



Editore  
Poligrafiche San Marco S.a.s.  
Via Fermi 29 – 34071 Cormons (Gorizia) - Italy  
Tel. +39 0481 630750, fax +39 0481 60691

Layout  
C.E.T.A.  
<http://www.ceta.ts.it>



Foto in copertina: C.E.T.A.

<http://sweethanol.eu>

<http://esse-community.eu>



L'unica responsabilità per il contenuto di questa pubblicazione è degli autori. Essa non rappresenta l'opinione della Comunità europea. La Commissione europea non è responsabile di alcun utilizzo che possa essere fatto delle informazioni contenute nella pubblicazione.

## 1. INDICE DEI CONTENUTI

1.	Indice dei contenuti .....	3
2.	Prefazione .....	4
3.	Lista degli acronimi e delle abbreviazioni .....	5
4.	Progetto SWEETHANOL .....	7
5.	Il partenariato del progetto SWEETHANOL .....	8
6.	Bioetanolo .....	9
6.1	Cos'è il bioetanolo? Storia e definizioni .....	9
6.2	Politica e legislazione europea .....	9
6.3	Produzione di bioetanolo in Europa .....	11
6.4	Produzione di bioetanolo nel mondo: materie prime e nuove opportunità ....	17
7.	Strategie per il bioetanolo .....	18
7.1	Unione Europea .....	18
7.2	Grecia .....	19
7.3	Italia .....	20
7.4	Spagna .....	21
8.	Sorgo zuccherino .....	23
8.1	Perché il sorgo zuccherino? .....	23
8.2	Caratteristiche botaniche e morfologiche .....	25
8.3	Tecnica colturale .....	27
8.4	Programmi di selezione degli ibridi .....	29
8.5	Esperienze nella coltivazione del sorgo zuccherino condotte nell'UE .....	30
8.6	Esperienze nella coltivazione del sorgo zuccherino condotte in India .....	33
9.	Descrizione di un potenziale modello per l'UE – Impianti decentralizzati per la produzione di bioetanolo .....	35
9.1	Coltivazione del sorgo zuccherino .....	36
9.2	Conservazione e processamento della biomassa e degli zuccheri .....	36
9.3	Fermentazione e distillazione .....	39
9.4	Valorizzazione dei sottoprodotti .....	39
9.5	Analisi energetica .....	41
9.6	Analisi economica .....	42
9.7	Sostenibilità della produzione del bioetanolo nell'UE .....	43
10.	Esperienze maturate nel corso delle visite .....	45
10.1	Esperienze maturate nel corso delle visite in India .....	45
10.2	Esperienze maturate nel corso delle visite in Spagna .....	49
10.3	Esperienze maturate nel corso delle visite in Perù .....	50
11.	Riferimenti bibliografici e fonti .....	52

## 2. PRAFAZIONE

Il bioetanolo di 1<sup>a</sup> generazione prodotto dal sorgo zuccherino presenta un elevato livello di sostenibilità ambientale, economica ed energetica: il risparmio in emissioni di GHGs attribuibile è del 70-71%, la semplicità tecnica del processamento della materia prima e dello sfruttamento dei sottoprodotti garantiscono la fattibilità economica anche per impianti decentralizzati di taglia medio-piccola (massimo 15.000 t/anno) ed il bilancio energetico è compreso tra 1,7 e 7,3.

Allo stato attuale il mercato del bioetanolo nell'UE è controllato da grossi gruppi industriali e da grandi cooperative agricole legate all'industria dell'alcol e dello zucchero e sono processati principalmente cereali in impianti di grossa taglia (100.000-200.000 t/anno). Questa situazione è dovuta principalmente ad alcune rilevanti barriere di natura economica, logistica, ecologica, ambientale e sociale.

Il progetto SWEETHANOL, finanziato dal programma *Intelligent Energy Europe* della Commissione europea, ha come obiettivo il cambiamento della situazione corrente, puntando sulla diversificazione delle materie prime, sulla decentralizzazione e sulla produzione di bioetanolo sostenibile di 1<sup>a</sup> generazione e focalizzando su una coltura, che può essere coltivata nelle regioni del sud dell'Europa, quale è il sorgo zuccherino.

