

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA

FACOLTÀ DI AGRARIA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRONOMICHE, AGROCHIMICHE E
DELLE PRODUZIONI ANIMALI

Sez. Scienze Agronomiche

Dottorato di Ricerca in:
SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE TROPICALI E SUBTROPICALI
(XXIII ciclo)

Loredana Daparo

*“Valutazione di colture lignocellulosiche in ambiente mediterraneo
ai fini della produzione di bioetanolo di seconda generazione”*

—————
TESI DI DOTTORATO
—————

Coordinatore
Chiar.mo Prof. S. L. Cosentino

Tutor:
Chiar.mo Prof. S. L. Cosentino

ANNO ACCADEMICO 2009 – 2010

INDICE

PREMESSA

PARTE MONOGRAFICA

1. Introduzione.....	1
2. Il quadro normativo per le agroenergie.....	4
2.1 Il contesto politico di riferimento.....	4
2.2 I Biocarburanti nella Comunità Europea.....	6
2.3 La politica comunitaria e regionale per le agro energie.....	9
3. Il ruolo delle biomasse come fonte rinnovabile.....	14
4. Definizione di biomassa.....	17
4.1 Classificazione delle colture da biomassa.....	18
4.2 Componenti chimiche delle biomasse.....	19
4.3 Le colture dedicate.....	22
5. Filiere agro energetiche.....	27
5.1 I processi di trasformazione.....	33
5.2 La filiera delle biomasse lignocellulosiche, dalla raccolta alla trasformazione.....	45
5.3 La filiera per la produzione del bioetanolo.....	53
6. Le colture da biomassa per fini energetici.....	59
7. Arundo donax.....	63

7.1 Inquadramento botanico.....	63
7.2 Organografia.....	69
7.3 Accrescimento e sviluppo.....	77
7.4 Esigenze rispetto al clima, al terreno e all'alimentazione....	83
7.5 Aspetti agronomici.....	84
8. Miscanthus.....	95
8.1 Origine, diffusione ed inquadramento botanico.....	95
8.2 Importanza economica.....	99
8.3 Organografia e biologia.....	101
8.4 Esigenze rispetto al clima, al terreno e all'alimentazione..	105
8.5 Tecnica di coltivazione.....	109
8.6 Avversità biotiche.....	115
8.7 Raccolta.....	116
9. Cynara cardunculus.....	118
9.1 Origine e diffusione.....	118
9.2 Fisiologia, biologia e caratteristiche botaniche.....	119
9.3 Esigenze ed adattamento ambientale.....	123
9.4 Avversità.....	124
9.5 Utilizzazione della biomassa.....	125

PARTE SPERIMENTALE

1. Scopo della ricerca.....	130
2. Materiale e metodi.....	131
2.1 Prova A	131

2.2 Prova B	138
3. Risultati.....	140
3.1 Andamento meteorologico.....	140
3.2 Prova A	141
3.3 Prova B	180
4. Conclusioni.....	190

BIBLIOGRAFIA

PREMESSA

Il presente elaborato fa riferimento al lavoro di ricerca svolto nell'ambito delle attività collegate alla frequenza del corso di Dottorato di Ricerca in "Scienze e Tecnologie Agrarie Tropicali e Subtropicali" - XXIII° ciclo, presso il Dipartimento di Scienze Agronomiche, Agrochimiche e delle Produzioni Animali dell'Università degli Studi di Catania.

L'oggetto della ricerca, sottoposto ad approvazione da parte del Collegio dei Docenti coordinato dal Prof. Salvatore Luciano Cosentino, ha riguardato la *“Valutazione di colture lignocellulosiche in ambiente mediterraneo ai fini della produzione di bioetanolo di seconda generazione”*

In particolare, l'introduzione e lo sviluppo di coltivazioni energetiche da biomassa, promosso dalla nuova PAC, implica lo studio di specie idonee ad alta resa e di tecniche agronomiche a basso consumo di mezzi produttivi.

Scopo del lavoro di dottorato è quello di studiare la valutazione agronomica delle colture energetiche (arundo, miscanthus e cynara) in relazione alla loro possibile introduzione nei sistemi colturali tipici dell'altopiano ibleo, per la loro funzione nel mantenimento della fertilità dei suoli, ma anche per gli effetti benefici sull'ambiente, dovuti alla riduzione degli input chimici e al risparmio delle risorse idriche.

PARTE MONOGRAFICA

1. INTRODUZIONE

Per millenni, l'economia umana è stata basata quasi esclusivamente sulle risorse agricole. Le cose sono radicalmente cambiate negli ultimi due secoli, circa, quando il fulcro dell'economia si è spostato su un altro tipo di risorse: i combustibili fossili; prima il carbone e poi il petrolio e il gas naturale.

Le preoccupazioni per l'esaurimento delle risorse di energia fossile hanno portato, negli ultimi anni, una maggiore attenzione sulle fonti energetiche rinnovabili, che consentirebbero di utilizzare le risorse locali in modo sostenibile. Le scelte del settore, infatti, devono tenere conto, in maniera sempre crescente, delle ricadute ambientali del ciclo dell'energia e dei probabili rischi che esso comporta per la stabilità del clima globale.

La Com. (97) 599 del 26 novembre 1997 "Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili" prospetta azioni comunitarie con l'obiettivo di raddoppiare, entro il 2010, la produzione di energia da fonti rinnovabili. Secondo quanto enunciato nel "Libro Bianco", le biomasse potrebbero contribuire ad incrementare tale quota per più dell' 80%". In questo modo si ridurrebbe anche la quota di CO₂ immessa nell'atmosfera, principale causa dell'"effetto serra". A tale proposito il Protocollo di Kyoto, adottato il 10 dicembre 1997, impegna i Paesi industrializzati ed i Paesi con economia in transizione alla riduzione dei gas ad effetto serra mediante azioni mirate fra cui l'utilizzo di fonti rinnovabili di energia. In particolare, l'Italia, entro un periodo compreso tra il 2008 ed il 2012, è impegnata ad una riduzione delle proprie emissioni pari al 6,5% in termini di CO₂ equivalente.

Le biomasse, prodotte e utilizzate in maniera ciclica, costituiscono una risorsa energetica rinnovabile e rispettosa dell'ambiente.

In Italia esse contribuiscono già alla produzione di energia elettrica e di energia termica. Dal 2002 tutti i produttori e importatori di energia elettrica

hanno l'obbligo di immettere in rete, ogni anno, elettricità prodotta da fonti rinnovabili pari almeno al 2% della quantità eccedente i 100 GWh.

A causa dell'alta incidenza delle accise sui prodotti petroliferi e sul gas naturale, le biomasse ligno-cellulosiche si pongono in posizione di grande competitività nei confronti dei combustibili fossili.

Da questo scenario previsto scaturiscono preoccupazioni sia di ordine economico che di ordine ambientale. Per preservare in modo efficace gli equilibri dell'ecosistema si deve man mano promuovere la sostituzione dell'attuale modello energetico, basato sullo sfruttamento delle fonti fossili di energia con un modello di sviluppo sostenibile basato sull'uso di fonti di energia rinnovabile.

Infatti, negli ultimi anni è andato crescendo l'interesse, nelle politiche comunitarie e nazionali, sul ruolo dell'agricoltura come "serbatoio" di fonti rinnovabili di energia e sull'opportunità di valorizzare le biomasse a fini energetici. Ciò rappresenta una rilevante opportunità sia per il settore agricolo e sia per quello forestale in quanto il punto di forza risulta essere la disponibilità di prodotti e sottoprodotti dai quali ottenere energia, ovvero colture specifiche, materie prime non alimentari derivanti da foreste e coltivazioni, residui agro-zootecnici ed agro-industriali. Nel complesso, tali risorse possono rappresentare, a livello nazionale, un'importante fonte di approvvigionamento energetico, mentre a livello locale, consentono di utilizzare in maniera vantaggiosa aree agricole abbandonate integrando il reddito agricolo e fornendo nuove opportunità di lavoro e di sviluppo economico (Giuca, 2008).

In questo contesto si inseriscono le produzioni agroenergetiche ancora diffuse a livello sperimentale, il che non consente di definire un preciso mercato di riferimento. In particolare, la principale caratteristica commerciale delle biomasse riguarda il fatto che queste sono delle *commodities*, si tratta quindi di prodotti non differenziabili la cui competitività si basa

esclusivamente sui prezzi. Inoltre, il produttore non ha la possibilità di influenzare il prezzo di mercato che sarà frutto dell'incontro della domanda e dell'offerta. Di conseguenza i fattori di competizione decisivi per le imprese saranno la produttività e la capacità dell'imprenditore di beneficiare di economie di scala che rendano bassi i costi di produzione (Frascarelli, 2007).

Su questa base il prezzo non pregiudica, quindi, le prospettive delle colture agroenergetiche, lo sviluppo delle quali è, invece, strettamente subordinato alla presenza di impianti di trasformazione dislocati sul territorio nel raggio di pochi chilometri, ai contratti di filiera tra produttori e trasformatori, alla razionalizzazione delle tecniche colturali in modo da minimizzare i costi economici ed ambientali, alla possibilità di consociazioni tra i produttori di materia prima ed alla presenza di un adeguato sistema di incentivi, previsto sia in ambito comunitario che regionale (Fiorese *et al.*, 2007).

2. IL QUADRO NORMATIVO PER LE AGROENERGIE

2.1 Il contesto politico di riferimento

Nel corso degli ultimi anni l'Unione Europea ha preso coscienza e rafforzato il concetto che la lotta al cambiamento climatico è un'azione strategica da perseguire in sinergia con le politiche di ristrutturazione del settore energetico, al fine di promuovere un sistema economico-energetico sicuro, pulito e competitivo (Zezza, 2008).

Il settore energetico risulta importante e fondamentale per contribuire al raggiungimento degli obiettivi della riduzione delle emissioni di gas serra oltre che uno dei principali settori dove l'innovazione tecnologica possa funzionare come motore di crescita economica secondo gli obiettivi di crescita ed occupazione fissati dalla Strategia di Lisbona in occasione del Consiglio europeo del marzo 2000 (Costantini, 2005).

La firma nel dicembre del 1997, a conclusione della terza sessione plenaria della Conferenza delle parti (COP3), organo decisionale e di controllo dell'applicazione dell'United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)¹, del Protocollo di Kyoto impegna i paesi industrializzati e quelli con economia in transizione a ridurre nel quinquennio 2008-2012 del 5,2% i livelli di emissioni dei principali gas con effetto serra prodotti dall'attività antropica.

L'Unione Europea per contrastare l'emergenza climatico-energetica, in occasione del Consiglio europeo del marzo 2007, propone un pacchetto completo di misure per istituire una nuova politica energetica per l'Europa finalizzata tra l'altro a rafforzare la competitività dell'UE, fissa degli obiettivi molto ambiziosi e si impegna a ridurre le proprie emissioni di gas serra del 20%, ad aumentare l'efficienza energetica del 20% entro il 2020. In pratica deve contare su un mix energetico proveniente per il 20% da fonti rinnovabili, e tra queste l'8% dovrà essere generato da biomasse e biocarburanti, arrivando a fissare per questi un minimo obbligatorio per l'utilizzo, pari al 10% del

mercato dei carburanti e promuovendo biocarburanti di “seconda generazione” a minor impatto ambientale, provenienti da materiale forestale e graminacee. Gli obiettivi comunitari che si ispirano al “principio 20-20-20” oltre a lasciare ai Paesi membri ampia facoltà di scelta del proprio mix energetico, a fronte della messa a punto di *Piani di azione nazionale* con obiettivi specifici saranno ripartiti in maniera differenziata e ponderata sulla base del meccanismo *bunder sharing* introdotto nell’ambito del Protocollo di Kyoto, che tiene conto delle posizioni di partenza dei singoli Paesi (Giuca, 2007).

L’obiettivo europeo di impiegare o meglio consumare almeno il 20% di energia da fonti rinnovabili ha posto l’attenzione per lo sviluppo delle produzioni agroenergetiche, stimolato altresì dall’aumento dei prezzi dei combustibili fossili, dalla crescente dipendenza energetica da paesi instabili dal punto di vista politico che determina insicurezza nelle forniture energetiche e soprattutto notevoli fluttuazioni dei prezzi delle materie prime (Rosa, 2007).

La crescita delle fonti energetiche rinnovabili diventa strategica non solo dal punto di vista economico ma anche per motivi ecologici, per la disponibilità di nuove tecnologie e capacità imprenditoriali utilizzabili per lo sviluppo economico ed occupazionale attraverso iniziative progettuali agroenergetici.

In ambito comunitario la promozione delle fonti rinnovabili è contenuta in numerosi interventi programmatici e normativi realizzati a partire dalla metà degli anni ’90, adottato dalla Commissione Europea con il Libro Verde “Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili” che si pone l’ambizioso obiettivo di raddoppiare entro il 2015 il contributo dell’energia rinnovabile al consumo interno lordo di energia consentendo la creazione di nuovi posti di lavoro (Costantini, 2008; CE, 1996).

Anche le politiche energetiche orientate alle bioenergie sono stati oggetto di documenti di programmazione ed atti normativi quali la direttiva 2003/30/CE sulla “Promozione dell’uso dei biocarburanti o di carburanti rinnovabili nei

trasporti”, il “Piano di azione per la biomassa” (CE, 2005), la “Strategia dell’UE per i biocarburanti” (CE, 2006).

Mentre il primo documento della Commissione sostiene che attualmente il 4% del fabbisogno energetico totale (EC, 2006) è soddisfatto dalla biomassa e che tale valore potrebbe raddoppiare, entro il 2010, se si sfruttasse il potenziale di tale risorsa rispettando le buone pratiche agricole, mantenendo una produzione di biomassa sostenibile sotto il profilo ambientale e senza particolari riflessi sulla produzione alimentare; con l’altro documento la Commissione riconosce che il sistema degli incentivi e obblighi realizzato dai singoli Stati membri non è sufficiente a raggiungere gli obiettivi fissati ma deve intervenire con altre forme di incentivazione per promuovere la diffusione dei biocarburanti.

2.2 I biocarburanti nella Comunità Europea

In questo contesto i biocarburanti rappresentano la risposta più immediata all’obiettivo della Comunità Europea di aumentare la quota di energia derivante da fonti rinnovabili disponibili al suo interno, limitando così la dipendenza dai Paesi produttori e contribuendo alla riduzione dei gas serra.

Il consumo totale di biocarburanti per il trasporto nel 2008 da parte dei Paesi UE è stato di 10.473.885 tep, pari a 2,5 Mtep (+31,4%) in più rispetto ai consumi del 2007 (7.968.982 tep). Complessivamente nel 2008 il consumo di biocarburanti corrisponde al 3,4% del totale consumo energetico di carburanti per il trasporto su strada nei Paesi UE. Esaminando la ripartizione dei consumi UE nel 2008 per tipologia di biocarburante, emerge la prevalenza del biodiesel (78,2%) sul bioetanolo (17,7%) e sugli altri biocarburanti (4,1%).

Il biodiesel nel 2008 è cresciuto del 35,8% rispetto ai consumi del 2007 (6.032.420 tep) per un utilizzo totale di 8.194.218 tep.

Nel 2008 anche l’impiego di bioetanolo per il trasporto è aumentato: il consumo finale nei Paesi UE è stato di 1.849.363 tep corrispondente ad un incremento del 54,5% circa rispetto agli utilizzi del 2007 (1.197.333 tep).

I due Paesi europei protagonisti nel settore dei biocarburanti sono la Germania, con circa 28.500 persone direttamente ed indirettamente impiegate nel 2007 ed un consumo totale di 3.257.186 tep nel 2008, pari a circa il 31% di tutta l'UE, e la Francia con circa 6.100 posti diretti di lavoro nel 2007 e 2.424.200 tep di consumi nel 2008, pari a circa il 23% dei Paesi UE.

I processi ed i materiali utilizzabili per la produzione di biocarburanti sono svariati, alcuni sono attualmente in uso, altri in via di sperimentazione o ancora oggetto di studio. E' presumibile che in un arco di tempo breve queste innovazioni saranno disponibili su vasta scala, aprendo così nuove prospettive al mercato dei biocarburanti ma anche al settore dell'agricoltura e dell'agroindustria.

In quest'ottica i biocarburanti possono essere distinti in:

- ✓ biocarburanti di I generazione
- ✓ biocarburanti di II generazione

I "biocarburanti di I generazione" sono quelli che nella fase attuale di sviluppo delle filiere bioenergetiche vengono ottenuti mediante processi ben noti:

- spremitura e transesterificazione a partire da semi di specie oleaginose o da oli e grassi animali residuati dalla cottura o frittura (biodiesel);
- fermentazione di zuccheri e amidi derivanti da colture zuccherine e amidacee quali canna da zucchero, frumento, mais etc. (bioetanolo e bio-ETBE),
- digestione di biomasse umide (biogas).

Il fatto che biodiesel e bioetanolo possono essere facilmente ricavati dalle più importanti specie agrarie coltivate (frumento, orzo, mais, colza, soia, girasole, sorgo da granella, barbabietola da zucchero, etc.) comporta implicazioni favorevoli di natura economica, tecnica e sociale, dal momento che si tratta di specie di solida ed antica tradizione; tuttavia la loro utilizzazione a fini

energetici potrebbe determinare risvolti negativi a causa della lievitazione dei prezzi di queste derrate originata dalla competizione tra le due destinazioni. L'allarme per tali prospettive è stato lanciato proprio dai Paesi in via di sviluppo che vedono aumentare le difficoltà di approvvigionamento degli alimenti di base (Jean Ziegler, 2007).

Al fine di evitare preoccupanti ripercussioni nel settore agroalimentare, una delle prospettive più promettenti è quella di utilizzare "biocarburanti di seconda generazione" che possono essere ricavati da biomasse lignocellulosiche (bioetanolo di seconda generazione) residue dal settore agricolo, forestale, industriale (alimentare, del legno) o da colture lignocellulosiche dedicate, di gran lunga più abbondanti e a buon mercato. Alcune delle tecnologie utilizzate sono già sperimentate nell'UE dove esistono tre impianti pilota in Svezia, Spagna e Danimarca, per la produzione di bioetanolo (COM 2006, 34). Tra le altre tecnologie che convertono la biomassa in biocombustibili liquidi figurano:

- la gasificazione e sintesi di biocarburanti a partire da materiale lignocellulosico (BTL da biomassa a liquidi; l'FT Diesel, diesel di sintesi derivato dal processo di Fischer Tropsch, biodimetilere, etc);
- il trattamento con idrogeno di oli vegetali e grassi animali per la produzione di biodiesel trattato;
- la gasificazione di materiale lignocellulosico per la sintesi di biogas (SNG gas naturale sintetico);
- la gasificazione di materiale lignocellulosico per la sintesi di bioidrogeno (biogas potenziati).

Prescindendo dagli aspetti più squisitamente tecnologici ed economici, una valutazione generale sulle colture dedicate alla produzione di biomassa per energia deve comunque rispondere a obiettivi di natura agronomica (nuove colture e sistemi colturali in rapporto alle nuove direttive della Politica Agricola Comunitaria), di natura energetica (in rapporto all'energia ottenibile

ed a quella impiegata per il suo ottenimento), di natura ambientale, dal momento che i risvolti positivi sulla riduzione delle emissioni, con particolare riferimento all'anidride carbonica nell'atmosfera, richiedono un contestuale rispetto dei parametri dell'agricoltura sostenibile.

2.3 La politica comunitaria e regionale per le agroenergie

I settori agricolo e forestale giocano un ruolo importante nella produzione di energia rinnovabile in sostituzione dei tradizionali combustibili fossili per la produzione di energia elettrica, termica e meccanica. L'interesse economico elevato trova corrispondenza all'interno delle strategie settoriali perseguite, i cui obiettivi sono stati oggetto di una profonda revisione, testimoniato dall'evoluzione dei principi che hanno ispirato i successivi processi di riforma cui è stata sottoposta la Politica Agricola Comune (PAC) nel corso dell'ultimo ventennio (Sardone, 2008).

Si è progressivamente affermato il concetto della multifunzionalità dell'agricoltura europea, associato all'individuazione di un modello agricolo che si è evoluto nel tempo, acquisendo rilevanza come fattore di giustificazione del sostegno finanziario assicurato per il tramite della PAC. Ciò è legato al fatto che, nonostante il progressivo ridimensionamento del peso della PAC all'interno del bilancio comunitario, l'intervento a favore del settore agricolo detiene ancora un ruolo significativo (INEA, 2006).

Gli interventi posti in essere all'interno della politica agricola, tramite gli interventi sui mercati agricoli, realizzati nell'ambito delle diverse Organizzazioni Comuni di Mercato (OCM), comunemente identificate come le azioni del I pilastro della PAC, e quelle per il sostegno allo sviluppo delle aree rurali, il II pilastro⁴, rappresentano un evidente segno di attenzione al sostegno delle produzioni a finalità energetica, anche se nel complesso è da evidenziare una certa debolezza della visione strategica sul settore primario in relazione al conseguimento degli obiettivi di politica energetica (Sardone, 2008).

Con Agenda 2000 il legame tra politica agricola e politica energetica è reso più evidente e diventa esplicito con la revisione di medio termine della PAC del 2003 che come è noto tende a spostare il contributo comunitario all'agricoltura dal prodotto al produttore e a rafforzare lo sviluppo rurale e migliorare la competitività dell'agricoltura europea.

Nell'ambito della riforma Fischler ed in particolare del Reg. CE 1782/2003, del Consiglio del 29 settembre 2003, che stabilisce norme comuni relative ai regimi di sostegno diretto nell'ambito della politica agricola comune ed istituisce taluni regimi di sostegno agli agricoltori, noto anche come regolamento orizzontale, viene dedicato un ampio spazio all'integrazione dell'ambiente all'interno della politica di intervento a sostegno del settore agricolo. Ciò viene realizzato attraverso un collegamento tra l'acquisizione del diritto a beneficiare dell'aiuto erogato sotto forma di pagamento unico, all'interno del quale confluiscono molti dei preesistenti regimi di pagamento diretto garantiti agli agricoltori, rispettando i criteri di gestione obbligatori e mantenendo le superfici agricole in buone condizioni agronomiche ed ambientali.

Un forte impulso allo sviluppo delle produzioni agroenergetiche è avvenuto propriamente con il Reg. CE 1782/2003 che concede il sostegno al reddito svincolato dalla produzione agricola; nel dettaglio, la normativa, da un lato, consente il mantenimento del regime di deroga alla coltivazione di colture energetiche sui terreni sottoposti al regime del *set-aside* obbligatorio, dall'altro offre la possibilità ai produttori agricoli, in virtù di quanto previsto dal Titolo IV "Altri regimi di aiuto", Capitolo 5 (artt. 88-92) dello stesso regolamento orizzontale, di adeguare le loro produzioni alle esigenze del mercato energetico, essendo queste equiparate alle attività connesse, e beneficiare di un "aiuto per le colture energetiche" nella misura di 45 euro/ha, purché non si superi a livello comunitario la Superficie Massima Garantita (SMG) di 1.500.000 di ettari, soglia che è stata innalzata a 2 milioni di ettari a seguito

dell'estensione del regime di aiuti anche ai nuovi 10 Paesi membri con il conseguente incremento della disponibilità di spesa.

I due regimi di sostegno previsti per le colture energetiche sono da considerarsi alternativi e pertanto i relativi aiuti non sono cumulabili.

Al fine di poter usufruire dell'aiuto, gli agricoltori devono dimostrare di aver sottoscritto un contratto con l'industria di trasformazione, per l'intera produzione realizzata sulle superfici per le quali si chiede l'aiuto, salvo i casi in cui la trasformazione stessa sia effettuata dall'agricoltore all'interno della propria azienda agricola.

La nuova filosofia comunitaria incardinata sulla multifunzionalità e sulla condizionalità dell'azienda agricola, assume come contributo integrante dello sviluppo rurale, l'espletamento da parte degli operatori del settore primario di compiti, funzioni ed altre attività sinergiche alle attività agricole, organizzate in modelli di integrazione verticale tra le filiere agroenergetiche ed orizzontale tra aziende appartenenti ad una stessa area produttiva (Rosa, 2007).

Misure di sostegno a favore delle agroenergie si trovano anche all'interno della politica di sviluppo rurale e della specifica regolamentazione applicativa (Reg. CE 1698/2005).

L'attuazione della politica di sviluppo rurale avviene attraverso degli specifici programmi attuati a livello di singoli Stati membri che eseguono la strategia di sviluppo rurale attraverso una serie di misure. Il raggiungimento degli obiettivi può avvenire attraverso la presentazione di un unico programma per l'intero territorio oppure di specifici programmi regionali.

In tale contesto l'Italia, potendo scegliere, ha optato per la seconda soluzione presentando 21 Programmi di Sviluppo Rurale (16 PSR Competitività e 5 PSR Convergenza) e un Programma nazionale di coordinamento "Rete rurale".

La Regione Sicilia con Decisione della Commissione europea C(2008) 735 del 18/02/2008 ha avuto approvato il *Programma di Sviluppo Rurale della Regione Sicilia 2007-2013* che si pone di "perseguire, attraverso un equilibrato

uso delle risorse, l'obiettivo di migliorare la competitività e l'attrattività delle zone rurali della Sicilia come luogo in cui investire, lavorare, creare nuovi e migliori posti di lavoro nonché vivere con uguali opportunità rispetto ad altre zone" (Regione Siciliana, 2008a).

Il Programma risulta essere molto articolato e ricco di misure volte ad aumentare la competitività delle imprese, a tutelare il territorio salvaguardando l'ambiente, alla diversificazione delle attività nel contesto rurale che per le agroenergie concorrono tutte all'obiettivo di accrescere l'incidenza delle fonti energetiche rinnovabili rispetto a quelle tradizionali, ottimizzando non solo il sistema produttivo e distributivo, ma intervenendo al contempo anche sulla politica della domanda, attraverso azioni di comunicazione per informare ed orientare il consumatore verso temi relativi alla sostenibilità ambientale (Regione Siciliana, 2008a).

Diverse sono le misure volte a migliorare l'efficienza energetica attraverso investimenti per il risparmio energetico e la produzione di energia da fonti rinnovabili, ad accrescere il valore economico delle foreste attraverso la realizzazione di piccole centrali elettriche alimentate con biomasse legnose di provenienza aziendale, a realizzare imboschimenti sia di superfici agricole che non destinati alla produzione di materiale legnoso, a ciclo medio lungo e con latifoglie a ciclo breve, a realizzare impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili, a creare filiere per la produzione e la vendita di energia da fonti rinnovabili, mentre quelle che tendono a sviluppare specificatamente le produzioni agroenergetiche sono la misura 121 "Ammodernamento delle aziende agricole" e la misura 214 "Pagamenti agroambientali", azione 214/1C "Adozione di avvicendamenti colturali per il miglioramento della struttura del suolo". Con la misura 121 vengono sostenute nuove piantagioni arboree a ciclo breve (*short rotation*), con esclusione, quindi, delle colture poliennali erbacee per la produzione di biomasse a finalità energetiche, con un'intensità di aiuto sui costi di investimento pari al 50% dell'investimento ammissibile nelle zone

montane, in quelle caratterizzate da svantaggi naturali ed in quelle ricadenti nei territori *Natura 2000* e di cui alla Direttiva 2000/60/CE, ovvero al 40% per aziende ubicati in altri territori.

L'azione 214/1C, al contrario, si prefigge di tutelare la risorsa suolo attraverso l'adozione di un avvicendamento triennale che contempli la presenza di una coltura da rinnovo e di una coltura miglioratrice con effetti positivi sulla fertilità complessiva del suolo e conseguente contrasto del declino della sostanza organica e dei fenomeni di erosione e di desertificazione nelle aree sensibili; inoltre, contribuisce alla riduzione delle emissioni di gas serra a seguito dell'introduzione di rotazioni colturali triennali (miglioratrice, cereale, rinnovo)¹¹ che inducono ad un minore impiego di fertilizzanti azotati (causa di emissioni di protossido di azoto) ed aumento di produzione di biomassa.

Per poter beneficiare dell'aiuto gli agricoltori si devono impegnare ad attuare nel seminativo tale avvicendamento a fronte di un premio annuo per ettaro di superficie dell'ordine di 100 euro, intervento che non può essere cumulato con gli aiuti previsti dall'art. 69 del Reg. CE 1782/2003 per i seminativi e con gli aiuti riguardanti le colture energetiche erogati ai sensi dell'art. 88 dello stesso regolamento.

3. IL RUOLO DELLE BIOMASSE COME FONTE RINNOVABILE

Negli ultimi decenni la programmazione per l'approvvigionamento energetico ha evidenziato tendenze contraddittorie. Nonostante il ripetuto palesarsi degli effetti inquinanti e della prospettata esauribilità dei combustibili di origine fossile, l'attuale modello di sviluppo predominante si caratterizza per l'uso indiscriminato di queste risorse, instaurando rapporti di dipendenza determinati dalla "inevitabile importazione di energia" necessaria per soddisfare il consumo interno della maggior parte dei Paesi industrializzati. Solo in tempi recenti si è assistito a importati cambiamenti nelle politiche nazionali e internazionali, che hanno accolto la necessità di diffondere e ottimizzare l'uso delle fonti rinnovabili, anche attraverso un più razionale utilizzo delle risorse locali.

A partire dai primi anni novanta, sia sul piano della ricerca che sul piano politico, si è registrato un crescente interesse verso le cosiddette *new crops* (colture alternative) e a questo cambiamento di indirizzo a livello comunitario ha sicuramente contribuito anche l'esigenza di contenere le eccedenze alimentari determinatesi a seguito di una politica prevalentemente orientata alla produzione e l'urgenza di garantire sul piano ambientale pratiche ecologicamente più rispettose, così come dichiarato dalla Riforma PAC del 1992 (Commissione Europea, 1996). I processi decisionali in campo politico, economico e sociale hanno così iniziato a perseguire obiettivi comuni volti alla diversificazione degli assetti produttivi agroforestali convenzionali e alla definizione di nuovi modelli di sviluppo dei territori agricoli; al tempo stesso hanno preso avvio attività di ricerca applicate alle filiere *no-food*.

Nel corso dell'ultimo decennio si è comunque sempre più consolidata una visione multifunzionale dell'agricoltura, formalmente riconosciuta come tale in occasione della Conferenza di Cork (1996) e in seguito accolta da Agenda 2000 (1999); tale multifunzionalità si manifesta tra l'altro attraverso:

- la conservazione di pratiche atte a tutelare il paesaggio rurale e a mantenere le sistemazioni idraulico-agrarie, anche in territori predisposti a fenomeni di marginalizzazione;
- la conversione verso modelli colturali a basso input, per l'adozione di metodi colturali integrati e biologici, ma anche grazie a orientamenti produttivi meno chimicizzati per la rusticità e per l'adattabilità delle specie;
- produzioni con finalità non alimentari che permettono di derivare materie prime a sostituzione dei prodotti di sintesi e l'utilizzazione a tali fini dei sottoprodotti colturali e agroindustriali.

Le colture energetiche giocano dunque, o possono giocare, un ruolo strategico di particolare rilievo nelle attuali politiche agricole, anche alla luce del fatto che le traiettorie di sviluppo da esse derivabili rappresentano una possibile alternativa alle produzioni agricole alimentari, per le quali sono prevedibili a breve situazioni assai complesse sul piano della competitività economica, soprattutto a causa dell'allargamento dei mercati e di una prevedibile minore protezione delle produzioni comunitarie. Considerazioni, queste, che naturalmente non possono prescindere dalla necessità di garantire nel lungo periodo uno sviluppo compatibile anche sul piano ambientale. Da questo punto di vista le colture energetiche rappresentano una valida opportunità, soprattutto se inserite in una gestione ottimizzata delle risorse a livello territoriale (resa tra l'altro possibile dall'acquisizione di dati in grado di caratterizzare i diversi comprensori sul piano sia agropedologico che socioeconomico), non disgiunta dall'individuazione di opportuni criteri di sostenibilità del costruendo processo produttivo.

Le colture da energia rispondono, infatti, sia a istanze di natura ambientale, in quanto fonti rinnovabili, sia a istanze di natura socioeconomica, in quanto possono contribuire a un equilibrato sviluppo dei territori rurali:

- 1) rappresentando una fonte di reddito aggiuntiva a quello tradizionalmente derivante dall'attività agroforestale;
- 2) contenendo i processi di abbandono delle aree meno competitive, in termini di qualità e quantità, per le produzioni convenzionali;
- 3) rendendo disponibile una fonte energetica alternativa a beneficio dell'intera società, meno dipendente dai prodotti di origine fossile;
- 4) inserendosi in una più razionale gestione dello spazio rurale con potenziali effetti positivi sul piano paesaggistico e sulla salvaguardia della flora e fauna selvatica per l'utilizzo di pratiche colturali meno intensive.

La diffusione delle colture da biomassa, infine, ha recentemente trovato un ulteriore credibile incentivo nell'evoluzione tecnologica che ha reso possibili opzioni un tempo improponibili per le diverse fasi della filiera bioenergetica.

4. DEFINIZIONE DI BIOMASSA

“Biomassa” è un termine che riunisce una grande quantità di materiali, di natura estremamente eterogenea. In forma generale, si definisce biomassa tutto ciò che possiede matrice organica e che deriva da processo di organicazione fotosintetica della CO₂, con esclusione delle plastiche e dei materiali fossili (*Foti e Cosentino, 2001*).

La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili, ovvero trasformati in altre sostanze (solide, liquide o gassose) di più facile utilizzo, negli impianti di conversione. Altre forme di biomassa possono, inoltre, essere costituite dai residui delle coltivazioni destinate all'alimentazione umana o animale (paglia), o piante espressamente coltivate per scopi energetici. Le più importanti tipologie di biomassa sono residui forestali, scarti dell'industria di trasformazione del legno (trucioli, segatura, ecc.), scarti delle aziende zootecniche, scarti mercatali e rifiuti solidi urbani (*Foti e Cosentino, 2001*). La biomassa è ampiamente disponibile ovunque e rappresenta una risorsa locale, pulita e rinnovabile.

Fra le fonti rinnovabili, le biomasse rappresentano una delle soluzioni più interessanti nella ricerca di nuove risorse energetiche rinnovabili, nel breve-medio periodo, per almeno tre ragioni:

- possibilità di produrre energia con investimenti relativamente modesti;
- costituire un'alternativa alle colture tradizionali non in grado di reggere la concorrenza di un mercato ormai globalizzato;
- immagazzinare quantità rilevanti di carbonio nel suolo (e quindi usufruire dei *certificati verdi*, cioè bonus economici scaturiti dal Protocollo di Kyoto).

4.1 Classificazione delle colture da biomassa

Le specie utilizzabili per la produzione di biomassa devono avere come principale valenza agronomica un elevato tasso di crescita, non essendo richieste altre particolari caratteristiche qualitative del prodotto. E' consigliabile orientarsi negli ambienti mediterranei verso quelle specie che manifestino particolare adattabilità e tollerabilità alle varie situazioni sia pedoclimatiche che biologiche (resistenza ai vari infestanti, parassiti, agenti patogeni) che possono ridurre l'efficienza produttiva. Per questo motivo si ritiene che specie autoctone possano garantire meglio di altre i risultati attesi.

Le colture da biomassa vengono convenzionalmente divise in tre filiere:

- quella ligno-cellulosica, di cui fanno parte le colture da biomassa e i residui delle coltivazioni;
- la filiera delle colture da biocombustibili che si suddivide in colture oleaginose, come colza e girasole, e colture zuccherine, come la canna da zucchero;
- infine il biogas, che si ottiene dalla fermentazione dei residui di origine animale o delle sostanze organiche, presenti nelle tonnellate di immondizia ammassate all'interno delle discariche (Iaboni e De Stefanis, 2003).

Le biomasse idonee alla trasformazione energetica, sia che essa avvenga utilizzando direttamente la biomassa o previa trasformazione della stessa in un combustibile solido, liquido o gassoso, possono essere inoltre suddivise per comparto di provenienza nei seguenti settori:

- Comparto forestale e agroforestale: residui delle operazioni selvicolturali o delle attività agroforestale, utilizzazione di boschi cedui, ecc.;
- Comparto agricolo: residui colturali provenienti dall'attività agricola e dalle colture dedicate di specie lignocellulosiche,

- piante oleaginose (per l'estrazione di oli e la loro trasformazione in biodiesel), piante alcoligene (per la produzione di bioetanolo);
- Comparto zootecnico: reflui zootecnici per la produzione di biogas;
 - Comparto industriale: residui provenienti dalle industrie del legno o dei prodotti in legno e dell'industria della carta, nonché residui dell'industria agroalimentare;
 - Rifiuti urbani: residui delle operazioni di manutenzione del verde pubblico e frazione umida di rifiuti solidi urbani.

4.2 Componenti chimiche delle Biomasse

Le biomasse vegetali sono costituite da composti ad alto peso molecolare, quali la cellulosa, l'emicellulosa, la lignina e da altre sostanze, relativamente più semplici, come gli estrattivi di natura organica ed inorganica (ceneri). Le loro quantità relative variano a seconda della specie e dell'età della pianta.

4.2.1 Cellulosa

La cellulosa è il maggiore costituente della biomassa ligno-cellulosica (30-60% in peso). L'instaurarsi di legami ad idrogeno tra le catene determina la formazione di domini cristallini che impartiscono resistenza ed elasticità alle fibre vegetali (fig. 4.1). In natura si trova allo stato puro solo nelle piante annuali come cotone e lino, mentre nelle piante legnose è sempre accompagnata da emicellulosa e lignina.

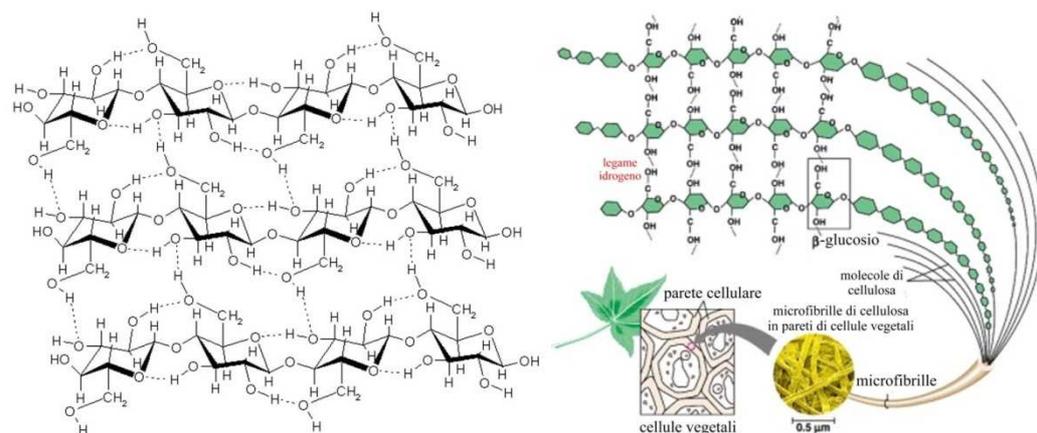


Fig. 4.1 – Fibre di cellulosa e singole molecole.

4.2.2 Emicellulosa

L'emicellulosa costituisce il 10-40% della biomassa ligno-cellulosica, si presenta come un polimero misto, relativamente corto (da 10 a 200 molecole) e ramificato, formato sia da zuccheri a sei atomi di carbonio (glucosio, mannosio, galattosio) sia da zuccheri a cinque atomi di carbonio (xilosio e arabinosio). Alla presenza dell'emicellulosa si devono alcune importanti proprietà delle fibre, la principale delle quali è quella di favorire l'imbibizione delle stesse, quando è presente l'acqua, che ne provoca il rigonfiamento. L'emicellulosa presenta proprietà adesive, pertanto tende a cementare o a diventare di consistenza cornea con la conseguenza che le fibre diventano rigide e si imbibiscono più lentamente.

4.2.3 Lignina

La lignina, è uno dei costituenti principali dei vegetali poiché ne rappresenta il 10-30% della massa, in dipendenza della specie. La sua principale funzione consiste nel legare e cementare tra loro le varie fibre per conferire compattezza e resistenza alla pianta, costituisce inoltre, una protezione contro insetti, agenti patogeni, lesioni e luce ultravioletta.

Viene utilizzata principalmente come combustibile, ma attualmente trova largo impiego nell'industria come disperdente, indurente, emulsionante, per laminati plastici, cartoni e manufatti in gomma. Inoltre può essere trattata chimicamente per produrre composti aromatici, tipo vanillina, siringaldeide, β -idrossibenzaldeide, che possono essere usati nella chimica farmaceutica, nell'industria cosmetica e alimentare.

4.2.4 Ceneri

Per ceneri si intende il materiale inorganico che rimane dopo la combustione del campione in condizioni standard.

La presenza della ceneri incide sulla frazione combustibile della biomassa:

- minore potere calorifico;
- maggiore quantità di materiale solido da smaltire (costi);
- formazione ed emissione di incombusti, ossia di materiale particellare nei gas di combustione;
- fenomeni di erosione, corrosione e incrostazione degli impianti (Cl e sostanze alcaline).

4.3 Le “colture dedicate”

Le materie prime fornite dall'agricoltura per produrre energia possono essere residui di coltivazioni destinate ad altri usi, o colture energetiche “dedicate” (energy crops), ossia appositamente coltivate e completamente destinate alla produzione di energia. Secondo quanto implicitamente contenuto nella loro definizione, per colture “dedicate” alla produzione di energia si intendono tutte quelle specie erbacee e/o arboree che presentano proprietà genetiche, comportamenti fisiologici, esigenze colturali e caratteristiche produttive tali da renderle idonee alla produzione di biomassa, utilizzabile nei diversi processi tecnologici di conversione energetica. Le “colture dedicate” possono contribuire a diversificare le scelte degli agricoltori ed incrementare la biodiversità funzionale degli agroecosistemi.

Le colture dedicate possono essere di diverso tipo:

- specie coltivate o presenti allo stato spontaneo in altri areali;
- specie spontanee presenti nell'areale ma finora mai coltivate ;
- specie coltivate per altre destinazioni.

Comune denominatore è, per tutte, l'adozione di sistemi di coltivazione a ridotto impiego di mezzi tecnici. Le colture da energia rispondono anche ad istanze di natura socioeconomica, in quanto possono contribuire a un equilibrato sviluppo dei territori rurali:

- rappresentando una fonte di reddito aggiuntiva a quello tradizionalmente derivante dall'attività agroforestale;
 - contenendo i processi di abbandono delle aree meno competitive, in termini di qualità e quantità, per le produzioni convenzionali;
 - rendendo disponibile una fonte energetica alternativa a beneficio dell'intera società, meno dipendente dai prodotti di origine fossile;
- inserendosi in una più razionale gestione dello spazio rurale con potenziali effetti positivi sul piano paesaggistico e sulla salvaguardia della flora e fauna selvatica per l'utilizzo di pratiche colturali meno intensive.

Le colture dedicate, si suddividono in (Fig. 4.2):

- 1) Arboree da energia (Short Rotation Forestry): ossia piante arboree a rapido accrescimento che, impiantate con un elevato grado di fittezza e gestite con idonee tecniche colturali, vengono ceduate e raccolte con turni di taglio assai più frequenti rispetto alle più tradizionali utilizzazioni del prodotto legnoso. Dalle esperienze condotte finora in Italia, risultano come specie particolarmente adatte il pioppo, il salice, la robinia, pur manifestando differenti capacità di adattamento alle condizioni agropedoclimatiche, soprattutto in termini di disponibilità idriche, e l'eucalipto, che si è talvolta caratterizzato per una maggiore sensibilità alle basse temperature invernali e ai ritorni di freddo primaverili.
- 2) Erbacee da energia: Colture erbacee poliennali o annuali, tra cui sono identificabili come specie particolarmente adatte alle nostre realtà regionali il miscanto e la canna comune e il sorgo da fibra. Presentano buone potenzialità anche il cardo (soprattutto nelle aree centromeridionali o dove la disponibilità idrica è limitata) e alcune graminacee che recentemente stanno riscuotendo particolare interesse a livello internazionale (ad esempio, *Panicum* spp., *Phalaris* spp.) (fig. 4.3).
- 3) Oleifere da energia : dall'esterificazione di oli vegetali di colza, girasole e soia si ottiene il biodiesel, con proprietà e prestazioni simili a quelle del gasolio minerale. Il biodiesel si caratterizza per l'assenza di zolfo e di composti aromatici, il contenimento del particolato fine (Pm10) e la capacità di contribuire alla riduzione dell'effetto serra. Le colture più facilmente adattabili agli ambienti pedoclimatici italiani sono rappresentate dal girasole e dalla colza, per i quali sono già stati messi a

punto indirizzi di scelta varietale e di tecnica colturale a basso impatto ambientale e a basso costo (fig.4.4).

4) Colture da carboidrati: dalle colture zuccherine si produce, per fermentazione dei carboidrati, il bioetanolo che viene addizionato alle benzine, previa trasformazione in etil-tertiobutiletere. Tra le specie impiegabili, quelle più sperimentate e diffuse sono la canna da zucchero, il frumento, il sorgo e il mais (ma altre colture di un certo interesse possono essere rappresentate anche dalla barbabietola da zucchero e dal topinambur) (fig.4.5).

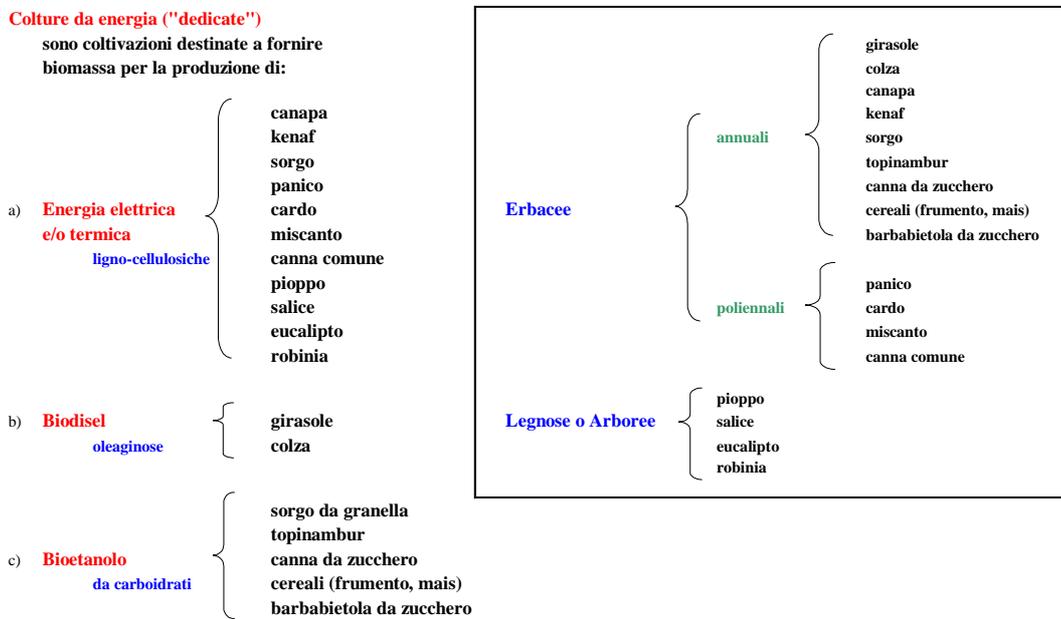


Fig. 4.2 – Schema di classificazione delle principali colture “dedicate” per la produzione di energia.

Colture ligno-cellulosiche

erbacee
annuali



poliennali



legnose



Fig.4.3– Immagini rappresentative di colture ligno-cellulosiche.

Colture oleaginose

erbacee
annuali



Fig. 4.4– Immagini rappresentative di colture oleaginose.

Colture da carboidrati
erbacee
annuali



Fig. 4.5 – Immagini rappresentative di colture da carboidrati.

5. FILIERE AGROENERGETICHE

Il termine filiera, indica l'insieme delle azioni che collegano la fase di produzione delle biomasse a quelle di trasporto, trasformazione ed utilizzo.

Si parla di **filiera corta** quando “biomassa e biogas sono prodotti entro il raggio di 70 km dall'impianto di produzione dell'energia elettrica. La lunghezza del predetto raggio è misurata come la distanza in linea d'aria che intercorre tra l'impianto di produzione dell'energia elettrica e i confini amministrativi del Comune in cui ricade il luogo di produzione della biomassa stessa come individuato da un'ulteriore tabella allegata al decreto” artt. 9 e 10 del Dlgs n.102/2005”. In questo caso un unico imprenditore controlla tutte le fasi del processo, ha la garanzia e la disponibilità delle biomasse e può ottimizzarne il valore aggiunto.

La filiera corta si contraddistingue per le seguenti caratteristiche:

- numero ridotto di intermediari che partecipano alla ripartizione della marginalità globale prodotta;
- è l'agricoltore a governare, ed è coinvolto in tutte le fasi della filiera, da quella iniziale quella finale;
- si realizza l'equilibrio tra domanda ed offerta;
- l'approvvigionamento delle biomasse non richiede grandi spostamenti;
- l'imprenditore agricolo (*singolo o associato*) produce le colture energetiche, le destina ad una propria piattaforma energetica ed utilizza/colloca sul mercato (*autoconsumo/vendita*) l'energia prodotta;
- il reddito generato è in capo all'imprenditore agricolo e rientra nel mix dei redditi delle colture destinate al mercato del food;

L'agricoltore dunque da **utente a produttore di energia da fonti rinnovabili**.
In base al D.L.2/2006 le differenti forme di energia rinnovabile prodotte in ambito agricolo sono riconosciute “prodotto agricolo” e come tale possono

contribuire alla formazione della PLV aziendale con lo stesso trattamento fiscale delle produzioni destinate al food.

Occorre comunque precisare che all'agricoltore non convenga produrre soltanto energia, come avviene invece nella filiera lunga.

Si parla di **filiera lunga** se si usa materia prima vegetale prodotta a una distanza superiore ad esempio, l'olio di palma. Un esempio di filiera lunghissima è quella di una centrale termoelettrica da 20 MWe di un'industria metallurgica Italiana che importa cippato dal Brasile o dal Canada. In questo caso produttore e consumatore non sono direttamente connessi, possono avere logiche commerciali diverse, può esserci una limitata garanzia sia per il produttore agricolo che per il consumatore italiano, infatti in un mercato molto poco trasparente risulta difficile reperire un altro fornitore o un altro cliente.

Nella filiera lunga, l'agricoltore s'impegna contrattualmente per un periodo normalmente lungo con il Soggetto Economico che esercita l'attività di produzione e vendita di energia. Il profitto si concentra nella fase terminale senza alcuna ricaduta sul bilancio dell'agricoltore.

Esiste poi la **filiera integrata** dove l'agricoltore opera come nella filiera lunga, ma partecipa al profitto generato nella fase terminale della filiera.

I nuovi orientamenti prevedono una produzione bioenergetica su filiera locale in comprensori agricoli di varie dimensioni (associazioni di aziende, cooperative, consorzi ecc.) nella quale il sistema agricolo si trovi a svolgere un ruolo non solo di produttore di biomassa, ma anche di primo trasformatore (es. disoleazione) e, conseguentemente, di produttore e primo utilizzatore dell'energia ricavata. Inoltre, considerata la minore potenzialità produttiva rispetto ad altri paesi Europei, è fondamentale (sia dal punto di vista economico che ambientale) prevedere l'uso di colture ad utilizzazione integrale delle produzioni nel settore non alimentare e che consentano una buona sinergia con le colture alimentari che sono e dovranno ovviamente rimanere la fonte primaria di reddito per l'impresa agricola nazionale.

Questi aspetti hanno assunto un'importanza strategica in seguito all'approvazione della recente Direttiva Comunitaria RES (Dir 2009/28/ CE) che, per la prima volta, ha inserito il concetto di sostenibilità per le colture energetiche in termini di bilanci non solo energetici, ma soprattutto ambientali, come criterio di valutazione delle filiere agro energetiche ed in particolare delle colture oleaginose.

Tenere distinte le possibili filiere risulta indispensabile, giacché ciascuna di esse possiede caratteristiche proprie che la rendono sostenibile o meno in un determinato contesto agricolo, economico e sociale.

Le filiere possibili sono:

- colture oleaginose (colza, soia, girasole, ecc.) per la produzione di oli e biodiesel;
- biomasse e colture zuccherine (barbabietola, mais, sorgo zuccherino, melasse, ecc.) per la produzione di bioetanolo e derivati;
- effluenti zootecnici e materiale vegetale di diversa natura ed origine per produrre biogas;
- biomasse lignocellulosiche per la produzione di energia termica e/o elettrica.

A prescindere dalla filiera ipotizzata, le biomasse impiegabili si possono in generale dividere in materie prime (colture dedicate arboree ed erbacee) e materiale residuale proveniente dal comparto agro-forestale (paglie e stocchi dei cereali, potature di vigneti, oliveti, frutteti, verde urbano, prodotti dell'attività silvicolturale) ma anche da quello industriale (industria del legno, agroalimentare e industria della carta).

Delle filiere agroenergetiche si sono occupati diversi documenti comunitari: (Libro Verde dell'UE, Piano d'Azione per la biomassa, direttiva 01/77/CE per la promozione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili, recepita in Italia nel 2004, direttiva 03/30/CE per la promozione dell'uso dei biocarburanti da trazione e la direttiva 03/96 relativo alla tassazione dei prodotti energetici e

dell'elettricità recepite in Italia dalla legge 06/81, Comunicazione CE 2006 “Strategia della UE per i biocarburanti”).

Le recenti decisioni del Consiglio Europeo sul tema delle energie rinnovabili hanno aperto importanti prospettive di sviluppo in relazione agli obiettivi molto ambiziosi da raggiungere entro il 2020. Tuttavia, l'esigenza di realizzare sistemi produttivi sostenibili comporta la necessità di definire per la realtà Italiana un nuovo modello di sviluppo che tenga conto delle modeste superfici da commodities e dei costi di produzione nettamente superiori rispetto ad altre realtà comunitarie ed extracomunitarie.

La necessità di definire, per le diverse filiere agro-energetiche da colture dedicate, dei parametri riferiti alla sostenibilità ambientale della filiera, è divenuto un obiettivo primario da perseguire nel breve periodo. Il ricorso a tecniche a ridotti input e la scelta di nuove colture, in funzione dell'areale di coltivazione e dell'utilizzazione integrale delle produzioni sono alcuni degli obiettivi fondamentali per definire filiere virtuose da un punto di vista economico ed ambientale.

Quindi all'interno di questi tre grandi raggruppamenti delle filiere (corta, lunga ed integrata) esistono varie filiere caratterizzate dal tipo di combustibile (solido, liquido, gassoso) o dalle modalità di impiego e che talvolta sono in concorrenza tra loro.

Essendo questo un settore in forte evoluzione, le diverse filiere sembrano essere scoperte una dopo l'altra con picchi di interesse che spesso volte sotto lo stimolo degli incentivi non tengono conto dei vincoli esistenti.

