5	5,213	5	1,708	4
82	6,171	6	5,635	5	3,724	4
84	5,212	6	5,746	4	5,837	5
85	4,853	4	4,579	5	3,76	5
86	4,87	6	5,338	4	4,295	4
87	4,799	6	4,547	5	NA	NA
88	5,376	4	5,61	3	4,401	4
89	5,185	6	5,301	4	3,91	5
90	5,111	7	4,568	5	NA	NA
91	5,945	5	NA	NA	NA	NA
92	5,108	7	5,311	4	4,022	5
93	5,91	6	6,49	5	3,446	3
95	3,943	5	3,775	4	3,582	2
96	5,845	7	5,307	5	5,346	5
97	4,93	4	5,088	5	3,22	5
98	6,036	7	5,664	4	4,157	5
99	NA	NA	4,611	4	NA	NA
100	5,807	6	5,868	4	3,476	3
101	5,53	5	5,814	4	3,577	3
102	4,846	6	4,864	4	NA	NA
103	6,471	5	6,106	4	5,237	5
105	5,546	6	5,667	3	4,492	3
107	6,446	6	4,663	4	4,175	5
108	5,69	6	5,15	5	4,346	3
109	6,509	6	5,979	3	5,969	4
110	5,347	7	4,723	4	2,248	2
111	5,592	5	5,221	5	5,332	3
112	5,696	7	5,021	3	NA	NA
113	5,744	6	5,064	4	4,42	3

114	5,63	5	5,02	4	NA	NA
115	6,98	5	5,153	4	4,609	4
116	5,518	5	5,187	4	3,913	5
117	6,076	6	5,929	5	3,566	5
118	5,797	7	5,789	4	4,102	5
119	6,291	5	5,568	4	4,801	5
120	5,66	6	5,967	3	4,808	5
121	6,219	6	5,412	5	5,13	5
122	5,008	3	5,223	3	3,295	3
123	5,986	7	5,879	5	4,735	5
124	6,459	7	7,415	4	7,066	4
125	5,677	3	5,919	3	4,386	3
126	5,676	5	5,319	4	3,165	3
127	4,751	7	4,421	5	3,437	3
128	4,82	5	4,754	4	3,511	4
129	6,338	6	5,471	5	NA	NA
130	5,299	5	4,994	4	4,158	3
131	5,17	6	5,254	3	3,408	4
132	3,973	6	4,16	5	2,081	4
133	5,174	7	5,25	5	4,343	5
134	5,889	3	5,968	4	4,37	5
135	5,478	6	5,484	5	4,758	4
136	5,685	5	5,511	3	3,408	3
137	5,733	5	5,378	5	5,087	4
138	5,027	4	5,914	5	3,786	3
139	6,27	4	6,114	4	4,682	4
140	4,819	4	5,174	4	3,455	5
141	5,406	6	5,538	5	4,261	3
142	5,412	5	4,711	5	4,128	3
143	5,425	6	5,824	3	4,169	4
144	5,298	7	5,63	4	3,792	5
145	5,333	5	4,713	4	3,798	4
147	5,514	7	5,101	5	3,356	3
148	5,811	7	5,238	5	4,259	4
149	5,623	4	5,27	5	3,734	4
150	5,458	5	4,626	4	2,502	4
151	6,34	5	6,208	5	4,344	4
152	6,693	5	5,393	5	5,72	4
153	5,583	4	5,462	4	4,193	5
154	5,137	6	4,922	3	3,703	4
156	6,196	6	5,351	3	4,989	4
157	5,694	7	4,805	5	2,998	4
158	4,995	6	4,608	4	4,027	4
Media pedigree	5,57		5,30		4,17	
Standard error	0,04		0,05		0,07	
Genotipi	137		139		125	
Individui	747		577		504	
Individui per genotipo	5,45		4,15		4,03	

Allegato L. Medie genotipiche dell'indice dei rami (2003)

Sito	I		F		UK	
Genotipo	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	NA	NA	0,3129	3	NA	NA
2	0,2946	5	0,284	5	0,2186	4
3	0,3811	6	0,3556	4	0,2781	3
4	0,3618	6	0,3052	4	0,1961	3
5	0,3531	4	0,3395	4	0,2218	4
7	0,3331	5	0,3048	4	0,227	5
8	NA	NA	0,3127	4	NA	NA
9	0,3401	4	0,3483	3	0,24	5
10	0,3368	6	0,324	5	0,2881	4
11	0,3285	5	0,3403	5	0,3135	5
12	0,3877	6	0,3284	4	0,2236	3
14	0,3636	4	0,2827	3	NA	NA
15	0,3277	6	0,2962	4	0,2138	4
16	0,4134	4	0,3884	4	0,3345	4
17	0,367	5	0,3374	4	0,3335	5
18	0,3644	6	0,3615	4	0,3146	5
19	0,396	3	0,3869	4	0,3299	3
20	0,3619	6	0,3774	5	0,3382	4
21	0,4068	6	0,3627	4	0,324	4
22	0,3337	4	0,3121	5	0,1682	3
23	0,3765	4	0,346	5	0,3338	5
24	0,3397	5	0,3618	4	0,2806	5
25	0,3273	4	0,3162	5	NA	NA
26	0,3892	5	0,395	4	0,2862	4
27	0,3406	5	0,3601	4	0,2917	4
28	0,3339	5	0,3388	4	0,249	4
29	0,3556	6	0,3521	4	0,3011	4
30	0,343	6	0,2875	4	0,2496	3
31	0,3264	4	0,3705	5	0,3371	4
32	0,3504	4	0,3715	5	0,2072	4
33	0,3201	5	0,3141	5	0,2882	5
34	0,3227	4	0,3221	4	0,2376	4
36	0,3221	6	0,2863	4	0,2816	5
37	0,3571	3	NA	NA	NA	NA
38	0,3348	5	0,3419	5	0,2606	3
39	0,3927	5	0,3537	3	NA	NA
40	0,395	5	0,3551	3	0,3181	3
41	0,339	5	0,3455	4	0,2945	4
42	0,3667	5	0,364	4	0,3376	4
43	0,3943	6	NA	NA	NA	NA
44	0,3271	6	0,322	4	0,3244	4
45	0,3054	5	0,3269	4	0,2886	4
46	0,4317	6	0,36	5	0,2622	3
48	0,3015	5	0,2653	4	0,2282	5
49	0,3767	6	0,3419	4	0,3199	3
50	0,3794	5	0,2851	3	0,2674	4
51	0,3286	6	0,3331	4	0,2466	4