Attualmente, infatti, la filiera del bioetanolo dal sorgo zuccherino non è tenuta in considerazione a causa dell'assenza di *know-how* riguardo alle sue potenzialità.

Nell'ambito del progetto SWEETHANOL il *know-how* relativo alla produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino è stato perfezionato attraverso delle visite studio in India, Spagna e Perù presso centri di ricerca per l'agricoltura, realtà agricole ed impianti già esistenti. I principali contenuti della filiera sono riportati in questo manuale introduttivo, che costituisce il *background* per la successiva discussione di un modello da proporre nell'UE, prevista nel progetto stesso.

È disponibile anche la versione in inglese del presente manuale, finalizzata ad aumentare la trasferibilità dei risultati del progetto nelle regioni del sud dell'Europa, dove il sorgo zuccherino può però essere coltivato (e.g. Romania, Bulgaria, Francia, Portogallo, Croazia, Ungheria).

Lo "Sweethanol – Manuale introduttivo" descrive gli aspetti agronomici, logistici e tecnici della produzione del bioetanolo ed i relativi dati energetici ed economici, comparando diverse materie prime utilizzate in Asia, America Latina ed Europa.

Il testo dello "Sweethanol – Manuale introduttivo" è stato prodotto da Michela Pin, Denis Picco ed Alessia Vecchiet (C.E.T.A. – Centro di ecologia teorica ed applicata, Italia), Oscar Leòn, Paloma González e Roberto Marcos (Fondazione Cartif – Centro tecnologico, Spagna), Irene Tsakiridou e Kostas Konstantinou (REACM – Agenzia regionale per l'energia della Macedonia Centrale – Anatoliki S.A., Grecia), Luca D'Apote e Luisa Daidone (INIPA – Col-diretti, Italia), Marina Sanz Gallego, Maria Hernando Sanz e M<sup>a</sup> Dolores Curt (ADABE – Associazione per la diffusione della biomassa, Spagna), Fernando Mosquera Escribano (Gruppo di agro-energetica dell'Università Politecnica di Madrid, Spagna), Sakis Bartsios, Athanasios Bartsios ed Eleni Papoulia (Cooperativa agricola Halastra, Grecia).

Ringraziamo tutti gli autori e gli enti finanziatori per la loro cooperazione.

15 marzo 2011

### 3. LISTA DEGLI ACRONIMI E DELLE ABBREVIAZIONI

**ABI** "Incubatore" di Agri-Business (India)

**AEBIOM** Associazione europea delle biomasse

**AFEX** Ammonia Fiber EXplosion

**AIC** Centro di innovazione agri-biotech (India)

**AMG** Area Massima Garantita

**ASP** Agri Science Park (India)

**BRC** Consorzio di ricerca su bio-prodotti (India)

**CAICYT** Commissione ed assessorato per la ricerca scientifica e tecnica (Spagna)

**CE** Commissione europea

**CHP** Cogenerazione di energia elettrica e termica

**C/N** Rapporto tra carbonio ed azoto

**CO** Monossido di carbonio

**CO<sub>2</sub>** Diossido di carbonio

**CRA-RPS** Centro Ricerca in Agricoltura - Centro di ricerca per lo studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo (Italia)