Tema fondamentale per la creazione di filiere agro-energetiche in Italia è la disponibilità di biomasse. Fattori critici per la creazione di filiere in Italia sono:

- la grande diversità nella tipologia di biomassa;
- sviluppo di infrastrutture e tecnologie;

- la potenziale produttività va condivisa con altri settori (agricolo, industria della carta, delle costruzioni e dei mobili).

Non bisogna dimenticare inoltre come in questo mercato sono presenti oltre ad operatori di paesi industrializzati che gestiscono le produzioni in modo corretto e sostenibile, operatori di aree tropicali che forniscono materiale proveniente da foreste naturali.

Uno dei fattori limitanti la costituzione di una filiera italiana è certamente il prezzo, il quale risulta correlato oltre che al costo di produzione anche al valore del combustibile sostituito (Fig. 6). Infatti, i grandi impianti di generazione elettrica si approvvigionano sul mercato internazionale con costi che dipendono dalla logistica del sito e che tramite il trasporto su grandi navi ha costi di molto inferiori a quelli del mercato nazionale.

I meccanismi di incentivazione delle biomasse sono numerosi: se si produce elettricità si accede ai certificati verdi, se si produce calore si accede ai certificati bianchi o titoli di efficienza energetica, se si produce un combustibile per il trasporto si può accedere ad una defiscalizzazione parziale delle accise, se si effettua un servizio energia si può applicare un'aliquota IVA del 10%, gli investimenti sugli impianti danno diritto ad un credito d'imposta del 36% ed infine la produzione di energia all'interno di aziende agricole, con materia di propria produzione è considerata come attività agricola e quindi non costituisce reddito a fini fiscali. Tali incentivi hanno un forte potere sulle scelte e spesso non sono coerenti per entità e regole. Attualmente il loro intento è quello di far decollare le tecnologie; superata questa fase tale sistema deve essere rivisto per controllare alcune distorsioni. Infatti, il mondo politico nazionale e comunitario hanno spinto sulla produzione di elettricità, il quale richiede la creazione di grossi impianti i quali si reggono con i grossi incentivi; per contro il prodotto nazionale non è competitivo con quello importato. La filiera lunga, infatti, spesse volte sorge a valle degli incentivi, massimizza l'uso degli stessi e quando questi finiranno probabilmente chiuderanno. Questa

situazione di privilegio e di grandi investimenti, privilegia la presenza di una lobby non presente nella filiera corta.

Fig. 6 – Confronto tra valore energetico e prezzo di diversi combustibili

	MWh	Prezzo €	Prezzo €/MWh	Rapporto
<i>t cippato (30%)</i>	<i>3,4</i>	<i>72,6</i>	<i>21,35</i>	<i>1,00</i>
<i>t cippato (40%)</i>	<i>2,81</i>	<i>60</i>	<i>21,35</i>	<i>1,00</i>
<i>t legna (25%)</i>	<i>3,69</i>	<i>130</i>	<i>35,23</i>	<i>1,65</i>
<i>t pellet (8%) sfuso</i>	<i>4,7</i>	<i>200</i>	<i>42,55</i>	<i>1,99</i>
<i>t Pellet (8%) sacchi 15 Kg</i>	<i>4,7</i>	<i>300</i>	<i>63,83</i>	<i>2,99</i>
<i>100 mc metano servito</i>	<i>1</i>	<i>62</i>	<i>62</i>	<i>2,90</i>
<i>1 t gasolio agricolo</i>	<i>10,7</i>	<i>644</i>	<i>60,14</i>	<i>2,82</i>
<i>1 t gasolio da riscaldamento</i>	<i>10,7</i>	<i>1350</i>	<i>125</i>	<i>5,85</i>
<i>1000 l GPL (bombola proprietà)</i>	<i>6,39</i>	<i>896</i>	<i>140,24</i>	<i>6,57</i>
<i>1000 l GPL (bombola comodato)</i>	<i>6,39</i>	<i>834</i>	<i>130,42</i>	<i>6,11</i>

5.1 I processi di trasformazione

La biomassa è considerata un'energia rinnovabile in quanto, anche se viene combusta per produrre energia ha origine dalla fotosintesi clorofilliana di H₂O e CO₂ che dà luogo a carboidrati vegetali. Questi carboidrati quando vengono usati come combustibili producono nuovamente CO₂ che può rinnovare così il ciclo della fotosintesi.

Le biomasse possono essere convertite in combustibili solidi, liquidi o gassosi mediante tecnologie di conversione ampiamente collaudate ed altre in fase di sperimentazione molto avanzata. Questo vettore energetico può trovare impiego in un vasto campo di applicazioni energetiche, dalla produzione di energia elettrica, termica (riscaldamento, raffreddamento, essiccazione) o elettrica e termica insieme in cogenerazione alla produzione di combustibili per i mezzi di trasporto.

L'energia contenuta nelle biomasse vegetali può essere convertita adottando processi:

- termochimici
- biologici
- fisici

Il risultato finale ad eccezione della combustione diretta è un prodotto ad alta densità energetica utilizzabile con maggiore facilità e flessibilità in successivi processi di conversione energetica.

I processi di conversione biologica permettono di ricavare energia per reazione chimica dovuta al contributo di enzimi, funghi e micro-organismi, che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni, e vengono impiegati per quelle biomasse in cui il rapporto C/N sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%. Risultano idonei alla conversione biochimica le colture acquatiche, alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, ortive, patata, ecc.), i reflui zootecnici e alcuni scarti di lavorazione (borlande,

acqua di vegetazione, ecc.), nonché la biomassa eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate.

I processi di conversione termochimica sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia e sono utilizzabili per i prodotti ed i residui cellulosici e legnosi in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%. Le biomasse più adatte a subire processi di conversione termochimica sono la legna e tutti i suoi derivati (segatura, trucioli, ecc.), i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, ecc.) e taluni scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc.).

5.2.1 Trattamenti per un uso diretto nella produzione di energia

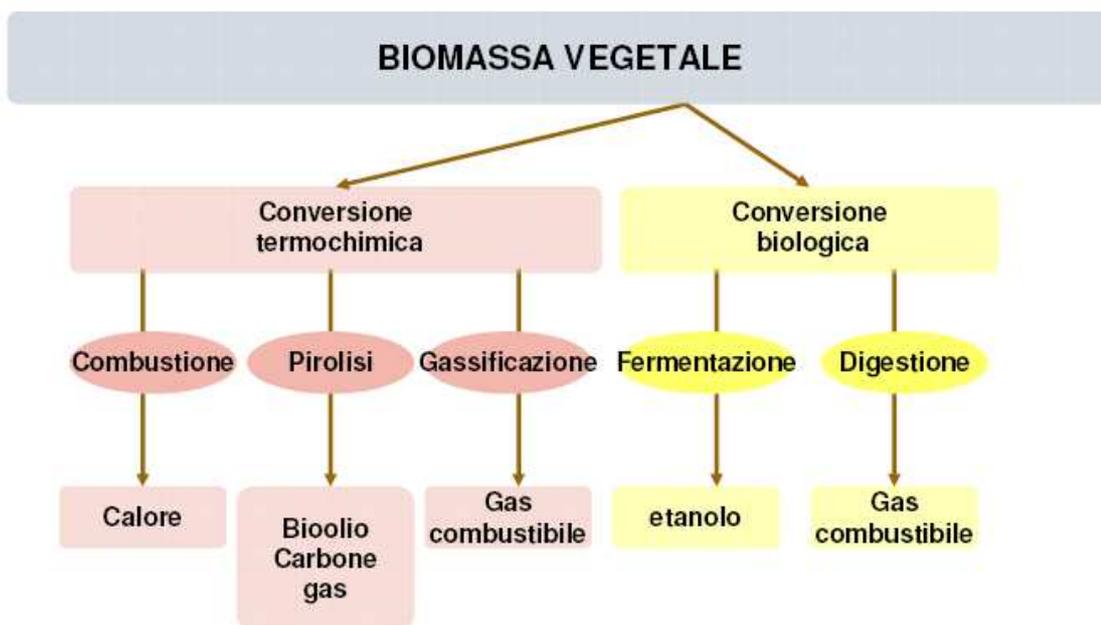
Con semplici pre-trattamenti o trattamenti (per lo più meccanici), alcune biomasse, in particolar modo quelle ligno-cellulosiche, possono essere trasformate direttamente in biocombustibili, pronti per i processi di conversione termochimica:

- **essiccazione**: trattamento rivolto a diminuire il contenuto d'acqua al fine di incrementare il potere calorifico del legno. L'essiccazione può essere naturale o forzata.
- **cippatura**: consiste nella riduzione in scaglie del materiale legno. Questo processo di trasformazione avviene tramite azione meccanica di uno strumento a martelli o a coltelli. Il prodotto finale è il cippato, (biocombustibile solido legnoso);
- **pelletizzazione** (o densificazione): processo che consiste nella essiccazione di materiale legnoso seguita da una sminuzzatura in piccole scaglie, quasi polvere, e successivamente compressione in piccoli cilindri. Il prodotto è chiamato pellets o briquette (biocombustibile solido legnoso).

5.1.2 Tipologie di conversione energetica delle biomasse

Tra le varie tecnologie di conversione energetica delle biomasse alcune possono considerarsi giunte ad un livello di sviluppo tale da consentirne l'utilizzazione su scala industriale, altre necessitano invece di ulteriore sperimentazione al fine di aumentare i rendimenti e ridurre i costi di conversione energetica. Le tecnologie attualmente disponibili sono sinteticamente:

- a) combustione diretta;
- b) carbonizzazione;
- c) pirolisi;
- d) gassificazione,
- e) digestione anaerobica;
- f) digestione aerobica;
- g) fermentazione alcolica;
- h) estrazione di olii e produzione di biodiesel;
- i) steam explosion.



Dalla conversione termochimica viene ottenuto principalmente calore per mezzo di colture dedicate (sorgo, mais tra le annuali, miscanthus, arundo ecc.. tra le poliennali, pioppo, robinia tra le legnose a ciclo breve) e biomasse integrative provenienti da residui forestali, sottoprodotti organici industriali e rifiuti solidi urbani.

La conversione biologica può essere utilizzata per l'ottenimento di Biogas e bioalcol entrambe per mezzo di colture dedicate e biomasse integrative. Per il biogas le biomasse integrative possono essere rappresentate da scarti agroalimentari e liquami mentre per il bioalcol può essere rappresentato da eccedenze agricole quali sembra "paradossale" il frumento soprattutto a causa del mercato mondiale del grano che ne determina prezzi molto bassi.

Il bio-olio ed il biodiesel vengono invece ottenuti tramite conversione fisico-chimica del seme prodotto da colture dedicate (girasole, brassica, ricino ecc..) e da oli vegetali esausti.

Digestione anaerobica

La digestione anaerobica, processo di conversione di tipo biochimico, avviene in assenza di ossigeno e consiste nella demolizione, ad opera di microorganismi, di sostanze organiche complesse (lipidi, protidi, glucidi) contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, che produce un gas (biogas) costituito per il 50÷70% da metano e per la restante parte soprattutto da CO₂ ed avente un potere calorifico medio dell'ordine di 23.000 kJ Nm⁻³. Il processo di digestione anaerobica avviene in tre fasi successive a carico di diversi gruppi batterici che agiscono in serie. Nella prima fase (idrolisi) i batteri idrolitici spezzano i composti organici complessi, cioè carboidrati, proteine e grassi in sostanze più semplici. Successivamente (fase di fermentazione), tali sostanze vengono trasformate, in un primo stadio, in acidi organici mediante reazioni di acidogenesi e quindi in acetato, anidride carbonica e idrogeno attraverso processi di acetogenesi. Nell'ultima fase, quella più delicata (metanogenesi), i batteri metanigeni trasformano i prodotti formati nella fase precedente in metano (CH₄) ed anidride carbonica (CO₂), principali costituenti del biogas.

Complessivamente quindi la componente organica viene degradata liberando l'energia chimica in essa contenuta sotto forma di biogas, in misura variabile dal 30 all'85%.

Come è possibile intuire, l'esito del processo, quindi la produzione di biogas dipende dall'azione coordinata e sequenziale di tutti i gruppi microbici coinvolti. A tale scopo è indispensabile che l'ambiente di reazione sia il risultato di un compromesso tra le esigenze dei singoli gruppi coinvolti, mediante uno stretto controllo dei principali parametri di processo.

Il processo di digestione anaerobica può avvenire in tre "fasce" di temperatura e quindi in condizioni di "psicrofilia" (temperatura inferiore a 20 °C), "mesofilia" (temperatura compresa tra 20 e 40 °C) o "termofilia" (temperatura compresa tra 50 e 65 °C).

Il biogas così prodotto viene raccolto, essiccato, compresso ed immagazzinato e può essere utilizzato come combustibile per alimentare caldaie a gas per produrre calore o motori a combustione interna (adattati allo scopo a partire da motori navali a basso numero di giri) per produrre energia elettrica.

Al termine del processo di fermentazione nell'effluente (residuo della fermentazione) si conservano integri i principali elementi nutritivi (azoto, fosforo, potassio), già presenti nella materia prima, favorendo così la mineralizzazione dell'azoto organico; l'effluente risulta in tal modo un ottimo fertilizzante. Gli impianti a digestione anaerobica possono essere alimentati mediante residui ad alto contenuto di umidità, quali le deiezioni animali, i reflui civili, i rifiuti alimentari e la frazione organica dei rifiuti solidi urbani. Tuttavia, anche in discariche opportunamente attrezzate per la raccolta del biogas sviluppato, solo il 40% circa del gas generato può essere raccolto, mentre la rimanente parte viene dispersa in atmosfera: poiché il metano, di cui è in gran parte costituito il biogas, è un gas serra con un effetto circa venti volte superiore a quello della CO₂, le emissioni in atmosfera di biogas non sono desiderabili; quando invece la decomposizione dei rifiuti organici è ottenuta mediante digestione anaerobica nei digestori (chiusi) degli appositi impianti, quasi tutto il gas prodotto viene raccolto ed usato come combustibile.

Fermentazione alcolica

La fermentazione alcolica è un processo di tipo micro-aerofilo che opera la trasformazione dei glucidi contenuti nelle produzioni vegetali in etanolo. L'etanolo risulta un prodotto utilizzabile anche nei motori a combustione interna normalmente di tipo "*dual fuel*", come riconosciuto fin dall'inizio della storia automobilistica. Se, però, l'iniziale ampia disponibilità ed il basso costo degli idrocarburi avevano impedito di affermare in modo molto rapido l'uso di essi come combustibili, dopo lo shock petrolifero del 1973 sono stati studiati numerosi altri prodotti per sostituire il carburante delle

automobili (benzina e gasolio); oggi, tra questi prodotti alternativi, quello che mostra il miglior compromesso tra prezzo, disponibilità e prestazioni è proprio l'etanolo, o più probabilmente il suo derivato ETBE (Etil Tertio Butil Etere), ottenuto combinando un idrocarburo petrolifero (l'isobutene) e l'etanolo.

Digestione aerobica

Il processo di digestione aerobica consiste nella metabolizzazione delle sostanze organiche per opera di micro-organismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi batteri convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO₂ e H₂O e producendo un elevato riscaldamento del substrato, proporzionale alla loro attività metabolica. Il calore prodotto può essere così trasferito all'esterno, mediante scambiatori a fluido. In Europa viene utilizzato il processo di digestione aerobica termofila autoriscaldata (Autoheated Thermophilic Aerobic Digestion) per il trattamento delle acque di scarico. Più recentemente tale tecnologia si è diffusa anche in Canada e Stati Uniti.

Carbonizzazione

La carbonizzazione è un processo di tipo termochimico che consente la trasformazione delle molecole strutturate dei prodotti legnosi e celluloseici in carbone (carbone di legna o carbone vegetale), ottenuta mediante l'eliminazione dell'acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale, per azione del calore nelle carbonaie, all'aperto, o in storte (recipienti per la distillazione), che offrono una maggior resa in carbone.

Gassificazione

Il processo di gassificazione consiste nell'ossidazione incompleta di una sostanza in ambiente ad elevata temperatura (900÷1.000°C) per la produzione di un gas combustibile (detto gas di gasogeno) di basso potere calorifico

inferiore variabile tra i 4.000 kJ Nm^{-3} , nel caso più diffuso dei gassificatori ad aria ed i $14.000 \text{ kJ Nm}^{-3}$, nel caso dei gassificatori ad ossigeno. Valori intermedi ($10.000 \text{ kJ Nm}^{-3}$) si ottengono nel caso di gassificatori a vapor d'acqua. I problemi connessi a questa tecnologia, ancora in fase di sperimentazione, si incontrano a valle del processo di gassificazione e sono legati principalmente al suo basso potere calorifico ed alle impurità presenti nel gas (polveri, catrami e metalli pesanti). L'utilizzazione del gas di gasogeno quale vettore energetico pone alcune limitazioni legate essenzialmente ai problemi connessi con il suo immagazzinamento e trasporto, causa il basso contenuto energetico per unità di volume. Ciò fa sì che risulti eccessivamente costoso il trasporto su lunghe distanze. Tali inconvenienti possono essere superati trasformando il gas in alcool metilico (CH_3OH), che può essere agevolmente utilizzato per l'azionamento di motori. Il metanolo, caratterizzato da un potere calorifico inferiore dell'ordine di $21.000 \text{ kJ kg}^{-1}$, può essere successivamente raffinato per ottenere benzina sintetica, con potere calorifico analogo a quello delle benzine tradizionali.

I gassificatori sono comunque un sistema efficiente per sfruttare le potenzialità energetiche delle biomasse in generale in quanto impiantisticamente molto versatili, infatti, possono essere di varia tipologia e potenza, perciò si possono costruire direttamente dove servono diminuendo i costi e l'inquinamento del trasporto.

Pirolisi

La pirolisi è un processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto mediante l'applicazione di calore, a temperature comprese tra 400 e 800°C, in completa assenza di un agente ossidante, oppure con una ridottissima quantità di ossigeno (in quest'ultimo caso il processo può essere descritto come una parziale gassificazione). I prodotti della pirolisi sono sia gassosi, sia liquidi, sia solidi, in proporzioni che dipendono dai metodi di pirolisi (pirolisi veloce, lenta, o convenzionale) e dai parametri di reazione. Uno dei maggiori problemi legati alla produzione di energia basata sui prodotti della pirolisi è la qualità di detti prodotti, che non ha ancora raggiunto un livello sufficientemente adeguato con riferimento alle applicazioni, sia con turbine a gas sia con motori diesel. In prospettiva, anche con riferimento alle taglie degli impianti, i cicli combinati ad olio pirolitico appaiono i più promettenti, soprattutto in impianti di grande taglia, mentre motori a ciclo diesel, utilizzando prodotti di pirolisi, sembrano più adatti ad impianti di piccola potenzialità.

Combustione diretta

La combustione diretta viene generalmente attuata in apparecchiature (caldaie) in cui avviene anche lo scambio di calore tra i gas di combustione ed i fluidi di processo (acqua, olio diatermico, ecc.). La combustione di prodotti e residui agricoli si attua con buoni rendimenti, se si utilizzano come combustibili sostanze ricche di glucidi strutturati (cellulosa e lignina) e con contenuti di acqua inferiori al 35%.

I prodotti utilizzabili a tale scopo sono i seguenti:

- legname in tutte le sue forme;
- paglie di cereali;
- residui di raccolta di legumi secchi;
- residui di piante oleaginose (ricino, catramo, ecc.);

- residui di piante da fibra tessile (cotone, canapa, ecc.);
- residui legnosi di potatura di piante da frutto e di piante forestali;
- residui dell'industria agro-alimentare.

Le caldaie a letto fluido rappresentano la tecnologia più sofisticata e dispendiosa che sta ricevendo, però, notevoli attenzioni, infatti essa permette il conseguimento di numerosi vantaggi quali la riduzione degli inquinanti e l'elevato rendimento di combustione.

Estrazione di oli e produzione di biodiesel

Gli oli vegetali possono essere estratti dalle piante oleaginose (soia, colza, girasole, ecc.). Caratteristica comune di tutte le oleaginose è quella di essere ricche di materie proteiche che, dopo l'estrazione dell'olio, sono impiegabili nell'alimentazione animale sotto forma di panelli. Le principali piante che si trovano in Europa sono la colza e il girasole (i principali Paesi produttori europei sono, per la colza, la Germania, la Francia, la Gran Bretagna e la Danimarca; per il girasole, la Francia, la Spagna e l'Italia); la coltivazione della soia, invece, si trova principalmente in America (Stati Uniti, Brasile e Argentina). Gli oli possono essere utilizzati come combustibili nello stato in cui vengono estratti oppure dopo esterificazione, ed il loro utilizzo ha destato ormai da tempo un notevole interesse, sia per la disponibilità di tecnologie semplici di trasformazione ed utilizzazione, sia perché consentono bilanci energetici accettabili, sia, infine, per la riutilizzazione dei sottoprodotti di processo (es. la glicerina, utilizzata dall'industria farmaceutica).

Steam Explosion (SE)

Lo Steam Explosion (SE) è un trattamento innovativo, a basso impatto ambientale, mediante il quale si può ottenere una vasta gamma di prodotti utilizzando come materia prima le biomasse vegetali. Rispetto agli altri processi di pretrattamento, lo SE presenta il vantaggio fondamentale di

separare in tre differenti correnti le frazioni costituenti i comuni substrati vegetali (emicellulosa, cellulosa, lignina) rendendo possibile l'utilizzazione totale delle biomasse. Il processo consiste nell'uso di vapore saturo ad alta pressione per riscaldare rapidamente legno, o qualsiasi altro materiale lignocellulosico, in un reattore che può essere ad alimentazione continua o discontinua.

Il processo è particolarmente interessante grazie al basso consumo energetico ed al fatto che non richiede l'uso di particolari prodotti chimici.

Si basa sull'impiego di vapor d'acqua saturo ad alta pressione per scaldare rapidamente il legno o la paglia o ogni altro tipo di materiale lignocellulosico e in ultima analisi, consiste nella frammentazione dei componenti polimerici della biomassa (cellulosa, emicellulosa e lignina) mediante trattamento idrotermico al quale segue la separazione dei prodotti ottenuti mediante estrazioni acquose.

Il materiale rimane per un breve periodo in un reattore alla temperatura scelta durante la quale la frazione solubile viene idrolizzata.

Un importante vantaggio di questo processo rispetto ai classici è la possibilità di operare con reattore continuo anziché con autoclavi.

Nella SE alla destrutturazione della matrice lignocellulosica partecipano due azioni meccaniche: la compressione della biomassa e l'istantanea decompressione, realizzata passando dall'alta pressione nel reattore alle normali condizioni ambientali.

Il vapor d'acqua ad alta temperatura opera un processo d'idrolisi dei legami chimici dei polimeri della biomassa.

Dopo un tempo preselezionato (1-10 minuti) la pressione è rapidamente abbassata ed il materiale è scaricato dal reattore attraverso una "blow-valve". Le elevate forze, generate durante lo scarico violento del materiale attraverso un piccolo orifizio, contribuiscono ulteriormente allo sfibramento del materiale.

L'impianto continuo STELE, operante presso il C.R. ENEA di Trisaia (MT) è in grado di trattare circa 300 kg/h di biomassa. L'impianto è costituito da una azione di trattamento SE della biomassa e da una sezione di estrazione e separazione dell'emicellulosa e lignina. Dopo pesatura la biomassa è inviata tramite un alimentatore a vite, all'interno del reattore (digester) nel quale il vapore ad elevata pressione e temperatura la degrada termochimicamente. Nella parte terminale del reattore è collocata una valvola che, aprendosi ad intervalli regolari prestabiliti, permette il trasporto ad elevata velocità della biomassa e la successiva espansione nel serbatoio di contenimento. Nella parte superiore del serbatoio è installato un tubo di grosso diametro attraverso il quale i vapori sono convogliati allo scrubber per il lavaggio e l'abbattimento dei condensabili. L'estrazione di emicellulosa è effettuata tramite il lavaggio con acqua calda.

Alla fase di lavaggio segue la concentrazione delle fasi estrattive che porta all'ottenimento di uno sciroppo di pentosani che è accumulato in un apposito serbatoio. Successivamente viene effettuata l'estrazione a caldo della lignina tramite l'utilizzo di una soluzione diluita di soda.

La lignina è concentrata mediante evaporazione e stoccata in un serbatoio di accumulo. Infine, tramite una soluzione diluita di acido solforico è effettuata una neutralizzazione ed un lavaggio del residuo estratto che viene recuperato come cellulosa grezza. La biomassa esplosa e le correnti di prodotto sono separate nell'impianto e caratterizzate per determinarne la composizione chimica. Le procedure analitiche si basano sulla solubilità di lignina ed emicellulosa in soluzioni acquose; infatti, l'estrazione con acqua calda del materiale esplosa permette la rimozione della frazione di emicellulosa e delle altre sostanze solubili in acqua. Il trattamento successivo del residuo solido con soda consente la separazione della lignina dalla cellulosa per solubilizzazione della prima in ambiente basico.

5.2 La filiera delle biomasse lignocellulosiche, dalla raccolta alla trasformazione

La filiera delle biomasse lignocellulosiche, dalla raccolta alla trasformazione, segue un percorso comune a tutte le tipologie di materiale sintetizzato e prevede un pre-trattamento per il trasporto, il trasporto, un pretrattamento prima dello stoccaggio (densificazione, pellets, brichette), lo stoccaggio e la trasformazione (termochimica, biochimica o chimica).

La preparazione del combustibile è un passaggio fondamentale per rendere idonea la biomassa al suo impiego nella maggior parte degli impianti di produzione energetica. Una produzione efficiente di energia dalle biomasse richiede infatti una combinazione ottimale tra il combustibile e la tecnologia utilizzata in quanto il processo di trasformazione energetica deve essere propriamente registrato in conformità alle caratteristiche del combustibile impiegato.

I fattori che incidono sui pre-trattamenti del combustibile sono relativi alla forma e alla misura della biomassa a disposizione, nonché al tenore di umidità della biomassa di partenza. Per quanto riguarda la forma e le misure, le biomasse possono trovarsi in forma di polveri, segatura, cippato, ramaglie e perfino tronchi.

Le biomasse legnose provenienti dal bosco o da colture dedicate di solito sono disponibili in forma di pezzi di legno di varia forma e dimensione di solito successivamente ridotti in cippato; le biomasse erbacee possono essere analogamente ridotte in chips, quando la specie lo permette (ad es. canna comune e miscanto), o conferite come materiale imballato (ad es. il panico e alcuni tipi di residui colturali, quali ad esempio la paglia): i residui di prima o seconda lavorazione del legno sono tipicamente in forma di polveri e segature. Un'altra importante distinzione riguarda il contenuto di umidità. Una pianta forestale appena tagliata presenta un contenuto di umidità di circa il 50% come anche il cippato ottenuto dalle Short Rotation Forestry (SRF). Gli scarti di

lavorazione dell'industria del legno possono avere umidità variabile tra il 15% e il 40% a seconda della tipologia di scarto. Valori di umidità inferiori si hanno nelle colture erbacee poliennali, se vengono raccolte in inverno/primavera; in questo caso il cippato presenta una umidità compresa tra il 20-30%. Colture erbacee , annuali come ad esempio il sorgo da fibra, tipicamente presentano invece elevate concentrazioni di acqua alla raccolta, con tassi di umidità anche del 60-70%.

Essiccazione della biomassa

La fase di essiccazione è funzionale alla riduzione del contenuto di umidità della biomassa prima che essa possa essere idoneamente sottoposta ad un processo termo-chimico di conversione energetica.

Ci sono tre diversi modi per diminuire il contenuto di umidità nella biomassa, i quali possono essere adottati anche in successione al fine di ottimizzare i costi e i consumi energetici:

- *essiccazione naturale della materia prima*: la biomassa legnosa, composta dai tronchi e dalle ramaglie raccolte in bosco, può essere lasciata ad essiccare direttamente in loco sia in forma tal quale sia previa riduzione in tronchetti; il grado di umidità finale dipende essenzialmente dalla durata della fase di stagionatura e può variare dal 40 al 55% dopo la prima stagione, fino ad arrivare a valori del 18-25% dopo due stagioni. Per quanto concerne invece le colture erbacee perennanti un parziale decadimento del contenuto d'acqua nelle piante è fisiologico al termine della stagione vegetativa, nei mesi tardo invernali. La raccolta effettuata in questo periodo consente di ottenere biomassa già sostanzialmente secca. Per quanto riguarda infine le altre colture erbacee, come il sorgo da fibra o il panico, alla quali si applica una raccolta mediante fienagione a due tempi, l'impiego di macchine falcia-condizionatrici consente di rompere e schiacciare gli steli, permettendo una più veloce ed

efficace disidratazione naturale e consentendo in tal modo di ottenere un'umidità finale della balla a valori compresi tra il 35% e il 40%.

- *essiccazione naturale della materia lavorata*: essa si applica soprattutto al cippato, in particolar modo a quello proveniente dalle Short Rotation Forestry, caratterizzato da un contenuto di umidità elevato. I chips possono essere stoccati all'aperto, in estate, o al coperto nei periodi invernali. Lo stoccaggio estivo all'aperto è preferibile, in quanto più economico, data la bassa densità del materiale e le ampie superfici necessarie per l'essiccamento. Il contenuto di acqua nella biomassa, dopo essiccazione in cumulo, può passare dal 50% al 30%. L'altezza del cumulo di chips non deve essere in ogni caso superiore ai 7-8 metri a causa del naturale riscaldamento delle parti interne della massa (sopra i 60°C) che può innescare fenomeni di autocombustione. Il processo di essiccamento si accompagna alla naturale decomposizione biologica della biomassa con una conseguente perdita di peso del materiale. La biomassa persa a causa della degradazione biologica può essere elevata in particolare con biomassa molto umida e nei primi mesi di stoccaggio. In tali casi si possono registrare perdite anche superiori al 5% al mese, per poi scendere, dopo il terzo/quarto mese, a perdite dell' 1-2%.

- *essiccazione forzata della materia lavorata*: si ottiene mediante l'esposizione della biomassa a sorgenti di calore (tipicamente aria calda) in modo forzato. L'utilizzo di questa tipologia di essiccamento, proprio perché è fonte di consumi d'energia, riduce l'efficienza energetica complessiva e aumenta i costi. Dovrebbe essere pertanto adottata solo in particolari casi: in linea di massima è applicata quando l'essiccazione naturale non è sufficiente ad ottenere il tenore di umidità voluto (come ad esempio nel processo di pellettizzazione) oppure quando l'energia termica necessaria al processo di

essiccazione è ottenuta impiegando calore residuo da altri processi di lavorazione e che, in caso contrario, verrebbe dissipato.

Impianti a trasformazione termochimica

Impianti a combustione

I principali componenti di un impianto a combustione sono:

- sistema di stoccaggio e dosaggio del combustibile
- caldaia-generatore di vapore
- trattamento fumi
- turbina a vapore a condensazione
- alternatore, cabina di trasformazione e collegamento alla rete ENEL
- impianto di demineralizzazione dell'acqua alimento caldaia .

La caldaia è quell'apparecchiatura che converte l'energia contenuta nei combustibili in calore e lo rende disponibile in un circuito contenente acqua o aria che ha il compito di trasportare il calore nei diversi ambienti o di riscaldare l'acqua dell'impianto sanitario. Tramite il teleriscaldamento grosse centrali possono riscaldare gruppi di abitazione, scuole, ospedali ecc, per mezzo di una rete di tubazioni isolate ed interrate che trasportano dei fluidi surriscaldati.

Il calore dei gas combusti dei motori è quello prodotto dal processo di post-combustione può essere recuperato per la generazione di vapore che va ad azionare la turbina per la produzione di elettricità.

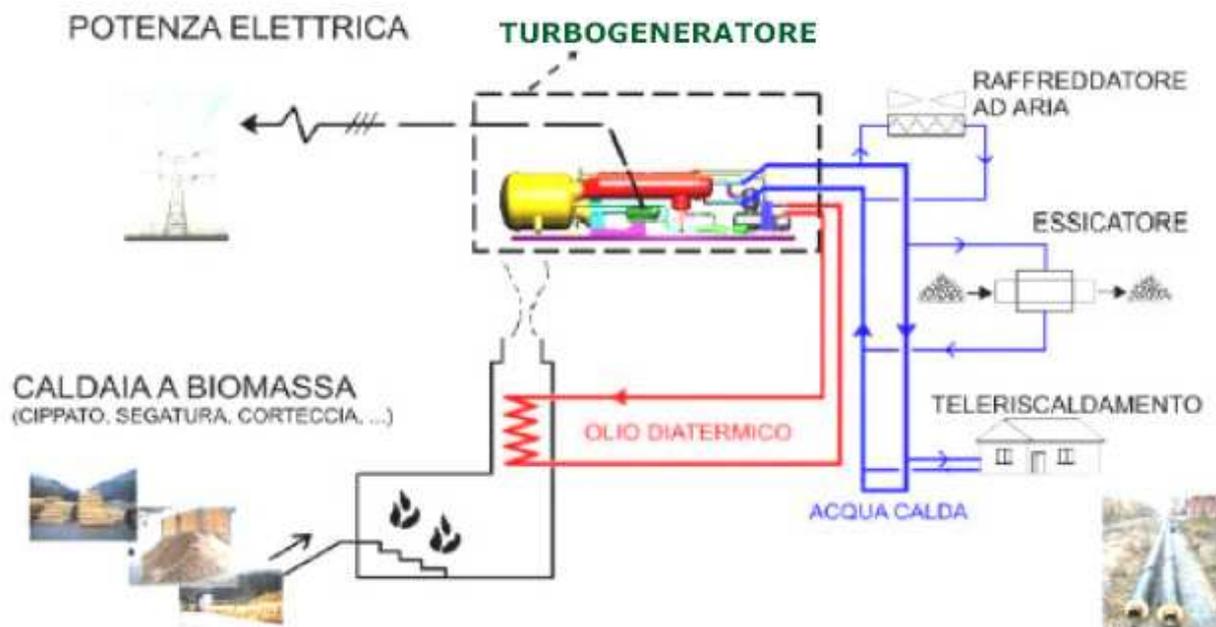
In una caldaia si possono distinguere:

- La camera di combustione;
- Il bruciatore;
- La griglia
- Il cinerario sottostante la griglia;

Le caldaie a biomasse sono generalmente del tipo a fiamma inversa dove appunto la biomassa si sviluppa verso il basso e possono differire a secondo del tipo di aspirazione dei fumi: atmosferico, aspirato o soffiato. In questo modo il combustibile solido non viene bruciato tutto insieme e man mano che si consuma scende verso il basso. Nelle caldaie più comuni (a letto fisso) l'aria primaria passa attraverso un letto fisso dove avvengono in ordine i processi di essiccazione, gassificazione e combustione del carbone. In seguito i gas combustibili sono bruciati, dopo l'aggiunta di aria secondaria, in una zona separata dal letto. Tale tecnologia è adatta per una biomassa avente dimensione variabili ma comunque con particelle non troppo piccole; l'elevato contenuto di umidità della biomassa come quello delle cenere non costituisce un ostacolo per l'utilizzo della combustione con forni a griglia; inoltre si possono utilizzare miscele di diverse biomasse legnose, ma non di legno e biomassa erbacea (es. paglia), a causa delle diverse caratteristiche di combustione, dell'umidità e del basso punto di fusione delle cenere.

La combustione ottenuta utilizzando i forni a griglia deve prevedere portate d'aria diverse per le zone di essiccaggio, gassificazione, carbonizzazione; inoltre è necessaria una distribuzione omogenea del combustibile e delle braci per gestire la distribuzione di aria primaria nelle varie zone della griglia; in tal caso i forni a griglia operano, tramite il controllo dell'aria primaria anche al 25% del carico.

Si può avere anche una combustione a stadi separando la prima e la seconda camera di combustione; è da osservare che la turbolenza nella camera primaria deve essere limitata in modo tale da avere un letto di braci stabile, in tal caso si ottiene, però, un mixing aria/gas combustibili non ottimale. Nella camera secondaria si inietta un quantitativo di aria secondaria necessaria a far avvenire i vortici e portare, di conseguenza, il rapporto aria/gas combustibili a un valore elevato.



La valorizzazione energetica delle biomasse lignocellulosiche in questi ultimi anni ha evidenziato un deciso miglioramento tecnologico, in particolare per le caldaie a cippato ed a pellet, che si è espresso sia in un aumento del grado di efficienza degli impianti (negli ultimi 25 anni, il rendimento medio di un impianto a legna è passato dal 50-60% ad oltre il 90% nei modelli più evoluti), sia in un miglioramento del fattore di emissione (sono state letteralmente abbattute le emissioni di CO₂ e polveri), oltre che ad un incremento del livello di affidabilità e di confort di utilizzo.

Gassificatori

I gassificatori sono degli impianti che convertono direttamente i materiali organici in gas. Essi differiscono dai pirolizzatori in quanto durante il riscaldamento operano in presenza di piccolissime quantità di ossigeno producendo un gas di sintesi detto syngas costituito in gran parte da metano ed anidride carbonica.

In tutti i processi di gassificazione sono presenti, con modalità diverse a seconda della tecnologia utilizzata, le seguenti quattro fasi: essiccazione, pirolisi, ossidazione e riduzione. L'essiccazione è l'eliminazione per evaporazione del contenuto d'acqua della biomassa quando questa è introdotta nel reattore. La pirolisi è la decomposizione della biomassa che avviene in seguito all'esposizione a elevate temperature in assenza di ossigeno: i prodotti sono gas di pirolisi e char (agglomerato di natura complessa costituito prevalentemente da carbonio). Nella fase di ossidazione avvengono le reazioni esotermiche che forniscono il calore necessario alle reazioni di riduzione (endotermiche) dalle quali si forma il gas.

Il syngas può essere prodotto mediante combustione parziale della massa (utilizzando aria od ossigeno) o mediante massificazione pirolitica utilizzando vapore). Con la gassificazione in aria viene prodotto un gas a basso potere calorifico, mentre con la massificazione in ossigeno o in vapore un gas a medio potere calorifico. Nella gassificazione pirolitica (o a riscaldamento indiretto) si rende necessaria una fornitura esterna di calore.

L'energia contenuta all'interno delle biomasse viene sfruttata:

- bruciando il gas di sintesi in una caldaia producendo calore;
- usando il gas come combustibile per motori a scoppio;
- alimentare con il gas una turbina a vapore per produrre lavoro meccanico e quindi energia;
- ricavarne idrogeno da usare in pile a combustibile per produrre elettricità.

Pirolizzatore

Un pirolizzatore si distingue da un gassificatore in quanto lavorando in assenza di ossigeno attua la pirolisi fornendo prodotti gassosi, liquidi o solidi in proporzioni che dipendono dal metodo di pirolisi (pirolisi veloce, lenta o convenzionale) e dai parametri di reazione

- Pirolisi lenta: basse temperature e lunga permanenza (30% in peso di carbone di legna al 50% di contenuto energetico)
- Pirolisi estremamente veloce a bassa temperatura: (500-650 °C) con una permanenza inferiore al secondo fa aumentare i prodotti liquidi fino all'80% in peso;
- Pirolisi estremamente veloce ad alta temperatura: (sopra i 650 °C) fa aumentare i prodotti gassosi fino all'80% in peso;
- Pirolisi a condizioni convenzionali: (temperature inferiori ai 600 °C) da origine a prodotti gassosi, liquidi e solidi in proporzioni costanti;
- La produzione di bio-olio consente di avere un combustibile a più alto contenuto energetico della biomassa originaria e stoccabile senza problemi di degradazione.

I prodotti della pirolisi, sono utilizzabili quali combustibili o quali materie prime destinate a successivi processi chimici. Ad esempio il residuo carbonioso solido ottenuto può venire ulteriormente raffinato fornendo prodotti quali ad esempio il carbone attivo.

5.3 La filiera per la produzione del bioetanolo

La finalizzazione energetica della fermentazione alcolica non è una scoperta di recente acquisizione; già nel 1938, infatti, su forte impulso da parte di Henry Ford la produzione nel Kansas (USA) di bioetanolo per l'autotrazione era di circa 54000 t/anno. Tale risultato, per quanto transitorio e ridimensionato già nel secondo dopoguerra, fu possibile poiché questo processo biotecnologico è uno di quelli di più antica scoperta da parte dell'uomo ed è stato ampiamente consolidato nei secoli nell'ambito delle filiere alimentari.

Dal momento che la valorizzazione energetica del bioetanolo è destinata a confrontarsi con la concorrenza da parte sia delle collocazioni alimentari del prodotto fermentato, sia dell'utilizzo per l'autotrazione dei carburanti di origine fossile, nel tempo la filiera produttiva si è intensamente articolata per massimizzare la diversificazione delle materie prime. Per rendere competitiva la filiera energetica la principale tendenza seguita dall'evoluzione tecnologica è stata indirizzata soprattutto allo sfruttamento delle materie prime non destinabili all'alimentazione umana.

Il bioetanolo può essere attualmente prodotto dai carboidrati semplici (glucosio, saccarosio, mannosio) e dai polisaccaridi a catena lunga (amido, cellulosa, emicellulosa). Le materie prime possono derivare, pertanto, dalle colture dedicate alcoligene siano esse saccarifere (barbabietola da zucchero, canna da zucchero, sorgo zuccherino) o amidacee (frumento tenero e granoturco), nonché dai residui lignocellulosici.

È evidente come rispetto alle colture dedicate, che richiedono delle lavorazioni specifiche ed evidenziano, dunque, dei costi elevati per il reperimento della materia prima, i residui lignocellulosici costituiscano l'ipotesi economicamente più interessante.

La filiera produttiva è articolata in tre sezioni ciascuna delle quali è caratterizzata da un livello di maturità differente e da soluzioni tecnologiche peculiari:

- ***la sezione saccarifera della filiera per la produzione del bioetanolo .***

La sezione saccarifera è finalizzata alla conversione energetica degli zuccheri ottenuti dalla barbabietola da zucchero, dalla canna da zucchero e dal sorgo zuccherino. Allo stato attuale la sezione è tecnologicamente matura sebbene, per la sua realizzazione, essa sia influenzata significativamente dalla concorrenza esercitata dalla filiera alimentare. Da un punto di vista tecnologico, la filiera energetica ricalca in linea generale quella alimentare e prevede l'estrazione degli zuccheri dai tessuti vegetali, la loro fermentazione e la distillazione dell'etanolo. La fermentazione è condotta generalmente dal lievito *Saccharomyces cerevisiae* (Lasure, 2003). Viene attuata riproducendo in bioreattori le condizioni ideali per favorire il suo metabolismo di tipo anaerobico (ossia in presenza di basse concentrazioni di ossigeno), alla temperatura compresa tra 5-25°C e in un intervallo di pH variabile tra 4,8 e 5,0 (Sheoran et al., 1999).

La separazione dell'etanolo avviene per distillazione, ossia sfruttando le diverse temperature di ebollizione dei componenti presenti nella miscela precedentemente ottenuta: al termine della distillazione si ricava etanolo in concentrazione pari al 95% in peso con un contenuto residuo in acqua del 5%.

Per conseguire delle concentrazioni di etanolo prossime al 100%, sebbene ciò comporti un significativo incremento nei costi di produzione, si possono adottare i processi della distillazione frazionata o, in alternativa, della separazione tramite pervaporazione. La distillazione frazionata è eseguita aggiungendo alla miscela di partenza il benzene: in questa ipotesi l'etanolo al termine della separazione presenta un residuo in acqua pari all' 1% in peso.

Nella separazione tramite pervaporazione la miscela a valle della fermentazione è portata in fase di vapore e filtrata attraverso delle membrane di materiale selettivo idrofilo; al termine della separazione l'etanolo presenta un residuo in acqua del 3% in peso. La sezione saccarifera della filiera assume particolare rilievo in Brasile dove il bioetanolo è ottenuto dalla canna da zucchero. Ad essa è attribuibile la quasi totalità del bioetanolo prodotto.

- ***la sezione amidacea della filiera per la produzione del bioetanolo***

Nella sezione amidacea il bioetanolo è ottenuto a partire da materie prime ricche di amido. In questo caso è necessario trattare l'amido attraverso una reazione di idrolisi, per rendere fermentescibile il glucosio in esso contenuto.

A questo scopo le cariossidi (grani) di frumento e di mais sono triturate e disidratate dando origine alla pasta d'amido. L'amido è successivamente gelificato con vapore diretto alla temperatura di 175°C e alla pressione di 2 atm.

L'idrolisi è generalmente condotta utilizzando un enzima, denominato amilasi, che ha la proprietà di liberare le molecole di glucosio incluse nelle catene di amido. Questo trattamento è condotto a una temperatura inferiore a 60°C, e la resa in zuccheri fermentescibili è dell'80%.

La restante parte della sezione amidacea è del tutto simile a quella saccarifera. Tale sezione riveste un ruolo di primo piano, soprattutto nel mercato statunitense per la produzione del bioetanolo.

Il principale sottoprodotto della sezione amidacea della filiera è costituito dai residui ricchi in olio, proteine e fibre, noti come DDGS (Distillers Dried Grains with Soluble), che sono destinati alla preparazione dei mangimi zootecnici.

- ***la sezione cellulosica della filiera per la produzione del bioetanolo***

La produzione di bioetanolo in questo caso è ottenuta a partire da materie cellulosiche ovvero ad alto contenuto di cellulosa ed emicellulosa.

La sezione richiede ancora importanti investimenti nel settore della ricerca per l'ottimizzazione tecnologica di diversi punti della filiera.

Sebbene attualmente non vi sia a livello mondiale una produzione industriale di etanolo di origine cellulosica, la possibilità di valorizzare attraverso questa via i residui lignocellulosici sta alimentando molteplici attività di ricerca e sviluppo, soprattutto negli USA, dove per ora sono realizzate soltanto in scala di laboratorio o pilota. L'importanza, che è riservata in questa sede alla sezione cellulosica va

interpretata come una prospettiva futura auspicabile soprattutto in considerazione dei modesti costi per il reperimento della materia prima.

Dei principali componenti della biomassa lignocellulosica (cellulosa, emicellulosa e lignina), soltanto la cellulosa e l'emicellulosa sono costituite da zuccheri fermentescibili e, dunque, possono essere utilizzate per la produzione dell'etanolo. Uno dei punti critici che caratterizza perciò questa sezione della filiera è la separazione fisica della cellulosa e dell'emicellulosa dalla lignina. Questa finalità può essere perseguita mediante trattamenti chimico-fisici (il più studiato utilizza il vapore saturo ad alta pressione ed è denominato *steam explosion*), chimici (con acidi) e meccanici (con sistemi di presse).

La successiva idrolisi dell'emicellulosa e della cellulosa può essere eseguita per via chimica o enzimatica. L'idrolisi chimica acida può essere condotta in un'unica fase con acido solforico (H_2SO_4) concentrato (in concentrazione del 70-77%), addizionato al materiale cellulosico in rapporto 1,25:1 e alla temperatura di 50°C, oppure in due stadi applicando acido solforico diluito: il primo stadio è diretto all'attacco dell'emicellulosa (opera con H_2SO_4 in concentrazione del 0.7% e a una temperatura di 190°C) mentre il secondo è finalizzato all'attacco della cellulosa (opera con H_2SO_4 in concentrazione dello 0,4% e a una temperatura di 215°C).

Con l'idrolisi enzimatica la scissione delle catene di cellulosa ed emicellulosa avviene utilizzando invece enzimi detti cellulasi, scoperti nel microrganismo *Trichoderma reesei* ma individuati successivamente anche in molti altri gruppi microbici, tra cui alcuni batteri anaerobici (*Clostridium* spp. e *Ruminococcus* spp.), alcuni attinomiceti (*Cellulomonas* spp. e *Thermobifida* spp.) e alcuni funghi (*Humicola insolens*) (Lynd *et al*, 2002). Questa soluzione è ritenuta generalmente preferibile rispetto a quella chimica.

In seguito al processo di idrolisi della cellulosa si ottengono molecole di glucosio, ossia uno zucchero a sei atomi di carbonio facilmente

fermentescibile: l'idrolisi dell'emicellulosa fornisce anche zuccheri a cinque atomi di carbonio che sono fermentati ad etanolo con maggiore difficoltà.

La resa complessiva in bioetanolo di questa sezione è un elemento di ancora elevata criticità, soprattutto per quanto concerne l'emicellulosa. Per ovviare a questo limite, sono in fase di studio alcuni microrganismi, da utilizzare in alternativa al tradizionale *Saccharomyces cerevisiae*, tra cui *Thermoanabacter mathranii* ed *Escherichia coli*.

Il principale sottoprodotto della sezione cellulosica della filiera produttiva del bioetanolo è rappresentato dalla lignina, destinabile alla valorizzazione energetica, al pari delle materie prime lignocellulosiche di altra provenienza.

5.3.1 Il bioetanolo

Il bioetanolo presenta delle caratteristiche chimico-fisiche che lo rendono un carburante affine alla benzina, alla quale può essere miscelato o, in alcuni casi e mediante opportuni accorgimenti, sostituito nell'alimentazione degli autoveicoli. Nella tabella che segue sono poste in evidenza le principali caratteristiche energetiche del bioetanolo a confronto con quelle della benzina.

Parametri	Unità di misura	bioetanolo	Benzina
Flaschpoint	°C	13	21
Temperatura di ebollizione	Kg/m ³	78	105
p.c.i.	Kcal/kg	6.500	10.500

L'utilizzo del bioetanolo anidro (con residuo di acqua del 5%) in sostituzione alla benzina è attualmente una realtà in Brasile, dove i motori sono stati predisposti a questo uso già a partire dagli anni Settanta, quando è emerso in tutta la sua gravità il problema della sicurezza degli approvvigionamenti. Gli

interventi che si rendono necessari in tale ipotesi di impiego riguardano la regolazione delle valvole e la sostituzione dei componenti suscettibili di corrosione.

Negli USA e in Canada il bioetanolo anidro è utilizzato invece in miscela con la benzina al 10% in motori non modificati e all'85% in motori predisposti. Questi ultimi, denominati con la sigla FFV (Flexible Fuel Vehicles) possono essere alimentati indifferentemente con delle miscele di benzina e bioetanolo o con la sola benzina, poiché sono dotati della regolazione automatica dei tempi di iniezione e dei rapporti di miscelazione tra l'aria e il carburante. Alcuni ulteriori studi condotti in Europa e negli USA hanno evidenziato come sia possibile l'impiego del bioetanolo in miscela fino al 23,5% senza intervenire sulla componentistica del motore. Attualmente in Europa è consentita la presenza del bioetanolo anidro, ossia privo di acqua residua, nella benzina in concentrazione fino al 5%.

E stata inoltre dimostrata la possibilità di impiegare il bioetanolo anche in miscela al gasolio: fino a miscele del 15% non è necessaria alcuna modifica ai motori diesel.

6. LE COLTURE DA BIOMASSA PER FINI ENERGETICI

La fonte primaria di energia per il riscaldamento e la cottura dei cibi, nel corso dell'evoluzione dell'umanità, è stata ricavata attraverso la combustione di biomasse di origine vegetale fin dall'età del fuoco. Queste risorse hanno accompagnato lo sviluppo dell'uomo fino a pochi secoli fa dopo la scoperta di fonti energetiche del sottosuolo, quali il carbone, il petrolio, il gas metano, l'utilizzo di fonti rinnovabili (idroelettriche) e delle fonti energetiche nuove (nucleari, fotovoltaiche, eoliche).

La disponibilità delle risorse energetiche è divenuta una problematica attuale in tutto il mondo per il consumo crescente delle risorse e per la non rinnovabilità della maggior parte di esse. Nel mondo occidentale ed in particolare nella Comunità economica europea questo problema a partire dagli anni '70 è andato via via assumendo una importanza strategica, per la quasi totale dipendenza della Comunità da paesi terzi.

Infatti, a partire dagli anni ottanta la Comunità ha promosso e realizzato diversi progetti di ricerca nell'ambito di specifici programmi comunitari (ECLAIR, JOULE, ALTENER, AIR, FAIR) finalizzati allo studio delle colture agrarie come possibili fonti di biomassa per la produzione di energia e delle tecniche più adatte alla loro coltivazione e trasformazione.

Nell'ambito della realtà europea sono state studiate sino a oggi oltre trenta specie fra colture erbacee annuali e poliennali, arbustive e arboree impiegabili come cedui a turno breve in terreni agricoli. In particolare, in Italia sono state valutate diverse colture di possibile esclusivo impiego per la produzione di biomassa, a cui possono essere aggiunte anche quelle, come ad esempio il mais o i cereali a paglia, che notoriamente sono in grado di produrre adeguate quantità di biomassa per unità di superficie, ma che per il momento interessano soprattutto per le tradizionali destinazioni alimentari.

Tra le specie erbacee annuali e poliennali inizialmente prese in considerazione figurano i sorghi da fibra e quelli zuccherini (*Sorghum bicolor*

L., Moench), il kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), alcune falaridi (*Phalaris* spp.), la kochia (*Kochia scoparia* Schrad.), il cardo (*Cynara cardunculus* L.), il miscanto (*Miscanthus sinensis* Anderss.), la canna comune (*Arundo donax* L.), il topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) e il panico (*Panicum virgatum* L.). Tra le specie arboree coltivabili come ceduo a turno breve sono stati considerati i salici (*Salix* spp.), i pioppi (*Populus* spp.), la robinia (*Robinia pseudoacacia* L.) e gli eucalipti (*Eucalyptus* spp.).

Numerose ricerche realizzate su queste specie circa le caratteristiche bioagronomiche e produttive, nonché la relativa sperimentazione applicata sui principali aspetti della tecnica colturale, hanno permesso di ottenere quelle informazioni che permettono la scelta delle specie più promettenti e di quelle che per produttività, adattabilità o facilità di gestione risultano essere le più idonee all'introduzione nei nostri ambienti.

La possibile introduzione delle colture da biomassa negli ordinamenti produttivi tradizionali è stato invocato anche in relazione ai possibili risvolti positivi che queste potrebbero rappresentare nei confronti della salvaguardia dell'ambiente. E' indubbio infatti che colture che siano dirette alla produzione di energia risultino direttamente competitive all'utilizzo dei combustibili fossili nei confronti delle emissioni di gas-serra in generale e di anidride carbonica (CO₂) in particolare, e che quindi possano concorrere al miglioramento della qualità dell'aria ed alla riduzione delle deposizioni acide. Al pari dell'«energia pulita» che queste sono in grado di fornire si presumeva inoltre che potessero rappresentare una possibile risposta alle crescenti esigenze di salvaguardia dell'agroecosistema e dell'ambiente (Massantini, 1983).