52	NA	NA	0,3512	5	0,2466	5
53	0,3626	5	0,3088	3	0,2682	3
54	0,3316	5	0,3127	3	0,2719	3
55	0,3645	4	0,3741	4	0,2899	5
56	0,3948	4	0,3963	4	NA	NA
57	0,337	5	0,3376	5	0,2222	5
59	0,3578	5	0,3352	5	0,2536	5
60	0,4079	5	0,3875	4	0,3532	3
61	0,3073	5	0,2986	5	0,197	5
62	0,3467	4	0,3538	3	0,2855	3
63	NA	NA	0,3006	3	NA	NA
64	0,3154	5	0,3177	4	0,1814	5
65	0,3541	6	0,3749	5	0,3328	5
68	0,4349	3	0,3907	5	0,33	4
69	NA	NA	0,3271	4	0,3021	5
71	0,3453	3	0,2396	3	0,2629	4
72	0,349	5	0,3196	3	0,3116	5
73	0,3132	3	0,3283	3	0,2254	4
74	0,3147	5	0,3466	3	0,2405	4
75	0,3864	4	0,3737	4	0,2626	4
76	0,4211	6	0,4245	4	0,3339	3
77	0,3399	5	0,3373	5	0,2719	5
79	0,371	5	0,3479	4	0,2741	3
80	0,3413	5	0,3065	5	0,1254	4
82	0,3736	6	0,3552	5	0,2598	4
84	0,3179	5	0,3718	4	0,3597	5
85	0,3132	4	0,2918	5	0,2485	5
86	0,2854	5	0,3391	4	0,274	4
87	0,305	5	0,2902	5	NA	NA
88	0,3671	4	0,3507	3	0,2787	4
89	0,3523	5	0,3403	4	0,2659	5
90	0,3006	6	0,3044	5	NA	NA
91	0,408	4	NA	NA	NA	NA
92	0,3065	6	0,3324	4	0,2469	5
93	0,3634	6	0,3709	5	0,2632	3
95	0,2708	5	0,2443	4	0,2231	2
96	0,3514	6	0,3189	5	0,3461	5
97	0,3261	4	0,3394	5	0,2107	5
98	0,3867	6	0,3702	4	0,2746	5
99	NA	NA	0,3062	4	NA	NA
100	NA	NA	0,3639	4	0,245	3
101	0,3871	5	0,3998	4	0,2584	3
102	0,3357	5	0,3317	4	NA	NA
103	0,3813	4	0,3482	4	0,318	5
105	0,3556	5	0,3756	3	0,2973	3
107	0,3985	5	0,3106	4	0,2845	5
108	0,3467	6	0,3445	5	0,3087	3
109	0,4192	5	0,3627	3	0,3809	4
110	0,3388	6	0,3006	4	0,1504	2
111	0,3257	4	0,3208	5	0,3232	3
112	0,3483	6	0,3144	3	NA	NA
113	0,3667	5	0,3245	4	0,296	3