**CRES** Centro per le fonti rinnovabili di energia (Grecia)

**DCU** Unità di spremitura decentralizzata (India)

**DDG** Distillers Dried Grains

**DDGS** Distillers Dried Grains with Solubles

**E100** Etanolo puro, 100% in volume

**E85** Etanolo in miscela con la benzina al 85% in volume

**E75** Etanolo in miscela con la benzina al 75% in volume

**E25** Etanolo in miscela con la benzina al 25% in volume

**ENEA** Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente

**ETBE** Etil-Ter-Butil-Etere

**FER** Fonti Energia Rinnovabile

**FFV** Flexible Fuel Vehicles

**GHGs** Gas ad effetto serra

**HMF** Idrossi-metil-furfurale

**ICAR** Consiglio indiano sulla ricerca in agricoltura (India)

**ICRISAT** Istituto internazionale di ricerca sulle colture per le regioni tropicali e semi-aride (India)

**IEE** Programma Intelligent Energy Europe

**INIA** Istituto nazionale di ricerca agraria (Spagna)

**MIPAAF** Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali (Italia)

**MSE** Ministero dello sviluppo economico (Italia)

**MTBE** Metil-Ter-Butil-Etere

**NAIP** Programma nazionale sull'innovazione in agricoltura (India)

**NARS** Sistemi di ricerca nazionale in agricoltura (India)

**NO<sub>x</sub>** Ossidi di azoto

**ORC** Ciclo organico Rankine

**O&M** Operatività e Mantenimento

**p/p** Peso/peso

**PAC** Politica Agricola Comune

**PAN** Piano di Azione Nazionale

**PCI** Potere Calorifico Inferiore

**PIL** Prodotto Interno Lordo

**PMI** Piccole Medie Imprese

**R.D.** Reale Decreto (Spagna)

**R&S** Ricerca e Sviluppo

**REP** Piano per le energie rinnovabili

**RES** Renewable Energy Sources

**RPV** Pressione di vapore

**RUE** Efficienza dell'utilizzo della radiazione solare

**SHPRC** Consorzio di ricerca sulle varietà ibride di sorgo (India)

**s.l.m.m.** Sul livello medio del mare

**s.s.** Sostanza secca

**SCC** Consiglio supremo della chimica (Grecia)

**SSERC** Consorzio di ricerca sul bioetanolo dal sorgo zuccherino (India)

**tep** Tonnellate equivalenti di petrolio

**TRPF** Sistema di estrazione a coppie di cilindri dentati

**VOC** Composti organici volatili

**v/v** Volume/volume

**WUE** Efficienza dell'uso dell'acqua

## 4. PROGETTO SWEETHANOL

SWEETHANOL è un progetto finanziato dalla Commissione europea nell'ambito del programma IEE-II 2009 (*Intelligent Energy Europe*), azione "ALTENER" – Fonti di Energia Nuove e Rinnovabili.

SWEETHANOL è un progetto relativo alla diffusione di un modello sostenibile da proporre nell'UE per produrre bioetanolo di 1<sup>a</sup> generazione dal sorgo zuccherino in impianti decentralizzati.

Il progetto è organizzato nelle seguenti azioni:

- il perfezionamento del *know-how* in merito alla produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino. I dati più interessanti (e.g. costi di investimento, consumi energetici, costi di produzione, resa in bioetanolo, sfruttamento dei sottoprodotti) sono raccolti, visitando centri di ricerca in agricoltura, processisti ed impianti esistenti ed analizzando i relativi modelli di gestione;
- la discussione di un modello sostenibile da introdurre nell'UE, coinvolgendo tutti gli attori della filiera produttiva (i.e. agricoltori, associazioni di categoria agricole, processisti, PMI, ditte sementiere, investitori, legislatori e rappresentanti delle autorità pubbliche e delle agenzie per l'energia). La discussione è articolata in seminari settoriali (i.e. tecnici, amministrativi) ed intersettoriali, realizzati in ciascuno dei Paesi partecipanti;
- la formazione degli attori della filiera attraverso corsi specifici per ogni profilo;
- la creazione e la gestione della "Esse Community" (link: <http://esse-community.eu/>), che costituisce un luogo virtuale dove tutti i soggetti interessati possono interagire, per condividere ed acquisire informazioni in merito alla filiera del bioetanolo dal sorgo zuccherino. La "Esse Community" aggiorna gli *stakeholders* su articoli ed eventi a tema specifico, permette di interloquire attraverso *blog*, *forum* e *social network* e mette a disposizione teleconferenze e video. La sua vitalità è garantita da un sistema di gestione delle conversazioni ed è monitorata attraverso analisi statistiche sull'affluenza.