Le ricerche condotte sull'argomento hanno accertato, tuttavia, che le colture da energia comportano sia impatti positivi che negativi verso l'ambiente come è stato riportato da numerose organizzazioni nazionali ed europee (Taschner, 1993). La valutazione dell'impatto di queste colture è

oggetto pertanto di studi e ricerche che cercano di mettere a punto metodologie analitiche come l'analisi del ciclo della vita ("life-cycle analysis") ai fini di una valutazione completa dell'impatto ambientale di una coltura (Gosse, 1996; Kaltschmitt e Reinhardt, 1996; Scharmer, 1995; Oegema e Posma, 1994; Biewinga e der Bijl, 1996).

Uno studio condotto in Europa su dieci possibili colture da biomassa per energia ha posto in evidenza che i risultati non sempre sono concordanti con le aspettative e sono comunque differenziati in funzione del ciclo della coltura (annuale o polienne), del tipo di prodotto ottenuto (biomassa secca o combustibile liquido). In particolare le colture di cui si utilizza l'intera biomassa (*Miscanthus*, *arundo*, canapa, etc.) piuttosto che il combustibile liquido ottenuto previa trasformazione (colza, sorgo zuccherino) costituiscono un gruppo meno aggressivo nei confronti dell'ambiente, poiché presentano un bilancio energetico e della CO₂ estremamente positivo rispetto ai combustibili fossili (Hanegraaf et al., 1998).

In definitiva le tematiche che necessitano di studi specifici nell'ambito delle colture da biomassa per energia possono essere così sintetizzate:

- ricerche sul miglioramento genetico delle specie utilizzabili in modo da sviluppare varietà ad elevato potenziale energetico e a più basso costo di produzione, elevato rendimento energetico e qualità del carburante;
- valorizzazione delle colture polienni per limitare i costi di impianto;
- trattamenti di diserbo efficienti ed a basso impatto ambientale;
- esigenze idriche e nutrizionali delle colture da energia e le relative implicazioni ai fini della produttività e dell'immagazzinamento dell'acqua nel terreno, della conservazione del suolo, della salvaguardia dall'inquinamento;
- possibilità di utilizzo delle acqua reflue, dei fanghi e delle ceneri nelle colture da energia;

- influenza di fattori quali il genotipo, l'epoca di raccolta, la concimazione ed il clima sulla qualità del prodotto da trasformare;
- efficace divulgazione delle conoscenze sulle nuove colture agli agricoltori, che rappresenta il punto chiave per introdurre con successo nuove colture in agricoltura.

Per garantire una stabile affermazione sul mercato delle biomasse da energia, un adeguato sostegno politico e finanziario non si può quindi prescindere dalla messa a disposizione di informazioni sul potenziale di produzione nei differenti areali, in modo da poter pianificare in dettaglio le superfici da investire, la logistica, lo stoccaggio e la trasformazione.

A questo proposito, nei capitoli seguenti, verranno illustrate le caratteristiche e le potenzialità dell'Arundo Donax, del Miscanthus e del Cynara cardunculus, come “piante dedicate” da energia.

7. ARUNDO DONAX, L.

7.1 Inquadramento botanico

Il termine “canna” viene usato per indicare il culmo di molte monocotiledoni e specialmente delle Graminacee (R.E.D.A., 1954)

Con lo stesso termine vengono volgarmente indicate varie specie della famiglia delle *Graminaceae* (*Monocotyledones*, ordine *Glumiflorae*), delle *Cannaceae* (*Monocotyledones*, ordine *Scitamineae*), e anche qualcuna della famiglia delle *Palmae* (*Monocotyledones*, ordine *Spadiciflorae*).

Nell’ambito della famiglia delle *Graminaceae*, in particolare, la denominazione corrente di “canna”, viene attribuita a diverse specie di seguito elencate:

- *Arundo donax* L. = canna, *canna gentile o comune*, canna domestica, canna montana e talvolta canna d’Italia;
- *Arundo plinii* = Turra, canna del Reno;
- *Arundo phragmites* L. = canna da spazzole, *canna palustre*, canna selvatica, canna greca, cannuccia;
- *Saccharum officinarum*, L. = *canna da zucchero*
- *Ammophila arenaria*, Lk = canna delle sabbie;
- *Saccharum ravennae*, L. = canna del Po, canna piena, canna sorda.

Di queste, le prime tre vengono considerate piante spontanee, più o meno naturalizzate in diversi ambienti (specie nel bacino del Mediterraneo), dalle quali si prelevano i culmi generalmente per soddisfare piccole esigenze locali, legate al sostegno di piante o alla produzione di semplici manufatti (ceste, stuoie, ecc.). Recentemente, l’interesse per queste specie è derivato dalla possibilità di utilizzarne la biomassa per la produzione di energia termica (Progetto europeo FAIR 2028). Delle altre tre, solo *Saccharum officinarum* L., la canna da zucchero riveste notevole importanza, dal momento che oltre alla normale utilizzazione per la produzione di saccarosio, buona parte della

produzione è avviata , attraverso processi di fermentazione, alla produzione di alcool etilico, impiegato per l'autotrazione soprattutto in Brasile, paese che detiene il primato della coltivazione e produzione di questa specie.

ARUNDO PHRAGMITES L.

La Canna del Reno (*Arundo phragmites* L.) si distingue per essere in tutte le parti, anche nei fiori, più piccola di *Arundo donax*, per la ligula fogliare provvista di brevissimi peli al margine superiore (nell'*A. donax* detti peli sono più lunghi e vistosi) e per la glumetta inferiore intera non tridentata all'apice. La glumetta inferiore è rivestita da copiosi e lunghi peli dalla base fino circa alla metà della sua lunghezza, in *Arundo plinii* essa ha peli molto brevi nel terzo basale. La Canna del Reno fu molto lodata da Plinio come ottima per la fabbricazione di frecce, ed è strano che questo autore nomini soltanto questa specie, anziché quella più comune in Italia e cioè *Arundo donax*.

Arundo Phragmites (comunemente chiamata “cannuccia”) si distingue agevolmente dalle altre due *Arundo*, per il rizoma molto allungato, fornito da internodi lunghi e relativamente sottili, per la ligula sostituita da peli e per un importante carattere delle spighe: in queste l'asse fiorifero è lungamente peloso e la glumetta inferiore è glabra, al contrario di quando si osserva nel genere *Arundo*, dove l'asse è glabro e la glumetta inferiore è pelosa. La Cannuccia è frequente e copiosa in Italia particolarmente nei luoghi paludosi dove costituisce canneti; si rinviene non di rado anche nelle arene marittime. Cresce dal piano sempre verde fino al submontano.

ARUNDO PLINII

Arundo plinii abbonda nei fossi e pendici arenaceo-argillose di varie parti del Lazio, in Toscana e in diverse altre regioni dell'Italia meridionale e in Sicilia. Fuori d'Italia è presente in parecchie aree costiere del Mediterraneo, compreso l'Adriatico (Istria, Dalmazia). Essa è quindi un elemento floristico

mediterraneo, limitato al piano sempre verde, che raramente oltrepassa (in punti più favoriti dal clima).

ARUNDO DONAX, L.

(**francese:** *roseau, canne de Provence*; **spagnolo:** *cana*; **inglese:** *reed, giant reed, bamboo, cane*; **tedesco:** *schilfrohr, pfahlrohr*).

Specie diffusa in tutti i paesi del Mediterraneo, la canna è in effetti poco conosciuta e non esistono, in tutto il mondo, ricerche importanti al riguardo.

I botanici non sono concordi circa la sua l'origine e la diffusione nel bacino del Mediterraneo. I dati sulla biologia risultano estremamente scarsi (Onofry, 1940). Circa le informazioni di carattere agronomico, esistono nel mondo solo due lavori, peraltro non del tutto interessanti, effettuati in Italia (Onofry, 1952) e in Francia (Arnaud, 1963).

Il vocabolo **donax** (*donax, Kàlamos donax, kàlamos kyprios*) degli scrittori greci (Omero, Teofrasto, Dioscoride) e latini (Plinio) corrispondente al latino **arundo** – presso i poeti spesso nel senso di flauto e di freccia – indica l'*Arundo donax* L.. Plinio la chiama anche *Arundo Cypria* e *Calamus ciprius*, perché, dice, cresce copiosamente nell'isola di Cipro.

Il *kàlamos phragmites* di Teofrasto corrisponde all'*Arundo* di Plinio in senso lato e all'*Arundo vulgaris* dello stesso, nonché all'*Arundo* dei poeti latini, che è il nostro *Phragmites communis* Trin. Però i poeti adoperano indifferentemente i termini “arundo”, “calamus” e anche “canna”; quest'ultimo, raramente usato per indicare le canne in genere e gli strumenti che vi si potevano confezionare, come il flauto agreste e le frecce.

Arundo donax L. si differenzia da *A. plinii* e da *A. phragmites* per diversi caratteri. Il rizoma è grosso, tuberoso, rivestito nelle parti più giovani da scaglie giallicce, triangolari, secche, che rappresentano le guaine, ridotte, delle foglie. Esse abbracciano tutto in giro il rizoma, e alla base, nella faccia esterna, sono rivestiti da fitti e lunghi peli bianchi, lucenti, unicellulari, a

parete fortemente ispessita. Simili peli si trovano anche alla base esterna della guaina delle prime foglie dei getti. Il rizoma porta copiose radici che nascono sia dalla faccia superiore e inferiore, sia dai lati, tanto presso i nodi quanto negli internodi. I fusti aerei sono rivestiti per gran parte della loro lunghezza dalle guaine fogliari, le quali, eccetto che nelle prime foglie, a lamine ridotte, si espandono in una lunga lamina lineare, gradatamente ristretta verso l'apice.

La guaina è percorsa da numerosi rilievi paralleli. I rilievi corrispondono ai fasci fibro-vascolari più robusti. Tra questi sono interposti fasci più esili. Nelle foglie poste a metà del fusto i fasci maggiori della guaina sono 70-80. Detti fasci continuano nella lamina. La ligula è formata da una membrana di circa 2 mm, sprovvista di fasci sia fibrosi che vascolari. Essa risulta formata da cellule allungate nel senso longitudinale e quadrangolari. Il suo bordo superiore è occupato da molti peli di lunghezza varia, unicellulari, dritti, appuntiti, a parete sottile.

Le foglie da giovani presentano lunghi peli nella parte apicale dei margini della guaina. Questi peli sono particolarmente lunghi e formano quasi un ciuffo nelle zone di passaggio dalla guaina al lembo; anch'essi sono unicellulari.

Il culmo termina con una voluminosa pannocchia, i cui numerosi rami e rametti sono molto scabri. Le singole spiglette peduncolate hanno due glume, subeguali, membranacee, acute, quasi eguali ai fiori, glumette inferiori bifide all'apice e brevemente aristate tra i lobi, pelose nella metà inferiore. Ogni spigletta ha per lo più tre fiori.

7.1.1 Origine e diffusione

Arundo donax è più o meno comune nell'Europa mediterranea, Africa settentrionale, Canarie, Siria, Transcaucasia. Nei paesi mediterranei è coltivata su piccole superfici per venire incontro alle esigenze locali; lo stesso avviene nell'America meridionale e settentrionale. In Italia cresce dal piano sempre

verde al submontano, in tutta la penisola e nelle isole maggiori, nei terreni freschi, lunghi i fiumi, sui colli, presso il mare, e forma spesso boschetti fitti, detti canneti, i quali fanno riscontro ai boschi di Graminacee perenni, giganti, di molti paesi tropicali. Tuttavia non si può considerare come pianta spontanea del nostro paese, essendo con molta probabilità originaria dall'Oriente. Però in molte località si è diffusa al punto da dare l'impressione di essere pianta spontanea. Bertoloni (Flora italiana, I.) l'ha indicata come spontanea in Italia. Il Parlato (Flora italiana, I.) pone in dubbio tale affermazione "giacché raramente fiorisce in Italia incontrandosi in un canneto pochi individui che fioriscono". A tale proposito è interessante notare che i vari autori che descrivono, anche minutamente, tutte le parti della pianta, non fanno cenno alla cariosside. Ciò si deve al fatto che, anche se fiorisce, non forma frutti, forse avendo perduto tale facoltà in seguito alla moltiplicazione vegetativa. Fiorisce secondo il Parlato in agosto-settembre, secondo il Fiori in estate-autunno.

La storia della coltivazione su vasta scala di questa coltura in Italia, è legata al progetto di avviare su vasta scala, intorno agli anni trenta, la produzione di pasta di cellulosa.

La coltivazione della canna gentile per ottenere cellulosa, fu introdotta nel 1938 a Torviscosa, in provincia di Udine, dalla Snia-Viscosa, la più importante industria italiana fortemente impegnata, in quel periodo, nello sviluppo di grossi progetti per la produzione di fibre tessili artificiali (Visintini Romanin, 1988).

Dopo anni di studi svolti alla ricerca di piante legnose, a breve ciclo produttivo, adatte all'estrazione di pasta di cellulosa, il 14 dicembre 1935 la Snia-Viscosa depositava un brevetto per il "procedimento di fabbricazione di cellulosa da raion viscosa e per carta, dagli steli di piante annuali". La decisione di privilegiare la canna gentile per questo scopo fu presa in seguito agli studi condotti in Italia da Giacinto Diotti.

Per la coltivazione della canna fu costituita una apposita società, la SAICI (Società Agricola Industriale Cellulosa Italiana) e scelta un'area di vaste dimensioni e con buone disponibilità idriche, ricadente nella zona di bonifica della Bassa Friulana, nel territorio di Torviscosa. I lavori furono svolti in poco meno di un anno e nel 1940 risultavano coltivati a canna già tremila ettari dei seimila disponibili. Al fine di fornire allo stabilimento industriale una ingente produzione di canne, costante nel tempo e uniformi, furono messe a punto e applicate, dopo una attenta sperimentazione, tecniche di lavorazione del terreno, concimazioni, scelte dei rizomi, sistemi d'impianto, irrigazione e rinnovo del canneto, tali da essere considerati per "originalità, e genialità, priorità e razionalità" degni di essere "salvaguardati da un brevetto d'invenzione" (Grinovero, 1941).

Alla fine della seconda guerra mondiale, con lo stabilimento praticamente distrutto, fu scelta la strada della ricostruzione e del completo ripristino degli impianti industriali e agricoli.

Sulla base dei buoni risultati ottenuti da studi, ricerche e impianti pilota sull'estrazione dello zucchero dalla canna, condotti nel 1946-47 dallo zuccherificio Eridania, fu costruito uno stabilimento per la produzione di alcool, con una capacità produttiva nel 1948 di circa 100 ettolitri al giorno. Materiale non pubblicato documenta la piantagione dei canneti, la coltivazione e concimazione, i costi d'impianto e di esercizio, la composizione della canna e le rese ottenute a Torviscosa fino agli inizi degli anni sessanta. Successivamente, l'impulso dati alle fibre sintetiche derivate del petrolio ha nuovamente e definitivamente interrotto questo esempio "*ante litteram*" di coltura da biomassa.

7.2 Organografia

7.2.1 Rizoma

L'epidermide è formata da cellule con pareti molto ispessite e lignificate, che riducono al minimo il lume cellulare.

Il parenchima corticale presenta cellule grandi a contorno un po' irregolare allungate, separate da ampi spazi intercellulari. Gli strati subepidermici (in media tre) possiedono cellule piccole a pareti spesse e lignificate, formanti una guaina sclerenchimatica, come nel culmo.

Le pareti delle altre cellule sono sottili celluloso-pectiche. Le cellule più esterne del parenchima corticale si mostrano più allungate e vuote, quelle più interne sono invece ricchissime di sostanze di riserva (amido). In mezzo a questo parenchima di riserva sono sparsi alcuni fasci vascolari concentrici costituiti dal floema circondato da parenchima vascolare: sono fasci perixilematici (quali si presentano anche in altre monocotiledoni). Oltre ai fasci esistono lacune formate per distruzione degli elementi parenchimatici, situate in un cerchio, proprio al centro del parenchima cioè tra l'epidermide e l'anello sclerenchimatico (periciclo). Questo forma una larga fascia di elementi a diametro notevolmente più grande che in quelli già descritti per gli anelli sclerenchimatici degli internodi del culmo. Il parenchima midollare è costituito da alcune cellule con pareti lievemente lignificate, e da altre con pareti celluloso-pectiche. Le prime si trovano tutte intorno alla guaina fibrosa dei fasci e costituiscono 2-4 strati; le altre formano una specie di anello che abbraccia le prime, riempiendo lo spazio tra i vari fasci. Nel parenchima midollare mancano le lacune centrali. I fasci vascolari midollari presentano alcune differenze rispetto a quelli del culmo: quelli più esterni, proprio in vicinanza dell'anello sclerenchimatico, presentano, non di rado fusione dei poli legnosi, in modo che siano fasci molto complessi con diverse porzioni cribrose. Quelli più interni sono forniti, generalmente, di un unico grande vaso sottostante al floema.

La guaina fibrosa che circonda il fascio midollare è notevolmente sviluppata al di sopra del floema (5-8 strati); al di sotto e lateralmente all'unico vaso essa è costituita da circa 3 strati. Le fibre della guaina misurano un diametro di 40-50 micron, a differenza di quelle del culmo e della foglia che hanno spessori molto minori.

7.2.2 Radice

La sezione trasversale della radice nella zona di assorbimento rileva una epidermide, costituita da uno strato di cellule a pareti sottili prive di cuticola e presenta numerosi peli radicali. Nel parenchima corticale sottostante si notano a partire dall'esterno:

- uno strato di cellule a pareti sottili, senza spazi intercellulari, un po' maggiori delle cellule epidermiche;
- un ipoderma meccanico in forma di anello continuo;
- numerosi strati di cellule a contorno circolari a pareti sottili e cellulosepectiche e con molti spazi intercellulari.

L'ipoderma meccanico è costituito da 5-6 strati di elementi ispessiti e lignificati, a diametro piuttosto ridotto.

Le cellule circolari disposte in poche file nel senso radiale e formanti come dei raggi, limitano grandi lacune aerifere, disposte anch'esse radialmente che si estendono dall'endodermide fino all'ipoderma meccanico. Per la presenza delle dette lacune che sono caratteristiche delle graminacee igrofile, la radice della Canna va iscritta a questo tipo. Le lacune traggono origine dalla distruzione precoce di intere serie radiali di cellule corticali.

Il limite interno del parenchima corticale è segnato da una endodermide molto distinta, le cui cellule presentano ispessimento a U. Come in tutte le graminacee, mancano cellule permeabili.

In immediato contatto con l'endodermide vi è un anello sclerenchimatico pluristratificato (periciclo), i cui elementi più esterni (1-2 strati) mostrano forti

ispessimenti a U, in modo che simulano un endoderme composta. Il sistema vascolare consta di fasci semplici, vascolari e cribrosi, alterni in una cerchia. I fasci cribrosi constano di pochi tubi cribrosi, da cui alcuni, molto ampi, sono forniti di più cellule annesse.

I fasci vascolari formano lamine col protoxilema verso l'esterno e il metaxilema, che si spinge più profondamente che i fasci cribrosi, verso l'interno. Il metaxilema, formato da grandissimi vasi, è circondato lateralmente e al polo interno da più strati di fibre: 3 ai lati e 6 al polo interno. Il parenchima midollare, che manca di lacuna centrale, è costituito da cellule perfettamente circolari, con pareti celluloso-pectiche, o leggermente lignificate solo vicino alle lamine vascolari. Le cellule sono separate da molti spazi intercellulari.

7.2.3 *Culmo*

Internodo

Una sezione trasversale di un internodo della porzione basale del culmo fa comprendere abbastanza esattamente l'anatomia generale di questa parte del culmo.

L'epidermide è costituita da uno strato di cellule poligonali, a pareti fortemente ispessite e lignificate, rivestite esternamente da una cuticola di notevole spessore. Sono presenti pochi stomi al di sopra delle lacune del parenchima corticale.

Al di sotto dell'epidermide vi è il parenchima corticale, costituito da cellule poligonali, con molti spazi intercellulari. Lo strato immediatamente sottostante all'epidermide si distingue per avere cellule più piccole, a parete fortemente ispessita, a perfetto contatto fra di loro e costituenti quindi una guaina sclerenchimatica ipodermica.

Il parenchima, ridotto in corrispondenza dei fasci, presenta piccole lacune, situate tra un fascio e l'altro.

Il limite interno del parenchima è segnato da parecchi strati di piccoli elementi isodiametrici, piuttosto poligonali, le cui pareti sono notevolmente ispessite e lignificate. Le cellule sono a perfetto contatto e quindi vi è assenza di spazi intercellulari. Questi strati di cellule, che in sezione longitudinale si mostrano molto allungate e appuntite, formano l'anello sclerenchimatico e non differiscono dagli elementi della guaina fibrosa dei fasci corticali e midollari.

In immediato contatto con l'anello sclerenchimatico stanno sia i fasci corticali sia i midollari più esterni. Essi hanno quasi sempre una disposizione alternata.

Il parenchima interno o midollare, che costituisce la maggior parte della sezione trasversale, è situato immediatamente dopo l'anello sclerenchimatico. E' formato da cellule ad ampio lume, con pareti leggermente lignificate e con

numerosi spazi intercellulari. Le cellule, distintamente poligonali, regolari, ingrandiscono insieme con i loro spazi intercellulari a mano a mano che si procede verso il centro, che è occupato da una grande lacuna. Le membrane di queste cellule sono lignificate e punteggiate.

Nel parenchima sono disseminati fasci midollari che diventano progressivamente più grandi verso il centro. Essi hanno la medesima struttura descritta per i fasci principali della foglia. Sono costituiti da alcuni grandi vasi (ordinariamente 2-3), fortemente lignificati, orientati generalmente nel senso del raggio (vasi radiali). Come nel lembo fogliare due vasi più grandi sono disposti simmetricamente un po' più in alto, nel senso tangenziale.

Poiché i vasi radiali interni appaiono per primi, essi si lignificano più presto che gli altri vasi radiali e laterali. Il vaso radiale esterno è congiunto ai vasi laterali dal medesimo parenchima vascolare già notato dalla foglia. Anche il floema ha la stessa struttura già descritta.

Intorno al protoxilema si forma il parenchima del legno, e più tardi, per dissolvimento di alcuni elementi del protoxilema, si origina una lacuna al polo legnoso (lacuna del fascio). La guaina fibrosa, circondante i fasci è molto più sviluppata che nella foglia, ed è formata da più strati di fibre, che sono più numerose ai poli del fascio.

I fasci corticali hanno la stessa costituzione dei fasci midollari. Ne differiscono solo per le dimensioni, per l'assenza o la riduzione dei vasi radiali, per la disposizione in un cerchio sopra l'anello sclerenchimatico, per la mancanza di lacune al polo legnoso. Essi sono identici ai fasci midollari più esterni, cioè a quelli accollati all'anello sclerenchimatico. Fasci corticali e fasci midollari più esterni sono alternati fra loro; nei primi, l'anello sclerenchimatico si confonde con la guaina fibrosa che circonda il polo legnoso, nei secondi detto anello è a immediato contatto con la guaina che circonda il polo cribroso.

Anatomia di un internodo della porzione apicale

L'epidermide non forma una linea regolarmente circolare, si presenta ondulata, con piccoli avvallamenti, in cui si notano numerosi stomi. Le cellule epidermiche, sono allungate, con pareti sottili e angoli arrotondati. La cuticola è del pari sottile.

I fasci corticali presentano, al di sopra del floema, pilastri di fibre che raggiungono l'epidermide. Lo stesso avviene per alcuni fasci midollari più esterni. Il parenchima che separa i fasci corticali, costituito da cellule a contorno regolare, con pareti sottili e cellulosiche, separate da spazi intercellulari, non forma quindi una zona continua tra l'epidermide e i fasci, ma si limita ad occupare i loro intervalli, ai quali corrispondono gli avvallamenti dell'epidermide. In questi intervalli sono presenti degli isolotti clorofilliani. Neanche il periciclo forma un anello, ma presenta pilastri al di sopra dei fasci, con gli elementi non ancora bene lignificati. I pilastri dei fasci corticali raggiungono l'epidermide.

Il parenchima interno è costituito da pareti sottili e cellulosiche a contorno irregolare ed ondulato, separate da ampi spazi intercellulari. Le cellule ingrandiscono progressivamente verso la lacuna centrale. Riguardo ai fasci midollari, maggiormente sviluppati nel senso radiale, è da notare la presenza della grande lacuna al polo legnoso.

Le fibre della guaina circondante i fasci sono poco lignificate, ma in numero notevole: al polo cribroso gli strati sono 6-7, lateralmente ai vasi metaxilematici sono 2, al polo legnoso circa 5.

Anatomia di un internodo della porzione mediana

La cuticola è spessa. Le cellule epidermiche presentano più forte ispessimento delle pareti. Il parenchima sottostante ha un numero maggiore di strati al di sopra dei fasci corticali, in modo che li allontana sempre più dall'epidermide. Tale parenchima occupa uno spazio maggiore negli intervalli

dei fasci. L'anello sclerenchimatico aumenta il numero degli strati a 3-4. I fasci corticali sono disposti su di esso. I fasci midollari più esterni non sono tutti accollati all'anello sclerenchimatico, ma parecchi sono solo legati ad esso mediante il polo fibroso del floema. I fasci midollari interni incominciano a presentarsi più allungati nel senso radiale. Gli strati di fibre sono in media al polo cribroso 4, lateralmente 2, al polo legnoso 3. Le cellule del parenchima midollare si ingrandiscono verso il centro; hanno spazi intercellulari e pareti lievemente lignificate.

Anatomia di un internodo della porzione basale

La cuticola è spessa e le cellule epidermiche hanno pareti ispessite. Essi sono di forma quadrata o rettangolare. Il parenchima corticale allontana sempre più i fasci corticali dall'epidermide, essendo costituito, sopra di essi, da 5-7 strati. Molto più numerosi sarebbero questi negli intervalli dei fasci, ma per dissolvimento degli elementi parenchimatici lo spazio viene occupato da una lacuna estesa maggiormente nel senso tangenziale. Le cellule più vicine alla lacuna hanno pareti poco ispessite. I fasci corticali, privi di fasci radiali e di lacune sono generalmente alternati coi fasci midollari esterni. Gli uni e gli altri sono accollati all'anello sclerenchimatico. Questo è molto sviluppato e costituito da circa 7 strati. La guaina fibrosa dei fasci midollari raggiunge qui le maggiori dimensioni. Essa fa assumere ai fasci più interni una forma allungata nel senso radiale, essendo più sviluppata ai due poli di essi. Al polo cribroso gli strati sono 7-9, lateralmente circa 3, al polo legnoso circa 4. Dunque il numero maggiore di fibre si ha, in tutti gli internodi, generalmente al di sopra della porzione cribrosa.

Il parenchima midollare e quello corticale non presentano particolarità degne di nota.

Da queste osservazioni deriva la distinzione di 3 internodi tipici: apicali, mediani, basali. Tutti e tre questi tipi sono costituiti dagli stessi elementi e tessuti: epidermide, parenchima corticale, anello sclerenchimatico con fasci

corticali, parenchima interno con fasci midollari. Negli internodi della sommità è caratteristica la presenza dei pilastri fibrosi dei fasci che raggiungono l'epidermide; nei mediani, è già in quello sottostante all'apicale, lo sclerenchima formante un anello è separato dall'epidermide; nei basali sono degne di nota le lacune nel parenchima corticale. Inoltre, negli internodi apicali i fasci fibrosi addossati ai fasci cribro-vascolari sono più estesi nel senso radiale; nei mediani hanno sviluppo quasi simmetrico rispetto al piano tangenziale; infine negli internodi basali presentano di nuovo la disposizione che hanno negli apicali.

7.2.4 Foglie

Epidermide. – L'epidermide della foglia presenta diversi tipi di cellule e cioè: cellule lunghe, cellule corte silicee, cellule corte suberose, cellule ad aculeo, peli bicellulari, cellule bulliformi, cellule stomatiche e annesse. La distribuzione di questi elementi nella guaina è diversa da quella del lembo e varia inoltre anche nelle due pagine della guaina e del lembo.

Guaina. – Osservando la faccia esterna si vedono strisce longitudinali verdi, alternate con strisce chiare, incolori. Le prime corrispondono al tessuto clorofilliano (clenchima) sottostante all'epidermide, le seconde ai fasci di fibre costituenti l'ipoderma fibroso anche questi a immediato contatto con l'epidermide. Questa, nei tratti sovrastanti al parenchima presenta stomi in serie longitudinali, intercalati a cellule lunghe. Gli stomi hanno la forma caratteristica per la maggior parte delle graminacee, con l'asse maggiore nel senso longitudinale e sono circondati ai lati da due cellule annesse semilunari. Le cellule lunghe sono molto allungate nel senso longitudinale e presentano pareti laterali fortemente ondulate.

L'epidermide sovrastante l'ipoderma fibroso è formato di cellule tutte lunghe. Nella pagina interna l'epidermide è più uniforme, essendo costituita

unicamente da cellule lunghe sia nelle zone clorenchimatiche, in cui si osservano scarsi stomi, sia in quella fibrosa.

Lembo – L'epidermide del lembo è più ricca di elementi che quella della guaina; più complessa appare l'epidermide della pagina superiore. Osservando quest'ultima, in superficie si vedono numerose strisce longitudinali, diverse tra loro e alterne: nelle strisce chiare spiccano le cellule silicee disposte in tre-quattro file longitudinali intercalate a cellule lunghe. In certi casi tra l'una e l'altra cellula silicia vi sono due cellule lunghe.

Queste cellule silicee si distinguono nettamente da quelle della guaina per la loro forma caratteristica: sono più lunghe che nella guaina e presentano nella parte centrale un vistoso restringimento.

A volte tra una e l'altra cellula lunga esiste un pelo bicellulare con la cellula basale allungata, quasi rettangolare, che sostiene la seconda, simile ad una clava. La cellula basale ha pareti spesse e cutinizzate, quella apicale, al contrario, ha pareti sottili e celluloso-pectiche. In queste file si trovano anche cellule ad aculeo (aculeoli) a base ovoidale e provviste di un grosso prolungamento con l'apice rivolto verso l'apice del lembo.

Le file contenenti le cellule silicee si alternano con file, singole o appaiate, di cellule tutte lunghe.

7.3 Accrescimento e sviluppo

7.3.1 La pianta

La pianta si presenta sotto forma di ciuffi o cespugli, con fusti eretti, disposti radialmente che possono raggiungere l'altezza di 5-6 metri e 2-3 centimetri di diametro. L'apparato radicale è vivace, colonizza il suolo in permanenza grazie ai rizomi sui quali si differenziano germogli che perpetuano la pianta .

Questi germogli originano culmi che iniziano ad emergere dal terreno intorno al mese di marzo; successivamente ne compaiono altri a ritmi costanti,

che presentano uno sviluppo variabile; questa differenziazione si arresta intorno al mese di settembre, epoca nella quale avviene la fioritura. Questa, tuttavia, è irregolare di anno in anno e da pianta a pianta. Nella maggior parte delle regioni del mondo, compreso il bacino del Mediterraneo, le piante non producono semi (Arnoux, 1974).

La raccolta dei culmi si effettua normalmente in inverno, da dicembre a marzo. In quelle che non vengono raccolte, la maggior parte dei germogli ascellari riprendono l'attività vegetativa nella primavera successiva, formando ramificazioni che si accrescono nel corso dell'estate. Queste "canne di due anni" (Figura 3), la cui altezza resta costante, muoiono nel corso dell'inverno seguente: alcuni sopravvivono, emettono nuove germogli dalle ramificazioni, per poi morire con il ritorno dei freddi invernali.

Durante il secondo ciclo vegetativo compaiono nuovi germogli accanto alle "canne di due anni". Come i precedenti, questi si accrescono, fioriscono o no, emettono ramificazioni nel corso di uno o due anni, nel caso in cui non vengano raccolti, quindi a loro volta muoiono.

E' quindi difficile definire il normale ciclo evolutivo della parte aerea della canna comune, così come la durata dell'apparato radicale che pertanto è considerata indefinita.

7.3.2 L'apparato aereo

I culmi della canna comune rappresentano la parte di maggiore interesse per l'industria, sono cavi, presentano, sotto un'epidermide cutinizzata, una zona fibrosa distinta, quindi un parenchima midollare molto omogeneo nel quale si trovano immersi i fasci liberiano-legnosi, circondati da una guaina fibrosa la cui importanza si riduce mano a mano che ci si avvicina alla parte centrale del culmo (Buochayer e Bernard, 1965). Le fibre sono robuste, relativamente lunghe, cilindriche, con le estremità appuntite, un lume spesso filiforme, difficile a vedersi.

Il ritmo di emissione e allungamento dei culmi emessi da uno stesso cespo variano nel tempo:

a) Ritmo di comparsa dei culmi

Si possono distinguere, pertanto, quattro periodi:

- *marzo – aprile*: il 50% circa di tutti i culmi di un ciclo annuale compaiono in questo periodo; essi costituiranno il 70% di quelli raccolti a fine ciclo;
- *maggio*: in questo periodo di “riposo” del cespo si registra il 5% delle emissioni totali;
- *giugno-luglio*: si osserva una nuova emissione di canne, meno significativa di quella primaverile, che rappresenta il 20% circa del numero totale di getti ;
- *agosto febbraio*: compaiono regolarmente nuovi culmi (detti “**agostani**”) con una frequenza mensile poco elevata; questi non producono mai canne sfruttabili, a causa della crescita insufficiente o della loro distruzione durante l’inverno;

In totale, si perdono più del 50% dei germogli che si differenziano su un cespo nel corso di un ciclo annuale; le canne raccolte provengono essenzialmente da due periodi di emissione: primavera ed estate, nella misura del 70% e 20% rispettivamente. Questa percentuale è calcolata sul numero di culmi, mentre in termini di peso secco vi è qualche differenza in quanto la crescita dei due tipi di culmi non è la stessa.

L’invecchiamento del cespo, più che la densità dei culmi può influenzare il ritmo di comparsa dei nuovi culmi.

b) Accrescimento del culmo

La durata e l'intensità della crescita del culmo variano in funzione dell'epoca di comparsa dei culmi stessi.

Le canne di primavera si accrescono in un arco di tempo di circa 110 giorni con un periodo di allungamento attivo dell'ordine di 60 giorni; per le canne che si sviluppano nel corso dell'estate, la durata è di 80 giorni e con un periodo di allungamento tra 45 e 50 giorni.

Malgrado un periodo di crescita breve, il culmo che si sviluppa in estate raggiunge sempre un'altezza e un diametro maggiori rispetto a quelli a sviluppo primaverile, in relazione a condizioni ambientali più favorevoli.

La crescita attiva delle canne in piedi diminuisce fortemente nel momento in cui cominciano ad accrescersi i culmi più giovani, comparsi successivamente.

In sintesi, più è tardiva l'epoca di comparsa di un nuovo culmo, più questo è alto e spesso. Il numero di internodi è più ridotto e questi sono più lunghi.

In tutti i casi, la durata della crescita attiva è limitata, anche quando le condizioni ambientali sono favorevoli, ad un periodo relativamente corto, che costituisce l'intervallo tra due periodi di emissione di germogli, poiché la fase di allungamento attivo dei culmi di un anno inibisce quella dei culmi più vecchi.

Il contenuto di sostanza secca aumenta fino a settembre, rimane stabile in ottobre, nel corso della fioritura, poi cresce ancora fino al momento della raccolta.

7.3.3 Apparato radicale

La crescita dell'apparato radicale può essere così riassunta:

- dopo un tempo di latenza molto variabile, i due primi germogli della base di una canna si accrescono fino a formare un fusto sotterraneo (rizoma), di lunghezza e diametro variabili ;
- indipendentemente dal clone, dalla stagione e dall'ambiente, questo rizoma è sempre composto da un numero costante di internodi: 11 in media;
- a partire dall'undicesimo articolo, il fusto si flette per uscire dal suolo;
- a partire dall'undicesimo internodo, tutti gli internodi portano un germoglio ascellare;
- soltanto i primi due germogli, e cioè quelli in corrispondenza dell'11° e 12° internodo, del fusto sotterraneo, danno vita ad un nuovo rizoma, poi ad un fusto. Tutti i meristemi situati nella parte aerea possono accrescersi, qualora le condizioni ambientali siano favorevoli, e formare ramificazioni. Tuttavia, se sono interrati, possono formare un rizoma che originerà un nuovo cespo;
- non è stata mai osservata la differenziazione di un germoglio sulla parte di rizoma che precede l'11° internodo;
- spesso, solo uno dei due meristemi si allunga, l'altro resta dormiente per un lungo periodo di tempo. Il numero di rizomi e di canne non è mai uguale al numero di germogli "di allungamento" formati;
- progressivamente, il cespo prende così una forma a ventaglio che comprende:
 1. la parte originaria, che invecchia progressivamente con gli anni, lignifica e diventa improduttiva;
 2. una parte periferica, giovane, che costituisce il fronte di colonizzazione, dove si differenziano in permanenza nuovi germogli; questa cresce rapidamente nel suolo (da 30 a 40 cm l'anno). Questo allungamento

avviene essenzialmente verso sud, accentuando la forma a ventaglio.

Rappresenta la zona produttiva del cespo, che esige le maggiori cure .

La maggiore attività dei germogli che si differenziano alla base dei fusti del ciclo precedente avviene durante il mese di settembre e ottobre.

Possono presentarsi due casi principali:

1. l'allungamento dei germogli avviene precocemente e i giovani culmi fuoriescono dal terreno prima dell'inverno (da settembre a dicembre). Questi vengono danneggiati o distrutti dal gelo. Ma, per ogni culmo distrutto, i due meristemi di "prolungamento" (o uno solo) cominciano ad accrescersi per originare, a loro volta, un nuovo fusto che, se fuoriesce in primavera, darà una canna normale;
2. l'allungamento di questi germogli è tardivo; essi formano dei ricacci in primavera.

Le canne estive provengono tutte da germogli formati alla base di fusti che si sviluppano in primavera. Si osserva, tuttavia, in certi casi, la presenza di fusti intermedi fuoriusciti in aprile e giugno.

Così, per l'apparato radicale, in molte località, il mese di agosto potrebbe essere considerato come la fine e l'inizio di un ciclo. Tutti i germogli differenziati in questo periodo rappresentano il potenziale produttivo dei ricacci del successivo anno, secondo la seguente "filiazione" teorica: ogni meristema basale di una canna che abbia terminato la sua crescita, entra in attività per dare un culmo di primavera che è poi all'origine di un culmo estivo. Lo stesso "ramo" di un cespo potrebbe dunque fornire, nel corso di un ciclo annuale, da due a quattro canne. Tuttavia, intervengono numerosi fattori che perturbano questo fenomeno provocando una perdita considerevole di meristemi.

7.4 Esigenze rispetto al clima, al terreno, all'alimentazione

7.4.1 Aspetti climatici

Le informazioni relative alle esigenze della pianta risultano scarse e frammentarie. L'Enciclopedia agraria italiana (R.E.D.A., 1954; op. cit.) indica che “la canna comune è adattabile ai climi delle zone calde e temperate, in pianura come nei terreni declivi, fino a circa 800 metri d'altitudine. Prospera dove abbondano la luce, il calore e l'umidità”; secondo una espressione molto efficace, la canna deve avere “la testa al sole e i piedi nell'acqua”. E' sensibile alle gelate primaverili che possono danneggiare i giovani germogli.

E' stato rilevato che temperature di $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ hanno provocato danni irreversibili per necrosi dei tessuti apicali. Anche il rizoma può essere danneggiato dagli abbassamenti termici e per questo motivo in passato si provvedeva a proteggere la base dei germogli con terriccio, letame o foglie secche.

Nei climi continentali la canna non fiorisce, a causa del mancato soddisfacimento delle esigenze termiche e fotoperiodiche.

7.4.2 Fabbisogni idrici

Le popolazioni naturali sono collocate, nella maggior parte dei casi, lungo corsi d'acqua, mai in luoghi umidi ma asfittici.

In relazione alle esigenze idriche non esistono studi sistematici, ma soltanto affermazioni che provengono dall'esperienza di coltivazione: “La canna comune esige umidità, ma l'acqua eccessiva e stagnante impedisce la respirazione dei rizomi e delle radici, tolgono la vitalità dei batteri aerobi, ritardano il riscaldamento del terreno, ed in primavera provocano l'attacco di funghi, aprendo quindi la via alle alterazioni delle parti sotterranee”(Onofry, 1940). Risultano dannosi i lunghi periodi di siccità come pure le piogge

insistenti e torrenziali. La grandine danneggia soprattutto le foglie, che si lacerano lungo l'asse longitudinale, ma anche le guaine fogliari.

Recentemente, nell'ambito di un progetto della Comunità Europea su questa coltura, sono stati studiati gli aspetti relativi ai rapporti acqua-pianta-terreno e la risposta fisiologica della canna comune a livelli diversi di disponibilità idrica.

7.4.3 Aspetti pedologici

Secondo Onofry (1940) un buon terreno adatto alla coltivazione dell'Arundo deve presentare i seguenti requisiti:

- Deve avere uno strato attivo coltivabile della profondità di 50-60 cm;
- Deve essere soffice, per sua natura, o per lavori praticati;
- Deve essere ricco di sostanza organica, azotata, di non troppo lenta decomposizione;
- Non deve essere troppo asciutto ma nemmeno eccessivamente umido”.

Il terreno adatto alla canna sarà dunque profondo, leggermente sabbioso e fresco. Si adattano bene alla sua coltivazione i terreni alluvionali, mentre ne pregiudicano lo sviluppo quelli salini o salmastri.

7.5 Aspetti agronomici

L'areale di coltivazione della canna comune corrisponde a quello degli ecotipi spontanei.

7.5.1 Lavori preparatori

In relazione alle sue esigenze, è ovvia la necessità di offrire al rizoma ed alle radici della canna comune un suolo ben lavorato.

Non sarebbe possibile, infatti, coltivare con buoni risultati tale pianta in un suolo che non sia stato in precedenza lavorato ad una congrua profondità e reso soffice. Si procederà pertanto ad una aratura estiva, seguita dai lavori di amminutamento durante i quali saranno interrati i concimi fosfo-potassici e lavori successivi di erpicatura, dopo l'apporto di azoto; infine, apertura dei solchi per la messa a dimora dei rizomi o di porzioni del fusto.

7.5.2 Concimazione

Le informazioni al riguardo sono scarse. Le poche sperimentazioni effettuate (Arnoux, 1974) hanno potuto rilevare che la pianta non risponde ad apporti elevati dei tre principali elementi. Le stesse ricerche indicano che per la produzione di 10 tonnellate di sostanza secca si possono indicare le seguenti quantità di elementi nutritivi:

- 100 unità di azoto;
- 130 unità di potassio;
- soltanto qualche unità di fosforo, che si trova nel fusto solo in tracce.

In conseguenza, l'apporto annuale medio, a febbraio-marzo, dopo la raccolta, sulla base del rendimento di 20 tonnellate di sostanza secca per anno, in grado di mantenere il livello di fertilità del suolo, è indicato come segue:

- da 200 a 300 unità di azoto;
- da 250 a 300 unità di potassio
- 150 unità di fosforo.

7.5.3 Impianto del canneto

La riproduzione di *Arundo donax* è impossibile, per l'assenza di seme, pertanto l'impianto di una coltura può avvenire solo per via agamica, utilizzando sia porzioni di cespo o rizomi che porzioni del fusto provviste di gemme.

I rizomi, prelevati generalmente nel mese di marzo, possono essere immediatamente piantati. I migliori risultati si ottengono utilizzando canne di due anni, raccolte a dicembre e subito interrate.

Un altro sistema di riproduzione della canna comune, che potrebbe risultare estremamente conveniente è quello con gemme del culmo.

A questo scopo possono essere impiegate:

1. Canne intere interrate orizzontalmente;
2. Pezzi di canna interrate orizzontalmente;
3. Pezzi di canna conficcati verticalmente nel terreno.

L'impiego delle canne nella riproduzione non è pratica comune e richiede alcuni accorgimenti.

Anzitutto, la scelta delle canne deve essere accurata; si scartano quelle che hanno le gemme del culmo già sviluppate.

Le canne da destinare alla riproduzione devono essere lasciate sul canneto fino al momento della ripresa vegetativa. Bisogna cioè raccogliere quando le gemme sono turgide ed accennano a svilupparsi.

Un problema studiato e a lungo dibattuto è rappresentato dalla scelta della distanza tra le file. Nel corso di una ricerca in proposito, durata otto anni, variando la distanza tra le file da 100 cm a 300 cm, è stato osservato che:

- il numero di fusti per unità di superficie non è proporzionale alla dimensione dell'interlinea di partenza; dopo otto anni il numero totale di canne raccolte differisce poco tra le interlinee saggiate;
- la densità di canne per unità di superficie cresce con la larghezza dell'interlinea;
- il numero di canne per metro lineare è più elevato nel caso di intervalli maggiori, a causa della più elevata larghezza dell'interfila.

In una prova condotta utilizzando tre rizomi per metro lineare con intervalli tra le file variabili, è stato possibile constatare che la produzione di ciascuno di

essi, dopo otto anni era più elevata nella misura in cui cresceva l'interlinea: 48, 74 e 125 canne una distanza rispettivamente di 1, 2, 3 metri.

Vi è dunque un contrasto tra la quantità di fusti prodotti da un cespo, la densità o l'interlinea, fatto che spiega come la densità sull'unità di superficie sia poco diversa e che mette in dubbio l'opportunità di utilizzare file strette specie quando l'impianto dura per un lungo periodo di tempo.

7.5.4 Svecchiamento del canneto

Un problema al quale è stata attribuita una grande importanza è quello dell'esaurimento del canneto conseguente al suo invecchiamento. A tale proposito Onofry (1940) insiste sulla necessità di procedere allo svecchiamento, proponendo un sistema che si riporta integralmente per la ricchezza di motivazioni che lo muovono e gli spunti interessanti che se ne possono trarre.

“Quando il terreno è tutto occupato di rizomi, ed il canneto si è fatto pieno e fitto, incomincia il deperimento e la vegetazione non è più rigogliosa come prima.

E' stato già detto che il canneto tende ad espandersi, e che la parte posteriore del rizoma si esaurisce e muore. La propagazione però non può oltrepassare il limite assegnato e che è costituito dall'estensione dell'appezzamento a canneto.

Dal secondo anno e per tutti i successivi una parte di rizoma perisce ed il canneto va perciò esaurendosi per mancanza di spazio.

Nelle zone del Piemonte ove i canneti sono impiantati su strisce distanti fra loro 4 e più metri, si ritaglia la parte posteriore di 25-50 centimetri, aumentando di eguale estensione la parte opposta.

Nelle zone di collina invece, essendo noto che il rizoma tende sempre a portarsi in alto, si asporta la parte a valle aumentando la superficie, di eguale

estensione, a monte. Questi sistemi di svecchiamento, si applicano a canneti formati da strisce di limitata larghezza e distanziate.

Il sistema però più comune è quello per diradamento, diffuso specialmente nell'Italia centro-meridionale”.

Come procedere allo svecchiamento razionale del canneto è indicato di seguito:

“Il sistema in esame consiste nella ripartizione dell'appezzamento in tante strisce della larghezza di 2 m alternate con altre della larghezza di 1,40 m. La lunghezza delle strisce è in rapporto a quella del campo che, nel caso della coltivazione della Canna comune, non deve essere inferiore a 300.

Con tale sistema il canneto risulta limitato alla metà della superficie. Non si pensi però che la produzione sia pure ridotta in eguale misura.

Difatti, esaminando un canneto su di un appezzamento di terreno della superficie di 1 ettaro ed impiantato coi comuni sistemi in uso, noi dobbiamo ammettere che almeno ogni 4 anni, a partire dal 4° o 5°, si dovrà procedere allo svecchiamento; in questo caso si asporteranno le ceppaie esaurite nei punti dove la vegetazione è assente, cioè nei cosiddetti vuoti del canneto.

La necessità di mantenere in efficienza il canneto impone la massima diligenza per l'esecuzione periodica di tali lavori.

Naturalmente il canneto acquisterà la nota e comune fisionomia di vegetazione cespugliosa. E poiché abbiamo premesso che per gli impianti industriali è indispensabile stabilire una costanza di produzione, ciò non può avvenire nel caso di coltivazione su vasta superficie e coi sistemi tuttora in uso.

Oltre alle ragioni su citate e pur osservandosi tutte le norme per una razionale coltivazione, il terreno a canneto col tempo si esaurisce o meglio da evidenti segni di stanchezza. E ciò è in relazione all'intensità di produzione della Canna comune considerata come coltura continua.

Se si preferisce praticare lo svecchiamento, aprendo dei solchi per tratti successivi in modo da rimuovere meglio il terreno, si avranno delle produzioni fortemente ridotte nei periodi in cui verranno compiuti tali lavori.

Tutte queste considerazioni vengono esposte per dimostrare l'utilità di dare al canneto terreno sempre nuovo e fertile per la sua espansione.

Tornando all'esame delle produzioni, bisogna tenere presente che nei sistemi in uso le altre cifre sono raggiungibili, ma non potranno essere mantenute costanti.

Nello sviluppo del mio sistema, mi sono preoccupato soprattutto di stabilire una costanza nella produzione. E pertanto è evidente che, godendo la coltivazione dei vantaggi già citati, non è esagerato ammettere che il canneto impiantato col mio sistema possa produrre costantemente circa 100 canne per m². Canne più robuste, più lunghe di quelle ottenute con comuni sistemi di coltivazione, e quindi capace di dare un buon rendimento in peso.

In alcune sperimentazioni eseguite con sistema in oggetto si sono ottenuti risultati superiori ad ogni aspettativa con una produzione di 138 canne per m².

Poiché la produzione, nel sistema in esame, è limitata alla metà della superficie investita a canneto, da un ettaro si ottengono circa 700 mila canne. Questa produzione deve essere ritenuta costante e tale sarà, che si considerano i grandi vantaggi di cui gode la coltivazione. Aggiungo, però che sia i dati che le previsioni di produzione si riferiscono all'Italia centrale ed terreni particolarmente adatti alla coltivazione della Canna comune e razionalmente concimati.

Un canneto impiantato coi comuni sistemi, a causa del naturale deperimento e conseguente svecchiamento periodico, non potrà mantenere costante la produzione, che molti fanno ascendere a circa 300 q.li di canne secche.

Inoltre, il solo fatto che un'azienda attrezzata per una coltivazione industriale della Canna comune, e quindi su vasta superficie, si trova nell'impossibilità di

fronteggiare le esigenze della pianta per quanto riguarda la somministrazione di concimi organici, costituisce una delle più gravi deficienze dal punto di vista agrario.

Col sistema invece che si propone, la disponibilità di terreno dell'espansione graduale del terreno, ci permette di ripetere la concimazione di leguminose da sovescio, e magari l'impianto di medicinali. L'erba medica, potrebbe agevolmente consociarsi alla Canna comune, avendo anch'essa la facoltà di propagarsi, diventando nel nostro caso una coltura continua. Questa possibilità di consociazione si fa presente senza metterla come la più conveniente fra le colture di leguminose. Essa ha il vantaggio di non richiedere molte cure di coltivazione.

La produzione di foraggio inoltre, consente di mantenere del bestiame nell'azienda ove la Canna comune costituisce una coltura specializzata, e di disporre quindi anche di stallatico per le necessarie somministrazioni di concime organico al canneto.

Se si considera poi l'enorme beneficio che le affossature apportano al terreno ed in conseguenza ai rizomi, col favorire il perfetto scolo delle acque, un maggiore riscaldamento del suolo ed una più intensa circolazione di aria, si deve ammettere che i rizomi stessi vengono a trovarsi nelle migliori condizioni per il loro sviluppo.

Dove poi il sistema risolve un problema di grande importanza per l'economia dei lavori, è nella possibilità di procedere al graduale svecchiamento con mezzi meccanici, e cioè con il trattore con aratro monovomere. Con gli stessi mezzi meccanici, si aumenterà la striscia di terreno per l'ulteriore sviluppo del canneto.

Insisto su questa enorme facilitazione nello svecchiamento razionale ed economico del canneto, perché ci permette di asportare sempre e con certezza soltanto la parte effettivamente esaurita dei rizomi.

Circa poi il beneficio dell'orientamento che favorisce una maggiore espansione della Canna comune verso il sole, rimanendo il lettore a quanto è stato già detto in altra parte.

Le strisce intercalate consentono una maggiore circolazione di aria e più luminosità a tutta la vegetazione.

Ma quello che maggiormente conta, ed ha un valore inestimabile per la coltivazione della Canna comune, è che questa ha la possibilità di propagarsi sempre su terreno nuovo e nelle migliori condizioni di fertilità.

Ciò che può sembrare un inconveniente è costituito dal fatto che avanzando il canneto verso una sola direzione e su strisce intercalate, la parte al lato nord del campo va esaurendosi, per cui la prima striscia dovrà essere ripiantata periodicamente. Ora, quest'impianto periodico di una fila di rizomi per ogni appezzamento può tornare senz'altro utile. Come per tutte le altre piante coltivate, anche per la Canna comune, entrata in coltura industriale, è augurabile che si proceda a studi e ricerche, per la selezione ed il miglioramento dei soggetti di moltiplicazione, in vista di una migliore e maggiore produttività. Mentre tali studi ed esperienze richiederanno del tempo, noi teniamo la porta aperta per inserire al momento opportuno nella coltivazione i nuovi soggetti selezionati.

Ma, anche ammesso che ciò non avvenga, è naturale che l'inserire nella coltivazione della Canna comune rizomi riprodotti in vivaio, costituisce sempre un mezzo di miglioramento della coltivazione stessa, operandosi ciò che chiameremo ringiovanimento del canneto”.

7.5.5 Diserbo

Il diserbo chimico è necessario nella prima fase di crescita della coltura e soprattutto nel corso dei primi due anni. Successivamente, l'ombreggiamento

causato dal denso fogliame impedisce o riduce drasticamente lo sviluppo delle erbe infestanti.

I principi attivi consigliati sono gli stessi utilizzati per il diserbo del mais: simazina ed atrazina. Si interviene in primavera.

7.5.6 Interventi colturali dopo il primo anno

A partire dal secondo o dal terzo anno i lavori si limitano all'apporto del concime minerale nel periodo di febbraio-marzo, all'irrigazione, la cui frequenza e volume dipendono dalle condizioni pedoclimatiche ed all'eventuale diserbo.

7.5.7 Raccolta

La raccolta può cominciare a partire dall'arrivo dei primi freddi, nel momento in cui la pianta entra nella fase di riposo. In questo periodo il tenore in sostanza secca è di circa il 50%, per cui la conservazione delle canne non è agevole.

Una sperimentazione circa la raccolta meccanizzata è stata effettuata in Francia negli anni '70 e sono stati individuati due possibili modalità di raccolta. La prima utilizza una falciatrice-trinciatrice, macchina normalmente impiegata in campo foraggero. I modelli semoventi sono in grado di raccogliere da 3 a 4 ettari al giorno.