114	0,3766	5	0,3241	4	NA	NA
115	0,4171	4	0,3208	4	0,3181	4
116	0,3789	5	0,3592	4	0,2598	5
117	0,44	5	0,3868	5	0,2602	5
118	0,3517	6	0,3607	4	0,2784	5
119	0,3797	4	0,3312	4	0,2947	5
120	0,3635	6	0,385	3	0,3035	5
121	0,3798	5	0,3353	5	0,3368	5
122	NA	NA	0,3621	3	0,2071	3
123	0,3759	6	0,3604	5	0,3163	5
124	0,4471	6	0,4619	4	0,4768	4
125	0,3772	3	0,373	3	0,2794	3
126	0,3821	5	0,3423	3	0,2208	3
127	0,3194	6	0,3053	5	0,2461	3
128	0,3249	5	0,3076	4	0,2248	4
129	0,4093	6	0,3468	5	NA	NA
130	0,3555	5	0,3153	4	0,2676	3
131	0,3398	5	0,3287	3	0,2251	4
132	0,2403	6	0,2414	5	0,1348	4
133	0,3265	6	0,3352	5	0,2988	5
134	0,3863	3	0,3889	4	0,2879	5
135	0,3632	6	0,3658	5	0,3195	4
136	0,3453	5	0,3217	3	0,2285	3
137	0,3473	5	0,3445	5	0,3144	4
138	0,3281	4	0,3871	5	0,262	3
139	0,4099	4	0,4263	4	0,3245	4
140	0,3439	4	0,3348	4	0,2269	5
141	0,3672	5	0,3942	5	0,2887	3
142	0,3284	5	0,3079	5	0,2485	3
143	0,3262	5	0,3747	3	0,2899	4
144	0,3547	6	0,3529	4	0,25	5
145	0,3305	5	0,2937	4	0,2581	4
147	0,3559	6	0,3343	5	0,2584	3
148	0,3661	6	0,3196	5	0,2897	4
149	0,3962	4	0,3269	5	0,257	4
150	0,3236	4	0,3246	4	0,1814	4
151	0,4056	5	0,3703	5	0,2835	4
152	0,4298	4	0,3471	5	0,3639	4
153	0,3696	4	0,3698	4	0,2993	5
154	0,3267	6	0,3275	3	0,2525	4
156	0,3946	5	0,3502	3	0,3236	4
157	0,3663	6	0,3345	5	0,2139	4
158	0,3384	6	0,3064	4	0,2536	4
Media pedigree	0,36		0,34		0,28	
Standard error	0,003		0,003		0,005	
Genotipi	134		139		125	
Individui	669		576		504	
Individui per genotipo	4,99		4,14		4,03	

Allegato M. Medie genotipiche dell'area fogliare

Sito Genotipo	I		F		UK	
	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	NA	NA	59,1	3	NA	NA
2	58,62	5	72,12	5	99,24	4
3	41,17	5	32,79	5	48,71	3
4	57,64	5	52,53	4	63,32	4
5	45,77	4	40,84	5	70,56	4
7	71,13	4	72	5	92,75	4
8	NA	NA	58,11	5	65,41	3
9	49,51	5	49,71	5	96,65	5
10	53,63	5	41,39	5	67,26	4
11	57,27	4	66,38	5	78,95	5
12	49,16	5	64,8	4	55,79	4
14	75,24	5	59,12	5	75,61	3
15	61,71	5	45,12	5	71,59	4
16	48,11	5	47,61	5	57,15	4
17	46,66	5	43,49	4	52,73	5
18	41,97	5	35,47	5	59,52	5
19	39,49	3	45,4	4	56,04	3
20	46,68	5	58,92	5	59,76	5
21	48,08	5	56,37	4	79,9	4
22	63,81	3	53,28	5	NA	NA
23	60,12	4	50,05	5	76,05	3
24	59,51	5	64,64	5	72,37	5
25	37,65	4	49,6	5	NA	NA
26	40,84	4	51,76	4	44,58	5
27	57,89	5	69,89	5	79,37	4
28	60,76	5	71,06	5	76,53	4
29	66,69	5	58,23	5	80,03	4
30	50,91	5	61,94	4	62,36	4
31	60,56	4	55,18	5	73,54	4
32	47,46	5	46,08	4	79,25	4
33	54,84	5	61,83	5	61,68	5
34	48,32	4	52,56	5	NA	NA
36	73,96	5	71,66	4	76,9	5
37	59,97	3	54,27	4	62,82	3
38	53,85	4	57,86	5	60,41	4
39	51,93	4	50,07	3	NA	NA
40	47,74	4	41,59	5	52,72	3
41	50,21	5	49,88	5	70,58	4
42	65,5	5	69,83	5	83,86	4
43	45,61	5	40,57	4	62,13	5
44	68,94	5	50,04	5	84,44	3
45	62,69	4	67,71	4	76,48	5
46	47,25	5	41,4	5	45,96	4
48	63,3	5	51,6	5	63,57	5
49	56,43	5	39,89	5	69,06	3
50	64,86	4	55,18	4	60,21	4
51	59,54	5	49,49	5	77,59	5