Il progetto SWEETHANOL recepisce le seguenti priorità del programma IEE:

- incoraggiare gli attori di mercato della filiera del bioetanolo ad aumentarne la competitività e la sostenibilità ambientale;
- supportare e promuovere l'applicazione dei criteri di sostenibilità per il bioetanolo;
- indirizzare le tematiche di discussione sull'utilizzo del suolo e sulla sostenibilità;
- facilitare e promuovere un dibattito ben informato come momento di confronto tra i decisori ed il grande pubblico.

I principali obiettivi del progetto SWEETHANOL sono di seguito esposti.

- La diffusione del *know-how* in merito al modello di filiera sostenibile da introdurre nell'UE. Il modello è condiviso con i rappresentanti di tutti gli attori della filiera, analizzando in dettaglio gli aspetti tecnici, logistici, economici, finanziari, energetici, ambientali ed amministrativi. Tale modello sarà successivamente diffuso mediante corsi di formazione rivolti a ciascuno dei profili degli attori di filiera. Come conseguenza sarà incoraggiato l'avvio di nuove iniziative imprenditoriali, in grado di conciliare la competitività economica con la sostenibilità ambientale del bioetanolo prodotto. Sono attesi i seguenti cambiamenti nel mercato del bioetanolo: l'aumento nella diversificazione delle materie prime, la decentralizzazione della produzione e la disponibilità di bioetanolo di 1<sup>a</sup> generazione sostenibile in termini di risparmio in emissioni di GHGs e, pertanto, computabile ai fini degli obiettivi comunitari di utilizzo delle FER nel settore dei trasporti. L'ampia discussione prevista nel progetto contribuisce ad indirizzare i dibattiti correnti sull'uso del suolo e sulla sostenibilità del bioetanolo, nonché a facilitare e promuovere un confronto consapevole e ben informato su questi temi.

- L'aggiornamento giornaliero ed il coordinamento della filiera di approvvigionamento attraverso la "Esse Community".

Consultando la "Esse Community" gli attori della filiera possono contare su un aggiornamento giornaliero in merito agli aspetti legislativi, amministrativi e tecnici relativi alla produzione ed al mercato del bioetanolo (in generale, e specificatamente legato al sorgo zuccherino). Questo servizio semplifica l'analisi di mercato necessaria per l'avvio di nuove iniziative imprenditoriali e favorisce la diversificazione del mercato del bioetanolo, in contrapposizione all'attuale centralizzazione. Inoltre, la costruzione della "Esse Community" contribuisce ad indirizzare le discussioni in atto sull'uso del suolo e sulla sostenibilità del bioetanolo, nonché a facilitare e promuovere un dibattito ben informato come momento di confronto tra i decisori ed il grande pubblico.

## 5. IL PARTERNARIATO DEL PROGETTO SWEETHANOL

### **C.E.T.A. – Centro di ecologia teorica ed applicata - Italia**

Il C.E.T.A. è stato fondato nel 1987 a Gorizia (Italia) ed è un'associazione *non-profit* che svolge attività di ricerca, sperimentazione applicata e sviluppo di tecnologie innovative in diversi settori ambientali: gestione sostenibile dell'ambiente e delle risorse naturali, promozione e diffusione di tecnologie sulle fonti rinnovabili (i.e. biomasse, biogas, biocarburanti, fonte solare termica e fotovoltaica), efficienza energetica, pianificazione energetica, diffusione e disseminazione scientifica. Nello svolgimento delle proprie attività, il C.E.T.A. applica un approccio multidisciplinare, in virtù dell'impiego di professionisti di alto livello e con diversi profili (i.e. ingegneri, agronomi, biologi, naturalisti, economisti, architetti).