Nel secondo caso si utilizza una macchina normalmente impiegata per la canna da zucchero, che taglia la canna in pezzi di lunghezza regolabile fino a 35 cm. In questo modo il materiale raccolto può essere conservato anche per mesi senza subire degradazione. Queste macchine hanno una 'performance' superiore a quella del primo tipo, possono infatti raccogliere finì ad 8 ettari al giorno.

Al termine del primo anno dall'impianto, la resa del canneto risulta in genere bassa, inferiore a 10 tonnellate per ettaro, ma a partire dal secondo anno questa

produzione può raddoppiare: la media pluriennale, rilevata in Francia da coltivazioni locali risulta pari a circa 23 t ha⁻¹ di sostanza secca (Arnoux, 1974). Vecchi dati relativi a produzioni rilevate in Italia indicano produzioni più elevate di quelle francesi, pari a circa 36 t ha⁻¹ per il Piemonte e 50 t ha⁻¹ per la Sicilia.

7.5.8 Utilizzazione della biomassa

Secondo analisi più recenti la composizione chimica della canna comune risulta essere quella riportata nella tabella 6 (Visintini Romanin, 1988).

Il fusto, sfogliato e cimato è composto per il 3-5% da sostanze azotate, per lo 0,8-1% da lipidi, per il 3-4% da ceneri e per il restante 75-92% da zuccheri così suddivisi: cellulosa (34%), zuccheri totali (11%), lignina (20%) e pentosani (20%).

La ricchezza in cellulosa ha fatto sì che la pianta sia stata indicata adatta per l'estrazione di questa materia prima per l'industria cartaria (Arnoux, 1962, 1963; Arnoux e Cotte, 1969; Bouchayer e Bernard, 1965, 1969).

La storia della ricerca e della coltivazione di questa pianta in Italia è legata invece alla produzione, sempre a partire dalla pasta di cellulosa, di fibre tessili (Visintini Romanin, 1988).

Secondo Bouchayer e Cotte (1969), malgrado la presenza di una quantità relativamente elevata di elementi non fibrosi, le paste hanno una buona capacità di sgrondo. La resa, dopo il trattamento chimico è soddisfacente, e la pasta offre la possibilità di ottenere carta dotata di proprietà meccaniche e fisiche interessanti.

Recentemente, in relazione all'allarme suscitato dalla forte dipendenza nei confronti delle fonti energetiche tradizionali dei Paesi industrializzati e della Comunità Europea in particolare, sono stati finanziati progetti di ricerca

che si propongono di studiare gli aspetti economici ed agronomici legati all'uso di fonti energetiche alternative e rinnovabili (tab.7). In particolare, progetti che riguardano l'Arundo sono due: il primo (FAIR 3 CT96 2028) è coordinato dalla Grecia, con partner in Italia, Spagna, Francia, Germania e Inghilterra; si intitola "Giant Reed (*Arundo donax* L.) Network Improvement, Productivity and Biomass Quality e si propone di raccogliere germoplasma proveniente dal bacino del Mediterraneo, studiarne gli aspetti fisiologici legati alle esigenze idriche e azotate, definirne i metodi di propagazione e impianto del canneto; il secondo progetto si intitola "Optimization of the production chain for high performance 'Light Natural Sandwich materials' (LNS) as a basis for scaling up"; l'obiettivo principale della ricerca è quello di studiare la filiera completa per l'ottenimento di materiali leggeri naturali multistrato per la fabbricazione di manufatti edilizi

8. MISCANTHUS SPP.

8.1. Origine, diffusione ed inquadramento botanico

Il genere Miscanthus è originario del sud est asiatico e la sua distribuzione geografica interessa l'area tropicale e subtropicale.

Secondo alcuni autori, in Giappone, Thailandia e Nuova Guinea, le diverse specie di Miscanthus presenti (M. sinensis, M. sacchariflorus e M. floridulus) costituiscono le popolazioni di piante erbacee perenni più diffuse.

Informazioni sulla diffusione sono state reperite in tre aree del mondo dove il genere è coltivato per scopi diversi:

- **Giappone:** di cui il genere è nativo e nel quale le specie sono coltivate e selezionate per due fini:
 - o coltura da copertura per ridurre gli effetti erosivi;
 - o coltura dominante nei pascoli seminaturali per l'alimentazione del bestiame.
- **America:** dove le specie sono state selezionate per scopi ornamentali.
- **Europa:** dove il Miscanthus è considerato un'importante coltura alternativa con potenzialità di produzione di biomassa.

La maggior parte delle cultivar non arrivano a fioritura.

La propagazione attraverso **rizomi** rappresenta il metodo principale di moltiplicazione della coltura.

Il nome del genere fu attribuito nel 1855 da Andersson. La tassonomia del genere Miscanthus rimane a tutt'oggi piuttosto complessa a causa del suo elevato poliformismo.

Adati e Shiotani (1962), basandosi su studi morfologici e citologici, sulla base dell'elevato numero di cromosomi (19), ipotizzarono che il Miscanthus derivasse probabilmente da due forme ancestrali, una con dieci cromosomi della sottotribù Saccharinae e l'altra con nove cromosomi della sottotribù Eulallinae. Le specie del genere Miscanthus sono facilmente

incrociabili con le specie del genere *Saccharum* e con le specie di altri generi della tribù *Andropogoneae*. Tale osservazione dimostra la parziale omologia fra i cromosomi dei due generi. Il genere *Miscanthus* è incluso, in seguito alla sua stretta relazione con *Saccharum*, nel “complesso *Saccharum*” che comprende diversi generi (*Saccharum* spp., *Erianthus* spp., *Scierostacya* spp. e *Narenga* spp.) (Daniels Roach, 1987).

Alcuni lavori tassonomici, con particolare rilievo sulle specie giapponesi, sono stati condotti da Keng (1980). In accordo con gli studi riportati da Adati (1958) e Lee (1964), all'interno del genere possono essere individuate quattro sezioni: *Triarrhena*, *Eumiscanthus*, *Kariyasua* e *Diandra* (tab. 1).

Sezione I.	<u>Triarrhena</u> HONDA. (2x · 6x) <u>M. sacchariflorus</u> (MAXIM) BENTH. <u>M. x giganteus</u> GREEF et DEU.
Sezione II.	<u>Eumiscanthus</u> HONDA. <u>M. sinersis</u> ANDERSSON. (2x) 17 varietà, 2 forme. <u>M. floridulus</u> (LABILL.) WARBS. (2x) <u>M. condensatus</u> HACK. (2x · 3x)
Sezione III.	<u>Kariyasua</u> OHWI ex HIRAYOSHI (2x · 6x) <u>M. oligostachyus</u> STAFF. <u>M. intermedius</u> (HONDA.) HONDA. <u>M. changii</u> LEE. <u>M. tinctorius</u> (STUED.) HACK.
Sezione IV.	<u>Diandra</u> KENG (2x · ?) <u>M. napalensis</u> (TRIN.) HACK. <u>M. eulaidoes</u> KENG. <u>M. szechuanensis</u> KENG. <u>M. brevipulus</u> HAND., MAZZ. <u>M. nupides</u> (GRIESEB.) HACK.
Altre	<u>M. taylorii</u> BOR. <u>M. wardii</u> BOR. <u>M. flavidus</u> HONDA. <u>M. trasmorrisonensis</u> HAY.

Tab. 1 - Classificazione del genere *Miscanthus* (Adati e Shiotani, 1958; Lee, 1964).

L'elevata frequenza di ibridazione interspecifica rende ancor più complessa la classificazione tassonomica delle specie *Miscanthus*. Il numero di cromosomi base all'interno delle specie, come si è già detto, è pari a 19 (Adati e Mitsuishi, 1956). Tuttavia si possono riscontrare fenomeni di aneuploidia interspecifica le quali spiegano le differenze riportate da autori diversi in riferimento al numero di cromosomi. Un regolare comportamento mitotico si verifica in specie con 19 bivalenti con numero di $2n = 38$ (Adati, 1958). Irregolari meiosi sono state trovate negli ibridi e nei polipoidi (Adati e Shiotani, 1962). Il genere è poliploide in un intervallo che va da 2x a 6x (tab.).

In uno studio carilogico del genere *Miscanthus*, Adati (1958) elencò la formula cariotipiche di diverse specie.

La selezione *Thiarrhena* possiede un corredo cromosomico di origine diversa, probabilmente per via di ibridazione della specie *Miscanthus* della sezione *Eumiscanthus* con il relativo genere (Adati e Shiotani, 1952), ipotizzando che la grande varietà del *Miscanthus* derivi probabilmente da un alto grado di autoincompatibilità.

Particolare interesse sta attualmente assumendo, ai fini della produzione di biomassa, la specie *Miscanthus x giganteus* (GREEF et DEU.), che, secondo Greef e Deuter (1993), rappresenta l'incrocio fra il *M. sacchariflorus* e *M. sinensis*.

Analisi generica (%) :

umidità	-
ceneri	2,5
sostanze volatili	86,3

Valore calorifico (MJ·kg⁻¹): 19,05

Elementi di base (%) :

Carbonio (C)	49,5
Idrogeno (H)	7,47
Ossigeno (O)	39,3
Azoto (N)	0,61
Zolfo (S)	0,17

Alogeni:

Cloro (Cl) (%)	0,49
Fluoro (Fl) (mg·kg ⁻¹ s.s.)	30

Metalli duri (mg·kg⁻¹ s.s.):

Cromo (Cr)	2,1
Rame (Cu)	2,1
Zinco (Zn)	4,8
Arsenico (As)	< 1
Cadmio (ca)	< 0,8
Mercurio (Hg)	< 0,02
Piombo (Pb)	3,9
Nichelio (Ni)	2,0

Tab. 2 - Contenuto di alcune sostanze ed elementi nella biomassa aerea del *Miscanthus*.

Peraltro, rari sono gli studi cariologici effettuati sulla specie. Le uniche indagini condotte hanno riguardato il numero dei cromosomi somatici che risulta pari a 57. Il materiale vegetale utilizzato in tali studi, include le piante di specie introdotte originariamente da Aksel Olsen nel 1935 in Danimarca e provenienti dal Giappone (Greef e Deuter, 1993) e campioni prelevati da differenti località Europee (giardini botanici, produttori di piante, etc.). I campioni presentavano cromosomi somatici del tutto identici ed i cromosomi triploidi evidenziavano l'origine ibrida.

Le specie della sezione *Triarrhena* ed *Eumiscanthus* sono per lo più tutte piante con un'altezza di oltre 2,50 m; invece, le specie della sezione *Kariyasua* e *Diandra* raggiungono valori di 1,00 m. Il *Miscanthus x giganteus* (GREEF et DEU.), presenta culmi con oltre 3,50 m di altezza.

La sezione *Triarrhena* è caratterizzata da un habitus di crescita strisciante dei rizomi, mentre le specie delle altre sezioni presentano un accrescimento dei culmi verso l'alto.

Matamura et al. (1985), osservando degli ibridi artificiali fra il *M. sacchariflorus* e il *M. sinensis* var. *condensatus*, trovarono un tipo di rizoma intermedio rispetto alla lunghezza delle ramificazioni. Il *Miscanthus x giganteus* (GREEF et DEU.), presenta un tipo di rizoma intermedio fra gli estremi di *M. sacchariflorus* e il *M. sinensis* che sembra confermare tale l'osservazione.

8.2 Importanza economica

In Europa, la coltura del *Miscanthus sinensis* ANDERSS. ha rivestito una certa importanza primariamente come coltura ornamentale. A tale scopo fu infatti introdotto in Danimarca nel 1935 dalla sua area di origine (Giappone) l'ibrido *Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU.

Tuttavia, recentemente, essa è andata acquisendo una crescente importanza per via delle sue potenzialità di produzione di biomassa a fini energetici.

Peraltro, a tutt'oggi, l'importanza economica della coltura è legata esclusivamente alle sue potenzialità produttive non potendosi parlare in senso stretto di produzione a livello mondiale e di superfici investite.

In particolare nel Nord Europa il *Miscanthus* ha suscitato l'interesse della UE che si è impegnata nella valutazione della coltura per la produzione di biomassa per energia. Si sono così ottenuti dai dati in sede sperimentale sulle possibili rese. Autori diversi riferiscono di valori variabili fra 11,7 e 25,3 t ha⁻¹ di sostanza secca (El Bassam e Dainbroth, 1991). Va tuttavia evidenziato come, trattandosi di una coltura poliennale, le rese riportate si riferiscono alle produzioni ottenibili dal terzo anno in poi. La pianta, infatti, va incontro ad un periodo di insediamento, di circa due anni, durante il quale le rese si mantengono piuttosto basse (7-10 t ha⁻¹). Il ciclo completo della coltura sembra si esaurisca in circa 10 anni, trascorsi i quali le rese vanno incontro ad una fase di declino.

Ricerche condotte nell'ambito dei progetti sostenuti dall'Unione Europea al fine di valutare la potenzialità produttiva delle colture hanno posto in evidenza che le produzioni areiche sono risultate dell'ordine di 8-13 t ha⁻¹ in paesi del Nord Europa quali Irlanda, Inghilterra, Olanda; Hanno raggiunto le 20 t ha⁻¹ in Belgio, Francia e Germania meridionale ed infine hanno superato le 30 t ha⁻¹ in Grecia e nel meridione d'Italia, sia pur sostenute da interventi irrigui.

8.3 Organografia e biologia

Morfologia

Rizomi

Il tipico rizoma maturo misura approssimativamente 50 cm ed il diametro degli internodi è di circa 6 mm. Si riscontrano abitualmente 20-25 nodi dai quali prendono origine da 12 a 15 nuovi culmi. Spesso gli internodi sono coperti da tessuto tricomatoso.

Da un punto di vista istologico, gli internodi presentano una fascia monocellulare esterna che circonda la corteccia rappresentata da una regione di cellule piccole e compatte. All'interno risultano evidenti diversi canali che costituiscono un tessuto aerenchimatico. I canali sono a loro volta delimitati da diverse file di cellule con pareti sottili per favorire gli scambi gassosi.

Culmi

Da un punto di vista istologico, possono essere identificate tre regioni: la zona parenchimatosa (in posizione centrale), il tessuto interno (dove sono localizzati i fasci vascolari) e lo sclerenchima più esterno. Tuttavia non si osserva una chiara linea di demarcazione tra le diverse aree. Peraltro, come confermato da studi recenti, anche il rapporto fra le tre regioni non si mantiene costante durante il periodo di accrescimento.

E' possibile evidenziare un passaggio graduale dal parenchima a pareti sottili, localizzato nel centro, verso lo sclerenchima periferico.

Metcalf (1960) descrivendo il culmo del *Miscanthus sinensis* var. *condensatus*, osserva come il tessuto diventi spugnoso verso il centro rappresentando così una via di mezzo tra il tipo cavo ed il tipo pieno (fig.8.1).

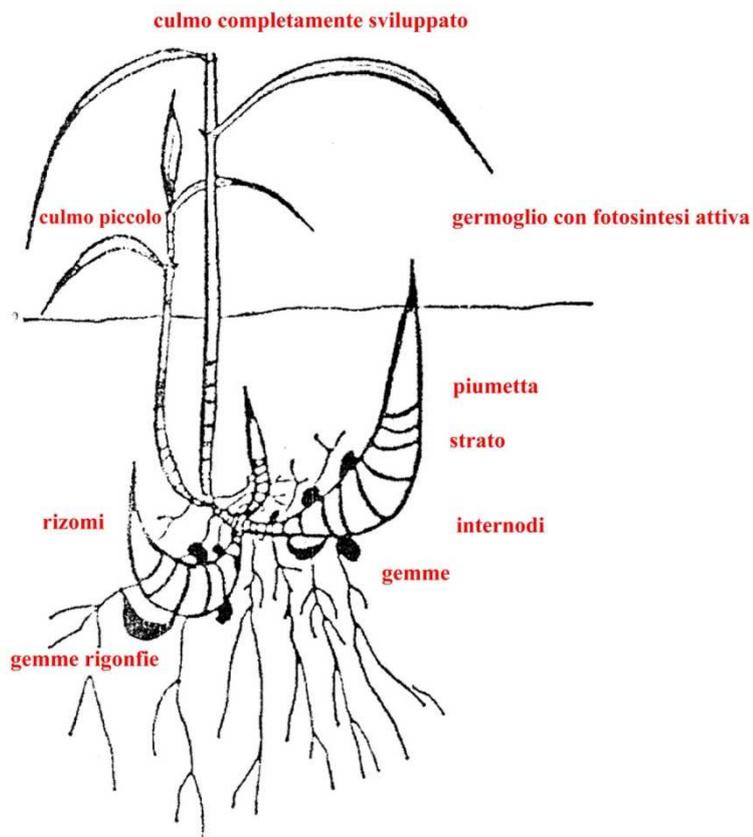


Fig.8.1 – Terminologia del sistema radicale e degli stadi di accrescimento dei culmi di *Miscanthus*.

Foglie

Le foglie (fig. 8.2) sono laminari ed allungate e presentano un'ampia variazione in lunghezza e larghezza all'interno delle specie (Adati, 1958). La struttura anatomica delle lamine fogliari rappresenta un elemento importante per la specificazione tassonomica interna delle specie basata su una classificazione morfologica grossolana. Una chiave dettagliata delle caratteristiche anatomiche delle foglie all'interno delle specie è data da Lee (1964).

L'autore distingue tre gruppi principali in funzione dello strato epidermico.

- a) Tipo *sinensis*: papille presenti sulla superficie inferiore. Cellule sussidiarie a forma di cupola. La superficie inferiore non è tricomatosa (*M. sinensis* e *M. nepalensis*).
- b) Tipo *condensatus*: papille presenti sulla superficie inferiore. Cellule sussidiarie a forma di cupola. La superficie inferiore non è tricomatosa (*M. condensatus*).
- c) Tipo *floridulus*: papille comunemente assenti sulla pagina inferiore. Cellule sussidiarie a forma di cupola. Numerosi stomi presenti su entrambe le superfici delle lamine fogliari (*M. floridulus* e *M. sacchariflorus*).

Sempre secondo Lee (1964), è possibile distinguere tre tipi di sezione trasversale della foglia.

- a) Tipo *sinensis*: presenta fasci vascolari di forma circolare e ovali fra le nervature e nelle lamine e spesso avvolti da una guaina (*M. sinensis*, *M. sacchariflorus* e *M. floridulus*).
- b) Tipo *oligostachyus*: fasci vascolari rotondeggianti fra le nervature e nelle lamine ed inclusi in una guaina ben sviluppata. I fasci più importanti non sono più di due. La parte apicale del fascio mediano è generalmente più ampia. Cellule bulliformi ben sviluppate nella lamina (*M. oligostachyus*, *M. tinctorius*, *M. nepalensis* e *M. changii*).
- c) Tipo *condensatus*: fasci vascolari a forma di bottiglia fra le nervature; comunemente inclusi in una guaina eccetto il lato inferiore. La lamina è più spessa che negli altri tipi (*M. condensatus*).

Va infine ricordato come, per via delle possibili ibridazioni artificiali o naturali, siano presenti caratteristiche intermedie nell'anatomia delle foglie e nella struttura delle spighette. In particolare la presenza di papille, piuttosto che la loro assenza, sembra essere una caratteristica dominante.



Fig. 8.2 – Immagini relative all'apparato fogliare.

Infiiorescenza

L'infiorescenza (fig.8.3) del genere varia fra un panicolo spargolo con numerosi racemi portato da un asse allungato, ad un piccolo panicolo con pochi fiori ed un ridotto numero di racemi, portate su un asse accorciato.

Una spighetta è composta di solito da un fiore ermafrodita perfetto e da un secondo fiore che è ridotto a lemna o palea. I peli basali sono normalmente più lunghi che nelle spighette. La prima gluma ha 3 o 5 venature ed è di lunghezza pari alla spighetta. La seconda gluma ha 3 nervature; la lemna fertile ha due denti, 3 nervature ialine comunemente ristate. La lemna sterile può avere o meno nervature ed è ialina. La palea se è presente è corta e snervata. Sono presenti le lodicole; gli stami sono 2 o 3.



Fig. 8.3 – Infiorescenza.

8.4 Esigenze rispetto al clima, al terreno e all'alimentazione

L'adattamento del *Miscanthus* ad un determinato ambiente è prevalentemente funzione del suolo, dell'acqua, della presenza di elementi nutritivi, della temperatura e delle loro interazioni.

Temperatura

Le piante C₄ presentano un potenziale di conversione di radiazione solare intercettata superiore di circa il 40% rispetto a quella delle piante C₃; peraltro, esse risultano intolleranti alle basse temperature riscontrabili in Europa occidentale (Jones e McNally, 1987). Tuttavia diverse piante C₄ perennanti risultano ben adattate alle condizioni climatiche proprie dell'Europa occidentale e fra queste può essere incluso il *Miscanthus* che è nativo di un'area con inverni ancor più rigidi di quanto siano riscontrabili in Europa (Long et al., 1989). Per esempio nella zona del Kawatabi in Giappone la temperatura media in gennaio è pari a -1°C e tuttavia il 95% dell'essenze erbacee è rappresentato dal *Miscanthus sinensis* (Numata, 1975). Ciò non di meno, in nord Europa, durante la stagione di sviluppo, è più la temperatura che la piovosità a rappresentare il fattore limitante delle rese per le specie C₄. Il

motivo di tale comportamento può essere ricercato nella temperatura ottimale propria del processo di fotosintesi che risulta essere maggiore nelle piante C₄.

In Giappone lo sviluppo del *M. sinensis* è stato correlato con le somme termiche delle temperature medie al di sopra dei 10°C e la corrispondente stagione di sviluppo può variare tra 60-240 giorni (Numata, 1975).

Danni da freddo

Le foglie delle piante C₄ tendono ad essere suscettibili ai danni da freddo pur riscontrandosi una certa variabilità all'interno delle cultivar. Il *Miscanthus* si è evoluto attraverso millenni in aree con inverni rigidi ed estati calde e con elevate fluttuazioni delle temperature primaverili ed autunnali. Esso è pertanto in grado di adattarsi alle condizioni di gelo ai fini della sopravvivenza.

Il *Miscanthus* può sopportare lievi gelate primaverili, ma le foglie e i fusti più giovani subiscono danni irreversibili da temperature inferiori a -5°C (Knoblauch et al., 1991).

I danni principali da gelo vengono avvertiti prevalentemente dalle piante di primo anno; la fine della stagione di sviluppo per il *Miscanthus* viene probabilmente segnata dalla prima gelata autunnale.

Vento

Il vento riveste una grossa importanza nella coltivazione del *Miscanthus*: esso può rappresentare causa di allettamento della coltura. Ciò si verifica prevalentemente quando la coltura non presenta culmi ancora lignificati. Danni da vento hanno fatto registrare una riduzione nella resa in Bavaria e Danimarca (Sutor et al., 1991). Tuttavia solo la cv. *Miscanthus x giganteus* è stata significativamente influenzata laddove altre cultivar non hanno riportato danni evidenti. Man mano che l'inverno avanza e le foglie disseccano il rischio di allettamento diviene meno rilevante; nelle piantagioni

mature i rizomi formano una massa solida in grado di resistere all'effetto del vento; peraltro improbabile appare la possibilità che il *Miscanthus* possa subire danni da sradicamento come viceversa viene registrato sul mais.

Seconda causa di danno da ascrivere al vento è dovuta all'effetto di riduzione della temperatura con conseguenti danni sullo sviluppo. La selezione delle località di questa coltura dovrebbe pertanto tenere conto anche dei venti prevalenti, particolarmente nelle aree esposte.

Infine il vento può causare danni alle foglie per via di abrasioni e lacerazioni. Tuttavia tale categoria di danno è avvertita più nel mais che nel *Miscanthus* per via della rugosità e della fibrosità delle foglie di quest'ultimo.

Radiazione solare

Il genere *Miscanthus* può presentare un elevato tasso di conversione fotosintetica della radiazione solare captata.

Studi condotti in Gran Bretagna hanno messo in evidenza che durante la fase di insediamento della coltura l'efficienza di conversione della radiazione solare (R.U.E. = Radiation Use Efficiency) è risultata pari a 1,62 g di biomassa secca aerea MJ⁻¹.

In Germania, Schwarz et al., (1994) hanno riportato valori pari in media a 1,27 g MJ⁻¹ (0,32 - 1,98 g MJ⁻¹).

In Olanda Van der Werf et al., (1993), hanno stimato valori pari a 2,56 g MJ⁻¹, di radiazione solare foto sinteticamente attiva, che risulta essere uguale in termini di energia al 45% della radiazione globale.

Durante ricerche condotte a Catania, Cosentino et al. (2006) hanno ottenuto una RUE di circa 1,1 g MJ⁻¹.

Terreno

Esperienze condotte in Danimarca fanno rilevare come i terreni più adatti per il *Miscanthus* siano i terreni sabbiosi o sabbioso-limosi con un

contenuto di argilla fino al 10% (Knoblauch et al., 1991). Anche i suoli ben drenati e ricchi di humus hanno fatto registrare rese elevate. I risultati sono stati confermati da prove condotte in Bavaria che evidenziano la preferenza del *Miscanthus* verso suoli sabbiosi e limosi. Il suolo comunque deve essere sufficientemente areato, pertanto i suoli argillosi sembrano essere inadatti alla sua coltivazione.

Più incerti invece, sono i risultati in merito agli effetti degli eccessi idrici del suolo. Scarsa sembra essere la resistenza a tale fenomeno (Harvey, 1991); studi effettuati in Giappone, hanno dimostrato che il *M. sacchariflorus* nelle aree umide faceva registrare rese maggiori in condizioni di falda superficiale, tuttavia nelle parcelle con eccessi di umidità le piante producevano più nella parte epigea che in quella ipogea. Questa condizione a lungo termine non consentiva la formazione di nuovi rizomi.

La profondità del suolo riveste grande importanza in riferimento alla sua capacità di ritenzione idrica. Ricerche condotte in Europa hanno evidenziato come la coltura si sviluppi abbondantemente in altezza e presenti maggiore vigore nelle aree dove i terreni si presentano più profondi.

Terreni scuri e tendenzialmente sabbiosi sembrano essere i più adatti per via della loro capacità di riscaldamento. Ruolo positivo svolge a tal fine anche l'esposizione del terreno. Studi condotti in Danimarca e Gran Bretagna indicano che il valore di pH idoneo oscilla tra 5,5 e 7,5, il che esclude terreni tendenzialmente alcalini.

Elementi nutritivi

I valori degli elementi nutritivi si aggirano intorno alle seguenti quantità rispetto al peso secco: azoto 0,2%, potassio 0,18%, fosforo 0,04%, zolfo 0,2%, magnesio 0,05%, calcio 0,1%. Assumendo che le rese sono generalmente nell'ordine di 25 t ha⁻¹ di s.s. la richiesta minima di elementi nutritivi per rimpiazzare quelli asportati si può calcolare come segue: azoto 50 kg ha⁻¹, K₂O

45 kg ha⁻¹, zolfo 25 kg ha⁻¹, magnesio 13 kg ha⁻¹, calcio 25 kg ha⁻¹. Gli apporti di calcio, magnesio e zolfo dal suolo e dall'atmosfera sono generalmente in grado di soddisfare questa esigenza; la maggior parte dei suoli argillosi sono, in buona parte, in grado di fornire le richieste necessarie anche di potassio.

L'elemento nutritivo verso il quale è necessario porre attenzione è l'azoto, che può essere assorbito da un sistema radicale sufficientemente attivo durante l'inverno con poche perdite di questo elemento per lisciviazione.

Esigenze idriche

Le piante C₄, possono avere un'efficienza superiore dell'utilizzazione dell'acqua rispetto alle piante C₃. Da autori diversi è stato evidenziato come le piante C₄ siano in grado di svilupparsi con un quantitativo di acqua pari al 50% di quello richiesto dalle piante C₃. Lo sviluppo del *Miscanthus* può essere significativamente ridotto dal deficit idrico del suolo sia durante la fase di insediamento della coltura (Harvey, 1991) che durante la fase di accrescimento (Knoblauch et al., 1991).

Al suo completo sviluppo, il *Miscanthus* è in grado di utilizzare l'acqua presente anche con un deficit idrico del suolo pari a 70-100 mm nel periodo che va da luglio ad agosto; la capacità delle radici di spingersi in strati profondi permette un miglior uso dell'acqua disponibile.

8.5 Tecnica di coltivazione

Preparazione del terreno

Le lavorazioni preliminari per una coltura perennante quale il *Miscanthus* rappresentano l'unica possibilità di migliorare le condizioni di suoli poveri per struttura o per presenza di strati compatti. Nei suoli con problemi di crostoni è importante operare al fine di aumentare il franco di coltivazione e permettere l'accumulo delle riserve d'acqua durante il periodo piovoso.

I cloni di *Miscanthus* attualmente in coltura, utilizzabili per colture da biomassa, non producono seme fertile in Europa. Se da una lato la situazione può cambiare, allo stato attuale le colture possono essere impiantate solo per trapianto di rizomi o di altri organi.

Propagazione

Semina

In Giappone un gran numero di specie di *Miscanthus* sono già in grado di produrre seme fertile ed alcune vengono considerate specie infestanti.

Ricerche condotte su tre specie di *Miscanthus*: *M. sacchariflorus*, *M. sinensis* e *M. tinctorius*, sugli effetti della temperatura e della luce e sulle condizioni di conservazione a temperatura controllata durante il periodo di germinazione, hanno evidenziato nel primo il più alto grado fertilità dei semi, sebbene sia stata registrata una elevata variabilità del carattere in esame fra le popolazioni e gli anni.

Un regime di alternanza delle temperature (12 ore a 30°C seguite da 12 ore a 20°C) sembra determinare un incremento nella percentuale di semi germinati rispetto ad una temperatura di germinazione costante.

Anche le condizioni di luminosità incidono sulla capacità di germinazione. Questa sembra, infatti, ridursi di circa il 10% al buio; comunque, dopo un lungo periodo di conservazione (ca. 200 giorni) il fattore luce ha influito in misura minore sulla germinazione dei semi.

La conservazione dei semi a basse temperature, poco superiori a 0°C, comporta l'incremento della germinazione. Aso (1977) ha studiato gli effetti dei trattamenti con acido gibberellico, del pH e della temperatura sul processo di germinazione dei semi di *M. sinensis*. Le prove di germinazione condotte hanno dimostrato che i semi di dimensioni maggiori presentano una maggiore velocità di germinazione, sebbene dopo 5-6 giorni a temperatura variabile fra i

15 e i 30°C è stata registrata una differenza pari al 7% fra i semi più piccoli e quelli più grandi.

Condizioni di pH comprese fra 4 e 8,5 determinano effetti poco evidenti sulla germinazione, a prescindere delle dimensioni del seme.

a

Trapianto con uso di rizomi

Il *M. sienesis* ed il *M. sacchariflorus* presentano una crescita sotterranea dei culmi e dei rizomi che germogliano alle ascelle delle foglie.

I rizomi formano un groviglio intrecciato a 10-15 cm sotto la superficie del suolo, mentre il sistema radicale penetra fino a 120 cm.

Su ciascuna prova effettuata a Hormum (Danimarca) 4 pezzi di rizomi lunghi 4 cm sono stati conservati in frigorifero e sottoposti a forzatura in una serra in vetro per un periodo di 6-8 settimane e subito dopo trapiantati in campo. Osservazioni preliminari fatte in prove precedenti suggeriscono che i rizomi di 10 cm piantati in aprile-maggio attecchiscono meglio rispetto a quelli di 4 cm.

Nielsen (1987) descrisse un metodo di propagazione simile per il *M. sienesis* "*Giganteus*". Egli piantò pezzi di rizoma lunghi 8-10 cm ad una profondità di 3-6 cm e con una densità di 10.000 piante ha⁻¹. I rizomi più corti, piantati in giugno, subirono una grande moria invernale.

Per avere una elevata quantità di materiale di propagazione, si procede nel modo seguente: si prelevano le piante di 2-3 anni, nel mese di novembre, da ciascuna di esse si tagliano 25-30 pezzi di rizomi i quali dovranno essere conservati a $\pm 1^\circ\text{C}$. Il successo conseguito impiegando questo metodo può aggirarsi intorno al 65-75% (Knoblank et al., 1991). Viceversa, il 100% di impianto è comunemente conseguito con trapianto di piante cresciute in vaso.

La propagazione effettuata utilizzando pezzi di rizomi offre una alternativa alla divisione, producendo potenzialmente un gran numero di

piantine da una pianta madre, sebbene sia necessario un periodo di tempo molto lungo per prelevare piante grandi e robuste.

Micropropagazione

Lo studio sulla micropropagazione è stato condotto in America su tre cultivar di *Miscanthus sinensis* (Gawel et al., 1987). Sono state prelevate dalle piante le infiorescenze immature, le foglie mature ed immature, i segmenti nodali ed internodali, le regioni meristematiche e oculari e successivamente testati per rigenerazione su un mezzo auxinico. Solo le infiorescenze immature crescono su un contenuto medio di acido tricloropicalinico 4 amino 3, 5, 6 (Picloran) o 2,4-D e producono la risposta rigenerativa. Dopo l'inizio della radicazione si consiglia di servirsi di questo metodo in vitro come mezzo di propagazione su larga scala.

Daniel e Bauman (1987) riportano tre tecniche di propagazione in vitro:

- a) segmenti nodali;
- b) meristemi;
- c) calli.

I **segmenti nodali** provocano effetti dannosi durante l'accrescimento dei culmi con l'emissione di essudati fenolici.

La **coltura dei meristemi** implica l'amputazione della parte apicale del culmo più una o due foglie primordiali. L'accrescimento avviene successivamente, dopo 3-4 settimane i culmi possono essere moltiplicati o messi a dimora.

Da 10 meristemi con un ciclo di moltiplicazione si producono 500 piantine in 6 mesi (Harvey, 1991).

Colture meristematiche possono anche essere indotte a formare il **callo** quindi possono dare nuove piantine.

La micropropagazione offre un metodo rapido di incremento del numero di piante in un periodo di tempo relativamente breve.

Impianto della coltura

Epoca di trapianto

La data di impianto suggerita, in Germania e Danimarca, per i rizomi e le giovani piantine è compresa tra fine aprile e luglio, quando la temperatura del suolo raggiunge i 10°C o più.

In presenza di piante giovani è particolarmente importante che venga evitato il rischio del danno provocato dal gelo.

Il periodo più adatto per la semina del mais corrisponde con quello del Miscanthus, quando la temperatura è superiore ai 10°C.

Per un buon impianto del Miscanthus è necessario un appropriato dissodamento ed un adeguato contenuto di umidità nel terreno.

L'esperienza nel continente Europeo ha indicato che le macchine trapianta-piantine possono essere utilizzate con successo per giovani piante di Miscanthus; le macchine utilizzate per seminare i tuberi-seme hanno avuto successo per piantare i frammenti di rizomi.

Profondità di trapianto

Le giovani piantine alla data del trapianto devono avere un'altezza di 30-35 cm, un piccolo culmo e una radice vigorosa. I frammenti di rizoma devono essere piccoli, lunghi 10 cm, per minimizzare lo spreco, sebbene frammenti più piccoli, 5 cm di lunghezza, possono essere impiantati con successo.

In campo, la profondità di trapianto per i frammenti di rizoma può essere di 5-7 cm. Per le piantine più adulte la profondità può aumentare di ca. 2 cm.

I dati riportati sono tuttavia relativi principalmente al Miscanthus x giganteus in Danimarca, e non sono stati confermati in altri ambienti europei.

Investimento unitario

L'investimento ottimale per ettaro va dalle 8.000 alle 10.000 piante. La letteratura in argomento sembra suggerire che le varietà a maturazione precoce e a sviluppo limitato in altezza richiedono un numero maggiore di piante per m². In teoria la disposizione spaziale dovrebbe essere la più vicina possibile alla forma quadrata per ottimizzare l'accesso della luce e l'assorbimento degli elementi nutritivi, ma le esigenze connesse agli interventi meccanici e la possibilità di intervento per la raccolta possono determinare un allontanamento dalla disposizione in quadrato dell'impianto. In Danimarca è adottato un sistema colturale a doppia riga con 175 cm fra le righe doppie; nelle piantagioni in avanzato stato di maturazione le piante ricoprono interamente i solchi.

Controllo delle infestanti

Esperienze condotte in Europa indicano che l'insediamento della coltura può essere gravemente inficiato da uno scarso controllo delle infestanti durante i primi due anni di sviluppo. I terreni destinati alla coltivazione del Miscanthus andrebbero pertanto rinettati da erbe infestanti perennanti prima dell'impianto della coltura. Una gran quantità di erbicidi sono stati provati (atrazina, tropizamide, fluroxipirin, il sulfamil e la stessa urea) dando risultati apparentemente soddisfacenti in Danimarca e Germania; peraltro sono ancora necessarie indagini più approfondite per una valutazione degli effetti sulla coltura. Alcuni risultati sono stati ottenuti anche in prove condotte sul mais, il quale presentando un ciclo fotosintetico C₄ simile al ciclo del Miscanthus sembra anche in questo caso potersi considerare come coltura di riferimento. In particolar modo si sono utilizzati erbicidi alternativi rispetto all'atrazina che pur presentando vantaggi per il controllo delle infestanti rappresentano in molti paesi, attualmente, un problema per i residui nelle acque ad uso potabile.

8.6 Avversità biotiche

Anche se il *Miscanthus* è attaccato da un certo numero di patogeni, raramente si raggiungono livelli di danno seriamente compromettenti la produttività. Questo è comprovato anche dall'utilizzo di questa coltura in programmi di ibridazione per la ricerca di germoplasma resistente per diverse specie di vegetali coltivati, fra cui la canna da zucchero.

Per ovvie ragioni le malattie del *Miscanthus* sono state studiate con poca attenzione rispetto a quelle del genere *Saccharum* a cui fa capo la specie della canna da zucchero; dal momento che le due specie appartengono alla stessa tribù delle *Andropogoneae* si può supporre che simili siano i patogeni in grado di attaccare le due specie, pertanto di seguito verranno menzionate le malattie che risultano infestare la canna da zucchero e che possono rappresentare una possibile fonte di rischio anche per il *Miscanthus*.

Funghi (Basidiomyceti)

Conosciute come ruggini (*Uredinales*) sono sei le specie del genere *Puccinia* in grado di attaccare il *Miscanthus* spp.: *P. miscanths*, *P. miscanthidii* (sud Africa), *P. miscanthicola* (Cina) *P. erytropus* (Russia, Cina, Giappone, Filippine), *P. daisensis* (Giappone) e infine *Uredo miscanths sinensis* (Taiwan).

Un'altra specie appartenente all'ordine *Ustilaginales* (carbone) che causa danni ingenti alla canna da zucchero, ma è in grado di attaccare anche il *Miscanthus sinensis* è *Stagonospora sacchari* (Ascomiceti) (Holyday, 1980).

Alcuni funghi del genere *Fusarium* riscontrati nel *Miscanthus sinensis* "*Giganteus*" come le specie *F. moniliformi* e *F. moniliformi* var. *subglutinans*, la cui distribuzione geografica copre anche l'Europa, possono attaccare solo le piantine più giovani appena trapiantate e quindi più vulnerabili.

Ricordiamo infine un altro patogeno che appartiene alla famiglia *Peronosporaceae*, la *Perosclerospora miscanths*, è la causa della malattia della

rottura delle foglie nella canna da zucchero, ma è pure in grado di attaccare le specie di *Miscanthus*. La sua area di distribuzione è piuttosto ristretta (Taiwan, Filippine, comprese le isole Fiji e Papua Nuova Guinea).

Virus

Tra i virus ricordiamo il *Miscanthus striptvirus*. Le piante colpite si presentano spesso chiare e clorotiche e quasi traslucide anche quando le piante sono molto giovani.

8.7 Raccolta

La scelta del sistema di raccolta dipende dal tipo di utilizzazione del prodotto. In Inghilterra, nelle colture da energia ai fini della produzione di biomassa, vengono impiegate sia le foglie che i culmi. Diversi sono le tecniche di raccolta attualmente allo studio in Europa (Knoblauch et al., 1991; Sutor et al., 1991; Harvey, 1991; Freer, 1991).

Il *Miscanthus* è abitualmente assimilato per la tecnica di raccolta alla canna da zucchero, pertanto i macchinari utilizzati per questa coltura possono essere impiegati per il *Miscanthus*, anche se alcuni dei raccoglitori tradizionali di canna da zucchero operano un allontanamento delle foglie, per preparare la canna alle successive trasformazioni (estrazione dello zucchero). I macchinari più moderni sembrano essere in grado di risolvere il problema, ma sono necessarie ancora ulteriori sperimentazioni (Kristensen, 2001).

Macchine per la raccolta

Numerose ricerche sono state svolte nell'ambito delle colture erbacee da foraggio. I risultati confermano alla fine che i sistemi più grezzi assorbono una grande quantità di energia, all'aumentare della densità dei culmi.

Raccogli-trinciatrice: viene impiegata comunemente nelle macchine raccoglitrice del foraggio; presenta il vantaggio di lacerare il materiale; questo

comporta una maggiore facilità di disseccamento, ma presenta problemi per la massa di volume caratteristica della coltura del Miscanthus.

Barra falciante: le barre falcianti sono sistemi efficienti e con bassi consumi energetici; sono molto usate per i cereali, ma anche per colture con fusti più resistenti quali la fava o il colza. Il numero di culmi legnosi caratteristici del Miscanthus, suggerisce l'utilizzo di barre più robuste. Il sistema non presenta limitazioni in termini di altezza del taglio.

Seghe rotanti : impiegate per i culmi legnosi del mais, sono state utilizzate anche sul Miscanthus in Germania (Sutor, 1991).

Macchine condizionatrici: adottate per le colture da foraggio per insilamento, abitualmente soggette a lacerazioni e a sminuzzamento per favorire il successivo disseccamento. Anche per il Miscanthus si possono prospettare soluzioni del genere, valutando la possibilità di macchine polifunzionali in grado di operare perciò operazioni diverse insieme alla raccolta.

Macchine per la raccolta in fasci: in Irlanda ed in Europa sono state sviluppate macchine raccogliatrici in grado di raccogliere in fasci i culmi utilizzati come biomassa. Su operazioni fatte su piccola scala questo sistema sembra essere valido, ma appare poco soddisfacente per le raccolte su larga scala.

Roto-imballatrici: se il Miscanthus viene tagliato e lasciato seccare è possibile considerare l'eventualità di raccogliere in seguito il materiale in larghe balle. Alcune esperienze sono state effettuate in Danimarca (Knoblauch, 1991), ma ulteriori sperimentazioni e modificazioni sono necessarie per adattare questo tipo di macchine alla raccolta.

9. CYNARA CARDUNCULUS L.

9.1 Origine e diffusione

Il genere *Cynara* appartiene alla famiglia *Asteraceae* (ex *Compositae*), sottofamiglia *Tubuliflorae*, tribù *Cynareae*. In accordo con Zohary (1983), nel genere *Cynara* comprendiamo oltre alle forme coltivate *C. scolymus* L. (carciofo) e *C. cardunculus* L. var. *altilis* DC (cardo), altre tre specie spontanee presenti nel Bacino del Mediterraneo:

- *Cynara cardunculus* L. var. *silvestris* (cardo selvatico), nell'Italia meridionale e nella parte centro-occidentale del Bacino del Mediterraneo.
- *Cynara sibthorpiana* Boiss. Et Heldr., nell'arcipelago Egeo.
- *Cynara syriaca* Boiss., nel sud della Turchia, in Siria, Libano ed Israele.

C. syriaca, *C. cardunculus* e *C. scolymus* sono interfertili, per cui le piante selvatiche possono rappresentare un importante "pool" genico nel miglioramento genetico delle forme coltivate (Basnizki, 1981). In particolare, il cardo selvatico (*C. cardunculus* L. var. *silvestris* (Lamk) Fiori) appartiene alla famiglia delle *Asteraceae* (ex *Compositae*), tribù delle *Cynarae*. E' una specie originaria del bacino del Mediterraneo dove sono anche presenti il carciofo (*C. cardunculus* L. var. *scolymus* L. = *Cynara scolymus* L.), il cardo (*Cynara cardunculus* L. var. *cardunculus* L. = *C. cardunculus* L. var. *altilis* DC) ed almeno altri sei taxa: il *C. syriaca* Boiss, il *C. cornigera* (Lindely)= *C. sibthorpiana* Boiss., il *C. algarbiensis* Cosson, il *C. baltica* (Sprengel) Pau=*C. alba* Boiss., il *C. humilis* L. ed il *C. cyrenaica* Maire e Weiller (Rottenberg e Zohary 1996). In base a studi citogenetici e isoenzimatici è stato evidenziato che il *Cynara cardunculus* var. *silvestris* è progenitore sia del carciofo che del cardo coltivato. Le forme spontanee e coltivate di *Cynara cardunculus* sono

infatti interincrociabili e gli ibridi ottenuti completamente fertili (*Rottenberg e Zohary 1996; Rottenberg et al., 1996*).

9.2 Fisiologia, biologia e caratteristiche botaniche

Per quanto riguarda il suo ciclo vitale, il cardo viene seminato in estate, germoglia in autunno, passa l'inverno come rosetta (stadio in cui risulta massima la resistenza al freddo) e sviluppa lo scapo fiorale in primavera. In estate, a causa delle scarse precipitazioni e delle elevate temperature, si ha l'arresto vegetativo dell'apparato aereo ed il suo disseccamento. Contemporaneamente, nella zona ipogea, il potente apparato radicale sopravvive in stato di dormienza. La vegetazione riprende con le prime piogge autunnali sviluppando nuove foglie, dalle gemme latenti alla base del fusto, ed ha inizio un nuovo ciclo vitale.

Il cardo è da considerarsi pianta perenne, sebbene esistano colture annuali o poliennali (5-6 anni).

La pianta di cardo è costituita da un grosso organo sotterraneo rizomatoso di riserva (*ceppaia*) da cui si dipartono 3-5 radici carnose del diametro talvolta maggiore a 2 cm, che possono raggiungere oltre il metro di profondità (fino a 7 metri secondo Fernandez, 2006), permettendo alla pianta di sopravvivere in condizioni di carenza idrica, essendo capace di esplorare senza problemi gli orizzonti profondi del suolo più ricchi di umidità. In autunno le gemme radicali producono una nuova rosetta di foglie mentre in primavera si ha la fioritura con il disseccamento dei fiori stessi in estate.

La plantula produce nel primo anno di vita un profondo fittone, la rosetta basale di foglie e, successivamente, lo scapo fiorale con i capolini. Le foglie a rosetta muoiono generalmente alla prima estate e ricrescono nei periodi più piovosi. Dalla radice principale si sviluppano le radici secondarie orizzontalmente, a diverse profondità.

Il fusto inizialmente di consistenza erbacea, durante l'accrescimento assume una consistenza semi-legnosa; presenta sezione circolare di diametro fino a 8-10 cm, può raggiungere un'altezza talvolta superiore a 100-250 cm e si ramifica allorché la pianta entra nella fase riproduttiva (fioritura); robusto, striato in senso longitudinale e fornito di foglie alterne. Durante il primo anno di vita il fusto si sviluppa normalmente per 1 metro, per poi raggiungere 1,5 e 2,5 metri l'anno successivo (*Fernández, 2004*). Il fusto principale e le sue ramificazioni portano, in posizione terminale, le infiorescenze. Gli steli fiorali muoiono dopo la fioritura e possono rimanere eretti per diversi mesi così come i vecchi fiori, che possono persistere per lungo tempo.

Le foglie sono portate su internodi molto ravvicinati in particolare nella parte basale del fusto e fanno assumere alla pianta un aspetto cespuglioso, sono lobate o pennatosette, caratterizzate da una grossa nervatura centrale, abbastanza spessa, che nella parte di attacco abbraccia parzialmente il fusto. Le foglie più adulte possono raggiungere una lunghezza superiore al metro; la lamina fogliare è di color verde-grigiastro per la presenza di numerosissimi peli, in particolare nella parte inferiore. Alcune cultivar presentano talvolta vere e proprie spine ai margini della grossa nervatura centrale e nei punti di attacco, su di essa, dei setti della lamina fogliare (*V.V.Bianco, 1990*). La spinosità delle foglie è una caratteristica della specie, oltre che della varietà, ed è regolata da una coppia di geni complementari dominanti per l'assenza di spine (*Foury, 1969*). L'eterofillia è presente con consistenza differente in relazione alle varietà. Le foglie sottostanti il capolino sono lanceolate e a lamina intera. Le prime foglie dei carducci sono anch'esse spesso a lamina intera, specialmente nelle varietà precoci, nelle quali l'eterofillia è una caratteristica significativa, contrariamente alle varietà tardive, le quali si possono considerare a media o lieve eterofillia (*Jannaccone, 1969; Dellacecca et al., 1976*). Le foglie della rosetta, invece, sono peziolate, larghe (oltre 50 x 35 cm), subcoriacee, profondamente fessurate, mentre quelle del fusto sono

alterne e sessili. Nell'ambito delle varietà molto precoci, spesso si osserva la comparsa di piante tardive, caratterizzate da foglie a margine seghettato, in conseguenza di mutazioni chimeriche (Marzi, 1989). Il portamento della pianta determinato dalla diversa angolazione di attacco delle foglie sul fusto, può essere espanso o assurgente (Dellacecca et al., 1976).

I fiori, ermafroditi, tubulosi, vengono detti "flosculi". Questi, sono riuniti in una infiorescenza a capolino detta anche "calatide", di forma tendenzialmente ovale o conica. I capolini sono di forma, numero e grandezza diverse a seconda delle specie e della varietà. Possono superare anche i 400 grammi cadauno ed essere presenti sulla pianta in numero di 20-30 o anche 60 (più numerosi rispetto al carciofo). Sono portati singolarmente, hanno un diametro di 3-8 cm e possono presentare una corolla di diversa colorazione (blu, lilla fino a glauca). L'infiorescenza comprende una parte basale, il ricettacolo carnoso, sul quale sono inseriti i fiori. Inframmezzati ai fiori sono presenti sul talamo numerose setole bianche e traslucide, il cosiddetto "pappo". Sul ricettacolo si inseriscono le brattee o squame involucri, a disposizione embricata l'una sull'altra, le più interne tenere e carnose, quelle più esterne consistenti e fibrose, di colore verde, violetto o brunastro. La presenza di spine all'apice delle brattee è una caratteristica legata alla specie e alla varietà, così come la colorazione delle brattee interne e di quelle esterne (Mauromicale, 1987; Marzi, 1989; Foti e Mauromicale, 1994). Il ricettacolo tende a diventare convesso durante la schiusura dei fiori. L'emissione dei capolini è scalare e la durata del periodo di fioritura può essere molto ampia o alquanto ridotta, in funzione della precocità. La fioritura è proterandra. La fertilità del polline dura sino a tre, quattro giorni dopo l'antesi, lo stigma diventa recettivo in un periodo di tempo variabile, a seconda delle specie e della varietà tra i 4-5 e gi 8 giorni dopo l'antesi, quando cioè il polline dello stesso fiore ha perso la facoltà di germinazione (Foury, 1967). La fioritura si ha generalmente tra aprile e giugno. La morfologia florale ed il meccanismo di

antesi impediscono normalmente l'autoimpollinazione, per cui la fecondazione avviene normalmente per opera degli insetti bottinatori (*Foury, 1967 ; Bozzini e Iachelli, 1973; Pinzauti et al., 1981*).

Il frutto, impropriamente chiamato seme, è un achenio tetragono-costato (*cipsele*), di forma oblunga lievemente ricurva, un po' depressa, di colore grigiastro scuro e screziato e talvolta punteggiato o striato dal nero al verde scuro (che misura intorno agli 8 mm per 3 mm), unito al calice trasformato in pappo setoloso (che misura fino a 40 mm in lunghezza e 30 mm di diametro), per favorire la disseminazione. I "semi" di colore più scuro sono quelli formati più precocemente nelle parti periferiche del talamo (capolino); sono più pesanti e presentano migliore germinabilità. Il peso dei mille acheni può oscillare tra i 20 e i 50 g a seconda della varietà; 1 g ne contiene 20-30.

9.3 Esigenze ed adattamento ambientale

Il cardo che si ritiene pianta di origine mediterranea, richiede un clima mite e sufficientemente umido, per cui il suo ciclo normale è autunno-primaverile nelle condizioni climatiche del bacino del mediterraneo; tende alla produzione primaverile-estiva nelle zone più fredde. Il cardo resiste abbastanza bene fino a temperature di 0°C, mostrando alle più basse temperature lievi danni da freddo sul capolino, con distacco della cuticola delle bratte. Da 0°C a -4°C i danni da freddo diventano più gravi per l'infiorescenza; da -4 a -7 °C vengono colpite anche le foglie. Al di sotto di -7 °C tutta la vegetazione è colpita, mentre a partire da -10 °C possono essere compromesse anche le gemme del fusto rizomatoso.

Il cardo, essendo pianta perennante, con un continuo rinnovo della vegetazione, in seguito alle emissioni di nuovi carducci dal fusto rizomatoso, in particolari condizioni ambientali potrebbe essere in produzione per tutto l'anno. In ogni getto della pianta si verifica una fase vegetativa, a cui segue quella riproduttiva, per cui si può ottenere la rifioritura della stessa pianta. Laddove, invece le condizioni climatiche sono sfavorevoli, per la temperatura o molto elevata o molto bassa, si ha una stasi più o meno prolungata, a cui segue il "risveglio della carciofaia".

Il cardo risente anche della temperatura molto elevata, per cui la fase del riposo vegetativo capita tra la fine della primavera e l'estate. Un livello termico molto basso rallenta il ritmo di accrescimento e la produttività.

Il cardo preferisce terreni profondi, freschi, di medio impasto e di buona struttura, a reazione intorno alla neutralità, pur adattandosi a terreni di diverse caratteristiche. In relazione, alla elevata potenzialità di accrescimento della pianta, è ovvia l'influenza dell'apporto di fertilizzanti e delle disponibilità idriche nel terreno.

9.4 Avversità

Il cardo può essere soggetto a diverse avversità, sia per alterazioni fisiologiche che per attacchi parassitari, il cui controllo è spesso indispensabile per la salvaguardia della produzione.

Il freddo provoca danni sul capolino con sollevamento dell'epidermide e necrosi dei tessuti.

Tra le crittogame abbastanza frequenti sono gli attacchi di *Leveillula taurica* f. *Cynarae* “mal bianco” o “nebbia”. Le foglie colpite mostrano sulla pagina inferiore chiazze bianco-giallastre, che nel tempo provocano la necrosi dei tessuti ed il decadimento progressivo dell'apparato fogliare. I trattamenti ripetuti con caratano sono efficaci nel contenere la malattia.