52	55,09	4	48,55	5	59,31	5
53	NA	NA	76,37	3	77,45	3
54	57,35	5	48,85	4	59,58	4
55	48,38	5	53,62	5	72,23	5
56	53,86	4	48,4	5	82,18	3
57	63,87	4	53,95	5	61,44	5
59	60,65	4	43,39	5	72,95	5
60	47,91	5	40,93	5	54,35	3
61	40,78	4	38,15	5	63,67	5
62	55,51	5	52,91	3	69,4	3
63	NA	NA	68,44	3	73,12	5
64	66,7	4	54,42	5	NA	NA
65	41,54	5	54,21	5	49,37	5
68	40,89	3	54,72	5	62,42	5
69	44,46	3	63,56	4	78,73	5
71	45,88	4	44,09	4	65,22	3
72	46,72	4	56,17	4	74,49	5
73	NA	NA	67,38	3	51,4	4
74	63,35	4	72,75	4	80,16	5
75	50,96	5	46,64	4	85,88	4
76	53,16	5	66,54	5	67,56	5
77	53,15	5	54,7	5	65	5
79	60,61	4	61,37	5	68,45	4
80	52,48	5	51,03	5	52,23	5
82	53,51	5	48,37	5	55,41	4
84	50,9	5	47,33	5	73,06	5
85	48,71	5	58,33	5	73,3	5
86	80,64	5	91,66	4	77,74	5
87	58,32	4	64,48	5	NA	NA
88	62,64	4	68,94	3	90,66	4
89	61,82	4	56,41	4	71,09	5
90	53,85	5	48,39	5	NA	NA
91	42,26	5	37,73	3	NA	NA
92	60,95	5	71,07	4	88,35	5
93	51,63	5	56,11	5	41,8	5
95	70,06	5	62,98	4	99,19	4
96	57,18	5	43,67	5	60,47	5
97	58,49	5	59,26	5	69,81	5
98	50,11	5	43,59	5	57,1	5
99	54,19	3	55,37	4	NA	NA
100	55,92	5	54,38	4	55,03	3
101	50,19	5	54,43	4	62,99	3
102	48,04	5	56,27	5	NA	NA
103	43,9	3	44,69	4	56,11	5
105	48,82	5	39,46	4	67,85	3
107	50,28	4	42,73	4	51,81	5
108	72,7	5	45,39	5	63,87	4
109	35,59	4	40,7	4	42,19	5
110	64,78	5	69,11	4	64,46	3
111	47,94	3	65,34	5	74,64	4
112	49,57	5	42,73	3	NA	NA
113	48,78	4	43,91	5	55,06	3

114	49,83	5	47,68	5	NA	NA
115	43,46	5	50,25	5	56,08	4
116	36,21	4	40,23	4	55,24	5
117	50,91	4	54,73	5	59,47	5
118	50,95	5	53,76	4	68,28	5
119	39,21	4	43,73	4	63,79	5
120	49,88	5	62,55	5	80,65	4
121	51,92	5	48,28	5	63,73	5
122	NA	NA	67,29	3	73,05	4
123	53,18	5	55,05	5	60,42	5
124	46,41	5	50,29	4	53,46	4
125	56,17	3	56,72	4	61,59	3
126	52,78	5	50,38	4	65,84	3
127	60,72	5	51,47	5	72,25	3
128	47,88	5	41,77	5	59,3	5
129	43,5	5	39,81	5	51,99	3
130	65,8	5	59,84	5	67,45	4
131	47,28	4	52,63	4	71,76	4
132	77,46	5	65,94	5	103,3	5
133	80,08	5	70,98	5	78,62	5
134	46,09	5	40,16	5	55,68	5
135	59,43	5	63,29	5	69	5
136	74,61	4	84,04	4	85,53	3
137	49,89	5	45,86	5	68,44	5
138	49,85	3	42,57	5	58,81	3
139	45,07	5	45,05	4	49,24	4
140	46,34	4	46,69	5	74,83	5
141	58,14	5	47,8	5	61,47	3
142	59,56	5	45,69	5	68,28	4
143	61,09	5	64,34	4	66,27	4
144	51,9	5	49,08	4	58,14	5
145	49,31	4	58,46	5	65,51	5
147	63,17	5	60,66	5	67,88	3
148	57,77	5	54,94	5	58,2	4
149	52,77	4	46,27	5	64,15	5
150	62,19	4	44,87	4	76,42	4
151	49,56	5	53,05	5	73,34	4
152	52,04	3	40,27	5	65,22	4
153	51,35	5	42,26	4	54,19	5
154	70,97	5	75,88	3	75,29	4
156	65,87	4	48,08	4	65,71	4
157	63,09	5	62,2	5	58,45	5
158	53,7	5	56,16	3	70,21	4
Media pedigree	54,64		53,62		67,22	
Standard error	0,791		0,884		1,042	
Genotipi	136		142		129	
Individui	619		641		546	
Individui per genotipo	4,55		4,51		4,23	

Allegato N. Medie genotipiche della lunghezza del picciolo

Sito Genotipo	I		F		UK	
	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	NA	NA	6,38	3	NA	NA
2	4,52	5	6,62	5	8,21	4
3	4,36	5	4,28	5	5,47	3
4	5,02	5	6,30	4	6,25	4
5	4,42	4	5,17	5	6,43	4
7	5,21	4	6,01	5	7,92	4
8	NA	NA	5,38	5	5,70	3
9	4,24	5	5,50	5	7,22	5
10	4,53	5	5,05	5	6,43	4
11	4,66	4	6,34	5	6,58	5
12	4,90	5	6,87	4	5,96	4
14	4,85	5	5,58	5	6,22	3
15	5,05	5	5,36	5	6,25	4
16	4,06	5	4,67	5	4,90	4
17	4,05	5	5,23	4	5,67	5
18	4,24	5	4,57	5	5,41	5
19	4,04	3	5,21	4	6,20	3
20	3,98	5	6,04	5	6,35	5
21	3,85	5	5,17	4	5,65	4
22	5,13	3	5,55	5	NA	NA
23	4,46	4	4,89	5	6,35	3
24	4,38	5	5,84	5	6,23	5
25	3,50	4	5,38	5	5,23	5
26	3,84	4	4,94	4	7,69	4
27	5,56	5	7,17	5	NA	NA
28	5,20	5	6,68	5	7,03	4
29	4,59	5	6,03	5	6,76	4
30	4,18	5	6,38	4	5,72	4
31	5,18	4	6,42	5	7,01	4
32	3,97	5	4,80	4	6,29	4
33	4,67	5	6,46	5	6,14	5
34	3,92	4	5,63	5	NA	NA
36	4,92	5	6,48	4	6,53	5
37	4,09	3	4,61	4	5,10	3
38	4,08	4	5,23	5	5,58	4
39	4,23	4	5,09	3	NA	NA
40	3,75	4	4,68	5	5,09	3
41	4,25	5	4,81	5	5,94	4
42	4,76	5	6,38	5	6,93	4
43	3,90	5	4,56	4	5,68	5
44	5,80	5	5,12	5	6,78	3
45	5,29	4	6,41	4	7,08	5
46	5,45	5	5,11	5	5,10	4
48	4,16	5	4,73	5	5,45	5
49	4,51	5	4,54	5	6,48	3
50	5,18	4	6,01	4	5,95	4
51	5,55	5	6,21	5	7,36	5