### **Fondazione CARTIF – Centro tecnologico - Spagna**

CARTIF è stato fondato nel 1994 come centro di automazione, robotica, informazione e produzione tecnologica ed è un'associazione *non-profit* focalizzata sulla ricerca applicata; è situato presso il Parco tecnologico di Boecillo a Valladolid (Spagna). Da Ottobre 2005, CARTIF è legalmente istituito come Fondazione e ha come fini principali: identificare le necessità tecnologiche e sviluppare conoscenza e sviluppo basati sulla ricerca, supportare l'innovazione tecnologica nell'industria, principalmente tra le PMI, e diffondere la ricerca, lo sviluppo ed i risultati nell'innovazione.

### **REACM– Agenzia regionale per l'energia della Macedonia Centrale – Anatoliki S.A. - Grecia**

La regione della Macedonia Centrale e l'agenzia di sviluppo locale (Anatoliki S.A.) hanno fondato REACM nel 1997, grazie al programma SAVE dell'UE. Le principali attività dell'agenzia includono: l'acquisizione di dati per la produzione ed il consumo di energia nella regione, il supporto alle autorità locali nella pianificazione delle politiche energetiche, le attività di disseminazione relativamente alle FER ed alle tecnologie RUE, la formazione e l'educazione, la gestione della mobilità a livello municipale, la promozione dei biocarburanti, il supporto all'industria locale, alle PMI ed al settore commerciale, le applicazioni pilota delle certificazioni EMAS nell'industria pesante a Salonico, la formazione del personale nel settore industriale sulle verifiche di ECO-Energy, la promozione delle tecnologie che impiegano le FER nel settore agricolo, la definizione del REP, la collaborazione con i Paesi limitrofi nel risparmio energetico, la partecipazione nella pianificazione regionale per lo sviluppo e la gestione delle zone geotermiche.

### **INIPA- Coldiretti - Italia**

INIPA, Ente di Formazione nell'agroalimentare, è una associazione senza scopo di lucro, giuridicamente riconosciuta, promossa e sostenuta dalla Coldiretti. La Coldiretti con un milione e mezzo di associati è la principale Organizzazione degli imprenditori agricoli a livello nazionale e a livello europeo. La presenza sul territorio è accompagnata dalla crescente rappresentatività e alla Coldiretti fanno capo il 69 per cento delle imprese agricole iscritte italiane pari a 504.000, con la maggioranza assoluta della superficie agricola coltivata, degli animali allevati e del Pil agricolo nazionale. INIPA opera anche attraverso una fitta rete territoriale, di livello regionale, dedicata alla formazione e allo sviluppo delle risorse umane del settore, svolgendo funzioni di indirizzo, coordinamento e monitoraggio delle attività e degli interventi formativi territoriali e realizzando, all'interno di una uniforme visione di sistema, interventi di formazione e divulgazione di interesse nazionale e locale.

### **ADABE – Associazione per la diffusione della biomassa - Spagna**

ADABE è un'associazione nazionale *non-profit* fondata nel 1986 in accordo con la Direzione Generale delle Politiche Nazionali del Ministero dell'Interno. È un membro fondatore dell'AEBIOM situato a Bruxelles e fondato nel 1990. ADABE è costituita da persone fisiche e da persone giuridiche, che sono coinvolte a diverso titolo nella ricerca tecnologica e nella disseminazione sull'uso della biomassa in Spagna.

### **Cooperativa agricola di Halastra - Grecia**

Le principali attività della cooperativa agricola di Halastra includono servizi a favore del commercio dei prodotti agricoli dei soci (e.g. riso, mais, cotone, frumento, cereali), quali la raccolta, l'essiccazione e lo stoccaggio, il confezionamento e la vendita.



## 6. BIOETANOLO

### 6.1 Cos'è il bioetanolo? Storia e definizioni

Il bioetanolo è ottenuto dalla fermentazione alcolica degli zuccheri e dei polisaccaridi preventivamente idrolizzati (e.g. amido, cellulosa).

In questo processo il glucosio è convertito in etanolo, CO<sub>2</sub> ed acqua.