I marciumi del colletto da *Sclerotinia sclerotiorum*, da *Sclerotium rolfsii* e *Rhizoctonia solani* sono frequenti nelle carciofaie poliennali nei mesi caldi estivi e sono favoriti dall'elevata umidità del terreno. Il deperimento delle carciofaie da *Verticillium dahliae* Kleb. È divenuto motivo di grande preoccupazione in quelle aree dove il carciofo è molto diffuso, per l'entità dell'attacco, che porta anche alla morte dell'intera pianta. La fumigazione del terreno con dazomet permette un buon controllo della malattia.

Per quanto riguarda i parassiti animali, i più pericolosi sono quelli che danneggiano il capolino, quali i lepidotteri *Scotia segetum* Schiff (agrostidi), *Hydroecia xanthenes* Ger., *Depressaria erinacella* Stg. Sulle foglie sono presenti gli attacchi di afidi e lumache.

La lotta chimica è indispensabile, ma i trattamenti con i prodotti in commercio, verranno ripetuti più volte per essere efficaci.

Più difficile risulta la lotta contro i topi campagnoli, per i quali continuo deve essere il controllo con le esche avvelenate, onde evitare infestazioni di particolar gravità per la sopravvivenza della carciofaia.

9.5 UTILIZZAZIONI DELLA BIOMASSA.

Biomassa per energia

Per il cardo selvatico è stata confermata, la possibile utilizzazione della biomassa aerea, come combustibile solido. Indagini preliminari sulla valutazione dell'energia totale ricavabile dalla biomassa a fine ciclo, eccetto i semi, indicano valori oscillanti tra 16 457 Kj Kg⁻¹ e 17 822 Kj Kg⁻¹, i quali rientrano nella norma per biomasse ligninocellulosiche (Fernandez e Manzanres, 1990; Foti *et al.*, 2000; Raccuia *et al.*, 2003a; Raccuia *et al.*, 2005c; Raccuia e Melilli, 2007a). Per il cardo un'ulteriore utilizzazione consiste nella trasformazione del substrato ligninocellulosico, costituito dalla parte aerea della pianta, in combustibile liquido, più precisamente etanolo, mediante idrolisi enzimatica (Negro *et al.*, 1988; Martinez *et al.*, 1989). Per combustione diretta delle piante di *Cynara cardunculus* si può ottenere materia prima per la produzione di energia su larga scala, per la produzione di elettricità o di calore da sfruttare negli impianti di riscaldamento.

Encinar *et al.* (2000), hanno condotto studi riguardo il processo di pirolisi della biomassa di *Cynara cardunculus* al fine di determinarne le principali caratteristiche della carbonella formata e la natura e la quantità dei gas prodotti. Il processo studiato ha portato alla formazione di tre fasi (solida, liquida e gassosa), le cui rese sono risultate fortemente dipendenti dalla temperatura, ma non dal flusso di N applicato, dalla dimensione delle particelle e dal peso del materiale di partenza. Un aumento della temperatura ha portato ad un incremento del contenuto in carbonio fissato, ad un aumento del contenuto in ceneri ed a una diminuzione della sostanza volatile, nella fase gassosa all'aumentare della temperatura veniva favorita la formazione di H₂, CH₄ CO e CO₂. Al fine di ottenere un processo di pirolisi economicamente vantaggioso partendo dalla biomassa di *C. cardunculus* è stato visto che la temperatura di reazione deve essere compresa tra 600 e 700°C.

In uno studio successivo (Encinar *et al.*, 2002) è stato valutato il processo di gassificazione degli scapi fiorali di *Cynara cardunculus*, analizzando l'influenza della pressione parziale dell'acqua, della misura delle particelle di origine e della temperatura, sul gas prodotto. I gas maggiormente generati sono stati H₂, CH₄, CO e CO₂, ma la quantità di H₂ prodotta è risultata in proporzione più elevata, mentre quella in CH₄ è risultata presente in proporzione inferiore. Tra le variabili analizzate la pressione parziale dell'acqua ha avuto effetti positivi sul processo, aumentandone la velocità di reazione, la produzione di gas, la generazione e la conversione di energia per chilogrammo di residuo iniziale, invece la misura delle particelle non ha mostrato significativi effetti sul processo.

Fibra per la produzione di pasta di cellulosa

Sono state condotte diverse ricerche relativamente al contenuto in emicellulosa, cellulosa e lignina e sull'uso della biomassa aerea per la produzione di pasta di cellulosa, in *Cynara cardunculus* var. *atilis*, valutando la composizione delle differenti parti della pianta. I risultati ottenuti indicano delle buone caratteristiche meccaniche e una porosità molto bassa della carta prodotta utilizzando biomassa di cardo (De los Santos, 1987; Fernandez e Manzanres, 1990).

La capacità produttiva del cardo per la produzione della pasta, è stata valutata studiando principalmente l'anatomia e la composizione chimica degli scapi fiorali poiché mostrano un'elevata potenzialità come fonte di fibre per la produzione di pasta di cellulosa. Lo scapo fiorale risulta costituito principalmente da polisaccaridi, rappresentati principalmente da cellulosa e xilani (superiori al 50%), lignina (circa 17%) e ceneri (circa 8%).

La struttura anatomica dello scapo fiorale, caratterizzata dalla presenza di midollo parenchimatico, facilita l'eliminazione e la separazione meccanica

della fibra rendendo più semplice la produzione di pasta di cellulosa (Gominho *et al.*, 2001).

Radici per la produzione di inulina

Dato il contenuto non indifferente di inulina, riscontrato nelle radici di *C. cardunculus* var. *sylvestris* Lam. (Raccuia *et al.*, 2004b; Raccuia *et al.*, 2005a), così come nei capolini e radici di carciofo (Raccuia, 1995; Melilli *et al.*, 2004; Raccuia e Melilli, 2004a), potrebbe essere ipotizzabile sia l'impiego delle radici prelevate a fine ciclo colturale, nel caso del cardo, che l'apprestamento di opportune colture da biomassa, con cardo domestico o cardo selvatico, per la produzione di radici da cui estrarre inulina da utilizzare tal quale o per ricavarne fruttosio (Melilli e Raccuia, 2007).

Estrazione di principi farmacologicamente attivi

Le proprietà medicamentose degli estratti ottenibili da *C. cardunculus* sono note sin dall'antichità nella medicina popolare. Diverse ricerche cliniche hanno confermato i benefici effetti terapeutici di preparazioni a base di carciofo in diverse epatopatie, ma hanno messo in evidenza altre proprietà terapeutiche, riguardanti l'azione sulla diuresi, sul ricambio del colesterolo, sul metabolismo dell'urea ed azioni collaterali dovute alle sue proprietà di stimolare le funzioni fisiologiche del fegato (Marzi *et al.*, 1975; Kraft, 1997). In *C. cardunculus* sono stati riscontrati contenuti elevati di polifenoli, quali l'acido 3-5 dicaffeilchinico e di acido 1-5 dicaffeilchinico (Brown e Rice-Evans, 1998; Raccuia *et al.*, 2003b). I due isomeri non sono facilmente scindibili, in quanto in soluzioni acquose l'acido 1-5 dicaffeilchinico, isomerizza in acido 1-3 dicaffeilchinico, noto anche come cinarina (Clifford, 1999).

Le foglie di *Cynara cardunculus* L. rappresentano un serbatoio naturale di composti polifenolici, con la presenza di acidi mono e dicaffeilchinici e di

flavonoidi, i quali rappresentano la frazione fenolica più abbondante (Wagenbreth, 1996; Mcdougall *et al.*, 1998). Non si esclude comunque la presenza di saponine e sesquiterpeni (Horman *et al.*, 1984). In varie ricerche agli estratti fogliari di *Cynara cardunculus* L. sono stati riconosciuti effetti antimicrobici, antiossidanti, anti-HIV, epatoprotettive e coleretiche, così come l'abilità di inibire LDL-colesterolo (Dranik *et al.*, 1996; Martino *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2003).

Le ricerche più recenti hanno focalizzato sull'attività antiossidante degli estratti fogliari acquosi. Lo stress ossidativo dovuto direttamente alla tossicità dell'ossigeno che reagisce con i radicali liberi, o con altre molecole elettrofile è una delle cause principali delle intossicazioni o delle malattie senili (Clifford, 1985). Inoltre una dieta troppo ricca in grassi aumenta lo stress ossidativo a livello cellulare (Cohen, 1987). L'aggiunta alla dieta di polifenoli, estratti da *C. cardunculus*, riduce dal 13 al 31% il tasso di colesterolo nel sangue, dal 12 al 28% quello delle lipoproteine (Clifford, 1992). E' stato dimostrato in colture di epatociti di ratto che lo stress ossidativo indotto con Idroperossido viene inibito in presenza di estratti fogliari di *Cynara cardunculus* (Gibhardt, 1997).

Inoltre la presenza di cinarina (acido 1-3 dicaffeilchinico), di acido clorogenico e di luteolina riduce lo stress ossidativo generato dalla reazione tra l'ossigeno e i leucociti nel sangue (Perez-Garcia *et al.*, 2000; Jimenez-Escrig *et al.*, 2003). La ciranoside inibisce la sintesi del colesterolo epatico senza intaccare l'attività reduttasica dell'enzima Idrossimetilglutaril-CoA, mentre la ciranopicrina inibisce la contrazione dell'aorta (Hay *et al.*, 1994; Gebhard, 1998). Shimoda *et al.* (2003) hanno isolato i due isomeri della Cinaroscoloside (A-C, 1-3) dalle foglie di *C. cardunculus* valutando l'attività antiiperlipidemica delle due forme isomeriche.

Koubaa *et al.*, (1999) hanno isolato dal seme di *Cynara cardunculus* L i composti (-)-artigenina e (-)-artigenina 4' glucoside. Altri due composti

(cinarinina e tracheloside) sono stati isolati in seguito e identificati come derivati dei polifenoli. A questi è riconosciuta attività antiossidante (Koubaa e Damak, 2003).

Attenzione particolare all'attività dell'acido 1-3 dicaffeilchinico, come agente contro il virus HIV (Human Immunodeficiency Virus) (Slanina *et al.*, 2001). HIV- integrasi è un enzima che catalizza uno step essenziale nella replicazione del virus HIV, inserendo il DNA virale nella cellula. Questo enzima potrebbe fungere da marcatore per lo sviluppo di agenti anti-HIV (Pommier *et al.*, 2000). In coltura cellulare è stato dimostrato che quest'acido inibisce fortemente e irreversibilmente l'integrazione del Virus, bloccando anche la replicazione dello stesso (Robinson *et al.*, 1996; Slanina *et al.*, 2001).

PARTE SPERIMENTALE

1. SCOPO DELLA RICERCA

La prova prevede lo studio di due colture poliennali ligno-cellulosiche per la trasformazione in bioetanolo: il miscanthus (*Miscanthus x Giganteus* Greef et Deu), specie graminacea caratterizzata da un'elevata efficienza fotosintetica e la canna comune (*Arundo donax* L.), che assume particolare rilevanza agronomica ai fini della produzione di biomassa, anche se la propagazione di entrambe le specie necessita di ulteriori studi in relazione al fatto che non producono seme e pertanto è necessario utilizzare porzioni di culmo o di rizoma. Inoltre, sono stati studiati alcuni genotipi di cynara (*Cynara cardunculus*) che, essendo originario del bacino del Mediterraneo, si è adattato nel tempo alle sue condizioni di aridità, anche per la loro possibilità di essere propagato per seme.

L'attività sperimentale è stata svolta nell'ambito del progetto “*Proposte ed interventi per lo sviluppo delle colture alternative da biomassa per energia sull'altopiano ragusano*” finanziato dall'Assessorato Agricoltura e Foreste della regione Sicilia. Le attività di ricerca hanno seguito pertanto, due direttive aventi in comune la valutazione di colture poliennali ligno-cellulosiche di possibile introduzione nel processo di filiera per la produzione di bioetanolo:

- ❖ **Prova A: Caratteristiche produttive e qualitative della biomassa, in Arundo (*Arundo donax* L.) e Miscanto (*Miscanthus x Giganteus* Greef et Deu), in rapporto a diversi input irrigui e azotati.**

- ❖ **Prova B: Genotipi a confronto di Cynara (*Cynara* spp.) da biomassa da destinare ai processi di trasformazione industriale per la produzione di bioetanolo.**

2. MATERIALI E METODI

2.1 Prova A: Caratteristiche produttive e qualitative della biomassa, in *Arundo* (*Arundo donax* L.) e *Miscanto* (*Miscanthus x Giganteus* Greef et Deu), in rapporto a diversi input irrigui e azotati

La località dove sono state effettuate le prove ricade nella provincia di Ragusa, a Cava d'Ispica (36° 50' N, 14° 51' E, 360 m.s.l.).

Schema sperimentale: è stato adottato per entrambe le colture un disegno sperimentale a parcella suddivisa replicata tre volte con parcelle elementari di 12 m² ciascuna.

Fattori allo studio: sono stati adottati tre livelli di restituzione idrica dell'evapotraspirazione massima della coltura (ET_m): 25% (I₀), 50% (I₁) e 100% (I₂); tre livelli di concimazione azotata: 0 (N₀), 60 (N₁) e 120 (N₂) kg ha⁻¹ di azoto.

Nel primo anno sono state mantenute condizioni idriche del terreno ottimali, al fine di garantire l'insediamento delle plantule. La differenziazione irrigua sarà effettuata a partire dal secondo anno in poi.

Tecnica agronomica: il terreno, dove è stato effettuato il trapianto delle plantule, è stato precedentemente lavorato con una aratura superficiale; un ulteriore affinamento delle zolle grossolane è stato conseguito utilizzando un motocoltivatore.

La concimazione azotata è stata effettuata distribuendo 60 kg ha⁻¹ di N, sotto forma di solfato ammonico, al ricaccio delle colture (entrambe le tesi concimate) ed i successivi 60 kg all'inizio della fase di levata (solo tesi N₂).

Le piantine, propagate in fitocelle per mezzo di porzioni di rizoma prelevati nel campo sperimentale di Catania (azienda Primosole), sono state trapiantate nella prima decade di maggio del 2005, realizzando un investimento unitario, nell'ordine delle due colture arundo e miscanthus, pari a 2,5 e 4 piante m².

L'acqua è stata somministrata utilizzando un sistema a microportata di erogazione con manichetta forata. Il volume di adacquamento (V), espresso in mm, è stato calcolato sulla base della seguente formula $V = 2/3 (CC - PA) \times \Phi \times 10 \times p$; dove: CC e PA, sono rispettivamente la capacità di campo e punto di appassimento determinati per mezzo di un estrattore a membrana porosa (Soilmoisture Equipment Corp., S. Barbara, CA. USA).

I valori determinati, espressi in percentuale del peso secco del terreno, sono risultati pari a 31 e 19%, rispettivamente per la prima e la seconda costante idrologica; Φ rappresenta la massa volumetrica apparente del terreno pari a $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ e p la profondità in metri del terreno da irrigare.

L'intervento irriguo è stato effettuato ogni qualvolta la sommatoria dell'evapotraspirazione massima giornaliera (ET_m), al netto delle piogge utili, raggiungeva i 2/3 dell'acqua disponibile nei primi quaranta centimetri di terreno. L'ET_m è stata calcolata sommando l'evaporato giornaliero da evaporimetro di classe "A", corretto mediante il coefficiente ambientale pari a 0,85 ed il coefficiente colturale K_c (Doorembos e Pruitt, 1977).

A partire dal quarto anno d'impianto non sono stati effettuati apporti idrici e concimazioni.

L'eliminazione delle erbe infestanti è stata effettuata mediante scerbatura a mano. La raccolta è stata realizzata per entrambe le colture tra la terza decade di marzo e la prima decade di aprile.

RILIEVI

Variabili meteorologiche: nel corso del ciclo biologico sono stati rilevati i principali parametri meteorologici (radiazione solare globale, temperatura ed umidità relativa dell'aria, precipitazioni, evaporato da vasca di classe "A") a mezzo di una centralina elettronica (CR10, Campbell-USA).

Caratteri biologici: durante lo stesso periodo sono state rilevate le principali fasi fenologiche (accestimento, levata e fioritura).

Caratteri biometrici e produttivi alla raccolta:

- altezza delle piante;
- n° culmi;
- circonferenza (basale, mediana e apicale);
- biomassa totale fresca e secca;
- contenuto di umidità.

Analisi chimiche e tecnologiche: su campioni di materiale biologico, prelevati in campo, durante la stagione produttiva, saranno effettuate le seguenti analisi di laboratorio chimico e tecnologico:

- componenti della fibra (ADF, NDF e lignina);
- ceneri.

secondo le metodologie di seguito riportate:

a) Determinazione della fibra al detergente acido (ADF) secondo Van Soest

Il metodo si basa sulla solubilizzazione, mediante una soluzione acida di tensioattivo, di carboidrati, proteine, lipidi, emicellulose e sostanze minerali solubili.

Il residuo è costituito da cellulosa, lignina, cutina e da sostanze minerali insolubili in ambiente acido e viene denominato ADF.

Il campione viene sottoposto a degradazione in soluzione acido detergente portata ad ebollizione.

I reagenti impiegati per la preparazione di 1000 ml di soluzione detergente acida sono:

- cetiltrimetilammonio bromuro (g 20);
- acido solforico (1 N);
- acetone, n-ottanolo alcool ottilico.

In un crogiolo, preventivamente tarato, si pesano 1 g di campione finemente macinato ed essiccato all'aria, si aggiungono in un matraccio 100 ml di soluzione fredda per fibra al detergente acido ed alcune gocce di alcool ottilico. La soluzione viene portata ad ebollizione che si mantiene per 60 minuti, con refrigerante a ricadere.

Il residuo viene filtrato e risciacquato 3 volte con acqua bollente e 2 volte con acetone; si lascia essiccare per 2 ore a 105°C e si pesa.

Successivamente il campione viene incenerito in muffola a 600°C per 2 ore e poi pesato.

CALCOLO DEI RISULTATI

$$ADF = A - B$$

Dove :

A = peso del crogiolo tarato

B = peso del crogiolo dopo l'incenerimento

b) Determinazione della fibra al detergente neutro (NDF) secondo Van Soest

Il metodo permette di determinare il contenuto in emicellulosa, cellulosa, silice, lignina, sostanze minerali solubili.

L'NDF fornisce una stima della concentrazione della parete cellulare nelle piante (Buxton et al., 1995).

Il campione viene sottoposto a degradazione in soluzione neutro detergente portata ad ebollizione.

I reagenti utilizzati per preparare la soluzione detergente neutra sono:

- sodio borato decaidrato g 6.81;
- sodio etilendiamminotetraacetato disodico g 18.61;
- sodio lauril solfato neutro g 30;
- 2-etossietanolo ml 10;
- sodio fosfato disodico anidro g 4.56;
- acqua distillata ml 1000.

In un crogiolo, preventivamente tarato, si pesano 1 g di campione finemente macinato ed essiccato all'aria; si aggiungono ml 100 di soluzione fredda per fibra al detergente neutro, g 0.5 di solfito sodico ed alcune gocce di alcool ottilico. Si riscalda sino all'ebollizione che viene mantenuta per 60 minuti, con refrigerante a ricadere.

Successivamente si procede come descritto per la determinazione dell'ADF.

c) Determinazione della lignina al detergente acido (ADL) secondo Van Soest

Il metodo si basa sulla solubilizzazione della cellulosa mediante acido solforico al 72%; il residuo è costituito da lignina grezza che può contenere anche cutina.

Si utilizza il residuo della lavorazione della fibra per la determinazione del ADF.

Il crogiolo viene posto in un beker, e si aggiungono ml 25 di acido solforico al 72%, iniziando così l'estrazione a freddo per 3 ore, agitando ogni ora.

Successivamente il campione viene filtrato risciacquato prima con acqua bollente poi con acetone, fino a scomparsa della reazione acida. Si lascia essiccare per 2 ore a 105°C e poi si pesa.

CALCOLO DEI RISULTATI

$$ADL = A - B$$

Dove :

A = peso del crogiolo tarato

B = peso del crogiolo dopo essiccazione

d) Determinazione del contenuto in ceneri

Si pesano 2 g di campione finemente macinato e si pongono in un crogiolo, preventivamente tarato dopo essere stato messo in stufa per circa 2 ore a 105 °C. Successivamente si inserisce nella muffola ad una temperatura di 600 °C per almeno 6 ore fino a completo incenerimento, cioè quando le ceneri assumono una colorazione biancastra.

CALCOLO DEI RISULTATI

$$CENERI = A - B$$

Dove :

A = peso del crogiolo tarato

B = peso del crogiolo dopo l'incenerimento

e) Determinazione della cellulosa e dell'emicellulosa

Le singole frazioni della fibra sono state calcolate per differenza: sottraendo all'NDF l'ADF è stata determinata l'emicellulosa, mentre il contenuto in cellulosa è stato trovato sottraendo all'ADF la lignina.

f) Calcolo della produzione di bioetanolo

La produzione di bioetanolo è stata calcolata moltiplicando la percentuale di cellulosa e di emicellulosa con dei coefficienti, in particolare:

% cellulosa*0,9*0,51

% emicellulosa*0,88*0,51

2.2 Prova B: Genotipi a confronto di *Cynara* (*Cynara* spp.) da biomassa da destinare ai processi di trasformazione industriale per la produzione di bioetanolo

La prova è stata condotta a Cava d'Ispica, nel territorio di Ragusa (36° 50' N, 14° 51' E, 360 m.s.l.).

Schema sperimentale: è stato adottato uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con tre repliche e parcella elementare di 9 m². L'investimento unitario è stato di 2 piante m⁻² (1 m tra le file e 0,50 m sulla fila).

Fattori allo studio: ai fini della caratterizzazione bioagronomica, sono stati posti allo studio, 18 genotipi di *C. cardunculus* L., di cui 2 di cardo domestico ("C4" e "C5") e 16 di cardo selvatico ("S1", "S2", "S3", "S4", "S5", "S6", "S7", "S10", "S11", "S14", "S16", "S17", "S18", "S21", "S23", "S24").

Le popolazioni di cardo selvatico sono state reperite in diverse località della Sicilia orientale e fanno parte della collezione di germoplasma del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFOM), Unità Operativa di Catania.

Tecnica agronomica: la lavorazione del terreno è stata effettuata con una aratura leggera, seguita da una erpicatura allo scopo di amminutare ulteriormente il terreno.

Con riferimento alla concimazione presemina sono stati distribuiti 80 Kg ha⁻¹ sotto forma di perfosfato minerale. In copertura è stato somministrato 40 kg ha⁻¹ di nitrato ammonico.

La prova è stata condotta a zero input energetici e il fabbisogno di acqua è stato soddisfatto con le piogge.

La raccolta della biomassa epigea è stata effettuata a fine luglio quando le piante, giunte alla fine del ciclo, erano completamente disseccate e la granella presentava un contenuto di umidità di circa il 7%.

La semina è stata realizzata in vivaio e il trapianto in data 05 novembre 2005, adottando un investimento (m 1,00 x 0,50).

Il controllo delle erbe infestanti è stato eseguito tramite scerbature a mano eseguite periodicamente durante la stagione primaverile.

RILIEVI

Durante la stagione produttiva sono stati effettuati i seguenti rilievi:

Variabili meteorologiche: mediante una centralina elettronica saranno registrati i principali parametri meteorici (radiazione, temperatura e umidità dell'aria, precipitazioni)

Caratteri biometrici e produttivi a fine ciclo:

- altezza delle piante;
- circonferenza fusto (basale, mediana e apicale);
- biomassa fresca e secca totale (foglie e fusti);
- resa in semi.

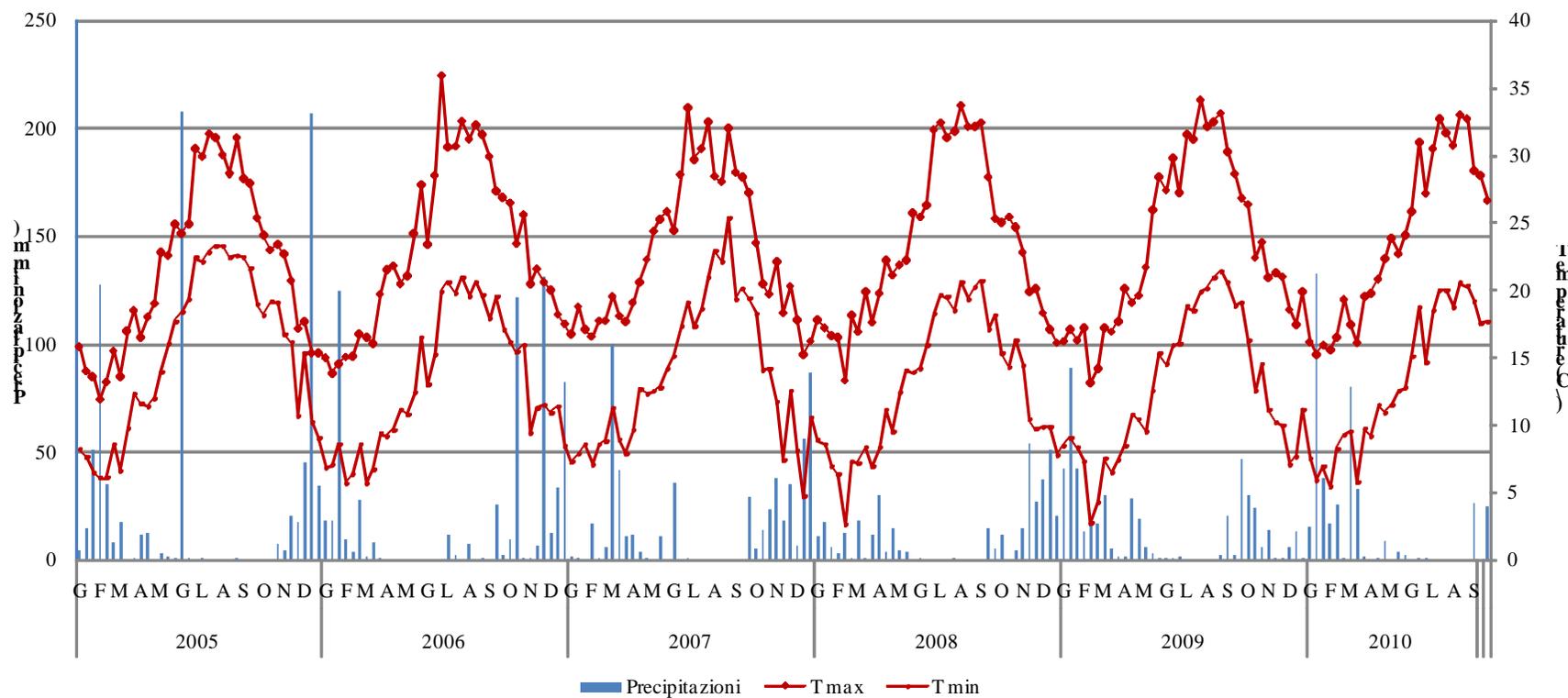
3. RISULTATI

3.1 ANDAMENTO METEOROLOGICO

L'andamento meteorologico ha mostrato i caratteri tipici dell'ambiente mediterraneo, i dati meteorologici registrati presso il campo sperimentale durante tutto il periodo della prova sono riportati in figura 1. Durante i primi 5 anni di coltivazione si sono avuti in media circa 530 mm di pioggia per anno con una notevole variabilità interannuale. Le maggiori precipitazioni sono state registrate nei primi due anni con circa 660 mm ed in particolare sono risultate abbondanti dopo il trapianto agli inizi di Giugno; gli ultimi 3 anni sono risultati i più siccitosi con il 2008 che ha registrato i valori più bassi (circa 380 mm di pioggia).

I valori delle temperature registrati durante il periodo delle prove in media sono risultati pari a 23 °C per le temperature massime, mentre per le temperature minime è stato circa di 13 °C. Per le temperature massime valori più elevati di circa 31 e 32 °C sono stati registrati nel periodo estivo (luglio-agosto), mentre quelli relativi alle temperature minime sono oscillati tra 8 e 11 °C nel periodo invernale (gennaio-febbraio).

Fig. 1 Andamento termopluviometrico registrato durante il periodo delle prove

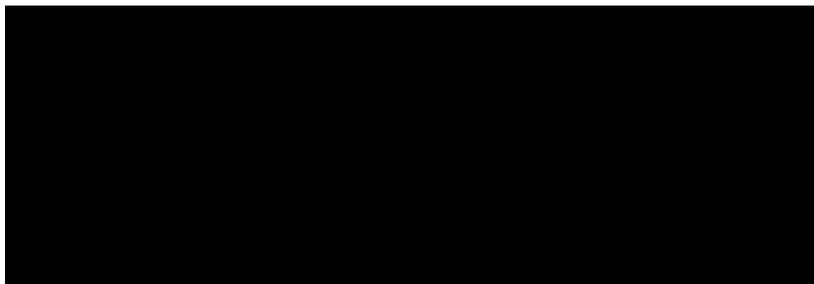


3.2 Prova A: Caratteristiche produttive e qualitative della biomassa, in Arundo (*Arundo donax* L.) e Miscanto (*Miscanthus x Giganteus* Greef et Deu), in rapporto a diversi input irrigui e azotati

3.2.1 Caratteri morfobiometrici ARUNDO DONAX L.

I anno

Nel corso del primo anno la specie, impegnata nella fase di sviluppo, ha presentato una crescita contenuta. Per quanto riguarda i caratteri morfobiometrici i livelli di input azotati più elevati non hanno determinato variazioni di rilievo nella maggior parte dei caratteri esaminati, passando da 0 a 120 kg ha⁻¹ di N. Sono state osservate in corrispondenza delle dosi più alte di concimazioni delle lievi riduzioni della circonferenza mediana ed apicale, probabilmente a causa della competizione dovuta al numero maggiore di culmi presenti nelle tesi N₁₂₀ (Tab. 1).



II anno

I diversi regimi irrigui e azotati impiegati hanno influito positivamente sui caratteri biometrici e morfologici della coltura poliennale allo studio.

Con riferimento all'altezza delle piante i valori più alti sono stati riscontrati nelle tesi in ottime condizioni idriche e nutritive (I₁₀₀N₁₂₀). In particolare, è stato osservato un valore di circa 260 cm. Differenze meno marcate, sono state

trovate in corrispondenza delle tesi con 60 e 120 Kg ha⁻¹ di N e restituzione dell'Etm pari al 50 e 100. Anche il numero di culmi è stato influenzato allo stesso modo. In questa coltura le dosi crescenti di concime azotato hanno favorito una loro maggiore differenziazione per unità di superficie rispetto ai trattamenti irrigui; passando, infatti, da 0 a 120 Kg ha⁻¹ e da 25 al 100% dell'Etm l'incremento percentuale è risultato intorno al 40 e 17%, rispettivamente all'aumentare dei volumi di adacquamento e di concime azotato. Le dimensioni del diametro basale e mediano e apicale hanno mostrato un sensibile aumento in corrispondenza dei trattamenti irrigui e azotati più alti (Tab.2).

Tab. 2 Caratteristiche morfo-biometriche a fine ciclo in Arundo					
Tesi allo studio	Altezza (cm)	Culmi (n° m ²)	Circonferenza		
			basale (mm)	mediana (mm)	apicale (mm)
I ₂₅ N ₀	192	8	22,3	16,0	12,2
I ₂₅ N ₆₀	200	9	26,1	19,5	13,8
I ₂₅ N ₁₂₀	217	9	25,7	19,8	13,5
I ₅₀ N ₀	208	10	21,7	19,2	11,6
I ₅₀ N ₆₀	210	12	28,9	22,6	12,9
I ₅₀ N ₁₂₀	224	12	29,2	21,7	13,2
I ₁₀₀ N ₀	220	13	22,9	18,5	13,2
I ₁₀₀ N ₆₀	248	16	28,6	22,6	16,0
I ₁₀₀ N ₁₂₀	260	15	32,7	25,1	19,2
Media	220	12	26,4	20,5	14,0
N ₀	207	10	22,3	17,9	12,35
N ₆₀	219	12	27,8	21,6	14,23
N ₁₂₀	234	12	29,2	22,2	15,28
I ₂₅	203	9	24,7	18,4	13,19
I ₅₀	214	11	26,6	21,1	12,56
I ₁₀₀	243	15	28,05	22,08	16,12

III anno

Al crescere delle dosi di azoto e dei livelli di restituzione idrica è stato osservato un incremento significativo di quasi tutti i caratteri in esame.

Per quanto riguarda la statura delle piante, nella media dei trattamenti allo studio, è risultata pari a 315.2 cm. Il valore più alto è stato raggiunto nelle

migliori condizioni idriche I₁₀₀ e con apporti azotati pari a 60 e 120 Kg ha⁻¹ (nell'ordine 334 e 368 cm), mentre il livello più basso di restituzione idrica e concimazione azotata I₂₅N₀ ha mostrato una riduzione del carattere in esame intorno al -30%. E' stato osservato che l'input irriguo sortisce un effetto più marcato sullo sviluppo delle piante rispetto a quello azotato.

Anche il numero di culmi per unità di superficie ha interagito allo stesso modo con differenze più marcate tra i diversi livelli di restituzione idrica (25.2 I₀, 26,9 I₅₀ e 27,4 I₁₀₀), mentre quelli azotati hanno evidenziato tutti valori simili (intorno a 26, rispettivamente in N₀, N₆₀ e N₁₂₀).

La circonferenza, misurata nella porzione basale, mediana e apicale del culmo, è stata influenzata maggiormente nei livelli irrigui e azotati più elevati (Tab. 3).

Tab. 3 Caratteristiche morfo-biometriche a fine ciclo in Arundo					
Tesi allo studio	Altezza (cm)	Culmi (n° m ²)	Circonferenza		
			basale (mm)	mediana (mm)	apicale (mm)
I ₂₅ N ₀	262,5	25,7	54,6	47,3	32,3
I ₂₅ N ₆₀	288,2	25,0	52,6	43,9	31,0
I ₂₅ N ₁₂₀	286,8	25,0	57,9	49,7	35,5
I ₅₀ N ₀	316,7	28,0	55,3	49,3	33,3
I ₅₀ N ₆₀	321,9	26,3	55,1	49,1	34,9
I ₅₀ N ₁₂₀	338,3	26,3	51,5	48,3	34,6
I ₁₀₀ N ₀	320,3	26,0	61,5	49,0	29,0
I ₁₀₀ N ₆₀	334	27,7	55,6	49,0	36,6
I ₁₀₀ N ₁₂₀	368,0	28,5	68,3	57,0	46,0
Media	315,2	26,5	56,9	49,2	34,8
N ₀	299,8	26,6	57,1	48,5	31,5
N ₆₀	314,7	26,3	54,4	47,3	34,1
N ₁₂₀	331,0	26,6	59,2	51,7	38,7
I ₂₅	279,2	25,2	55,1	47,0	32,9
I ₅₀	325,6	26,9	54,0	48,9	34,3
I ₁₀₀	340,8	27,4	61,8	51,7	37,2

IV anno

Considerato che, la coltura a partire da questo anno ha usufruito solo degli apporti idrici naturali e non ha ricevuto nessun input azotato, si è osservata una diminuzione dei caratteri morfobiometrici pari a circa il 40 % . La statura delle piante, nella media dei trattamenti allo studio, è risultata pari a 262,6 cm. Il valore più alto è stato raggiunto nelle migliori condizioni idriche I₁₀₀ e con apporti azotati pari a 60 e 120 Kg ha⁻¹ (nell'ordine 293.7 e 301.7 cm), mentre il livello più basso di restituzione idrica e concimazione azotata I₂₅N₀ ha mostrato una riduzione del carattere in esame. Il numero di culmi per unità di superficie ha interagito con differenze più marcate tra i diversi livelli di restituzione azotati (intorno a 16.2, 18.1, 17.9, rispettivamente in N₀, N₆₀ e N₁₂₀), mentre quelli idrica hanno evidenziato tutti valori simili (17.6 I₂₅, 17.3 I₅₀ e 17.3 I₁₀₀). (Tab 4)

Tab. 4 Caratteristiche morfo-biometriche a fine ciclo in Arundo					
Tesi allo studio	Altezza (cm)	Culmi (n° m ²)	Circonferenza		
			basale (mm)	mediana (mm)	apicale (mm)
I ₂₅ N ₀	205,7	13,6	50,9	37,7	25,2
I ₂₅ N ₆₀	230,5	20,8	52,6	41,9	27,4
I ₂₅ N ₁₂₀	246,3	18,4	54,1	41,3	27,5
I ₅₀ N ₀	250,7	18	52,4	40,4	27,2
I ₅₀ N ₆₀	266,1	18	50,6	37,7	23,7
I ₅₀ N ₁₂₀	303,6	16	57	41,7	26
I ₁₀₀ N ₀	264,7	17,2	53,2	39,1	23,5
I ₁₀₀ N ₆₀	293,7	15,6	52,1	38,2	24,6
I ₁₀₀ N ₁₂₀	301,7	19,2	52	41	26,7
Media	262,6	17,4	52,8	39,9	25,8
N ₀	240,3	16,2	52,2	39,1	25,3
N ₆₀	263,5	18,1	51,8	39,2	21,2
N ₁₂₀	278,5	17,9	54,4	41,4	26,7
I ₂₅	227,5	17,6	52,6	40,3	26,7
I ₅₀	268,1	17,3	53,3	39,9	21,6
I ₁₀₀	286,7	17,3	52,4	39,4	24,9

Vanno

Nella media dei trattamenti allo studio la statura delle piante, è risultata pari a 240 cm. Il valore più alto è stato raggiunto nelle migliori condizioni idriche I₁₀₀ e con apporti azotati pari a 60 e 120 Kg ha⁻¹ (nell'ordine 256 e 300 cm), mentre il valore più basso si è avuto nella tesi I₂₅N₀.

Anche il numero di culmi per unità di superficie ha interagito allo stesso modo con differenze più marcate tra i diversi livelli di restituzione idrica (13 I₂₅, 10 I₅₀ e 19 I₁₀₀), mentre quelli azotati hanno evidenziato tutti valori simili (intorno a 15, 14, 14, rispettivamente in N₀, N₆₀ e N₁₂₀).

La circonferenza, misurata nella porzione basale, mediana e apicale del culmo, è stata influenzata maggiormente nei livelli irrigui e azotati più elevati (Tab 5).

Tab. 5 Caratteristiche morfo-biometriche a fine ciclo in Arundo					
Tesi allo studio	Altezza (cm)	Culmi (n° m ²)	Circonferenza		
			basale (mm)	mediana (mm)	apicale (mm)
I ₂₅ N ₀	200	12	38	34	23
I ₂₅ N ₆₀	204	14	49	45	26
I ₂₅ N ₁₂₀	204	13	49	41	19
I ₅₀ N ₀	220	13	49	41	27
I ₅₀ N ₆₀	246	9	49	38	23
I ₅₀ N ₁₂₀	287	10	60	41	26
I ₁₀₀ N ₀	226	20	57	38	23
I ₁₀₀ N ₆₀	256	19	57	37	19
I ₁₀₀ N ₁₂₀	300	19	64	39	26
Media	238	14	52	39	23
N ₀	215	15	48	38	24
N ₆₀	235	14	51	40	23
N ₁₂₀	296	14	58	40	22
I ₂₅	203	13	45	40	23
I ₅₀	256	10	53	40	25
I ₁₂₀	269	19	59	38	22

In sintesi, i caratteri morfobiometrici: la statura delle piante, numero di culmi e circonferenza rilevati in tutte le tesi allo studio hanno registrato un incremento fino al III anno per tutti i livelli idrici, per ogni livello idrico la maggiore concimazione ha dato sempre il valore più alto, per poi subire un decremento notevole dovuto probabilmente al fatto che non è stata fatta a partire dal quarto anno nessuna differenziazione irrigua e azotata. (Fig.2,3,4,5,6).

Fig. 2 Andamento della statura della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei cinque anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

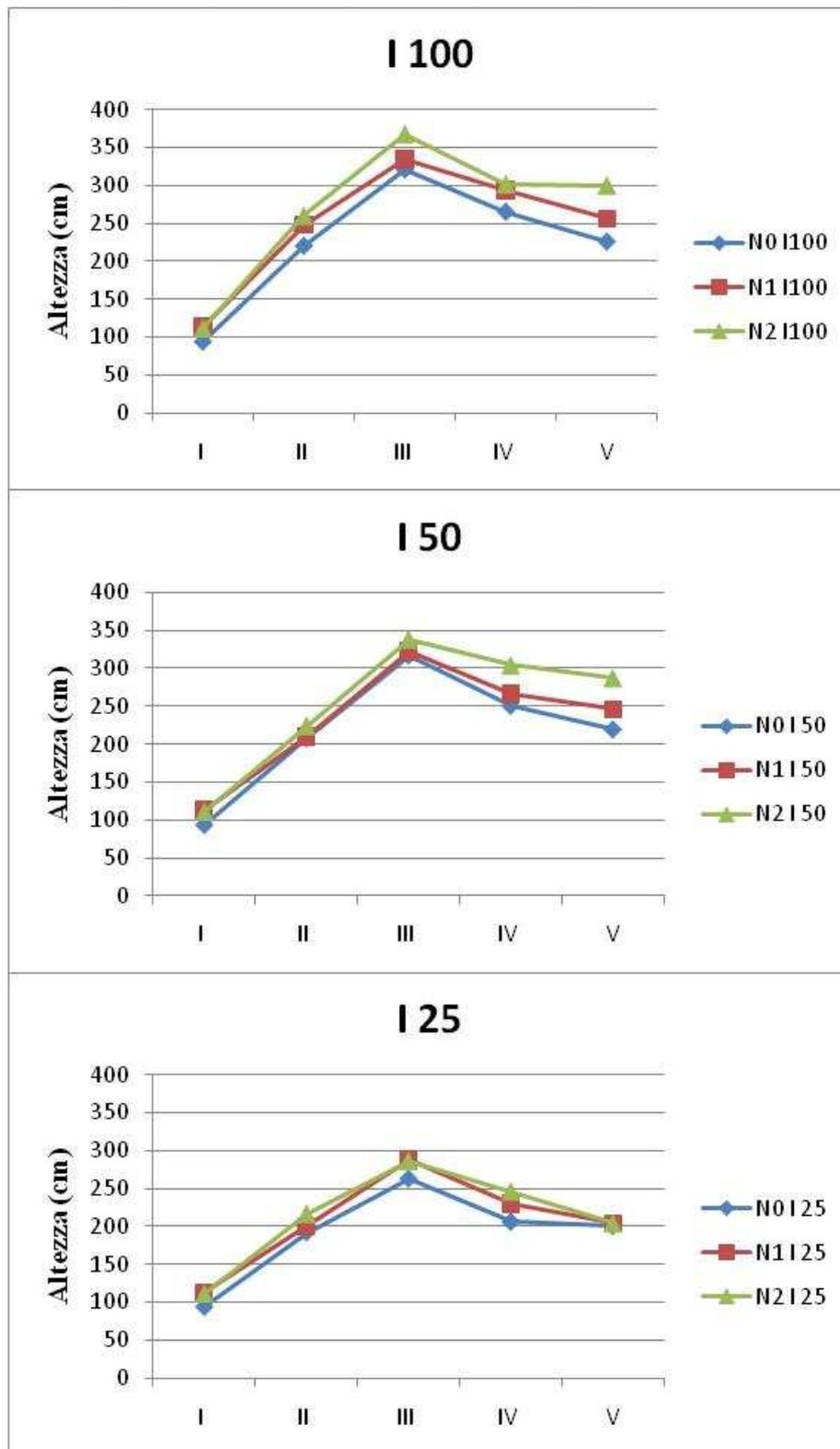


Fig. 3 Andamento del numero culmi della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei cinque anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

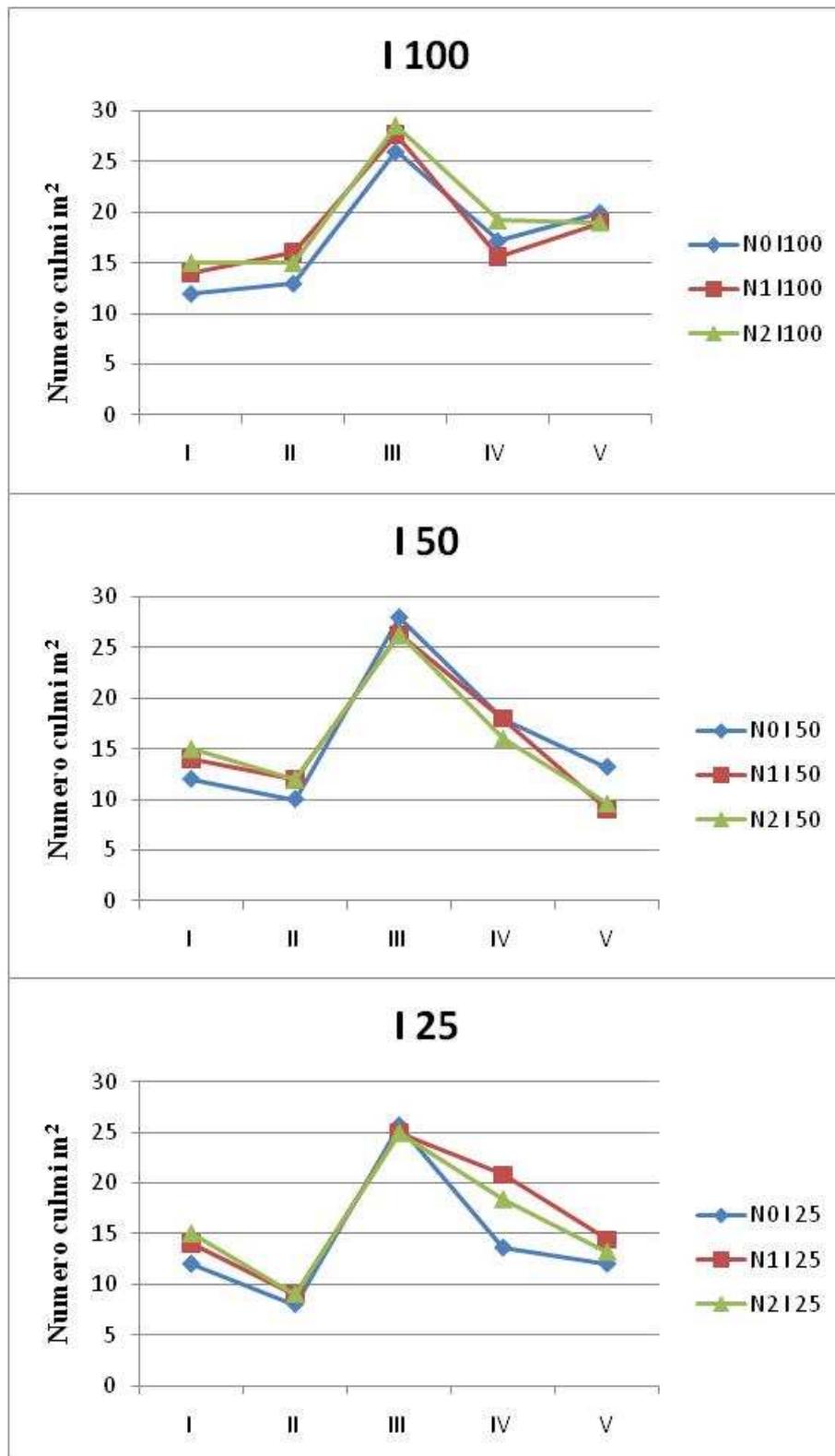


Fig. 4 Andamento della circonferenza apicale della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei cinque anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

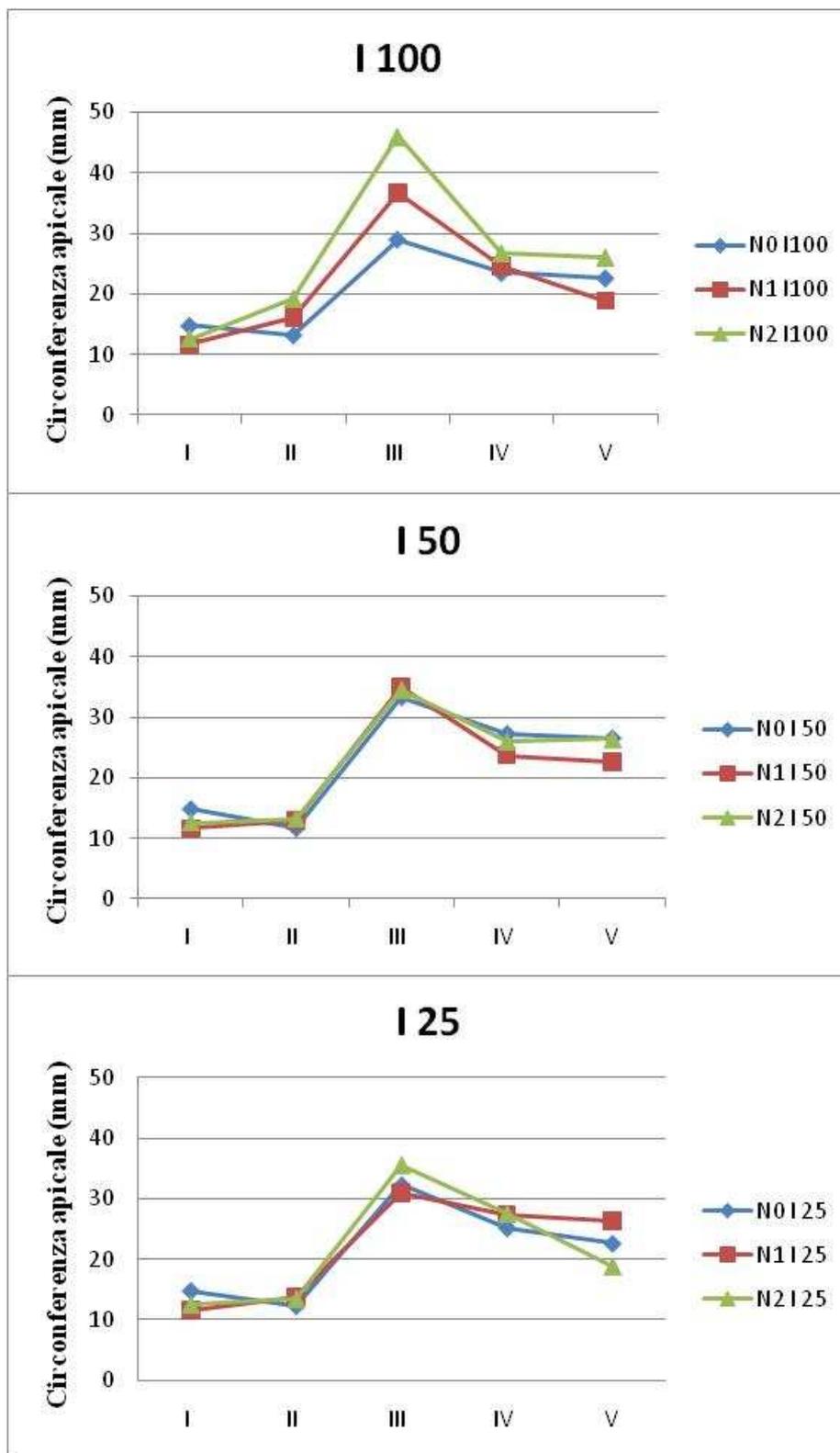


Fig. 5 Andamento della circonferenza mediana della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei cinque anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

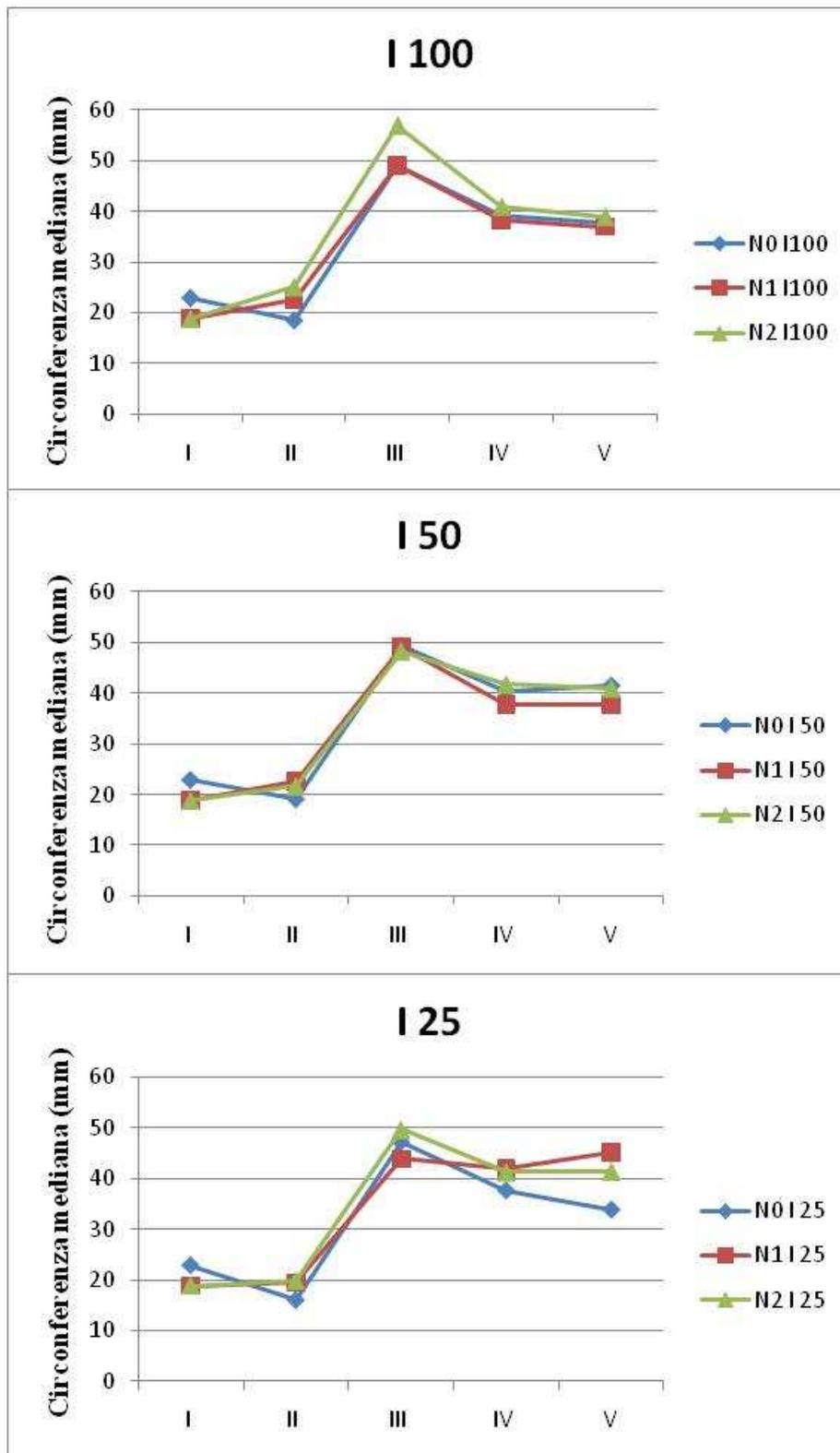
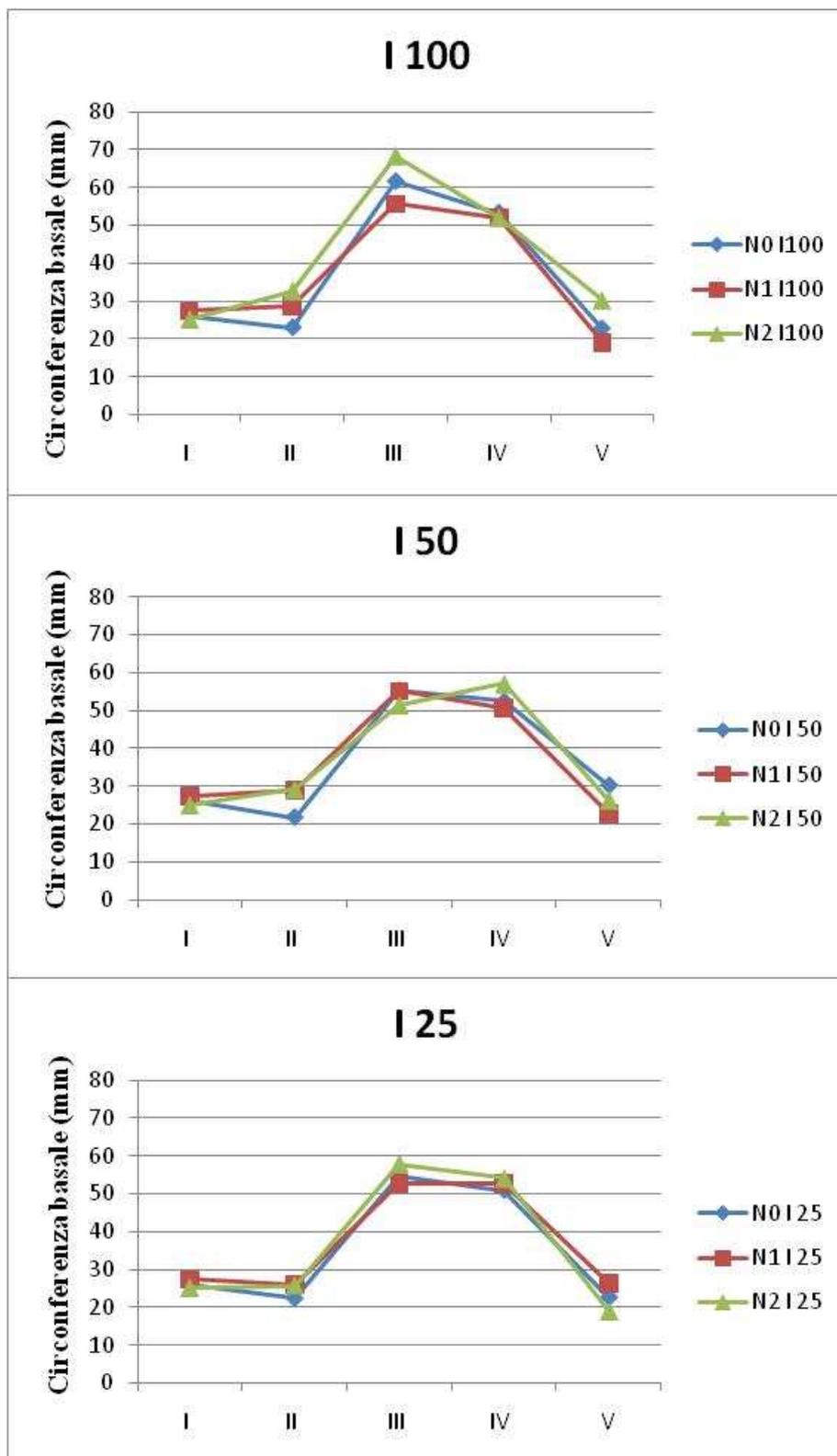


Fig. 6 Andamento della circonferenza basale della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei cinque anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

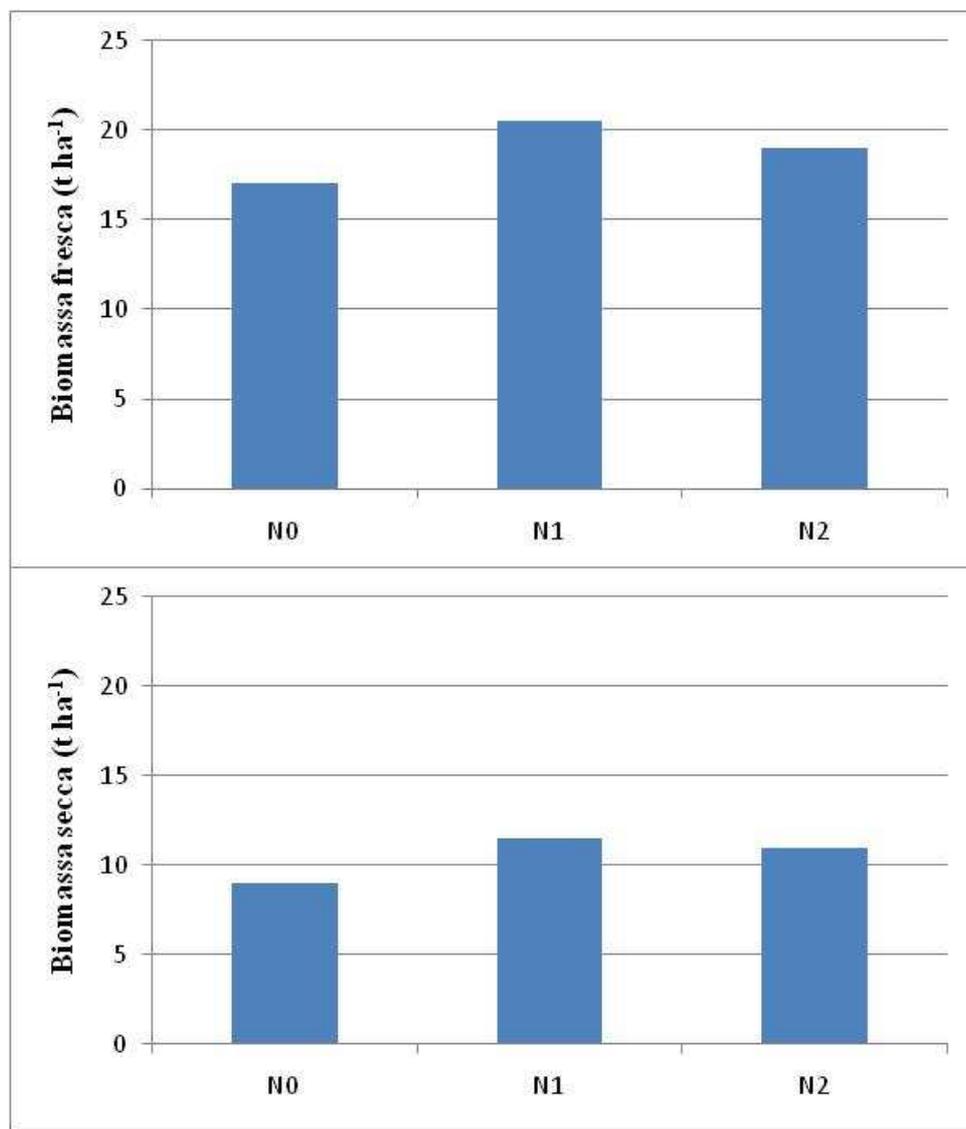


3.2.2 Caratteri produttivi ARUNDO DONAX L.

I anno

L'accumulo di biomassa sembrerebbe non essere stato influenzato dall'aumento della dose di concime azotato, passando da 60 a 120 kg ha⁻¹ di N, valori di produzione pressoché simili, infatti, sono stati registrati, in corrispondenza del primo e secondo trattamento con valori intorno a 9 e 11 t ha⁻¹ (Fig. 7).