52	4,36	4	5,05	5	5,52	5
53	NA	NA	6,23	3	6,42	3
54	4,48	5	5,43	4	5,88	4
55	4,02	5	5,77	5	6,26	5
56	4,35	4	5,15	5	6,72	3
57	5,11	4	5,78	5	5,80	5
59	5,87	4	5,77	5	7,61	5
60	3,76	5	4,71	5	5,42	3
61	4,10	4	4,39	5	5,49	5
62	4,68	5	5,77	3	7,01	3
63	NA	NA	5,78	3	6,11	5
64	5,34	4	5,24	5	NA	NA
65	4,57	5	5,99	5	6,08	5
68	4,57	3	6,74	5	6,48	5
69	3,79	3	5,78	4	5,58	5
71	4,02	4	4,80	4	5,95	3
72	4,79	4	5,98	4	6,78	5
73	NA	NA	5,76	3	4,78	4
74	4,69	4	5,79	4	6,23	5
75	4,26	5	4,95	4	7,29	4
76	4,87	5	6,35	5	6,66	5
77	4,44	5	5,71	5	5,97	5
79	4,11	4	4,96	5	5,51	4
80	4,33	5	5,22	5	4,90	5
82	4,58	5	5,17	5	5,86	4
84	4,55	5	5,23	5	6,23	5
85	4,23	5	5,24	5	5,16	5
86	5,60	5	7,49	4	6,92	5
87	4,17	4	5,49	5	NA	NA
88	4,46	4	5,73	3	6,85	4
89	4,99	4	5,79	4	6,24	5
90	3,99	5	4,54	5	NA	NA
91	3,67	5	5,72	3	NA	NA
92	5,35	5	6,38	4	7,62	5
93	4,72	5	5,80	5	5,00	5
95	5,16	5	6,30	4	7,15	4
96	4,52	5	4,54	5	5,23	5
97	5,11	5	6,32	5	7,45	5
98	4,98	5	5,15	5	6,15	5
99	4,49	3	5,59	4	NA	NA
100	5,59	5	6,29	4	7,06	3
101	3,85	5	5,15	4	5,37	3
102	4,61	5	6,20	5	NA	NA
103	3,76	3	5,16	4	5,36	5
105	3,74	5	4,28	4	5,28	3
107	5,08	4	4,93	4	5,59	5
108	6,23	5	5,46	5	6,48	4
109	3,64	4	5,32	4	5,37	5
110	4,89	5	6,30	4	6,30	3
111	4,15	3	6,48	5	6,43	4
112	4,47	5	5,08	3	NA	NA
113	4,52	4	5,28	5	5,89	3

114	5,06	5	5,29	5	NA	NA
115	4,30	5	5,79	5	5,12	4
116	3,30	4	4,09	4	4,52	5
117	3,96	4	5,86	5	6,02	5
118	4,49	5	6,47	4	7,34	5
119	3,84	4	4,86	4	5,76	5
120	3,74	5	5,52	5	6,48	4
121	4,76	5	5,16	5	6,02	5
122	NA	NA	5,33	3	6,28	4
123	4,88	5	5,57	5	6,09	5
124	4,07	5	4,57	4	4,92	4
125	4,65	3	5,10	4	5,99	3
126	4,23	5	4,97	4	5,73	3
127	4,43	5	5,84	5	6,37	3
128	3,89	5	4,55	5	5,70	5
129	3,57	5	4,39	5	5,43	3
130	4,95	5	6,72	5	6,26	4
131	4,10	4	5,22	4	6,51	4
132	5,31	5	5,89	5	8,32	4
133	5,67	5	7,24	5	7,41	5
134	3,36	5	4,49	5	5,53	5
135	4,13	5	5,33	5	5,96	5
136	5,23	4	6,72	4	6,94	3
137	4,55	5	5,11	5	5,77	5
138	4,30	3	4,83	5	5,19	3
139	3,98	5	5,01	4	5,55	4
140	4,88	4	5,53	5	6,70	5
141	3,67	5	4,24	5	4,92	3
142	4,76	5	5,41	5	6,62	4
143	4,81	5	6,21	4	6,25	4
144	4,49	5	4,96	4	5,44	5
145	4,44	4	5,22	5	6,12	5
147	4,25	5	5,40	5	5,48	3
148	4,51	5	5,34	5	5,78	4
149	4,19	4	5,31	5	5,84	5
150	5,33	4	5,74	4	6,78	4
151	4,30	5	5,54	5	6,17	4
152	4,81	3	4,76	5	6,89	4
153	4,18	5	4,52	4	5,48	5
154	4,30	5	5,81	3	5,93	4
156	5,43	4	5,26	4	6,47	4
157	4,97	5	5,33	5	5,40	5
158	4,13	5	5,33	3	5,86	4
Media pedigree	4,52		5,49		6,13	
Standard error	0,05		0,06		0,07	
Genotipi	136		142		129	
Individui	619		641		545	
Individui per genotipo	4,55		4,51		4,22	