Il suo impiego come carburante è realizzato grazie alla reazione esotermica di ossidazione, nel corso della quale sono prodotti CO<sub>2</sub> ed acqua.

La reazione chimica di conversione dello zucchero in etanolo e la combustione dell'etanolo sono descritte, rispettivamente, dalle due seguenti equazioni:



Generalmente il termine bioetanolo è applicato specificamente all'etanolo utilizzato come carburante.

Il bioetanolo, non essendo un prodotto derivato dal petrolio, riduce la dipendenza dalle risorse di greggio; inoltre, è considerato carbonio-neutrale e, quindi, il suo utilizzo contribuisce alla riduzione delle emissioni nette di GHGs.

Il bioetanolo può essere prodotto da diverse colture energetiche, quali il mais, il frumento, l'orzo, la canna da zucchero, la barbabietola da zucchero ed il sorgo zuccherino. Sviluppare carburanti che riducano la necessità di composti di derivazione petrolifera e che non emettano CO<sub>2</sub> nel corso del loro utilizzo è una delle più importanti misure per contrastare l'innalzamento della temperatura del pianeta a seguito dell'effetto serra.

L'uso del bioetanolo nel settore dei trasporti cominciò all'inizio del Ventesimo secolo, ma fu abbandonato dopo la Seconda guerra mondiale.

L'interesse per il bioetanolo riprese dopo la prima crisi petrolifera, nel corso degli anni Settanta.

Nel 1975 il Brasile iniziò un ampio programma sponsorizzato dal Governo per la produzione di bioetanolo dalla canna da zucchero. Da allora l'industria per produzione del bioetanolo in Brasile è cresciuta considerevolmente.

Negli USA la produzione di bioetanolo dal mais su larga scala cominciò nel 1978, con una costante crescita, accelerata negli ultimi anni per effetto delle politiche energetiche e degli incentivi finanziari.

Più recentemente Paesi come il Canada, l'Australia, la Cina, la Francia, la Spagna e la Svezia hanno iniziato a promuovere la produzione e l'uso del bioetanolo.

Nell'UE nei prossimi anni è attesa una sostanziale crescita nella domanda di bioetanolo grazie alle politiche della Commissione europea.

I Paesi Membri saranno, quindi, chiamati ad implementare gli impianti esistenti con nuove linee produttive o a realizzarne di nuovi.

### 6.2 Politica e legislazione europea

Il mercato europeo dei biocarburanti ha ricevuto un eccellente supporto dalla Commissione europea grazie *in primis* al Protocollo di Kyoto, ed, in seconda battuta, alle Direttive 2003/30/CE e 2003/96/CE, specificamente finalizzate a promuovere l'incremento nell'uso dei biocarburanti, fissando degli obiettivi indicativi per il loro uso nel settore dei trasporti.

La Direttiva 2003/30/CE dell'8 maggio 2003 "sulla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altre fonti rinnovabili nei trasporti" ha creato i fondamenti per la promozione di carburanti alternativi nell'UE. In particolare, ha specificato che gli Stati Membri devono assicurare che una minima quota di biocarburanti ed altri combustibili rinnovabili sia immessa sul mercato e, per raggiungere questo risultato, siano fissati degli obiettivi nazionali di riferimento.

I valori di riferimento per questi obiettivi, espressi sulla base del contenuto energetico, sono:

- 2% dei quantitativi di benzina e gasolio per il settore dei trasporti, immessi sul mercato al 31 dicembre 2005;
- 5,75% dei quantitativi di benzina e gasolio per il settore dei trasporti, immessi sul mercato al 31 dicembre 2010.

La Direttiva è focalizzata all'aumento delle quote delle energie rinnovabili nel settore dei trasporti (dominati quasi interamente dai combustibili fossili) ed alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, VOC e particolato, pericolosi per la salute umana e per l'ambiente.