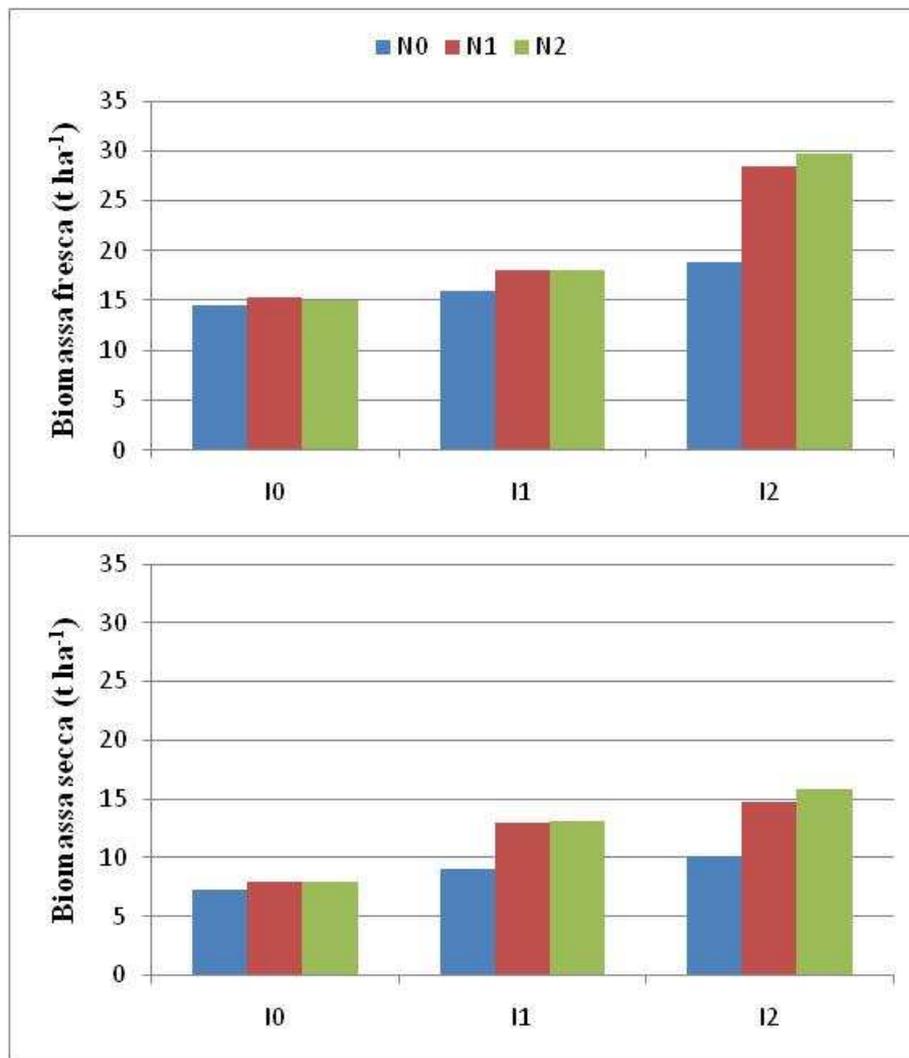
Fig. 7 Biomassa fresca e secca (t ha⁻¹) alla raccolta



Il anno

I livelli più alti di irrigazione (I_{50} I_{100}) e concimazione azotata (N_{60} N_{120}) hanno influenzato la produzione in sostanza secca, nei regimi irrigui I_{50} e I_{100} , passando da 60 a 120 Kg ha⁻¹ di N, la biomassa totale non ha subito incrementi consistenti. In particolare, valori più elevati per il carattere in esame sono stati osservati nelle tesi a pieno soddisfacimento idrico e nei trattamenti azotati N_{60} ed N_{120} (nell'ordine 14,7 e 15,8 t ha⁻¹); le differenze con il livello irriguo che prevedeva il 50% di restituzione dell'evaporato sono risultate trascurabili 13,0 e 13,1 t ha⁻¹, rispettivamente in N_{60} ed N_{120} (Fig.8).

Fig. 8 Biomassa fresca e secca (t ha⁻¹) alla raccolta in rapporto ai fattori allo studio

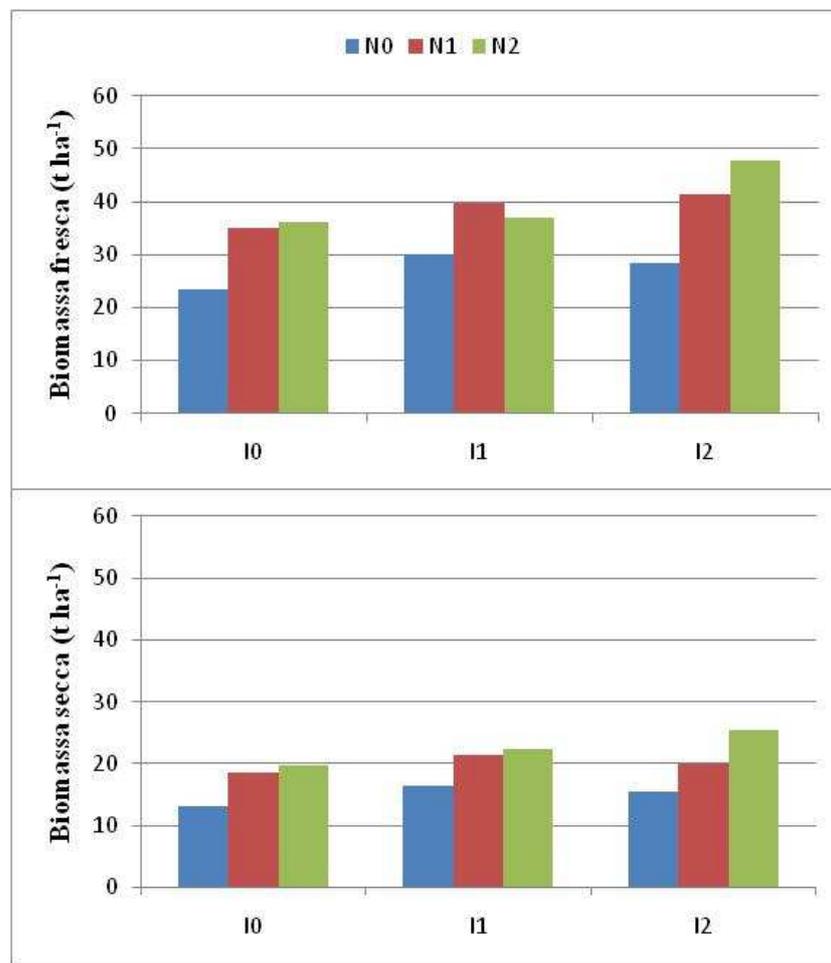


III anno

La produzione totale di sostanza fresca ha evidenziato valori più elevati in $I_{100}N_{120}$ (47.8 t ha^{-1}) e $I_{100}N_{60}$ (41.5 t ha^{-1}); altrettanto alti sono risultati i valori registrati nelle tesi $I_{50}N_{60}$ e $I_{50}N_{120}$ (nell'ordine 39.6 e 36.9 t ha^{-1}), mentre il valore più basso in $I_{25}N_0$ (23.4 t ha^{-1}).

Per quanto riguarda la resa in biomassa secca, possiamo affermare che rispecchia quella fresca; tuttavia è stato osservato che il raddoppio della concimazione azotata non ha prodotto differenze sostanziali in tutti i livelli di restituzione idrica dell'Etm, mentre l'assenza di azoto (N_0), accompagnata da una limitata disponibilità idrica (I_{25}), ha comportato una drastica riduzione della biomassa totale durante la stagione di crescita.(Fig.9).

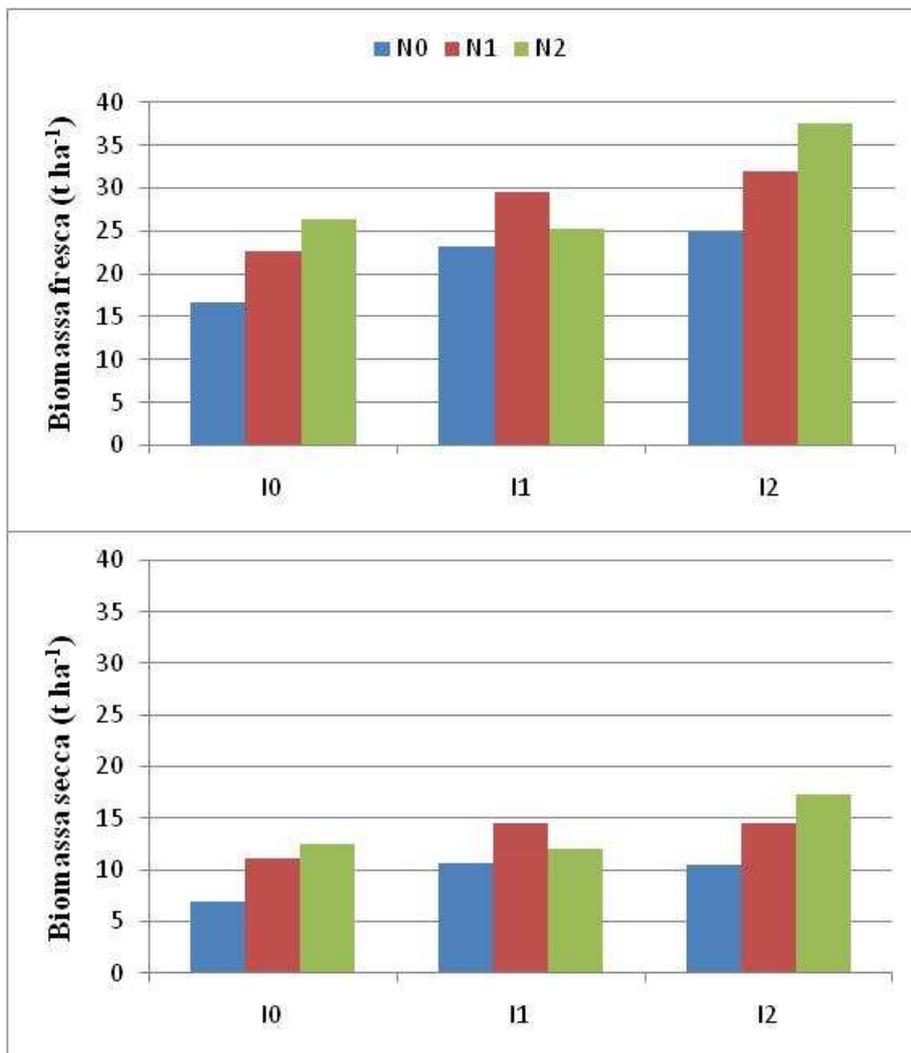
Fig. 9 Biomassa fresca e secca (t ha^{-1}) alla raccolta in rapporto ai fattori allo studio



IV anno

A partire dal IV anno la produzione totale di sostanza fresca ha evidenziato un notevole decremento, dovuto alla mancanza di input irrigui e azotati, tutti i valori si sono ridotti di circa il 25%. I valori più elevati sono stati registrati in I₁₀₀N₁₂₀ (37.6 t ha⁻¹) e I₁₀₀N₆₀ (31.9 t ha⁻¹), mentre il valore più basso in I₂₅N₀ (6.93 t ha⁻¹). Per quanto riguarda la resa in biomassa secca, possiamo affermare che rispecchia quella fresca, ottenendo i valori più alti nelle tesi I₁₀₀N₁₂₀ e I₁₀₀N₆₀ (Fig.10).

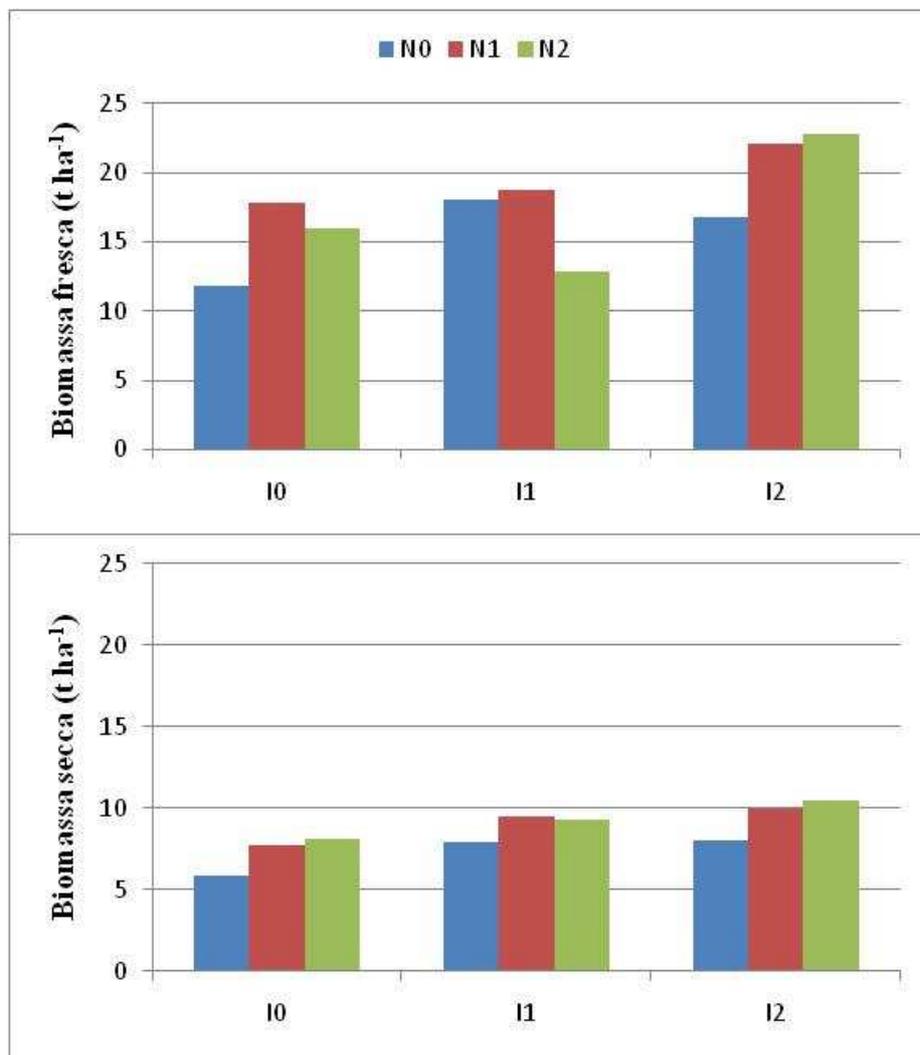
Fig. 10 Biomassa fresca e secca (t ha⁻¹) alla raccolta in rapporto ai fattori allo studio



V anno

Considerato che la coltura ha usufruito solamente degli apporti idrici naturali e non è stata fatta alcuna concimazione, si è osservato un calo della produzione totale di sostanza fresca notevole, e conseguentemente anche quello della biomassa secca. Ciò nonostante i valori più elevati sono stati registrati in I₁₀₀N₁₂₀ (22,74 t ha⁻¹) e I₁₀₀N₆₀ (22,02 t ha⁻¹), mentre il valore più basso in I₂₅N₀ (5,87 t ha⁻¹), seguendo così l'andamento avuto negli anni precedenti (Fig. 11).

Fig. 11 Biomassa fresca e secca (t ha⁻¹) alla raccolta in rapporto ai fattori allo studio



Per quanto riguarda i caratteri produttivi : biomassa fresca e secca si è registrato il valore più alto di produzione circa 26 t ha⁻¹ al terzo anno nella tesi che ha avuto più alte dosi di azoto e di restituzione idrica; successivamente si è avuto un costante decremento dovuto alla mancanza di input irrigui e azotati (Fig. 12,13).

Fig. 12 Andamento della sostanza fresca della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei cinque anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

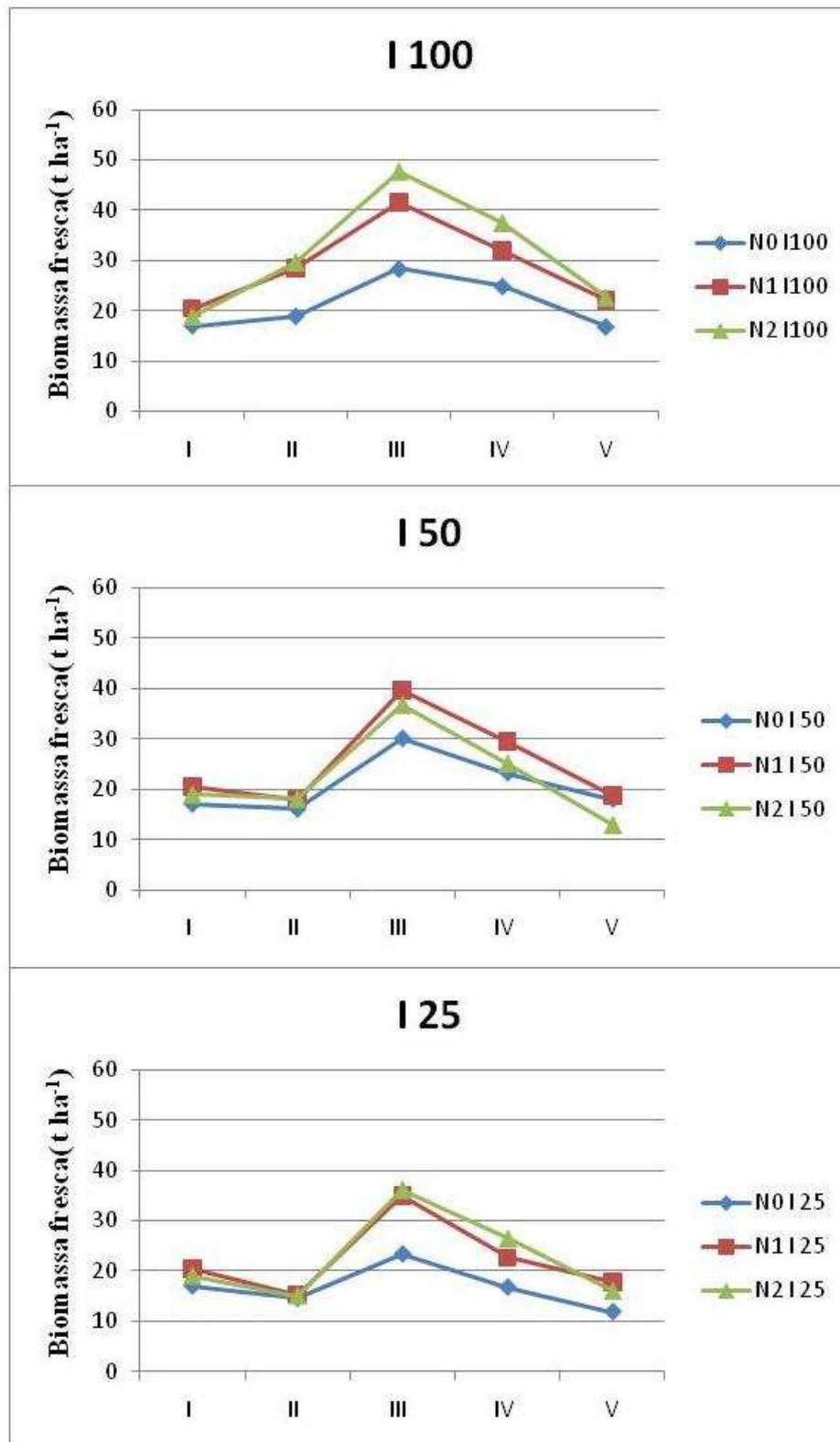
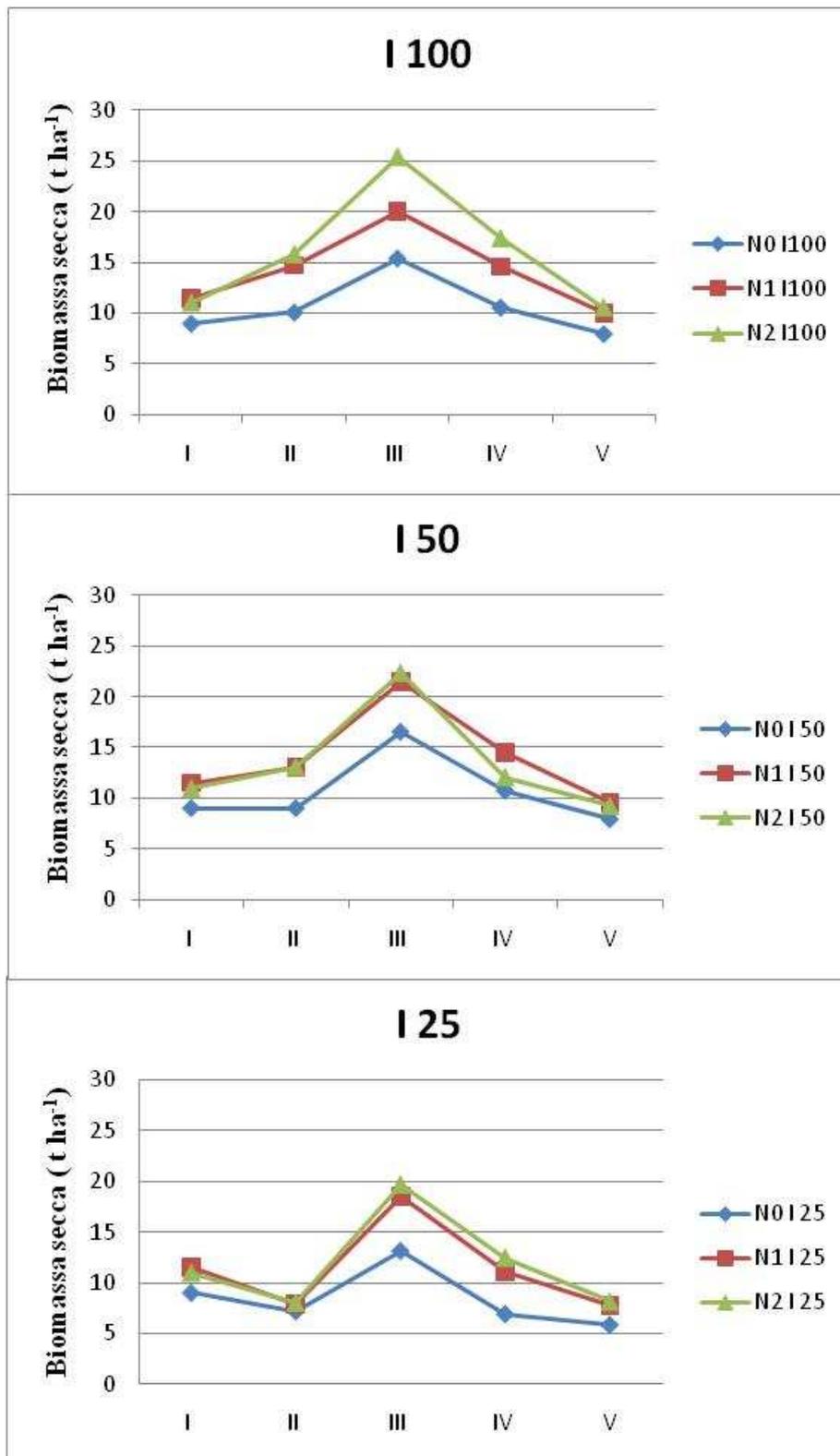


Fig. 13 Andamento della sostanza secca della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei cinque anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata



3.2.3 Caratteri morfobiometrici *MISCANTHUS SPP.*

I anno

Nel primo anno, sull'espressione dei caratteri morfobiometrici, i livelli di input azotati più elevati, nella maggior parte dei caratteri esaminati non hanno determinato variazioni di rilievo. Il numero dei culmi è risultato in media pari a 92 in accordo con quanto trovato da Cosentino et al.(2003). Per il carattere altezza, il miscanthus ha mostrato una reattività maggiore alle dosi crescenti di azoto, con incrementi di circa il 25% passando da N₀ a N₁₂₀ (Tab.6).

input azotati	Altezza (cm)	Culmi (n° m ²)	Circonferenze		
			basale (mm)	mediana (mm)	apicale (mm)
N ₀	97	87	18,8	15,7	5,7
N ₆₀	105	95	19,8	15,7	6,3
N ₁₂₀	122	96	21,0	18,8	6,3
media	108	93	20	17	6

II anno

Al secondo anno i diversi input azotati e irrigui hanno sortito degli effetti più marcati per quanto riguarda i caratteri morfobiometrici. Infatti i valori più alti delle altezze si sono avuti nelle tesi con input irrigui e azotati più elevati pari a 198 e 215 cm. Il numero dei culmi è stato influenzato allo stesso modo, per contro, nelle tesi con sussidi idrici limitati e senza apporti azotati è stata osservata una drastica riduzione dello sviluppo delle piante. In questa coltura le dosi crescenti di concime azotato hanno favorito una loro maggiore differenziazione per unità di superficie rispetto ai trattamenti irrigui; passando, infatti, da 0 a 120 Kg ha⁻¹ e da 25 al 100% dell'Etm l'incremento percentuale è risultato intorno al 32 e 17%, è evidente in questa specie che l'interazione "azoto x irrigazione" sortisce un maggiore effetto rispetto all'arundo (Tab.7).

Tab. 7 Caratteristiche morfo-biometriche a fine ciclo in Miscanto					
Tesi allo studio	Altezza (cm)	Culmi (n° m ²)	Circonferenza		
			basale (mm)	mediana (mm)	apicale (mm)
I ₂₅ N ₀	159	76	16,01	10,05	5,34
I ₂₅ N ₆₀	166	86	13,19	11,93	6,59
I ₂₅ N ₁₂₀	177	90	19,15	16,96	6,59
I ₅₀ N ₀	165	90	19,47	15,07	5,65
I ₅₀ N ₆₀	178	102	20,10	16,33	6,91
I ₅₀ N ₁₂₀	191	128	21,98	18,84	6,59
I ₁₀₀ N ₀	166	92	18,53	15,70	6,28
I ₁₀₀ N ₆₀	198	100	19,78	19,47	6,91
I ₁₀₀ N ₁₂₀	215	112	23,24	20,10	7,54
Media	179	97	19,0	16,0	6,5
N ₀	163	75	5,7	4,3	1,8
N ₆₀	181	96	5,6	5,1	2,2
N ₁₂₀	194	110	6,8	5,9	2,2
I ₂₅	167	84	5,1	4,1	2
I ₅₀	178	95	6,5	5,3	2
I ₁₂₀	193	101	6,5	5,9	2,2

III anno

Dall'analisi della Tab. 8, si evince che l'altezza delle piante ha mostrato alla raccolta una drastica riduzione in tutte le tesi con sussidio idrico limitato (I₂₅), raggiungendo un valore massimo pari a 120 cm. Nella media delle tesi allo studio è stato osservato un valore pari a 176.4 cm; valori più elevati del carattere in esame sono stati rilevati in I₁₀₀N₆₀ e in I₅₀N₁₂₀ (228.3 e 225cm, rispettivamente). E' da notare che la statura delle piante sembrerebbe essere più influenzata dalle dosi crescenti di concime azotato che dai livelli di restituzione idrica dell'evaporato.

Così come l'altezza, anche il numero di culmi per metro quadrato ha evidenziato lo stesso comportamento. In particolare, valori più elevati sono stati registrati nei trattamenti irrigui I₁₀₀ e I₅₀ e con 120 kg ha⁻¹ di azoto (nell'ordine 135 e 132.3). L'aumento della concimazione azotata ha indotto un maggiore incremento del numero dei culmi rispetto al trattamento irriguo.

Per quanto riguarda la circonferenza basale, così come il numero di culmi, sono stati rilevati valori più alti nei livelli irrigui I₁₀₀N₁₂₀ e I₅₀N₁₂₀ (29.7 e 29.6

mm, rispettivamente), mentre il livello irriguo più basso (I₂₅) ha mostrato, nella media dei trattamenti azotati, un valore più contenuto e pari a 23,5 mm. Infine, l'interazione "azoto x irrigazione" ha sortito un effetto meno marcato sulla circonferenza mediana e apicale dei culmi.

Tab. 8 Caratteristiche morfo-biometriche a fine ciclo in Miscanto					
Tesi allo studio	Altezza (cm)	Culmi (n° m ²)	Circonferenza		
			basale (mm)	mediana (mm)	apicale (mm)
I ₂₅ N ₀	120,0	76,0	24,0	17,0	8,2
I ₂₅ N ₆₀	100,0	81,7	23,5	19,3	12,0
I ₂₅ N ₁₂₀	107,5	90,6	22,9	18,7	10,2
I ₅₀ N ₀	196,7	121	24,0	18,7	9,7
I ₅₀ N ₆₀	206,7	129,7	28,3	22,3	15,7
I ₅₀ N ₁₂₀	225,0	132,3	29,6	21,2	8,8
I ₁₀₀ N ₀	190,7	111,7	27,0	22,7	16,3
I ₁₀₀ N ₆₀	228,3	112	25,0	21,0	14,7
I ₁₀₀ N ₁₂₀	213,0	135,0	29,7	21,4	13,5
Media	176,4	110,0	26,0	20,3	12,1
N ₀	169,1	102,9	25,0	19,4	11,4
N ₆₀	178,3	107,8	25,6	20,9	14,1
N ₁₂₀	182,9	119,3	27,4	20,4	10,9
I ₂₅	109,2	82,8	23,5	18,3	10,1
I ₅₀	210,6	127,7	27,3	20,7	11,4
I ₁₀₀	210,7	119,6	27,2	21,7	14,8

IV anno

La coltura posta allo studio, non avendo beneficiato né di apporti idrici artificiali né di concimazioni, ha mostrato un notevole diminuzione di tutti i caratteri morfobiometrici .

L' altezza delle piante, nella media dei trattamenti ha subito una riduzione di circa il 50% con un valore pari a 90,6 , in particolare il maggiore decremento si è avuto nelle tesi che avevano minori apporti idrici e azotati. Non sono state riscontrate notevoli differenze per quanto riguarda la circonferenza .

Tab. 9 Caratteristiche morfo-biometriche a fine ciclo in Miscanto					
Tesi allo studio	Altezza (cm)	Culmi (n° m ²)	Circonferenza		
			basale (mm)	mediana (mm)	apicale (mm)
I ₂₅ N ₀	50,4	37,2	17,58	20,72	7,50
I ₂₅ N ₆₀	56,0	68,4	22,48	16,33	11,00
I ₂₅ N ₁₂₀	62,0	85	18,21	12,56	8,16
I ₅₀ N ₀	98,4	117,0	23,00	18,00	9,00
I ₅₀ N ₆₀	102,4	98,4	23,74	20,72	12,56
I ₅₀ N ₁₂₀	104,4	110,0	28,26	15,70	8,00
I ₁₀₀ N ₀	100,4	57,6	21,35	16,50	11,93
I ₁₀₀ N ₆₀	109,6	109	25,00	18,00	13,06
I ₁₀₀ N ₁₂₀	132,0	82,8	27,00	17,00	11,93
Media	90,6	85,0	23,0	17,3	10,4
N ₀	110,7	70,60	24,99	17,43	9,48
N ₆₀	111,1	91,90	24,98	17,24	12,21
N ₁₂₀	99,5	92,60	24,49	15,70	9,37
I ₂₅	56,1	63,5	19,43	16,54	8,89
I ₅₀	101,7	108,5	25,37	18,21	9,85
I ₁₀₀	114	83,1	25,12	18,84	12,31

Riassumendo, i caratteri morfobiometrici: la statura delle piante, numero di culmi e circonferenza rilevati in tutte le tesi allo studio hanno registrato un incremento fino al III anno per tutti i livelli idrici, per ogni livello idrico la maggiore concimazione ha dato sempre il valore più alto, per poi subire un notevole decremento dovuto probabilmente al fatto che non è stata fatta a partire dal quarto anno nessuna differenziazione irrigua e azotata. (Fig.14,15,16,17,18).

Fig. 14 Andamento della statura della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei quattro anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

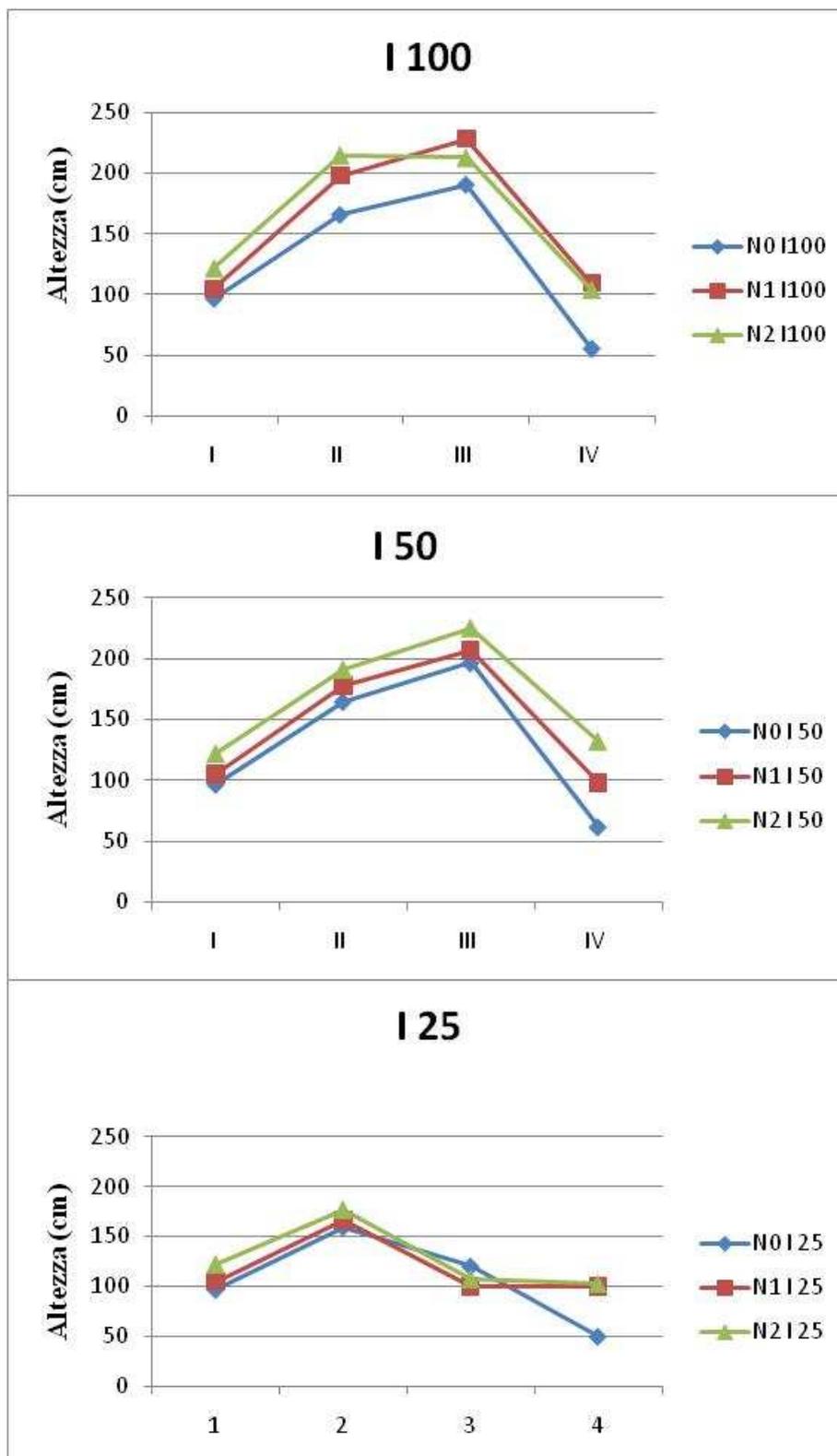


Fig. 15 Andamento del numero di culmi della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei quattro anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

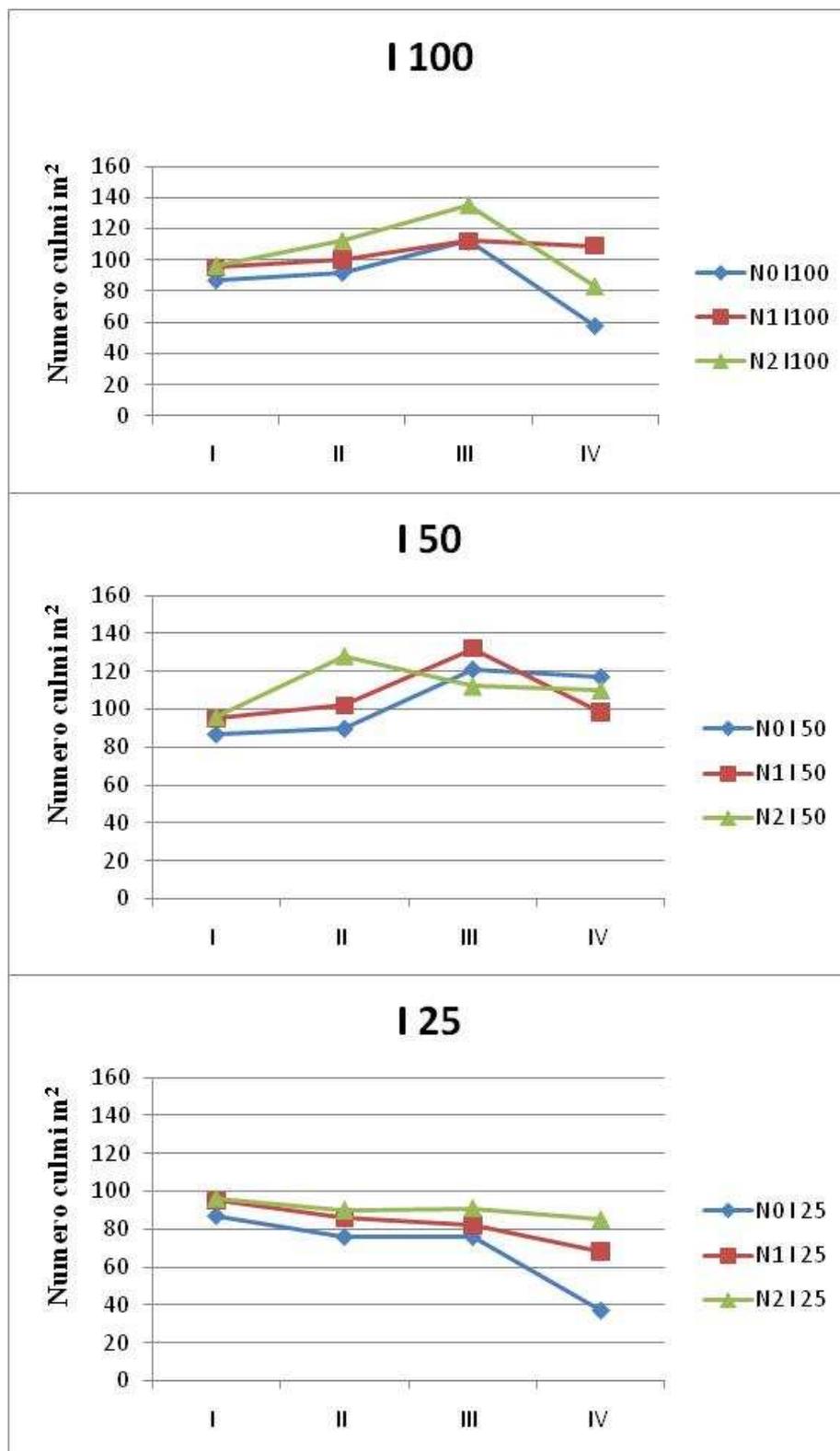


Fig. 16 Andamento della circonferenza apicale della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei quattro anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

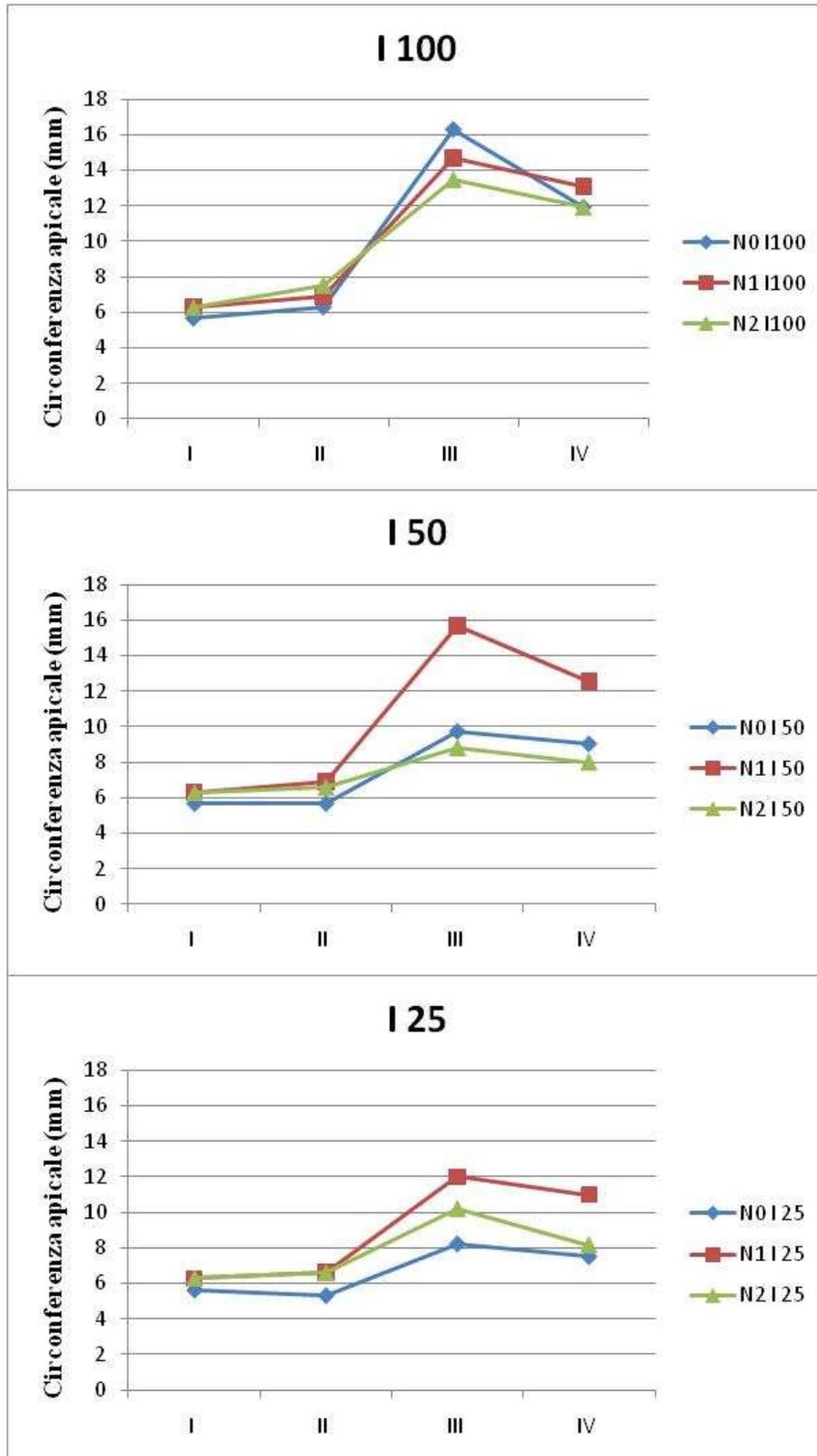


Fig. 17 Andamento della circonferenza mediana della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei quattro anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

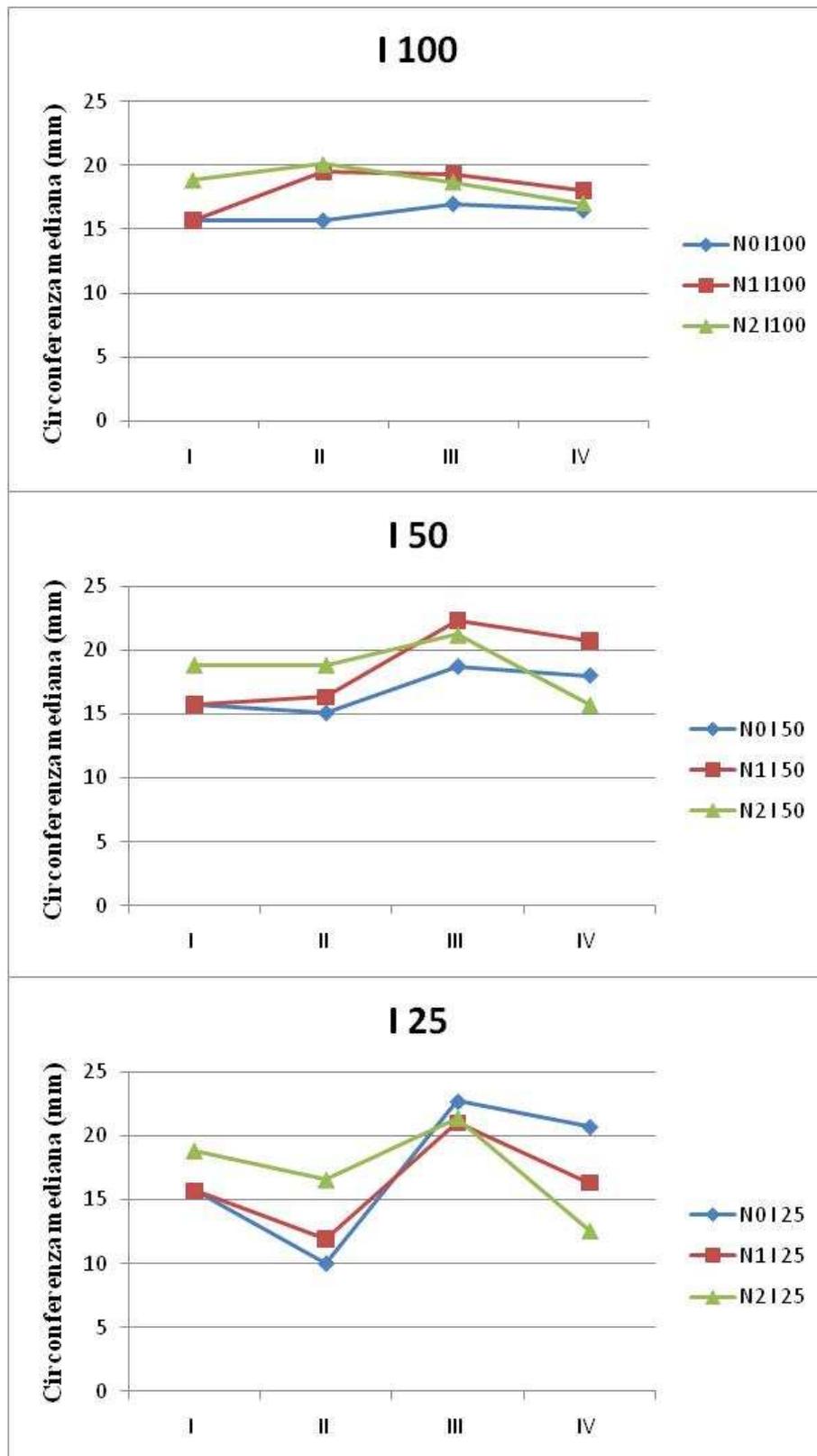
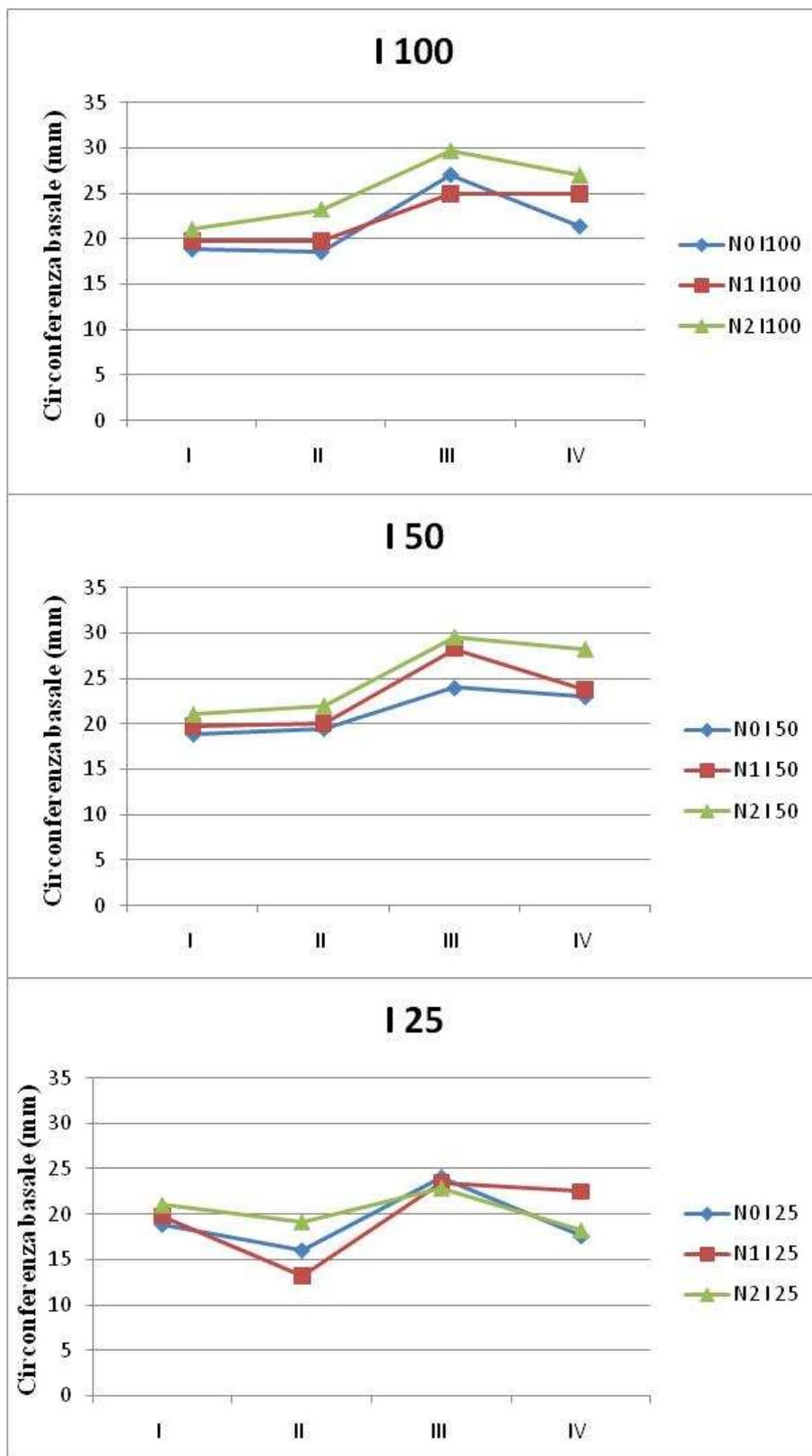


Fig. 18 Andamento della circonferenza basale della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei quattro anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

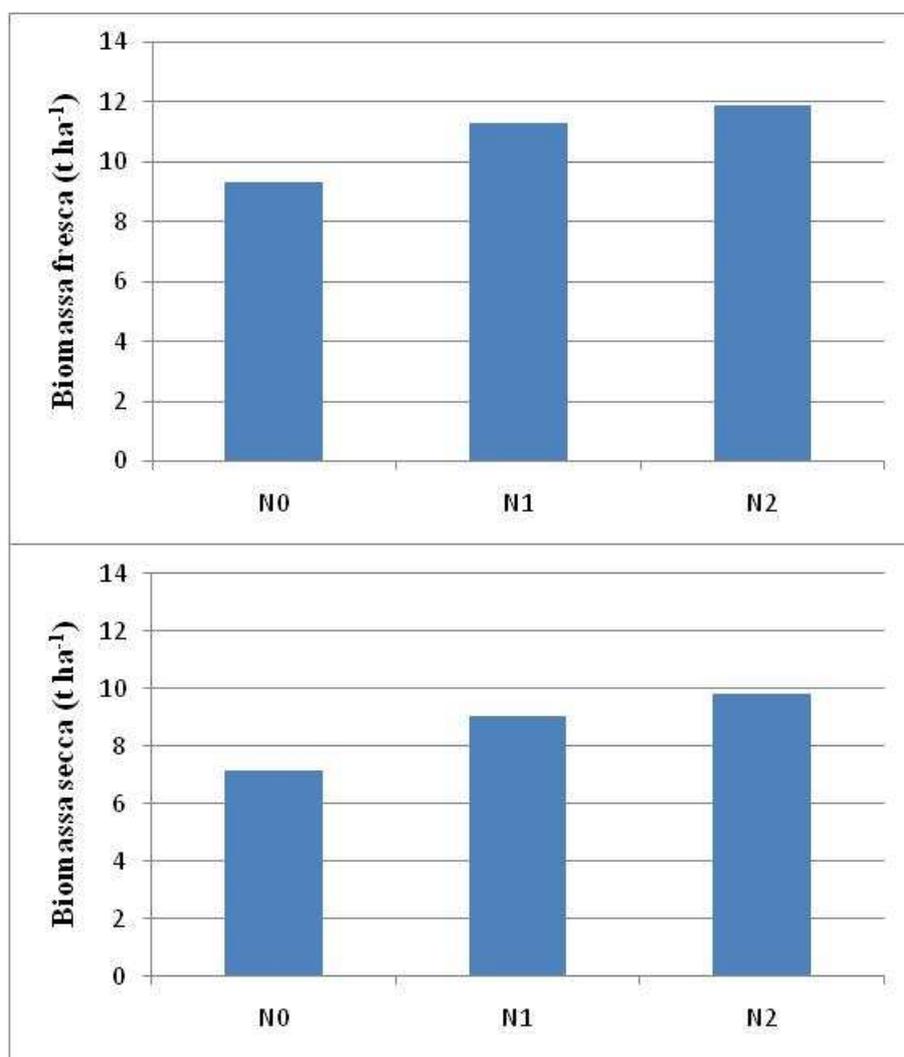


3.2.4 Caratteri produttivi *MISCANTHUS SPP.*

I anno

Considerato che, nel primo anno sono state mantenute condizioni idriche del terreno ottimali, al fine di garantire l'insediamento delle plantule, la resa totale a fine ciclo non è stata influenzata dai livelli più alti di concimazione (N₆₀ e N₁₂₀), infatti la biomassa prodotta non ha subito incrementi significativi, registrando valori di circa 9 t ha⁻¹ (Fig. 19).