Allegato O. Medie genotipiche della biomassa secca del fusto

Sito	I		F		UK	
Genotipo	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	NA	NA	3,347	5	1,238	7
2	6,13	6	4,658	8	2,901	7
3	4,648	5	3,791	8	3,119	6
4	4,755	6	4,281	8	1,64	6
5	4,535	6	3,624	9	2,358	7
7	4,766	5	4,488	9	3,195	9
8	NA	NA	3,949	8	2,208	6
9	5,754	6	3,645	7	3,615	8
10	8,012	6	3,661	8	2,544	8
11	7,018	4	4,127	8	2,751	8
12	4,302	6	3,489	7	1,754	7
14	7,054	3	2,097	8	1,442	7
15	9,758	6	4,457	8	2,775	9
16	4,564	6	3,151	8	1,243	7
17	5,852	6	3,934	8	2,224	7
18	4,409	6	3,927	9	3,145	8
19	4,427	4	3,343	7	2,017	6
20	4,953	6	4,685	9	2,326	7
21	5,792	6	4,771	8	2,415	5
22	4,301	3	2,929	9	2,076	6
23	6,136	4	3,928	8	3,358	8
24	7,59	5	4,894	8	2,794	7
25	3,1	4	4,915	8	2,361	6
26	4,337	5	3,206	9	1,208	6
27	9,891	6	4,582	9	3,347	8
28	6,456	6	4,485	8	2,56	8
29	7,263	6	3,836	8	2,822	8
30	8,066	6	4,514	8	1,924	8
31	5,913	4	4,194	8	4,088	8
32	3,277	4	3,873	9	1,501	7
33	7,584	6	4,953	9	2,349	9
34	2,336	4	2,668	8	2,999	8
36	7,593	6	4,441	8	4,077	9
37	4,035	3	4,194	8	2,924	6
38	4,761	5	3,816	9	2,448	7
39	4,951	5	3,109	6	NA	NA
40	4,689	5	2,339	8	2,165	7
41	4,177	6	3,349	8	2,572	8
42	6,502	5	3,188	8	1,883	9
43	6,075	6	3,441	8	2,782	9
44	8,287	6	3,237	8	3,048	8
45	8,157	4	3,473	8	3,203	8
46	5,783	6	3,165	9	0,9964	8
48	4,763	6	4,092	9	3,966	9
49	4,926	6	3,224	9	2,953	8
50	4,296	5	2,996	7	2,322	9
51	5,507	6	3,009	9	2,304	9

52	4,843	5	3,981	9	1,768	9
53	NA	NA	3,685	6	2,221	5
54	9,594	5	5,32	8	4,389	7
55	4,583	5	3,995	9	2,044	9
56	6,448	4	3,095	9	1,744	6
57	5,607	5	4,702	8	2,996	9
59	7,373	5	3,232	9	3,028	9
60	5,184	5	3,616	9	2,387	7
61	5,435	5	3,404	8	2,594	8
62	6,07	4	3,985	6	2,55	5
63	NA	NA	2,672	7	NA	NA
64	7,307	4	4,503	9	2,735	8
65	7,013	6	3,055	9	2,565	9
68	NA	NA	2,947	7	1,805	8
69	NA	NA	4,156	8	5,336	8
71	5,418	3	3,666	8	3,137	5
72	4,876	5	4,677	7	3,266	9
73	8,058	3	4,337	5	2,627	6
74	5,263	5	2,888	8	1,88	8
75	5,093	5	4,27	7	2,822	8
76	4,539	6	2,474	9	1,637	9
77	10,1	5	4,563	9	3,339	9
79	6,087	5	3,022	8	1,956	8
80	5,486	6	4,527	7	1,144	9
82	7,235	6	3,705	8	1,991	7
84	5,739	5	2,998	9	2,942	7
85	NA	NA	3,624	8	2,757	7
86	6,999	6	4,147	8	4,002	6
87	5,838	5	4,22	9	NA	NA
88	4,18	4	3,803	6	2,853	8
89	4,816	5	3,952	7	3,134	7
90	7,976	5	4,281	9	5,303	6
91	4,122	2	4,547	6	NA	NA
92	7,231	5	4,783	9	3,049	8
93	5,261	5	3,831	9	1,556	9
95	4,994	5	4,339	8	2,852	7
96	5,554	5	4,909	9	3,564	9
97	5,204	4	4,109	8	2,95	9
98	6,445	6	3,534	9	2,299	7
99	NA	NA	4,142	6	1,563	3
100	5,707	5	3,957	7	1,564	6
101	3,006	3	3,445	8	1,437	6
102	4,509	6	3,804	9	3,287	6
103	7,243	3	5,695	7	3,882	8
105	6,521	5	4,806	8	2,984	7
107	7,78	5	4,472	7	2,224	9
108	6,323	5	3,708	9	2,295	8
109	5,912	5	3,971	8	2,969	8
110	6,089	6	5,724	8	2,451	6
111	8,72	4	4,717	8	3,338	6
112	5,893	6	4,189	6	3,465	5
113	5,942	3	3,554	9	2,437	8