In accordo con questa Direttiva, i diversi tipi di biocarburanti possono essere: il bioetanolo, il biodiesel, il biogas, il biometanolo, il bio-dimetill-etero, il bio-ETBE, il bio-MTBE, i biocarburanti sintetici (i.e. Fischer-Tropsch), il bioidrogeno e l'olio vegetale puro (i.e. prodotto da spremitura, estrazione o procedure simili, grezzo o raffinato, ma non chimicamente modificato, quando compatibile con il tipo di motore impiegato e con i corrispondenti limiti in emissioni richiesti).

I biocarburanti possono essere resi disponibili in ognuna delle seguenti forme:

- come biocombustibili tal quali o in miscela ad alte concentrazioni con i derivati dal petrolio, in accordo con gli standard di qualità per le applicazioni nel settore dei trasporti;
- come biocombustibili miscelati ai derivati del petrolio, in accordo con le norme europee nel rispetto delle specifiche tecniche per i carburanti per il trasporto (EN 228 e EN 590);
- come liquidi derivati dai biocarburanti, ossia ETBE e MTBE, in cui la percentuale di biocombustibile è rispettivamente del 47% e del 36% v/v.

La Direttiva 2003/96/CE del 27 ottobre 2003 si focalizza principalmente sulla tassazione applicata ai biocarburanti. Questa Direttiva ha modificato la tassa comunitaria per i prodotti energetici e l'energia elettrica. In particolare è stato stabilito quanto segue:

- art. 16.1: gli Stati Membri possono applicare l'esenzione o la riduzione della tassa sui biocarburanti;
- art. 16.3: l'esenzione o la riduzione della tassa può essere modulata in funzione dell'evoluzione dei prezzi delle materie prime;
- art. 16.5: il periodo di applicazione è di sei anni, sebbene questo periodo possa essere prorogato al massimo fino al 31 dicembre 2012.

Questa Direttiva ha permesso l'applicazione dell'esenzione o della riduzione delle tasse fino al 1 gennaio 2003 (art. 28.2).

La Direttiva 2009/28/CE del 23 aprile 2009 (Direttiva RES) aggiorna gli obiettivi per la sostituzione dei prodotti petroliferi nel settore dei trasporti, sostituendo di fatto la Direttiva 2003/30/CE: ai sensi della Direttiva RES il 10% dei consumi finali deve essere coperto con le FER entro il 2020.

Inoltre la Direttiva RES introduce per la prima volta una soglia minima di risparmio nelle emissioni di GHGs a seguito dell'utilizzo dei biocarburanti:

- il risparmio in GHGs dovuto all'uso dei biocarburanti deve essere almeno del 35%;
- con effetto dal 1 Gennaio 2017, il risparmio in emissioni derivante dall'uso di biocarburanti deve essere almeno del 50%;
- dal 1 gennaio 2018, il risparmio in emissioni di GHGs deve essere almeno del 60% per i biocarburanti prodotti in installazioni in cui la produzione è iniziata dal 1 gennaio 2017.

Inoltre, la Direttiva RES indica che la diffusione dell'uso delle FER debba essere accompagnata dall'aumento dell'uso razionale dell'energia: l'obiettivo è di un incremento del 20% nell'efficienza energetica da adesso al 2020.

Ulteriori obiettivi ed applicazioni sono i seguenti:

- stabilire una struttura comune per la promozione dell'energia ottenuta dalle FER;
- fissare gli obiettivi nazionali obbligatori per la quota complessiva di energia dalle FER sul consumo finale lordo di energia e per la quota di energia dalle FER nei trasporti;
- dettare le norme relative ai trasferimenti statistici tra gli Stati Membri, ai progetti comuni tra gli Stati Membri e con i Paesi terzi, alle garanzie di origine, alle procedure amministrative, all'informazione ed alla formazione nonché all'accesso alla rete elettrica per l'energia da fonti rinnovabili.

La Direttiva 2009/30/CE del 23 aprile 2009 ha lo scopo di migliorare la qualità dell'aria e ridurre le emissioni di GHGs attraverso l'inserimento di standard ambientali per i carburanti. Tale Direttiva agevola una maggiore diffusione della miscelazione dei biocarburanti nelle benzine e nel gasolio e, per evitare conseguenze negative, fissa criteri ambiziosi di sostenibilità per i biocarburanti.