Fig.19 Biomassa fresca e secca (t ha⁻¹) alla raccolta

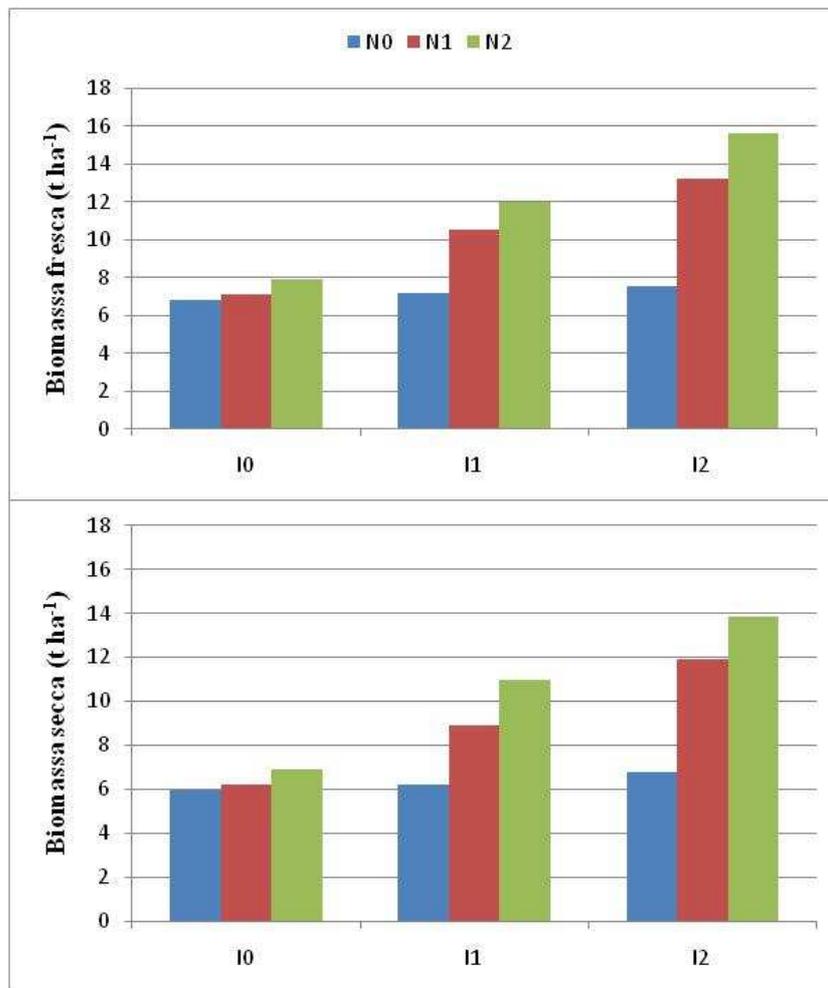


Il anno

Nel secondo anno, grazie alle sostanze di riserva immagazzinate in prossimità dei rizomi, la coltura si è sviluppata in maniera più rapida raggiungendo il suo valore massimo di produzione pari a circa 14 t ha^{-1} in I_{100} N_{120} .

Infatti raddoppiando la dose di azoto (da 60 a 120 Kg ha^{-1}) la resa in biomassa è aumentata del 18 e 14%, rispettivamente nel livello irriguo I_{50} e I_{100} . Per contro, a prescindere dalla concimazione azotata, nelle tesi con limitata disponibilità idriche (25% Etm), la resa in sostanza secca ha evidenziato, valori più bassi (Fig. 20).

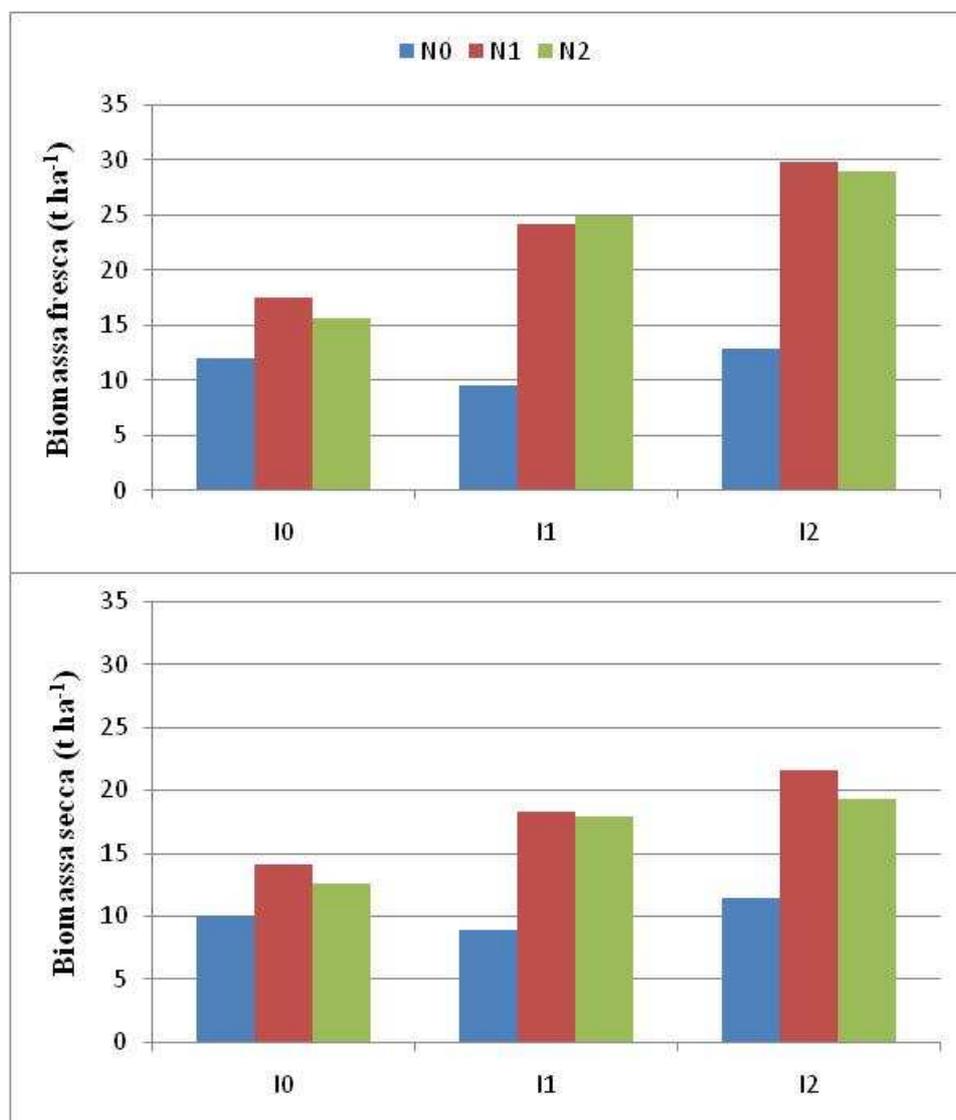
Fig.20 Biomassa fresca e secca (t ha^{-1}) alla raccolta in rapporto ai fattori allo studio



III anno

La produzione di sostanza fresca, alla raccolta, ha mostrato valori più elevati in corrispondenza delle tesi $I_{100}N_{120}$ e $I_{50}N_{120}$ (29,0 e 29,9 t ha⁻¹, rispettivamente); buona è risultata anche la produzione registrata in $I_{50}N_{60}$ (24.2 t ha⁻¹); viceversa, la carenza idrica, nelle media delle tesi azotate, ha compromesso le rese unitarie con valori al di sotto del 50% rispetto agli altri trattamenti. Stesse considerazioni valgono per la biomassa secca, che ha mostrato di interagire positivamente all'input irriguo e azotato, nonostante non siano state accertate variazioni rilevanti nei livelli più elevati di concimazione azotata e restituzione idrica dell'evaporato (Etm); in questi livelli, infatti, il campo di variazione delle produzioni unitarie è risultato compreso fra 18,3 e 21,6 t ha⁻¹. Indipendentemente dagli input azotati, anche in questo caso, la scarsa disponibilità idrica (I_{25}) ha determinato una sostanziale diminuzione della resa in sostanza secca con valori pari al - 42% rispetto alle altre tesi allo studio. E' necessario rilevare però che l'input azotato ha avuto un effetto più marcato sull' incremento di produzione di biomassa secca rispetto a quello irriguo, dove le differenze tra i livelli I_{100} e I_{50} sono irrilevanti (Fig.21).

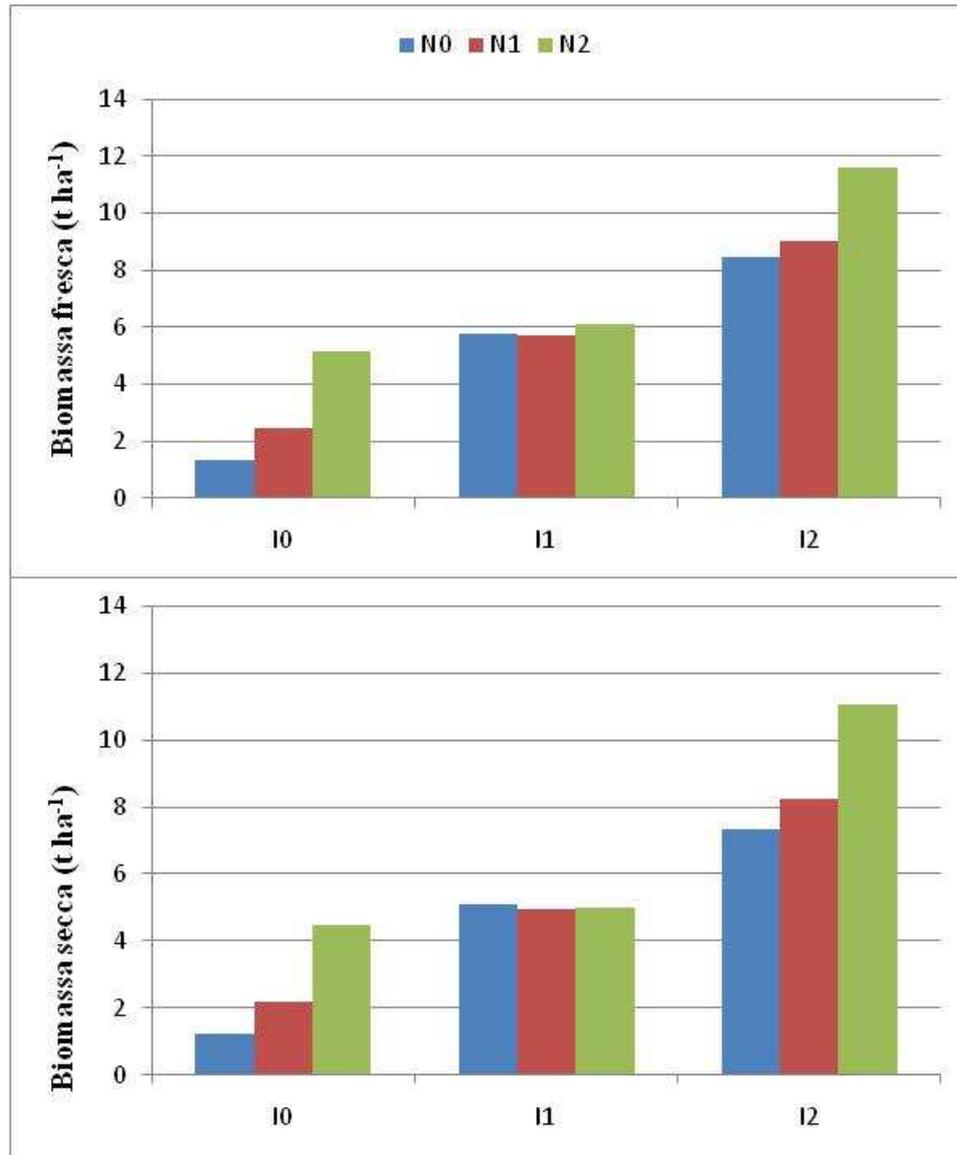
Fig.21 Biomassa fresca e secca ($t\ ha^{-1}$) alla raccolta in rapporto ai fattori allo studio



IV anno

A partire dal IV anno non essendo stati effettuati apporti idrici e concimazioni si è osservato una consistente diminuzione della produzione di biomassa, e usufruendo soltanto degli apporti idrici naturali, si è visto che la coltura ha prodotto circa $11\ t\ ha^{-1}$ in $I_{100}\ N_{120}$.

Fig. 22 Biomassa fresca e secca ($t\ ha^{-1}$) alla raccolta in rapporto ai fattori allo studio



Riepilogando l'andamento della sostanza fresca e secca che la coltura ha avuto nei quattro anni di prova è stato pressoché simile a quello dell'arundo raggiungendo un picco al terzo anno per poi decrementare notevolmente; al V anno non avendo più ricevuto input irrigui e azotati non sono state ottenute produzioni significative.

Fig. 23 Andamento della sostanza fresca della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei quattro anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

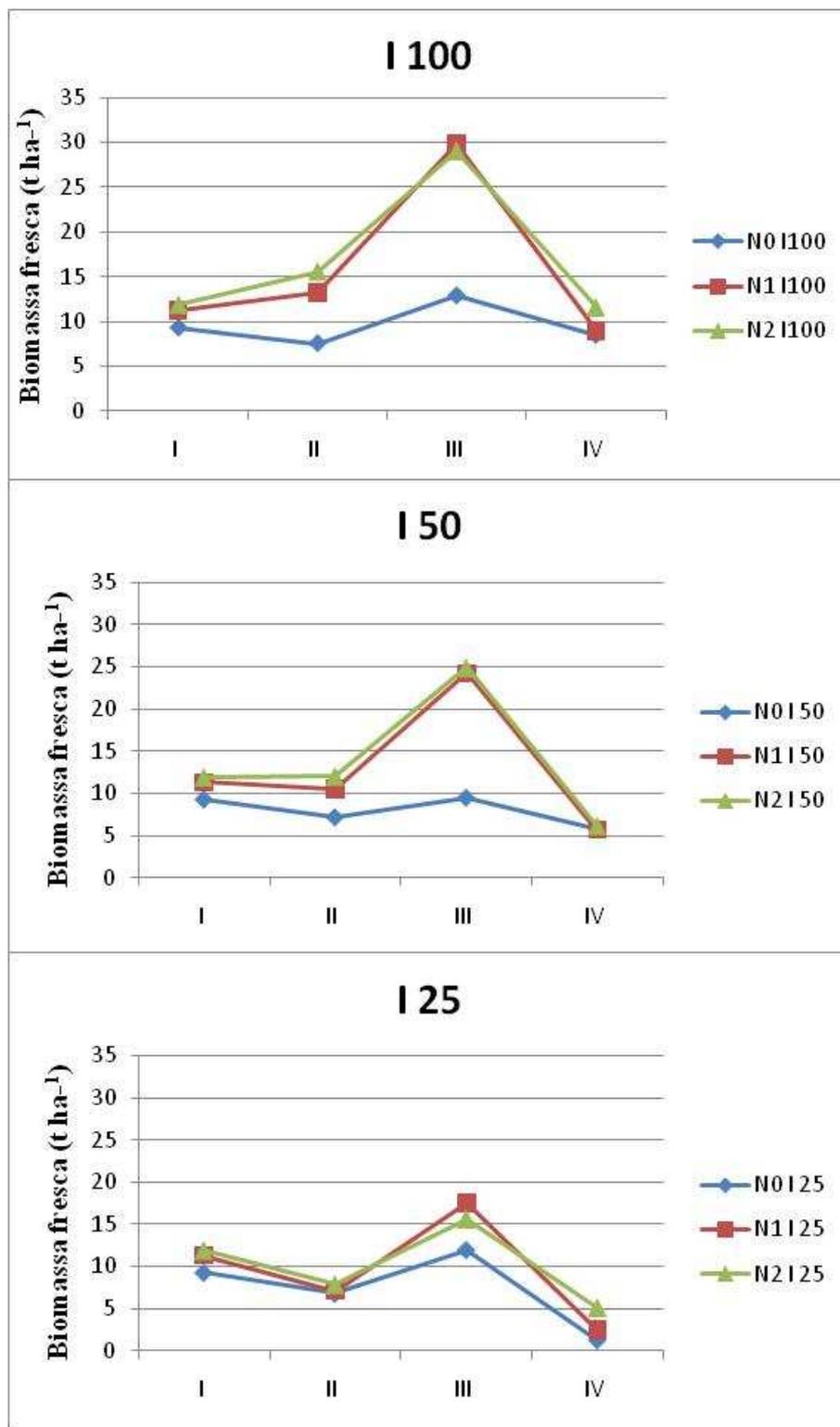
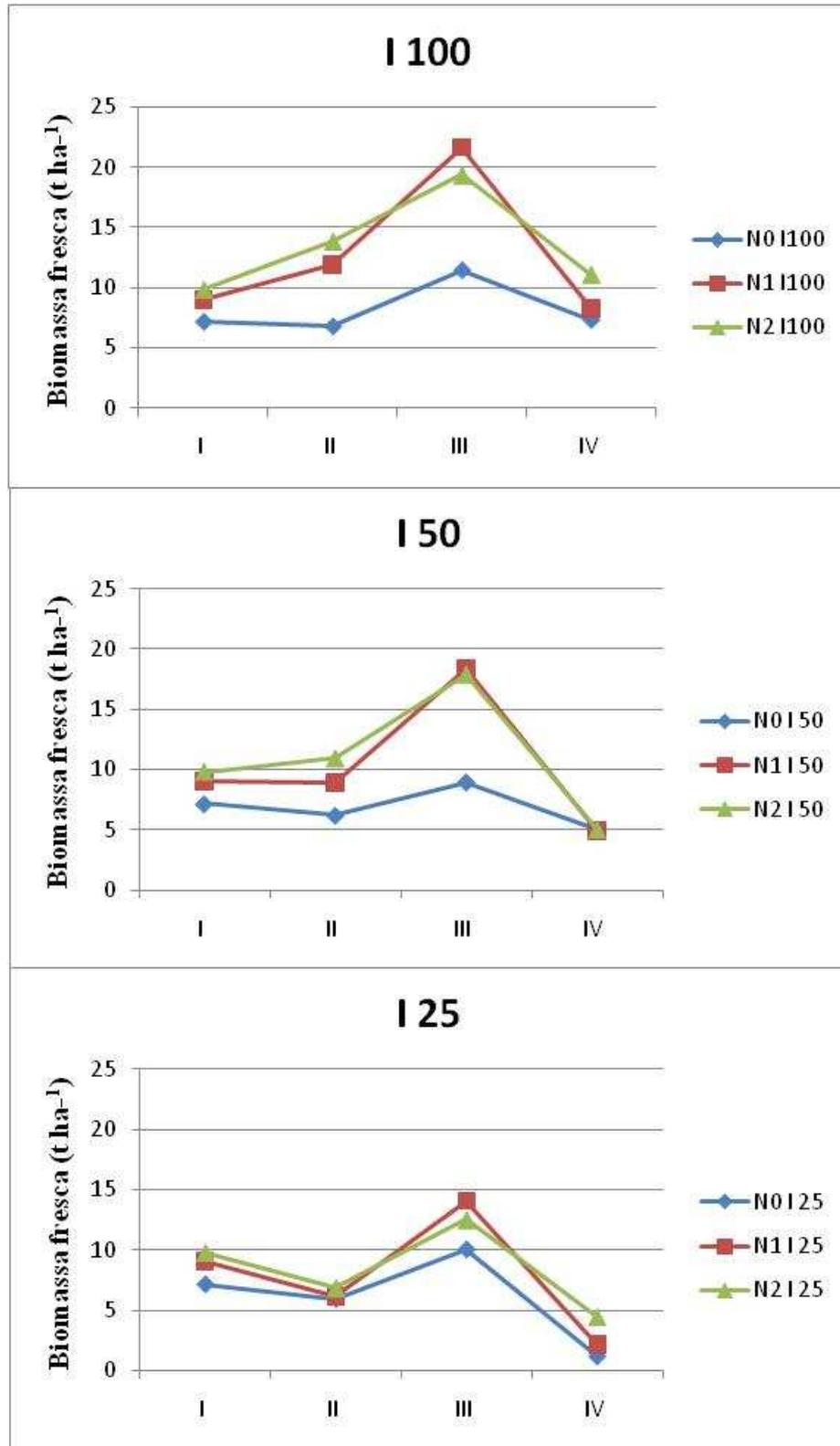


Fig. 24 Andamento della sostanza secca della coltura per ogni livello di restituzione idrica nei quattro anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata



3.2.5 Caratteristiche chimiche della biomassa in *ARUNDO DONAX* L. e *MISCANTHUS* SPP

A partire dal secondo anno, in entrambe le colture sono state fatte delle analisi chimiche su campioni di materiale biologico, prelevati in campo, durante la stagione produttiva, per determinare i componenti della fibra (ADF, NDF e lignina) e la percentuale di ceneri.

Nella media degli anni e dei trattamenti allo studio l'arundo donax ha riportato un contenuto in cellulosa, emicellulosa ADL e ceneri rispettivamente del 34,68%, 29,69%, 12,12% e 4,39%. Nella media degli anni e dei regimi irrigui, la concimazione azotata ha influenzato esclusivamente il contenuto in ADL che ha riportato i valori più alti con la dose più alta di azoto ed il contenuto in cenere che è risultato correlato positivamente con l'incremento della fertilizzazione azotata. La cellulosa, ha evidenziato i valori più alti al III anno, mentre, l'emicellulosa è risultata maggiore al IV anno. Il contenuto in ADL è risultato maggiore al I anno, mentre, il contenuto in ceneri è aumentato negli anni.

Il miscanthus, nella media dei trattamenti allo studio e degli anni ha mostrato un elevato contenuto in cellulosa rispetto alle altre componenti (42%); simile all'arundo il contenuto in emicellulosa (29%), mentre, il contenuto in ceneri è risultato molto più basso (2,64%). La concimazione azotata nella media degli anni e dell'irrigazione ha determinato un aumento del contenuto in cellulosa ed un aumento dell'emicellulosa. Il contenuto in emicellulosa e ADL medio è aumentato negli anni, mentre, come per l'arundo il contenuto in cellulosa è risultato maggiore al III anno (Tab. 10,11).

Tab. 10 Caratteristiche chimiche Arundo donax

Tab. 10 Tesi	II anno				III anno				IV anno				V anno			
	cellulosa	emicellulosa	adl	ceneri												
I ₂₅ N ₀	-	-	-	-	26,30%	33,60%	10,20%	3,04%	32,27%	30,38%	12,72%	5,20%	34,73%	28,08%	9,20%	5,35%
I ₅₀ N ₀	-	-	-	-	43,37%	24,59%	11,93%	3,06%	40,93%	31,67%	10,76%	5,93%	32,53%	28,15%	13,08%	4,95%
I ₁₀₀ N ₀	-	-	-	-	40,53%	25,31%	11,61%	4,35%	32,31%	31,30%	13,10%	2,08%	32,97%	31,77%	11,74%	2,99%
media	33,04%	28,70%	13,16%	3,00%	36,73%	27,83%	11,25%	3,48%	35,17%	31,12%	12,19%	4,40%	33,41%	29,33%	11,34%	4,43%
I ₂₅ N ₆₀	-	-	-	-	34,91%	30,09%	7,50%	3,50%	34,11%	30,44%	11,11%	5,81%	38,66%	28,61%	9,74%	8,03%
I ₅₀ N ₆₀	-	-	-	-	37,27%	30,59%	13,28%	2,88%	34,97%	33,44%	11,32%	5,42%	30,88%	32,15%	9,21%	6,24%
I ₁₀₀ N ₆₀	-	-	-	-	43,31%	26,84%	12,02%	3,50%	33,93%	32,28%	13,72%	5,08%	35,10%	29,46%	9,91%	3,78%
media	30,70%	28,62%	14,80%	3,20%	38,50%	29,17%	10,93%	3,29%	34,34%	32,05%	12,05%	5,44%	34,88%	30,07%	9,62%	6,02%
I ₂₅ N ₁₂₀	-	-	-	-	38,20%	29,79%	12,05%	3,70%	34,86%	29,44%	11,69%	5,90%	36,22%	30,55%	9,07%	8,35%
I ₅₀ N ₁₂₀	-	-	-	-	41,28%	29,05%	11,26%	3,79%	33,74%	32,49%	15,48%	5,35%	32,70%	28,68%	10,78%	7,81%
I ₁₀₀ N ₁₂₀	-	-	-	-	40,21%	32,67%	12,45%	3,59%	35,28%	30,23%	13,61%	3,77%	34,53%	28,02%	10,14%	5,37%
media	30,42%	29,08%	14,56%	3,50%	39,90%	30,50%	11,92%	3,69%	34,63%	30,72%	13,59%	5,01%	34,48%	29,08%	10,00%	7,18%

Tab. 11 Caratteristiche chimiche Miscanthus spp

Tab. 11 Tesi	II anno				III anno				IV anno			
	cellulosa	emicellulosa	adl	ceneri	cellulosa	emicellulosa	adl	ceneri	cellulosa	emicellulosa	adl	ceneri
I ₂₅ N ₀	-	-	-	-	48,76%	22,01%	11,29%	2,41%	39,40%	35,34%	12,90%	3,68%
I ₅₀ N ₀	-	-	-	-	44,53%	26,74%	10,20%	2,45%	38,74%	20,70%	17,17%	2,60%
I ₁₀₀ N ₀	-	-	-	-	44,52%	31,41%	11,71%	2,64%	42,99%	32,19%	13,29%	3,00%
media	43,63%	24,53%	6,11%	3%	45,94%	26,72%	11,07%	2,50%	40,38%	29,41%	14,45%	3,09%
I ₂₅ N ₆₀	-	-	-	-	32,89%	36,68%	8,48%	2,86%	45,42%	31,76%	14,93%	3,10%
I ₅₀ N ₆₀	-	-	-	-	44,40%	27,19%	11,47%	2,31%	39,66%	37,06%	12,69%	2,93%
I ₁₀₀ N ₆₀	-	-	-	-	44,62%	30,06%	8,76%	1,88%	44,90%	28,40%	9,20%	2,10%
media	41,20%	25,40%	8,28%	2,30%	40,64%	31,31%	9,57%	2,44%	43,33%	32,41%	12,27%	2,93%
I ₂₅ N ₁₂₀	-	-	-	-	40,98%	34,11%	9,24%	2,00%	41,00%	33,20%	10,30%	3,00%
I ₅₀ N ₁₂₀	-	-	-	-	46,17%	30,64%	10,69%	1,84%	40,39%	35,72%	13,01%	2,93%
I ₁₀₀ N ₁₂₀	-	-	-	-	42,81%	30,57%	10,39%	2,05%	44,51%	28,69%	15,71%	2,09%
media	38,88%	24%	10,20%	2,50%	43,32%	31,77%	10,11%	2,31%	41,97%	32,54%	13,01%	2,67%

3.2.6 Resa in bioetanolo

La resa in bio-etanolo rispecchia molto la produzione in biomassa secca. Nella media degli anni e dei trattamenti, nell'arundo, sono stati ottenuti circa 3000 litri potenziali di bioteno, tale resa è aumentata con l'aumento della dose in azoto somministrata. Come per la produzione in sostanza secca e cellulosa la maggiore resa in etanolo è stata ottenuta al III anno.

Anche per il Miscanthus la maggiore resa si è avuta al terzo anno con un forte decremento al IV anno nel caso delle due più basse restituzioni idriche.

Tab. 12 Resa in bioetanolo dell' Arundo donax

Tab. 12	II anno					III anno					IV anno					V anno				
	kg di etanolo per tonnellata			kg totali	Litri	kg di etanolo per tonnellata			kg totali	Litri	kg di etanolo per tonnellata			kg totali	Litri	kg di etanolo per tonnellata			kg totali	Litri
			totale					totale					totale					totale		
I ₂₅ N ₀	-	-	-	-	-	102,7	150,8	253,5	3320,85	2623,47	148,1	136,3	284,4	1970,89	1557,00	159,40	126	285,40	1675,298	1323,485
I ₅₀ N ₀	-	-	-	-	-	199,1	110,4	309,5	5106,75	4034,33	187,9	142,1	330	3534,30	2792,10	149,3	126,3	275,60	2177,24	1720,02
I ₁₀₀ N ₀	-	-	-	-	-	186	113,6	299,6	4613,84	3644,93	148,3	140,5	288,8	3052,62	2411,57	142,6	142,6	285,20	2278,748	1800,211
media	151,70	128,80	280,50	2457,18	1941,1722	162,60	124,93	287,53	4347,15	3434,25	161,43	139,63	301,07	2852,60	2253,56	150,43	131,63	282,07	2043,76	1614,572
I ₂₅ N ₆₀	-	-	-	-	-	160,2	135	295,2	5461,20	4314,35	156,6	136,6	293,2	3263,32	2578,02	177,4	128,4	305,80	2357,718	1862,597
I ₅₀ N ₆₀	-	-	-	-	-	171,1	137,3	308,4	6630,60	5238,17	160,5	150,1	310,6	4494,38	3550,56	141,7	144,3	286,00	2725,58	2153,208
I ₁₀₀ N ₆₀	-	-	-	-	-	198,8	120,5	319,3	6386,00	5044,94	155,7	144,9	300,6	4382,75	3462,37	132,2	132,2	264,40	2646,644	2090,849
media	140,90	128,40	269,30	3196,591	2525,3069	168,64	127,50	296,15	5123,77	4047,78	157,6	143,87	301,47	4046,82	3196,98	150,43	134,97	285,40	2576,65	2035,551
I ₂₅ N ₁₂₀	-	-	-	-	-	175,3	133,7	309	6087,30	4808,97	160	132,1	292,1	3642,49	2877,56	166,2	137,1	303,30	2462,796	1945,609
I ₅₀ N ₁₂₀	-	-	-	-	-	189,5	130,4	319,9	7133,77	5635,68	154,9	145,8	300,7	3635,46	2872,02	128,7	128,7	257,40	2386,098	1885,017
I ₁₀₀ N ₁₂₀	-	-	-	-	-	184,6	146,6	331,2	8412,48	6645,86	161,9	135,7	297,6	5160,38	4076,70	125,8	125,8	251,60	2639,284	2085,034
media	139,60	130,40	270,00	3321	2623,59	183,13	136,90	320,03	7211,18	5696,83	158,93	137,87	296,80	4146,11	3275,43	140,23	130,53	270,77	2496,06	1971,887

Tab. 13 Resa in bioetanolo del Miscanthus spp

Tab. 13 Tesi	II anno					III anno					IV anno				
	kg di etanolo per tonnellata			kg totali	Litri	kg di etanolo per tonnellata			kg etanolo	Litri	kg di etanolo per tonnellata			kg totali	Litri
			totale					totale					totale		
I ₂₅ N ₀	-	-	-	-	-	223,8	98,8	322,6	3238,904	2558,73	180,8	158,6	339,4	410,67	324,43
I ₅₀ N ₀	-	-	-	-	-	204,4	120	324,4	2909,868	2298,80	177,8	92,9	270,7	1372,45	1084,23
I ₁₀₀ N ₀	-	-	-	-	-	204,3	141	345,3	3964,044	3131,59	197,3	144,5	341,8	2505,39	1979,26
media	200,3	110,1	310,4	1961,73	1549,77	210,83	119,93	330,77	3370,94	2663,04	185,3	132	317,3	1429,506	1129,309
I ₂₅ N ₆₀	-	-	-	-	-	151,00	164,60	315,60	4446,80	3512,98	208,5	142,5	351	761,67	601,7193
I ₅₀ N ₆₀	-	-	-	-	-	203,80	122,00	325,80	5975,17	4720,39	182	166,3	348,3	1720,602	1359,276
I ₁₀₀ N ₆₀	-	-	-	-	-	204,80	134,90	339,70	7354,51	5810,06	206,1	127,5	333,6	2752,2	2174,238
media	189,1	114	303,1	2721,84	2150,25	186,53	140,50	327,03	5925,49	4681,14	198,87	145,43	344,30	1744,82	1236,07
I ₂₅ N ₁₂₀	-	-	-	-	-	188,1	153,1	341,2	4278,648	3380,13	188,2	149	337,2	1507,284	1190,754
I ₅₀ N ₁₂₀	-	-	-	-	-	211,9	137,5	349,4	6264,742	4949,15	185,4	160,3	345,7	1721,586	1360,053
I ₁₀₀ N ₁₂₀	-	-	-	-	-	196,5	137,2	333,7	6463,769	5106,38	204,3	128,8	333,1	3690,748	2915,691
media	178,5	107,7	286,2	3019,41	2385,3339	198,83	142,60	341,43	5669,05	4478,55	192,63	146,03	338,67	2306,54	1822,17

Fig. 25 Andamento della produzione (litri) di bioetanolo dell'arundo per ogni livello di restituzione idrica nei quattro anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata

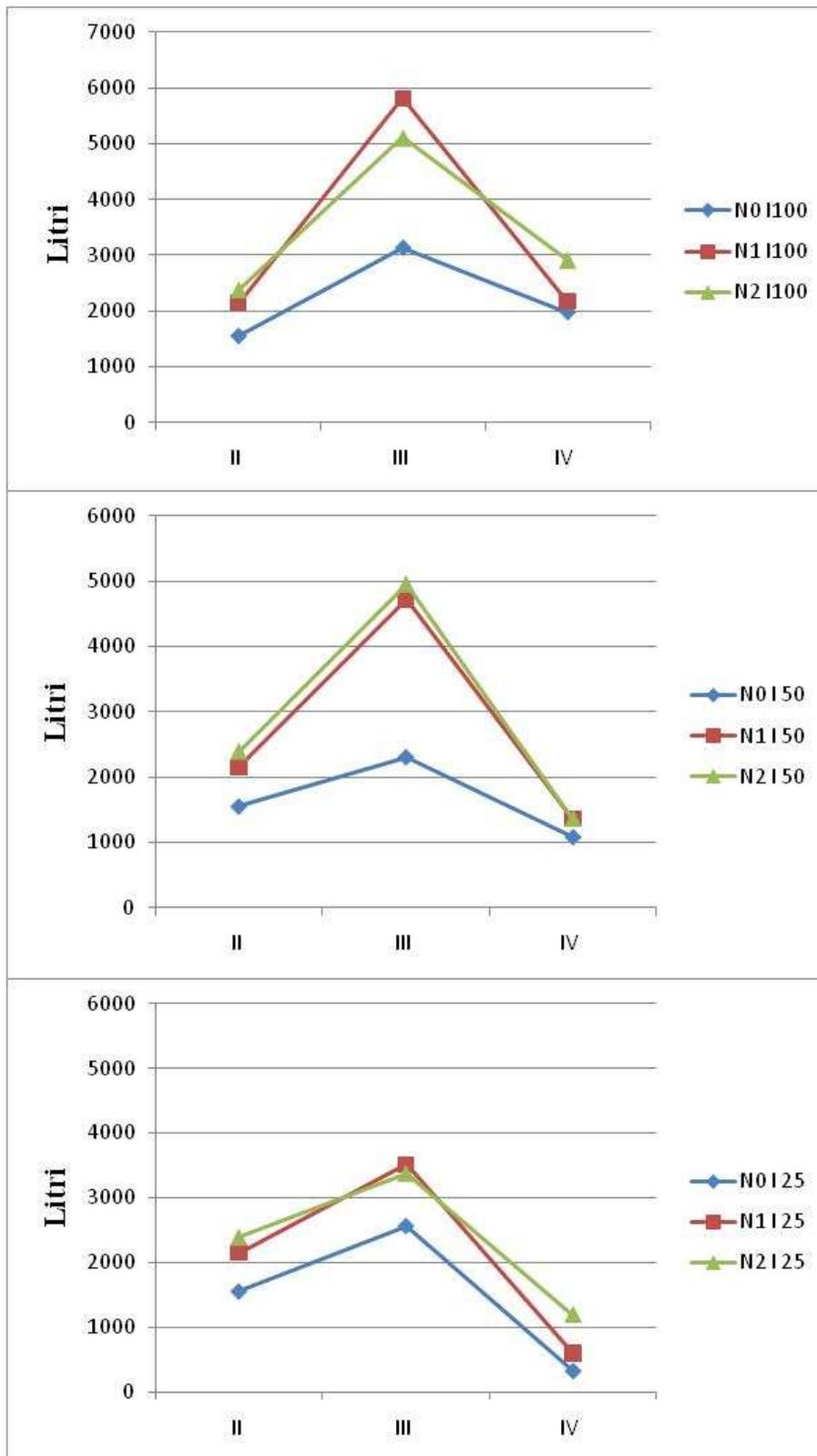
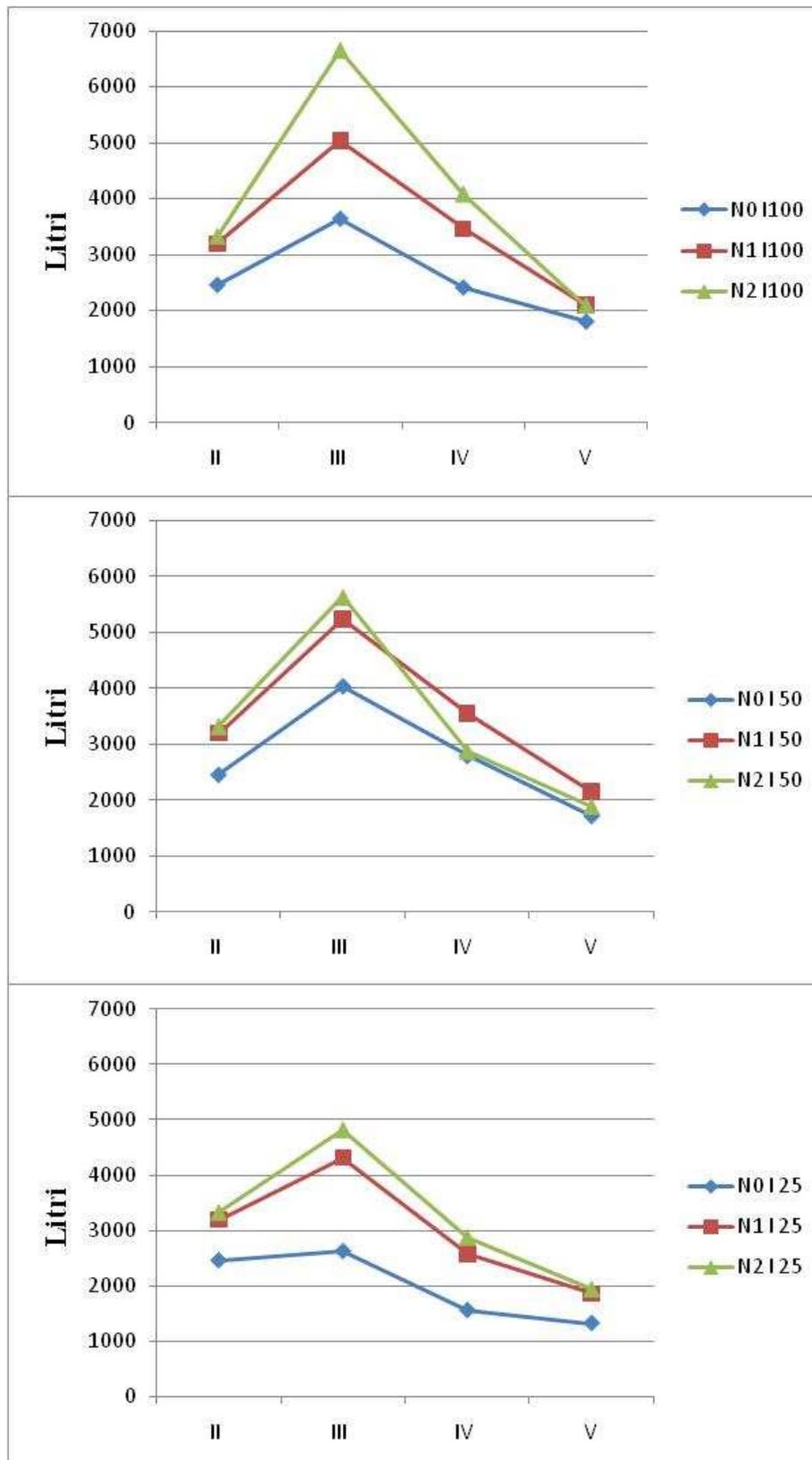


Fig. 26 Andamento della produzione (litri) di bioetanolo del miscanthus per ogni livello di restituzione idrica nei quattro anni di coltivazione in funzione delle concimazione azotata



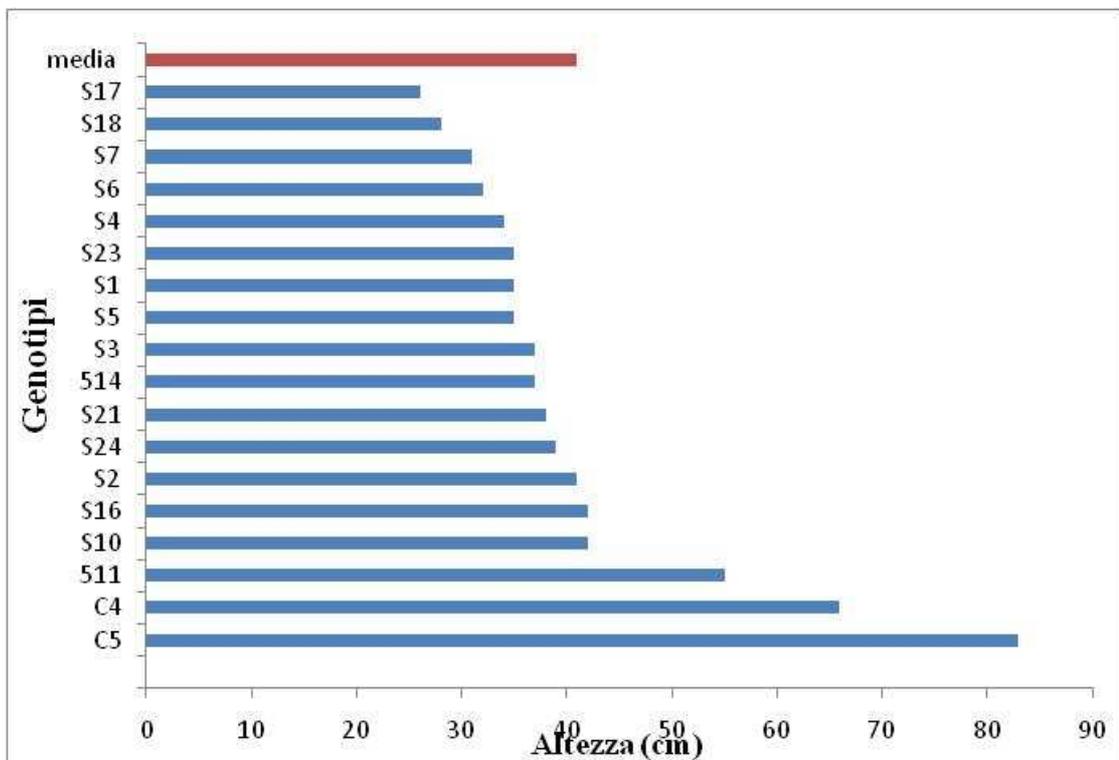
3.3 Prova B: Genotipi a confronto di *Cynara* (*Cynara* spp.) da biomassa da destinare ai processi di trasformazione industriale per la produzione di bioetanolo

3.3.1 Caratteri morfobiometrici e produttivi *Cynara cardunculus* L.

I anno

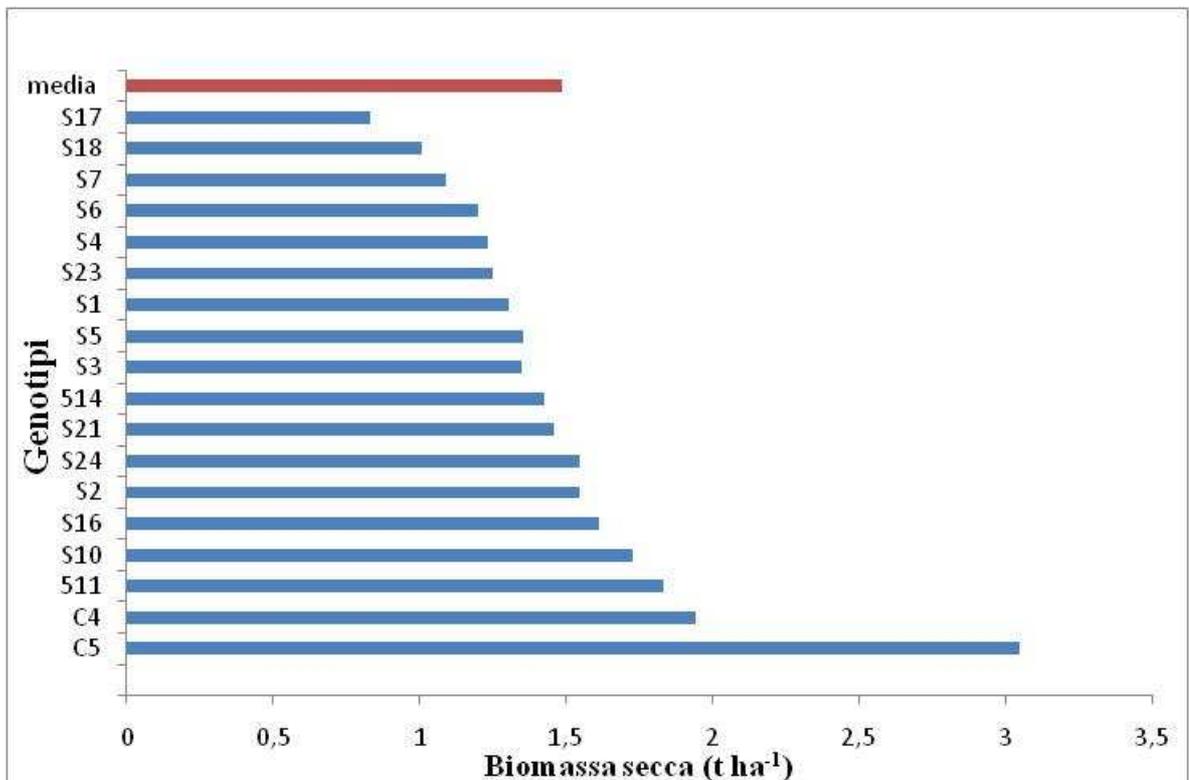
Nel primo anno di insediamento della coltura, la statura delle piante è risultata nella media dei genotipi pari a 40,9 cm, mostrando un grande variabilità tra i genotipi. I genotipi che hanno mostrato un valore più alto sono stati C₅ con 83 cm e C₄ con 66 cm, mentre tra i genotipi selezionati da popolazioni spontanee i valori più alti 511 e S10 con valori pari a 55 e 423 cm. Di contro il valore più basso è stato riscontrato in S17 pari a 26 cm (Fig.27)

Fig. 27 Altezza delle piante (cm) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



La biomassa secca epigea ha raggiunto, nei genotipi allo studio, livelli di produzione alquanto bassi. I genotipi che hanno evidenziato una resa in sostanza secca più alta sono risultati quelli commerciali C₄ e C₅ (nell'ordine 2,2 e 3,4 t ha⁻¹), mentre tra i genotipi selezionati da popolazioni spontanee si sono distinti S₁₀ e S₁₆ (1,9 e 1,8 t ha⁻¹, rispettivamente) e con valori uguali e pari a 1,7 t ha⁻¹ S₂₄ e S₂; i restanti hanno mostrato un campo di variabilità compreso fra 0,9 e 1,6 t ha⁻¹ (fig.28).