114	5,272	5	3,626	7	NA	NA
115	5,12	6	3,899	9	2,382	8
116	5,181	5	3,874	9	2,027	7
117	4,088	5	4,332	9	2,062	9
118	7,268	6	3,909	9	2,898	6
119	6,7	4	4,94	8	3,327	8
120	5,364	6	3,05	9	2,574	9
121	8,089	5	3,777	9	3,566	9
122	NA	NA	4,555	6	3,472	7
123	6,274	6	3,77	9	2,333	9
124	4,845	6	4,252	5	2,896	7
125	NA	NA	3,858	6	3,148	7
126	3,396	6	3,373	8	1,704	7
127	6,318	4	3,011	9	1,197	7
128	4,666	5	4,217	9	3,008	7
129	5,185	6	3,269	9	3,845	8
130	4,001	6	4,617	8	3,817	7
131	6,934	5	4,889	8	2,482	9
132	9,273	6	5,566	9	4,388	9
133	6,026	6	4,029	9	1,666	9
134	3,541	5	3,122	8	2,421	9
135	3,969	5	3,212	9	1,638	9
136	7,1	5	4,234	7	2,042	6
137	6,473	5	4,029	9	2,801	9
138	3,628	4	4,467	9	1,708	6
139	6,09	4	3,347	8	2,104	8
140	3,174	4	3,994	9	2,294	7
141	3,218	6	2,746	9	1,654	8
142	5,437	5	3,909	7	4,183	9
143	6,924	5	4,182	7	2,802	8
144	3,392	6	3,958	8	1,887	9
145	8,351	4	3,955	9	2,604	6
147	3,737	6	3,804	9	1,949	5
148	6,254	6	5,028	8	2,64	9
149	3,765	4	4,584	9	2,017	9
150	5,137	4	3,397	6	1,287	8
151	3,73	5	4,632	9	2,606	8
152	7,226	4	5,435	9	3,834	8
153	4,29	5	3,804	8	1,74	9
154	5,565	5	2,999	7	2,078	8
156	7,3	5	4,197	8	3,591	5
157	7,521	6	3,601	9	1,83	9
158	6,612	5	3,884	6	3,238	7
Media pedigree	5,81		3,92		2,61	
Standard error	0,137		0,058		0,070	
Genotipi	132		142		137	
Individui	667		1143		1035	
Individui per genotipo	5,05		8,05		7,55	

Allegato P. Medie genotipiche della biomassa secca totale

Sito	I		F		UK	
Genotipo	Media	Repliche	Media	Repliche	Media	Repliche
1	NA	NA	5,082	5	1,827	7
2	9,858	6	7,416	8	4,399	7
3	6,84	5	6,098	8	4,493	6
4	6,703	6	6,807	8	2,368	6
5	6,844	6	5,943	9	3,56	7
7	7,372	5	7,213	9	4,843	9
8	NA	NA	6,13	8	3,235	6
9	9,272	6	5,889	7	5,572	8
10	13,06	6	6,061	8	4,003	8
11	11,33	4	6,563	8	4,136	8
12	6,333	6	5,771	7	3,004	7
14	11,05	3	3,621	8	2,194	7
15	16,44	6	6,904	8	4,02	9
16	7,135	6	5,209	8	1,925	7
17	9,523	6	6,286	8	3,449	7
18	6,408	6	5,806	9	4,487	8
19	6,447	4	5,285	7	2,991	6
20	7,588	6	7,643	9	3,519	7
21	9,65	6	7,941	8	3,847	5
22	6,559	3	4,61	9	3,139	6
23	9,776	4	6,497	8	5,333	8
24	11,89	5	8,305	8	4,296	7
25	4,511	4	7,659	8	3,523	6
26	6,578	5	5,347	9	1,79	6
27	16,42	6	7,586	9	4,961	8
28	10,33	6	6,694	8	3,749	8
29	11,46	6	6,048	8	4,218	8
30	13,43	6	7,07	8	2,986	8
31	8,746	4	6,431	8	5,984	8
32	4,583	4	5,924	9	2,218	7
33	12,22	6	8,078	9	3,441	9
34	3,3	4	4,204	8	4,774	8
36	11,93	6	7,136	8	6,176	9
37	6,476	3	6,761	8	4,356	6
38	7,237	5	5,91	9	3,618	7
39	7,638	5	4,844	6	NA	NA
40	7,24	5	3,593	8	3,153	7
41	6,364	6	5,396	8	3,889	8
42	10,34	5	5,233	8	2,901	9
43	9,409	6	5,504	8	4,252	9
44	13,09	6	5,361	8	4,575	8
45	13,03	4	5,438	8	4,754	8
46	8,784	6	5,105	9	1,527	8
48	6,967	6	6,53	9	5,94	9
49	7,552	6	5,203	9	4,498	8
50	6,698	5	4,897	7	3,645	9
51	8,621	6	4,924	9	3,599	9