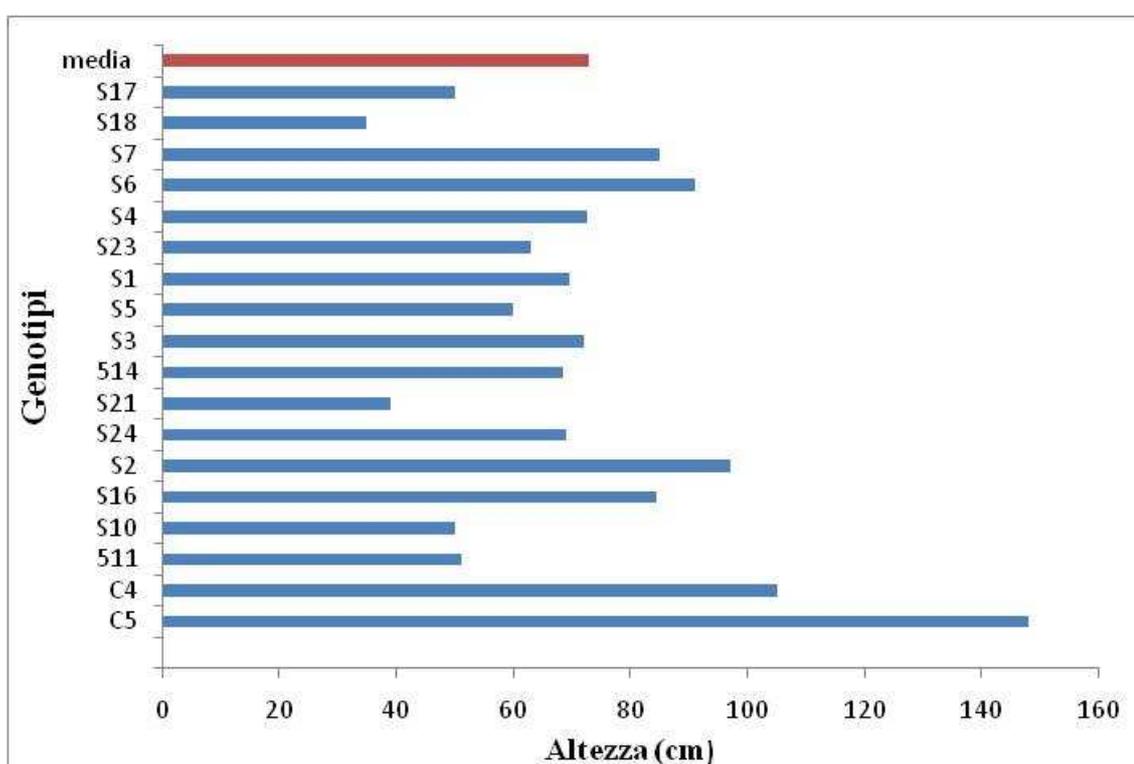
Fig. 28 Biomassa secca (t ha⁻¹) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



Il anno

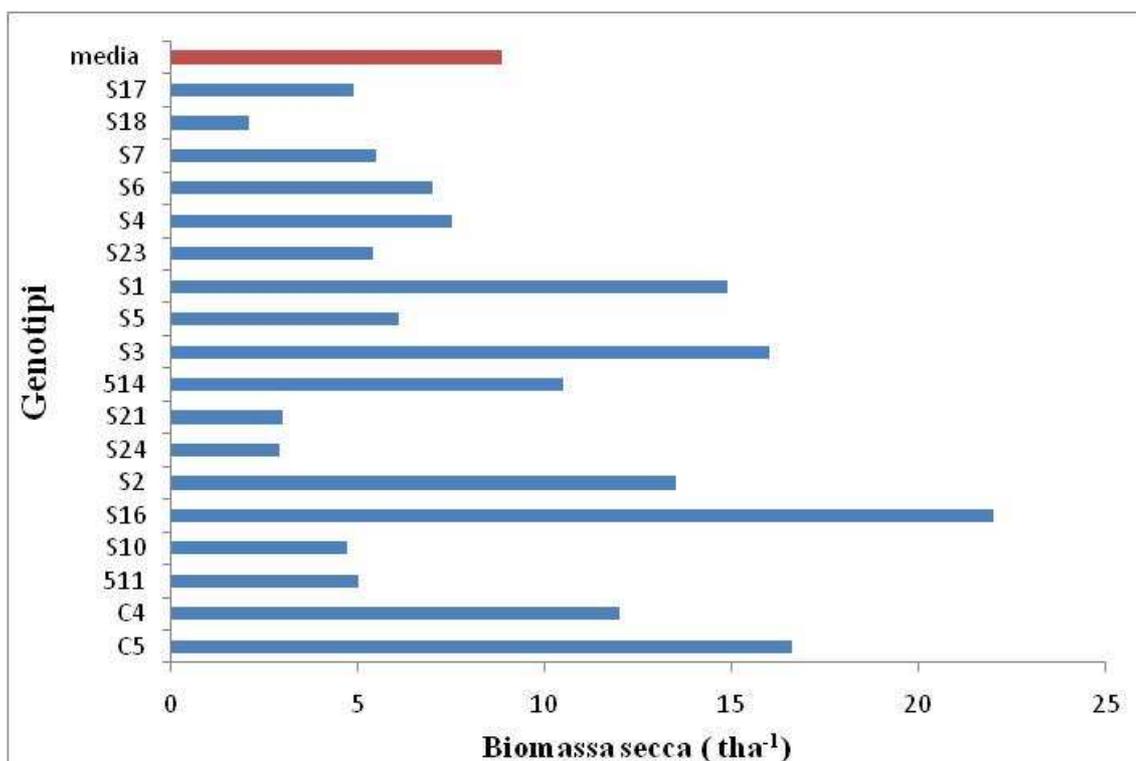
La statura della pianta , nella media di tutti i genotipi allo studio è risultata pari a 72,8 cm. La statura della pianta ha mostrato valori che hanno oscillato tra 35 e 148 cm, riscontrati, rispettivamente, in “S18” (cardo selvatico) e “C5” (cardo domestico) (Fig.29).

Fig. 29 Altezza delle piante (cm) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



La resa in biomassa, pari nella media dei fattori allo studio a $8,9 \text{ t ha}^{-1}$ di s.s., è risultata influenzata dal genotipo. Il cardo selvatico “S16” con oltre 20 t ha^{-1} di s.s., ha mostrato la resa significativamente più elevata, seguita dal cardo domestico “C5” con $16,7 \text{ t ha}^{-1}$ di s.s. (Fig. 30).

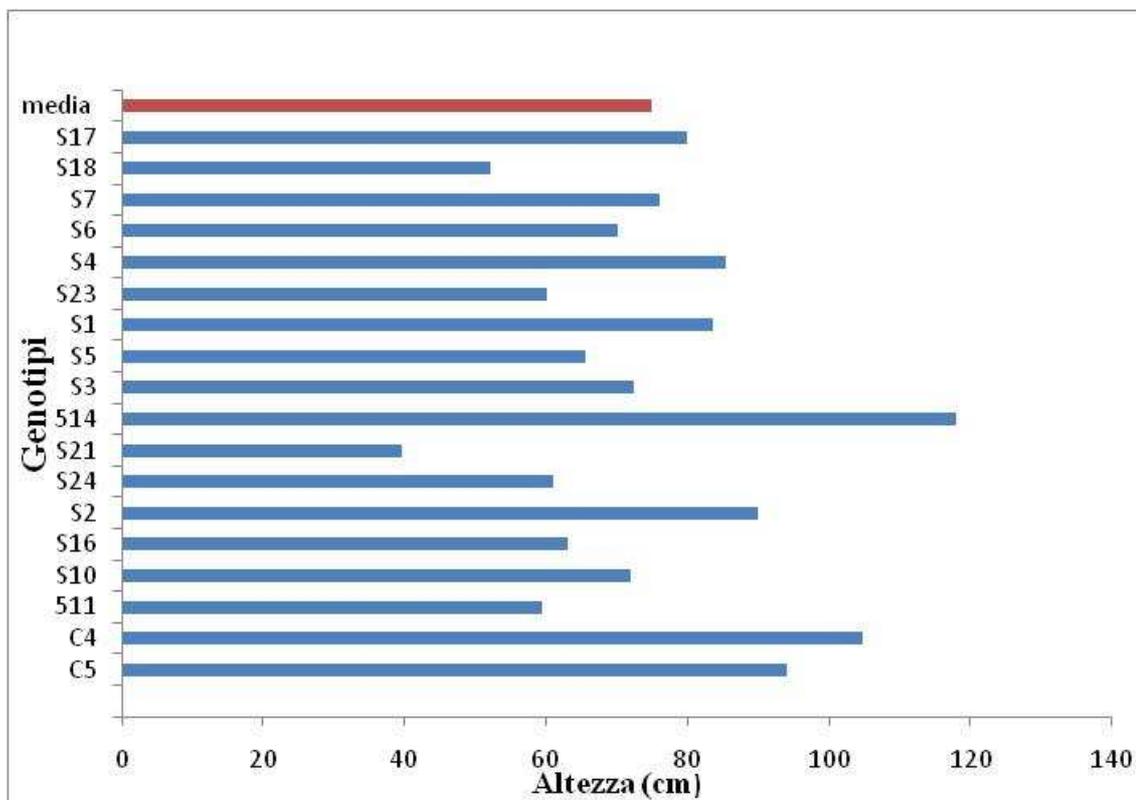
Fig. 30 Biomassa secca ($t\ ha^{-1}$) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



III anno

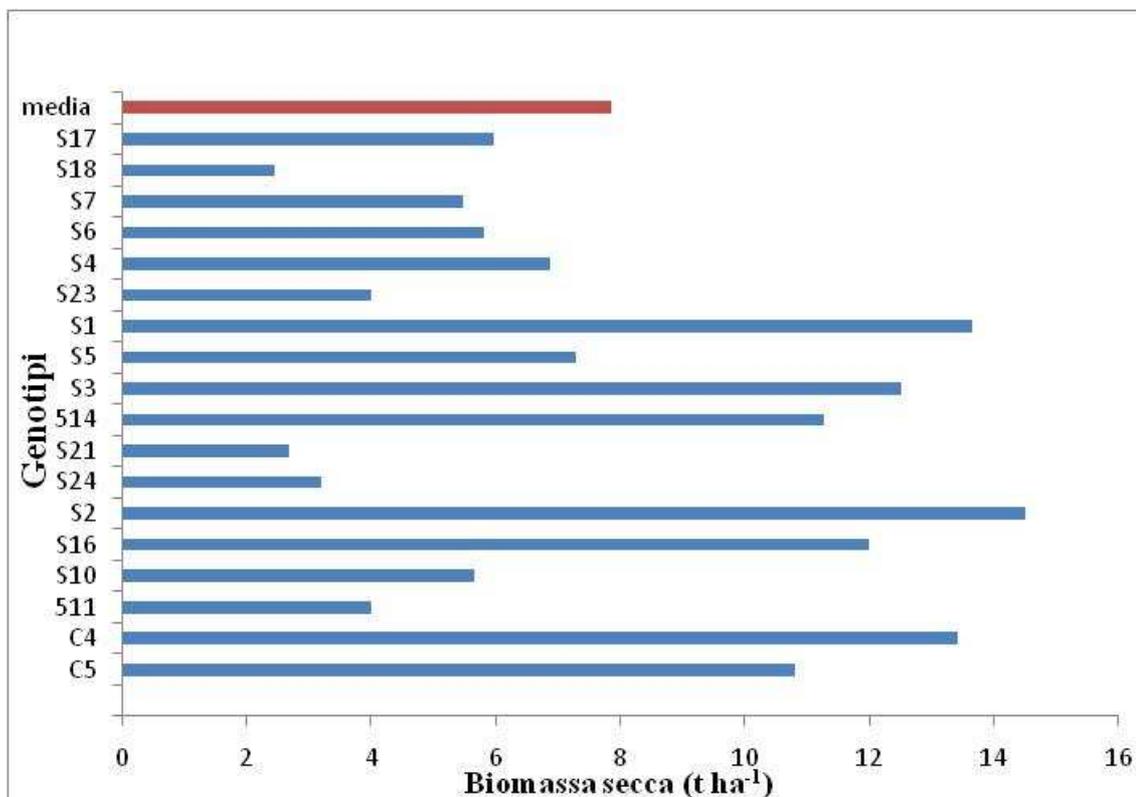
Per quanto riguarda la statura, questo carattere ha mostrato un'ampia variabilità in seno ai genotipi allo studio, che è risultata compresa fra 37.5 a 118.0 cm. Il valore medio si è attestato intorno a 74 cm. I genotipi che hanno mostrato un valore per il carattere esaminato più elevato sono risultati in ordine decrescente: S14 (118.0 cm), C4 (104.8 cm), C5 (94.0 cm) e S2 (90.0 cm); valori intermedi, invece, compresi in un intervallo che va da 70.2 a 85.5 cm, sono stati trovati in S6, S10, S3, S7, S17, S1 ed S4; i restanti hanno mostrato un valore al di sotto di 70 cm; per contro, i genotipi con minore altezza sono risultati S23 ed S21 (nell'ordine 37.5 e 39.7 cm).

Fig. 31 Altezza delle piante (cm) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



L'accumulo di sostanza secca ha evidenziato notevoli differenze in rapporto ai genotipi studiati. Nella media genotipica è stato osservato un valore medio pari a $7,9 \text{ t ha}^{-1}$. Il più produttivo in assoluto è risultato S1 (circa 14 t ha^{-1}), seguono con produzioni a 11 t ha^{-1} : S14, S4 ed S3, mentre al di sopra dei 5 t ha^{-1} troviamo S17, S10, S7, C5, S2, C4 e S16; rispetto a quest'ultimi, i rimanenti si sono attestati con livelli produttivi più bassi (Fig.32).

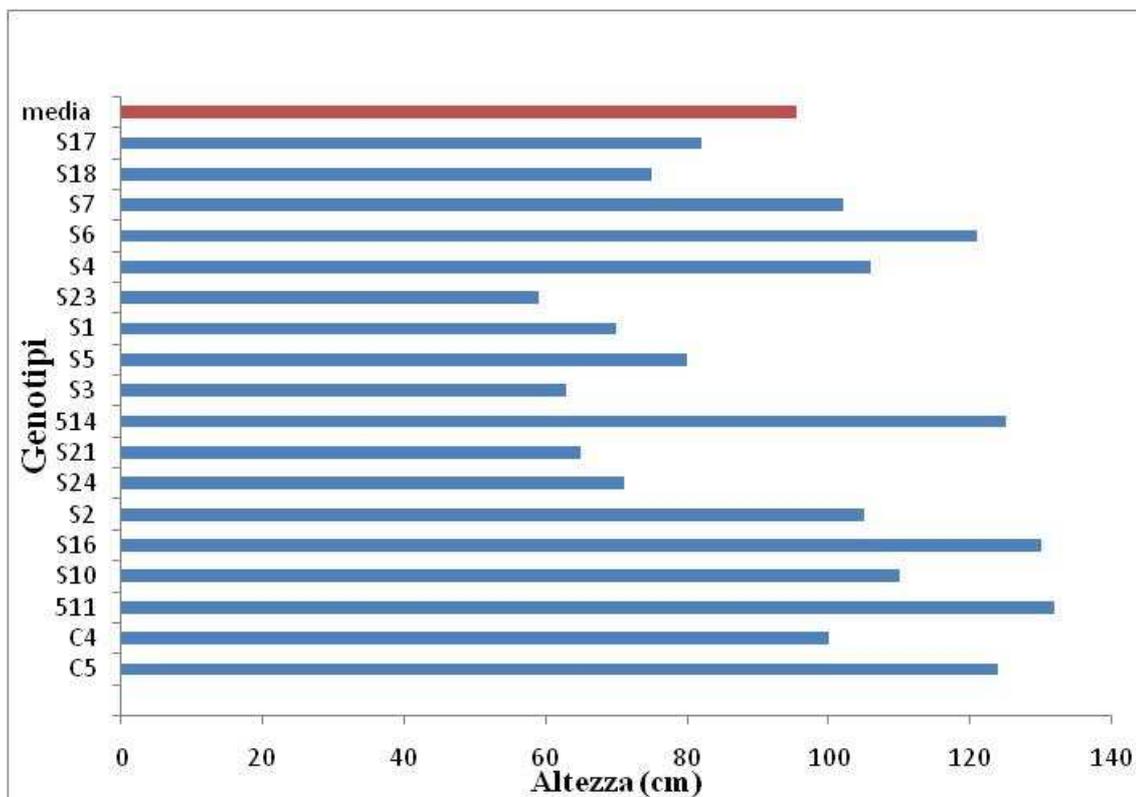
Fig. 32 Biomassa secca ($t\ ha^{-1}$) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



IV anno

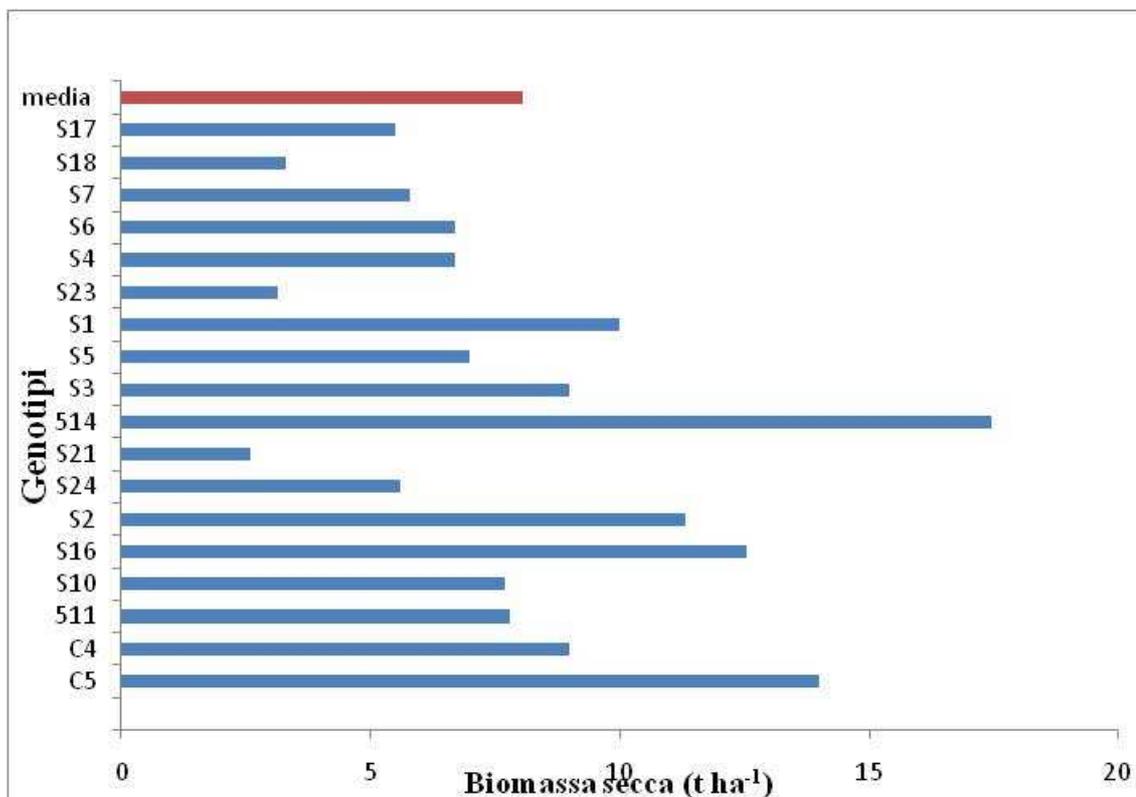
La statura delle piante ha mostrato un'ampia variabilità in seno ai genotipi allo studio, che è risultata compresa fra 59 a 132 cm. Il valore medio si è attestato intorno a 99.5 cm. I genotipi che hanno mostrato un valore per il carattere esaminato più elevato sono risultati in ordine decrescente: S11 (132.0 cm), S16 (130 cm), S14 (125 cm) e C5 (124 cm); valori intermedi, invece, compresi in un intervallo che va da 110 a 90 cm, sono stati trovati in S10, S4, S2, S7, S3, C4 ed S1; i restanti hanno mostrato un valore al di sotto di 90 cm; per contro, i genotipi con minore altezza sono risultati S23 ed S21 (nell'ordine 59 e 65 cm). (Fig.33)

Fig. 33 Altezza delle piante (cm) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



L'accumulo di sostanza secca ha evidenziato notevoli differenze in rapporto ai genotipi studiati. Nella media genotipica è stato osservato un valore medio pari a 8 t ha^{-1} . Il più produttivo in assoluto è risultato 514 (circa 17 t ha^{-1}), seguono con produzioni inferiori C5, S16, S2, mentre al di sotto di 10 t ha^{-1} troviamo S3, C4, 511, S10 e S7; rispetto a quest'ultimi, i rimanenti si sono attestati con livelli produttivi più bassi. (Fig.34)

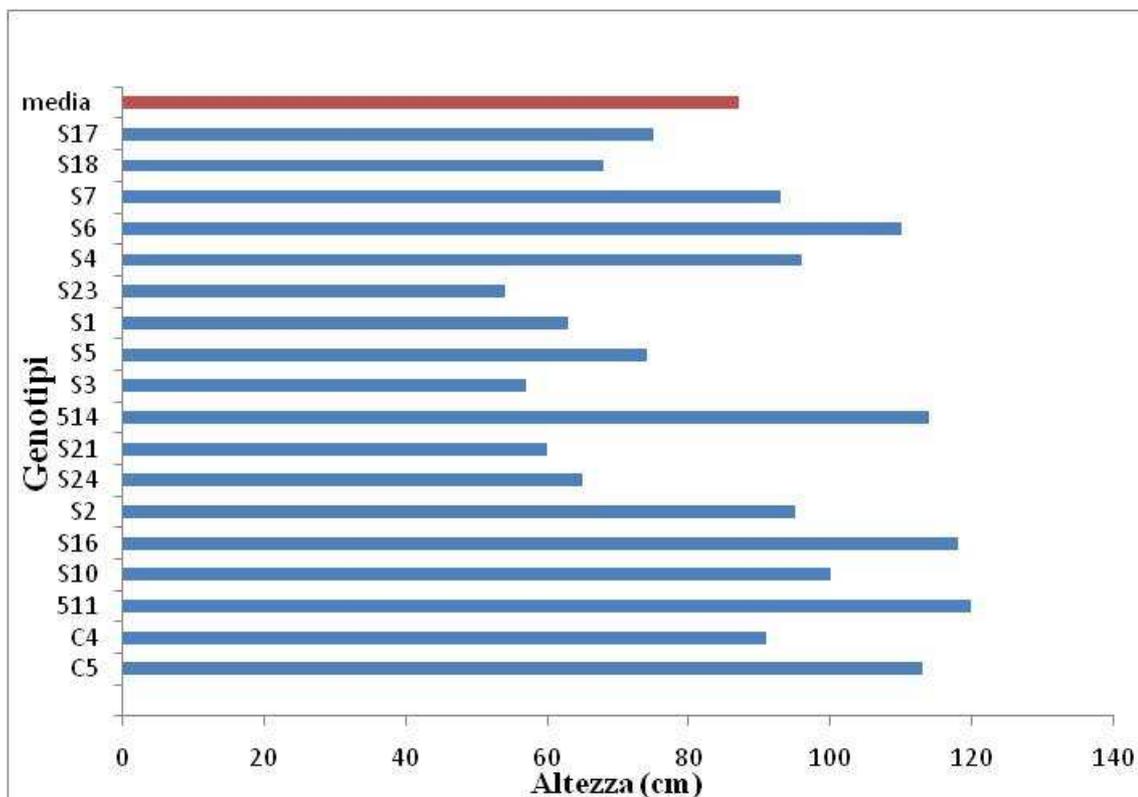
Fig. 34 Biomassa secca (t ha⁻¹) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



Vanno

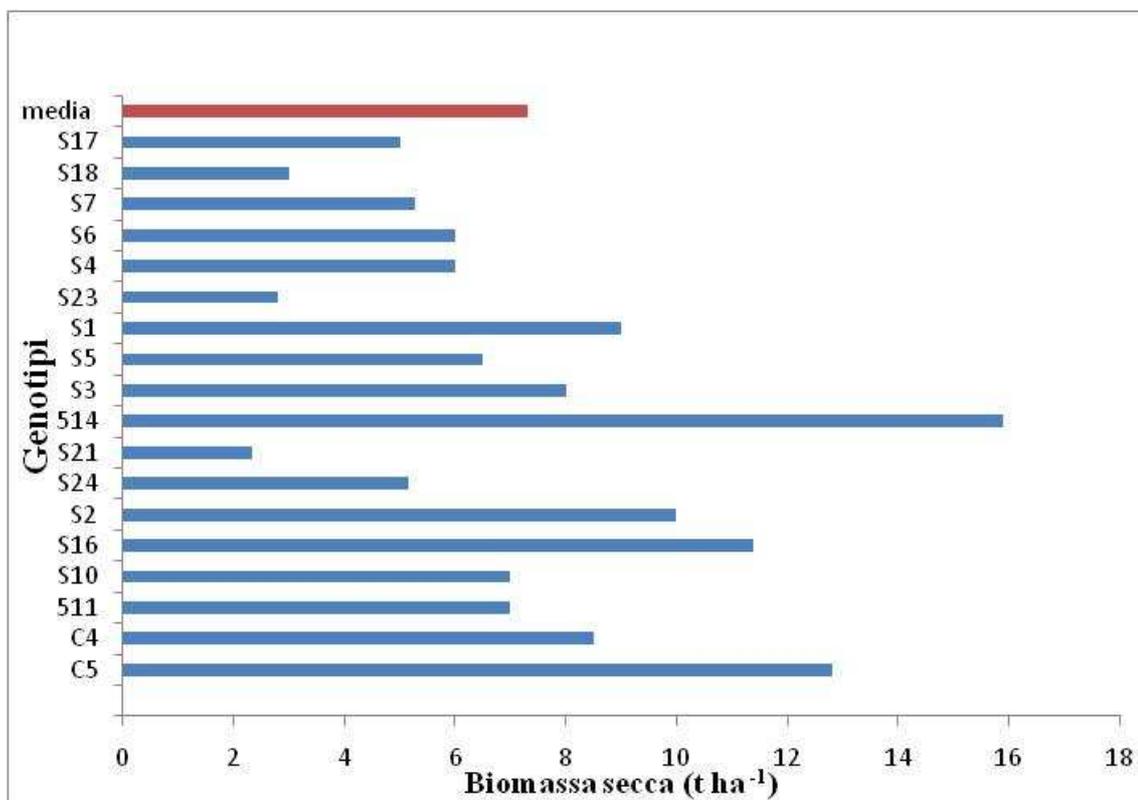
In generale si è osservato una diminuzione del 10% di tutti i valori osservati. L'altezza delle piante ha mostrato un'ampia variabilità in seno ai genotipi allo studio, che è risultata compresa fra 54 a 120 cm. Il valore medio si è attestato intorno a 91 cm. I genotipi che hanno mostrato un valore per il carattere esaminato più elevato sono risultati in ordine decrescente: S11 (120 cm), S16 (118 cm), S14 (114 cm) e C5 (113 cm); valori intermedi, invece, compresi in un intervallo che va da 100 a 85 cm, sono stati trovati in S10, S4, S2, S7, S3, C4 ed S1; i restanti hanno mostrato un valore al di sotto di 85 cm; per contro, i genotipi con minore altezza sono risultati S23 ed S21 (nell'ordine 60 e 54 cm). (Fig. 35).

Fig. 35 Altezza delle piante (cm) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



L'accumulo di sostanza secca ha evidenziato notevoli differenze in rapporto ai genotipi studiati. Nella media genotipica è stato osservato un valore medio pari a $7,3 \text{ t ha}^{-1}$. Il più produttivo in assoluto è risultato 514 ($15,9 \text{ t ha}^{-1}$), seguono: C5, S16, S2 con produzioni pari a $12,8$, $11,4$ e 10 t ha^{-1} ; rispetto a quest'ultimi, i rimanenti si sono attestati con livelli produttivi più bassi. (Fig.36)

Fig. 36 Biomassa secca (t ha⁻¹) alla raccolta in rapporto ai genotipi di cardo allo studio



4. CONCLUSIONI

Le ricerche condotte durante il triennio 2007-2010, che hanno avuto l'obiettivo di studiare le colture da biomassa ligno-cellulosiche poliannuali ed in particolare la loro caratterizzazione dal punto di vista agronomico, fisico e chimico, ai fini della produzione di bioetanolo di seconda generazione, hanno permesso di mettere in evidenza quanto segue.

Con riferimento alla prima linea di ricerca, in cui sono stati messi a confronto l'arundo (C_3) e il miscanthus (C_4), le buone capacità produttive rilevate nell'ambiente di prova pongono le basi per un ulteriore lavoro di ricerca volto all'individuazione di valide tecniche per l'introduzione di questa coltura soprattutto in ambiente mediterraneo. Dai risultati ottenuti si evince la possibilità di dimezzare gli input azotati, con benefici effetti sia economici che ambientali per la riduzione dei fenomeni di percolazione dei nitrati, dovuti ad un utilizzo irrazionale dell'azoto; questo conferma quanto già rilevato in precedenti esperienze sperimentali (Cosentino, 2003, Foti et al., 2004). La concimazione azotata, infatti, non ha comportato variazioni significative in termini produttivi e qualitativi, mentre la ridotta somministrazione irrigua ha, invece, decurtato le rese, con effetti più marcati sul Miscanthus piuttosto che sull' Arundo, pertanto, bisognerà ancora indagare su questo aspetto che potrebbe limitare la diffusione di queste specie soltanto nella aree con possibilità di irrigazione.

Sotto l'aspetto irriguo il cardo, risulta la specie più idonea in relazione al ciclo autunno-vernino, a valorizzare aree marginali in assenza di irrigazione. La linea di ricerca inerente il cardo ha infatti messo in evidenza la notevole variabilità produttiva dei genotipi messi a

confronto (8,9 t ha⁻¹ di s.s in media) e la possibilità di individuare genotipi validi su cui poter continuare ad indagare. Queste potenzialità produttive rivestono un interesse ancora maggiore in considerazione del fatto che le colture sono state realizzate in condizioni di zero input energetici.

Con riferimento agli aspetti qualitativi indagati su arundo e miscantus è emerso un elevato contenuto in composti ligno-cellulosici della biomassa confermando la loro attitudine ad essere impiegati sia nei sistemi di combustione diretta, dove vengono privilegiate le biomasse con un basso contenuto di umidità e ceneri, che nei sistemi di gassificazione e di fermentazione quest'ultimi per la produzione di bio-etanolo che nel caso di questa sperimentazione si è attestata in media sui 3000 litri nell'arundo donax.

Le potenzialità produttive ottenute in questi anni di sperimentazione pongono le basi per una prosecuzione del lavoro di caratterizzazione e selezione di nuovi genotipi ed all'individuazione di opportune tecniche agronomiche in grado di massimizzare le produzioni riducendo nel contempo gli input al fine di ottenere all'interno della filiera del bio-etanolo un maggior ritorno economico ed ambientale.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Adati, S., 1958. Studied of genus *Miscanthus* with special reference to the Japanese specie suitable for breeding purpose as fodder crops. *Bulletin Faculty of Agriculture, Mie University* 17: 1-112.

Adati, S. and Mitsuishi, S. 1956. Wild growing forage plant of the Far East, especially Japan, suitable for breeding purpose. Karyological study in *Miscanthus*. *Bulletin Faculty of Agriculture, Mie University* 25: 1.24.

Adati, S. and Shiotani, I. 1962. Cytotaxonomy of the genus *Miscanthus* and its phylogenetic status (English). *Bulletin Faculty of Agriculture, Mie University* 25: 1-24.

Aso, T. 1977. Studies on the germination of seeds of *Miscanthus sinensis* Anders. *Scientific Report, Yokoama National University, Section II, Biological and Geological Science* 23: 27-37.

Beale c.v.. Long S.P., 1997. The effect of nitrogen and irrigation on the productivity of the C4 grasses *Miscanthus X giganteus* and *Spartinia cynosuroides*. *Aspects Appl. Biol.* 49 (1997) 225-230.

Bezzi G., Monti A., Vecchi A., Pritoni G., Venturi G., 2007. Confronto fra specie annuali e poliennali da energia : ripartizione della biomassa e aspetti qualitativi. Atti del XXXVII convegno su “ Il contributo della ricerca agronomica all’innovazione dei sistemi colturali mediterranei”, Catania 13-14 Settembre p.129-130

Bigi, F. 2000 – Studio di fattibilità per l’utilizzo di biomasse ai fini energetici. In: Baldini S. (ed), Biomasse agricole e forestali per uso energetico, AGRA, Roma [2002]

Bonari, E. 2001. Potenzialità e problematiche agronomiche della selvicoltura a breve rotazione come coltura da energia negli ambienti mediterranei. *Agronomia*, 3: 188-199.

Bonari, E., Pampana S. 2002. Biomasse agricole e ligno-cellulosiche. In: Baldini S. (ed.), Biomasse agricole e forestali per uso energetico, Agra, Roma [[2002]: 81-97.

Bonciarelli, F., Bonciarelli, U. 1994. Coltivazioni erbacee. Edagricole, Bologna, 305 pp.

Buttlar, C., Karpenstein-Machan, M., Scheffer, K. 1998. Usability of genetic resources for thermal power generation. *Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry*. James & James (SciencePublisher) Ltd., pp. 759-765

Carrubba A., Militello M., 2007. Prove di coltivazione di *Miscanthus x Giganteus* (Greef & Deuter) in ambiente semiarido siciliano Atti del XXXVII convegno su “ Il contributo della ricerca agronomica all’innovazione dei sistemi colturali mediterranei”, Catania 13-14 Settembre p.131-132

Cavallaro V., Patanè C., Copani V., Mantineo M., Castiglione V., 2007. La micropopagazione di *Arundo donax* L. : primi risultati. Atti del XXXVII convegno su “ Il contributo della ricerca agronomica all’innovazione dei sistemi colturali mediterranei”, Catania 13-14 Settembre p133-134

Christian D.G., Richie A.B., 1997. Uptake of nitrogen by *Miscanthus*, in: Proc. of conference on the environmental impact of biomass for energy, CLM, Utrecht, The Netherlands, 1997, pp. 71-72.

Christian D.G., Haase E., Schwarz H., Dalianis C., Clifton-Brown J.C., Cosentino S., 2001. Agronomy of *Miscanthus*. In “*Miscanthus* for energy and fibre” (Eds. Jones M. and Walsh M.), 21-45.

Commissione Europea, 2000. Verso una strategia europea di sicurezza dell’approvvigionamento energetico – Libro verde. http://europa.eu.int/eurlex/it/com/gpr/2000act769it02/com2000_0769it02-01.pdf.

Commissione Europea, 1996. La politica agricola comune in evoluzione.

Commissione Europea, 2000. Libro verde sullo scambio dei diritti di emissione di gas a effetto serra all'interno dell'Unione europea. http://www.reteambiente.it/ra/normativa/aria/ND_libroverde_comp.htm.

Commissione Europea, 2002. Relazione finale sul Libro verde “Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico”. http://europa.eu.int/comm/energy_transport/livrevert/final/report_it.pdf.

Commissione Europea, 2004 – The share of renewable energy in the EU. http://europa.eu.int/comm/energy/res/documents/country_profiles/com_20004_366_en.pdf.

Commissione Europea, 2004 –Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili – Libro verde per una strategia comunitaria. http://europa.eu.int-comm/energy/library/599fi_it.pdf.

Copani V., Cosentino S.L., D'Agosta G.M., Mantineo, M., 2003. Validità di differenti metodi di propagazione per l'impianto di una coltura di canna comune (*Arundo donax L.*). Atti del XXXV Convegno Soc. Ita. Agronomia, su “ Obiettivo qualità integrale : il ruolo della ricerca agronomica 16-18 Settembre, 2003: 163-164.

Copani V., S. Cosentino, M. Mantineo, O. Sortino, 2006. “La propagazione della canna comune (*Arundo donax L.*) mediante talee di culmo”. 3° Convegno Nazionale – Piante Mediterranee “Le Piante Mediterranee nelle Scelte Strategiche per l'Agricoltura e l'Ambiente” - Bari, Fiera del Levante, 27 settembre – 1 Ottobre.

Cosentino S., Copani V., D'Agosta G., 1999. Valutazioni di popolazioni di *Arundo donax* L. reperite in Sicilia e in Calabria. Atti 33° Congresso della SIA su “Le colture “non alimentari”, Legnaro (PD), 20-23 Settembre, 65-66.

Cosentino S., E. Sanzone, L. Bellomia, O. Sortino, A. Belligno, 2007. “Chemical composition and energetic value of perennial ligno-cellulosic species (*Miscanthus giganteus* and *Arundo donax*) grown in Mediterranean region”. 15th European Biomass Conference & Exhibition – From Research to Market Deployment – Biomass for energy, Industry and climate protection. ICC International Congress Centre, Berlin (Germany), 7-11 Maggio.

Cosentino S., Foti S., Venturi G., Giovanardi R., Copani V., Mantineo M., D'Agosta G., Bezzi G., Tassan Mazzocco G., 2005. Colture erbacee annuali e poliennali da biomassa per energia di possibile coltivazione in Italia. *Agroindustria*, vol 4, n.1.

Cosentino, S.L., Sanzone E., Copani V., Mantineo, 2003. M. “Effetti della disponibilità idrica e del contenuto di azoto del terreno sulle caratteristiche morfobiometriche e tecnologiche in *Miscanthus* e *Arundo*”. Atti del XXXV Convegno della Società Italiana di Agronomia, Portici (NA) 16-18 Settembre 2003.

Cosentino S.L., Copani, V., D'Agosta G.M., Sanzone E., 2003. La propagazione di una coltura di canna comune (*Arundo donax* L.) mediante talee di culmo. Atti del XXXV Convegno Soc. Ita. Agronomia,

su “ Obiettivo qualità integrale : il ruolo della ricerca agronomica” 16-18 Settembre, 2003: 165-166.

Cosentino S.L., D’Agosta G.M.,Mantineo M., Foti Cuzzola C.,Copani V.,2005.La “life cycle assessment” di colture poliennali ed annuali da biomassa per energia. Atti del XXXVI convegno su “ Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-ambientali”,20-22 settembre, Foggia p.256-257

Cosentino S.L., D’Agosta G.M.,Mantineo M.,Copani V.,2005. Colture poliennali ed annuali da biomassa per energia in ambiente mediterraneo. Atti del XXXVI convegno su “ Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-ambientali”,20-22 settembre, Foggia p.254-255

Cosentino S.L., Foti S., Venturi G., Giovanardi R. Copani V., Mantineo M., D’Agosta G., Bezzi G., Mazzocco G.T. 2005. “Colture erbacee annuali e poliennali da biomassa per energia di possibile coltivazione in Italia”. Agroindustria Vol.4, Num.1 2005.

Cosentino S.L., Sanzone E., Copani, V., Mantineo M., 2003. Effetti della disponibilità idrica e del contenuto di azoto del terreno sulle caratteristiche morfobiometriche e tecnologiche in *Miscanthus* e *Arundo*. Atti del XXXV Convegno Soc. Ita. Agronomia, su “ Obiettivo qualità integrale : il ruolo della ricerca agronomica”, 16-18 Settembre, 2003: 161-162.

Cosentino S.L., Copani V., D'Agosta G., Sanzone E., Mantineo M. 2006. "First results on evaluation of *Arundo donax* L. clones collected in Southern Italy". *Industrial Crops and Products* 23 (2006) 212-222.

Cosentino S.L., Copani V., Mantineo M., Sanzone E., D'Agosta G., Russo A. 2006. "Biodiversità intraspecifica in cloni di *Arundo donax* L. reperiti nel meridione d'Italia". *Atti del VII Convegno Nazionale sulla Biodiversità. Italus Hortus* 13 (2), 2006: 437-442.

Cosentino S.L., Copani V., D'Agosta G., Mantineo M., Litrico A. 2006. "Valutazione di germoplasma di specie del genere *Miscanthus* e *Saccharum* per la produzione di biomassa". *Atti del VII Convegno Nazionale sulla Biodiversità. Italus Hortus* 13 (2), 2006: 433-436.

Cosentino S.L., Patanè C., Sanzone E. Copani V., Foti S. 2007. Effects of soil water content and nitrogen supply on the productivity of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. in a Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products* 25, 75-88

COSENTINO S.; PATANE' C; SANZONE E; COPANI V; FOTI S (2007). Effects of soil water content and nitrogen supply on the productivity of *Miscanthus x giganteus* Greef and Deu. in a mediterranean environment. *INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS*, vol. 25; p. 75-88, ISSN: 0926-6690

COSENTINO S.; COPANI V; PATANE' C; MANTINEO M; D'AGOSTA G.M (2007). Le colture da biomassa per energia per gli

ambienti italiani. Attualità e prospettive. In: ACCADEMIA DEI GERGOFILI. Produzione di energia da fonti biologiche rinnovabili: le risorse primarie. vol. II, p. 1-34, FIRENZE: Accademia dei georgofili

COSENTINO S.; DAGOSTA G.M; PATANÈ C; COPANI V; COSENTINO A (2007). Energetic yield in perennial crops in the semi-arid environment of Sicily (South Italy). In: 15th European Biomass Conference & Exhibition. Berlino, Germany, 7-11 May 2007, FIRENZE: ETA-Renewable energies, p. 799-802, ISBN/ISSN: 978-88-89407-59-X

COSENTINO S.; SANZONE E; BELLOMIA L; SORTINO O; BELLIGNO A (2007). Chemical composition and energetic value of perennial ligno-cellulosic species (*Miscanthus x giganteus* Greef and Deu. and *arundo donax* L.) grown in Mediterranean region. In: 15th European Biomass Conference & Exhibition. From Research to Market deployment. Berlino, Germany, 7-11 May 2007, FIRENZE: ETA-Renewable Energies, p. 820-823, ISBN/ISSN: 978-88-89407-59-X

Bracco Salvatore, Gaetano Chinnici, Davide Longhitano, Fabio Gaetano Santeramo 2008. Prime valutazioni sull'impatto delle produzioni agro energetiche in Sicilia. XLV Convegno SIDEA, Portici, 25-27 settembre 2008 Sessione parallela: "Bioenergie"

Christian D.G., Haase E., Schwarz H., Dalianis C., Clifton-Brown J.C., Cosentino S., 2001. Agronomy of *Miscanthus*. In "Miscanthus for energy and fibre" (Eds. Jones M. and Walsh M.), 21-45.

Christou M., Mardikis M., Kyritsis S., Cosentino S., Jodice R., Vecchiet M., Gosse G., 2000. Screening of *Arundo donax* L. populations in South Europe. Proc. 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June, 2048-2051.

DAGOSTA G.M; COSENTINO S.; MANTINEO M; PATANÈ C (2007). Life Cycle Assessment (LCA) of three perennial crops for energy in Southern Italy. In: Farming Systems Design 2007: an international symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems - Field-farm scale design and improvement. Catania, Italy, September 10-12, 2007, PAVIA: La Goliardica Pavese s.r.l., p. 27-28, ISBN/ISSN: 978-88-7830-474-1

Dahl, J., Obernberger, I., 2004. “*Evaluation of the combustion characteristics of four perennial energy crops (Arundo donax, Cynara cardunculus, Miscanthus x giganteus and Panicum virgatum).*” In: Van Swaaij, W.P.M., Fjällström, T., Helm, P., Grassi, A. (Eds.), Proceedings of the Second World Biomass Conference, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10–14 May, vol. II. Rome, Italy. ETA-Florence and WIP-Munich (Pub.), pp. 1265–1270 –

Dalianis, C., Christou, M., Sooter, C., Kyritsis, S., Zafiris, C., Sanmiotakis, G., 1994. “Adaptation and biomass productivity of *Cynara cardunculus* in abandoned, marginal fields.” In: Hall, D.O., Grassi, G., Scheer, H. (Eds.), Proceedings of the 7th European Conference on

Biomass for Energy and Industry, 5–9 October 1992. Florence, Italy.
Ponte Press, Bochum, pp. 1235–1240 .

Daniel, G. and Baumann, A. 1987. Pflanzguterzeugung von F81,
Miscanthus sinensis.

Daniel, J. and Roach, B. 1987. Taxonomic listing of *Saccharum* and
related genera, *Sugar Cane*, Spreng Suppl., 16-20.

Encinar J.M., Ginzález J., 2000 “Fixed-bed pyrolysis of *Cynara*
cardunculus L.: product yields and composition.” - Fuel Processing
Technology 68, 209-222 – 2000.

ENEA, 2005. Lo sviluppo delle rinnovabili in Italia tra necessità e
opportunità. Edizione ENEA, Roma.

ENEA, 2008. Energia per un futuro sostenibile e fonti rinnovabili.
Edizione ENEA, Roma.

ENEA, 2008. Energia dalle biomasse “ Tecnologie e prospettive”.
Edizione ENEA, Roma.

ENEA, 2009. Rapporto energia e ambiente “ Analisi e scenari”.
Edizione ENEA, Roma.

Falasca, S., y Ulberich, A. 2007. “*El agroclima del cardo Cynara cardunculus como cultivo energético en áreas semiáridas de Argentina*”. En: CD rom XXX Congreso ASADES y XV Reunión de la IASEE. San Luis, 13-16 de noviembre de 2007 y en prensa Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medioambiente) - 2007.

Fedrizzi M. e Pasini L., 2006. “*Cynara cardunculus: coltura non-food per produrre energia.*” - progetto BIOCARD - Global Process to Improve Cynara cardunculus Exploitation for Energy Applications .

Fernández, J., Manzanares, P., - 1990b *Lignocellulosic biomass production from annual energy crops.* Report CCE EUR 12631. EN-C.Fernández, J., Marquez, L., 1995. *Energetisches Potential von Cynara cardunculus L. aus landwirtschaftlichem Anbau in Trockengebieten des Mittelmeerraumes.* Der Tropenlandwirt (J. Agric. Trop. Subtrop.) 53, 121–129.

Fernández González, J. y García Muller, M. 2004. “*Sistema de separación fraccionada de la biomasa integral de cardo, Cynara cardunculus*”. Instituto Madrileño de Investigación Agraria. Universidad Politécnica de Madrid. 11 pp - 2004.

Fernández, J., Hidalgo, M., Del Monte, J.P., Curt, M.D., 2005. *Cynara cardunculus L. as a perennial crop for non irrigated lands: yields and applications.* In: Bianco, V.V., Calabrese, N., Rubatzky, V. (Eds.), Proceedings of the 4th International Congress on Artichoke, 17–21 October 2000, Valenzano, Italy. Acta Hort. 681, 109–113.

Fernàndez, J., Curt, M.D., 2005. State-of-the-art of *Cynara cardunculus* as an energy crop. In: Sjunnesson, L., Carrasco, J.E., Helm, P., Grassi, A. (Eds.), Proceedings of the 14th European Biomass Conference, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17–21 October. Paris, France. ETA-Renewable Energies and WIP Renewable Energies (Pub.), pp. 22–27 - 2005.

Fernàndez J., Maríya Dolores Curt, Pedro Luis Aguado 2006.- Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. or energy and other uses - *Departamento de Produccion Vegetal: Botanica y Proteccion Vegetal, Universidad, Politecnica de Madrid, 28040 Madrid, Spain –*

Freer, J. B. S. 1991. A study of the Miscanthus crop in Bavaria, Germany. *Report on an Overseas Visit, ADAS, Bridgets Experimenta Husbandry Farm, Winchester, Hampshire.* 14 pp.

Foti S., Cosentino S. L., 2001. Colture erbacee annuali e poliennali da energia. *Tecnica agricola*, anno LIII, n. 1-2 Gennaio – giugno.

Foti S., Cosentino S., 2001. Colture erbacee annuali e poliennali da energia. *Rivista di Agronomia.*, 35: 200-215.

Foti S., Cosentino S., 2001. Colture erbacee annuali e poliennali da energia. *Tecnica Agricola*, 1-2,1/16.

Foti S., Cosentino S., Patanè C., Copani V., Sanzone E., 2002. Plant indicators of available soil water in *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. *Agronomie: Agriculture and Environment* (accettato per la stampa).

Foti S., Cosentino S., Patanè C., Foti Cuzzola C., 1999. Effetti del regime idrico e della somministrazione di azoto in *Miscanthus x Giganteus* Greef e Deu. in ambiente mediterraneo. Atti 33° Congresso della SIA su “Le colture “non alimentari”, Legnaro (PD), 20-23 Settembre, 134-135.

Foti S., Mauromicale G., Cosentino S., 1989. Variazioni del contenuto in azoto totale e nitrico nelle foglie e nel capolino del carciofo (*Cynara Scolymus* L.) in rapporto alla concimazione azotata. *Rivista di Agronomia*, 2-3:160-166

Foti, S., Mauromicale, G., Raccuia, S.A., Fallico, B., Fanella, F., Maccarone, E., “Possible alternative utilization of *Cynara* spp. I. Biomass, grain yield and chemical composition of grain.” *Ind. Crops Prod.* 10, 219–228 - 1999.

Foti, S., Mauromicale, G., Raccuia, S.A., Fallico, B., Fanella, F., Maccarone, E., 1999. Possible alternative utilization of *Cynara* spp. I. Biomass, grain yield and chemical composition of grain. *Ind. Crops Prod.* 10, 219–228.

Freer, J. B. S. 1991. A study of the Miscanthus crop in Bavaria, Germany. Report on an Overseas Visit, ADAS, Bridgets Experimental Husbandry Farm, Winchester, Hampshire. 14 pp.

Gebbart, R., 1997Anti oxidative and protective properties of extract from leaves of the artichoke (*Cynara scolymus* L.) against hydroperoxide- induced oxidative stress in cultured rat hepatocytes. Toxicol. Appl. Pharmacol. 144, 279–286 – 1997

Gherbin P., De Franchi A. S., Lupo F., 2005. Esperienze sulla propagazione della canna comune (*Arundo donax* L.). Atti del XXXVI convegno su “ Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-ambientali”,20-22 settembre, Foggia p.262-263

Greef, J.M. and Deuter, M., 1993. Syntaxonomy of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. *Angewandte Botanik* 67: 87–90.

Lee, Y. L. 1964. Taxonomic studies on the genus *Miscanthus*. Anatomical pattern of leaves. *Bot., Mag., Tokyo* 77: 122-130

Lee, Y. L. 1964. Taxonomic studies on the genus *Miscanthus*- Part. I. Relationship among the section, subsection species. *Japanese Journal of Botany* 39: 115-123; 196-204; 257-265; 289-298.

Long, S. P., Potter, L., Bingham, m. L., Stirling, C. M. 1989. An analysis of limitations to the production of C₄ perennials as lingo-cellulosic biomass crop, with reference to trials in England. In *Biomass for Energy and Industry I Policy, Environment*.

Lorenzoni, A., Zingale, L. (eds.) 2004. Le fonti rinnovabili di energia. Un'opportunità di politica industriale per l'Italia. Economia e politica dell'energia e dell'ambiente. Franco Angeli. Milano.

Lorenzoni, A., Zingale, L. (a cura di): Le fonti rinnovabili di energia - Un'opportunità di politica industriale per l'Italia, Franco Angeli, Collana Economia e politica dell'energia e dell'ambiente 420.40, 225 pagine, ISBN 88-464-5478-2, Milano, maggio 20.

Maccarone, E., Fallico, B., Fanella, F., Mauromicale, G., Raccuia, S.A., Foti, S., 1999. Possible alternative utilization of *Cynara* spp. II. Chemical characterization of their grain oil. *Ind. Crops Prod.* 10, 229–237 .

Mardikis M., Christou M., Alexopoulou E., Kyritsis S., Cosentino S, Vecchiet M., 2002. *Arundo donax* L. propagation trials,). Proc. 12th European Conference and Technology exhibition on Biomass for

Energy, Industry and climate protection, Amsterdam, the Netherlands, 17-21 June.

Mazzoncini, M. 2004. Research on Biomass Production in Sicily, Proc. 8th European Conference “Biomass for energy, environment, agriculture and industry”. Wien (A), 3-5 October 1994, Elsevier Science Limited.

Myrsini Christou, Michalis Mardikis, Efthimia Alexopoulou, Spyros Kyritsis, Salvatore Cosentino, Massimo Vecchiet Mike Bullard, Ghislain Gosse, Jesus Fernandez, Nasir El Bassam, 2002 Arundo donax. productivity in the EU. Results from the giant reed (arundo donax l.) network (1997-2001). Proc. 12th European Conference and Technology exhibition on Biomass for Energy, Industry and climate protection, Amsterdam, the Netherlands, 17-21 June.

Onofry A. 1940. La canna comune (*A. donax*). Cremonese libraio. Editore Roma, 1-67.

Onofry A. 1952. El cultivo industrial de *Arundo donax* en Ramallo. Rev. Argent. Agron. 19(3) 133-139.

Raccuia S. A., M. G. Melilli, O. Sortino, B. R. Trombetta, 2007. Ricerche sulla produzione di acheni in carciofo [*cynara cardunculus* l. Subsp. *Scolymus* (l.) Hegi] in ambiente mediterraneo. Atti XXXVII Convegno SIA - Catania – 13-14 Settembre, pp. 157-158.

Raccuia S. A., Melilli M. G., Maugeri R. 2005. Influenza della densità di impianto sulla produzione di biomassa epigea, radici, e granella in cardo (*Cynara cardunculus* L.) Atti del XXXVI convegno su “ Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-ambientali”, 20-22 settembre, Foggia p.266-267

Raccuia, S.A., Patanè, C., Melilli, M.G., 2000. “Multiple utilisation of the plant in *Cynara cardunculus* L. var. *sylvestris* Lam.: inulyn yield. Fourth International Congress on Artichoke, Valenzano, Bari, 17-21, Acta Horticulturae, in press - October

Sortino O., Cosentino S.L., Bellomia L., Sanzone E. , Barbera A. C., Cartabellotta D., 2007. Effetti della concimazione azotata sulla produzione di biomassa in colture poliennali (*Miscanthus x Giganteus* Greef e Deu e *Arundo donax* L.). Atti del XXXVII convegno su “ Il contributo della ricerca agronomica all’innovazione dei sistemi colturali mediterranei”, Catania 13-14 Settembre p167-168

Van Soest, P. J., Robertson , J. B., 1979. Systems of analysis Evaluating Fibrous Feed . Workshop, Ottawa, Canada, March 12-14. Depart of Anim. Sci., Cornell Univ. Ithaca, NY 14853.