52	7,159	5	6,088	9	2,541	9
53	NA	NA	5,901	6	3,33	5
54	15,97	5	8,207	8	6,378	7
55	6,999	5	6,412	9	3,091	9
56	11,01	4	5,236	9	2,829	6
57	8,866	5	7,361	8	4,483	9
59	11,57	5	4,976	9	4,644	9
60	8,155	5	5,441	9	3,526	7
61	8,505	5	5,443	8	3,923	8
62	9,744	4	6,393	6	3,845	5
63	NA	NA	4,001	7	NA	NA
64	12,17	4	7,257	9	4,098	8
65	11,69	6	4,943	9	3,945	9
68	NA	NA	4,985	7	2,783	8
69	NA	NA	6,54	8	7,882	8
71	7,462	3	5,324	8	4,552	5
72	7,535	5	7,913	7	5,024	9
73	12,96	3	7,185	5	3,801	6
74	7,656	5	4,559	8	2,712	8
75	7,754	5	6,565	7	4,199	8
76	7,204	6	4,155	9	2,516	9
77	16,39	5	7,066	9	5,026	9
79	9,404	5	4,726	8	2,98	8
80	8,454	6	6,906	7	1,633	9
82	11,49	6	5,861	8	2,971	7
84	9,11	5	4,933	9	4,596	7
85	NA	NA	5,805	8	4,049	7
86	11,19	6	6,59	8	5,75	6
87	8,564	5	6,404	9	NA	NA
88	6,614	4	5,956	6	4,2	8
89	7,422	5	6,387	7	4,789	7
90	12,75	5	6,53	9	7,732	6
91	6,103	2	7,3	6	NA	NA
92	11,37	5	7,623	9	4,391	8
93	8,269	5	6,202	9	2,526	9
95	8,078	5	6,567	8	4,343	7
96	8,851	5	7,949	9	5,47	9
97	8,103	4	6,366	8	4,344	9
98	10,01	6	5,165	9	3,426	7
99	NA	NA	6,468	6	2,264	3
100	8,977	5	6,458	7	2,353	6
101	4,615	3	5,606	8	2,173	6
102	6,602	6	5,799	9	4,864	6
103	11,46	3	9	7	5,467	8
105	10,49	5	7,49	8	4,315	7
107	12,23	5	7,636	7	3,496	9
108	9,349	5	5,77	9	3,3	8
109	9,937	5	6,771	8	5,027	8
110	9,57	6	9,08	8	3,464	6
111	14,07	4	7,495	8	4,919	6
112	8,857	6	6,562	6	5,021	5
113	9,412	3	5,552	9	3,624	8

114	7,697	5	6,032	7	NA	NA
115	7,833	6	6,033	9	3,453	8
116	7,797	5	5,897	9	2,945	7
117	6,099	5	6,951	9	3,084	9
118	11,67	6	6,14	9	4,209	6
119	11,11	4	7,874	8	5,129	8
120	8,307	6	4,879	9	3,772	9
121	13,84	5	6,048	9	5,575	9
122	NA	NA	7,356	6	5,302	7
123	9,726	6	5,835	9	3,436	9
124	7,089	6	7,298	5	4,525	7
125	NA	NA	5,705	6	4,596	7
126	5,317	6	5,553	8	2,567	7
127	9,933	4	4,728	9	1,871	7
128	6,909	5	6,406	9	4,498	7
129	8,043	6	5,301	9	5,866	8
130	5,864	6	7,038	8	5,529	7
131	10,9	5	7,854	8	3,664	9
132	15,36	6	8,65	9	6,283	9
133	9,49	6	6,714	9	2,565	9
134	5,47	5	5,122	8	3,767	9
135	6,397	5	5,629	9	2,693	9
136	11,35	5	6,906	7	3,08	6
137	9,992	5	6,643	9	4,265	9
138	5,333	4	6,813	9	2,461	6
139	9,549	4	5,294	8	3,147	8
140	4,665	4	6,639	9	3,604	7
141	4,628	6	4,54	9	2,507	8
142	8,344	5	6,404	7	6,232	9
143	11,2	5	6,287	7	4,156	8
144	5,01	6	6,117	8	2,825	9
145	13,39	4	6,142	9	3,793	6
147	5,598	6	6,241	9	2,837	5
148	9,672	6	8,052	8	3,807	9
149	5,549	4	7,752	9	3,139	9
150	7,765	4	5,155	6	1,929	8
151	5,759	5	7,468	9	3,96	8
152	11,75	4	9,121	9	6,174	8
153	6,283	5	6,082	8	2,617	9
154	9,133	5	4,789	7	3,199	8
156	12,55	5	6,896	8	5,492	5
157	12,85	6	5,821	9	3,08	9
158	10,54	5	6,42	6	5,205	7
Media pedigree	5,81		3,92		2,61	
Standard error	0,241		0,093		0,104	
Genotipi	132		142		137	
Individui	667		1143		1035	
Individui per genotipo	5,05		8,05		7,55	