La Direttiva indica, inoltre, che dal 2020 i fornitori di carburanti dovranno ridurre del 6% le emissioni dannose per l'ambiente, valutate sull'intero ciclo di vita dei loro prodotti. Questo risultato potrà essere ottenuto in particolare, sia miscelando in quota maggiore i biocarburanti con la benzina ed il gasolio, sia migliorando la tecnologia produttiva nelle raffinerie.

Gli Stati Membri potranno richiedere alle compagnie produttrici di carburanti una riduzione addizionale del 4%, raggiungibile attraverso l'immissione di energia per il rifornimento di veicoli elettrici o altre tecnologie pulite, inclusi i crediti di carbonio da terzi (così chiamati "Clean Development Mechanism", meccanismi di sviluppo pulito).

Per permettere i tagli nelle emissioni di GHGs la benzina può avere un contenuto in biocarburanti più alto. Dal 2011 la benzina può contenere fino al 10% (v/v) in etanolo. Al fine di evitare danni alle auto meno recenti, tuttavia, il carburante con il 5% (v/v) di etanolo continuerà ad essere disponibile fino al 2013, con la possibilità per gli Stati Membri di estendere questo periodo.

La Direttiva incorpora anche gli stessi criteri di sostenibilità ambientale e sociale per i biocarburanti previsti nella Direttiva RES. La Direttiva impone limiti sul contenuto in zolfo ed additivi nel carburante per i motori. Infine, per minimizzare le emissioni di inquinanti volatili, è indicata anche la massima pressione di vapore del carburante. Gli standard di qualità ambientali, così come i criteri di sostenibilità per i biocarburanti, saranno applicati a partire dal 2011.

Gli Stati Membri sono obbligati a trasporre la Direttiva in leggi nazionali entro la fine del 2010.

### 6.3 Produzione di bioetanolo in Europa

L'UE è uno dei principali produttori mondiali di bioetanolo ed attualmente la produzione è basata soprattutto sulla barbabietola da zucchero e sui cereali.

Nella tabella seguente sono riportati i dati produttivi nei Paesi dell'UE.

Stato	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Austria	-	-	-	15	89	180
Belgio	-	-	-	-	-	143
Repubblica Ceca	-	-	15	33	76	112
Finlandia	3	13	-	-	50	4
Francia	101	144	293	539	1.000	1.250
Germania	25	165	431	394	568	750
Ungheria	-	35	34	30	150	150
Irlanda	-	-	-	7	10	2
Italia	-	8	128	60	60	72
Lettonia	12	12	12	18	20	15
Lituania	-	8	18	20	20	30
Olanda	14	8	15	14	9	-
Polonia	48	64	120	155	200	166
Slovacchia	-	-	-	30	94	118
Spagna	254	303	402	348	317	465
Svezia	71	153	140	120	78	175
Regno Unito	-	-	-	20	75	70
<b>TOTALE</b>	<b>528</b>	<b>913</b>	<b>1.608</b>	<b>1.803</b>	<b>2.816</b>	<b>3.702</b>

Tabella 1: dati di produzione del bioetanolo nell'UE (in milioni di litri)<sup>1</sup>

Per il raggiungimento dell'obiettivo al 2010, indicato nella Direttiva 2003/30/CE (i.e. 5,75%), dovrebbero essere stati immessi sul mercato 760 PJ di biocarburanti. Assumendo che il bioetanolo contribuisca per la metà di questo ammontare complessivo, sarebbero state richieste approssimativamente 14,5 milioni di tonnellate (o 18 milioni di m<sup>3</sup>) di bioetanolo.

Dal momento che la domanda di bioetanolo è destinata a crescere nell'immediato per effetto della Direttiva RES, sono state delineate due strategie per aumentare l'offerta di questo biocarburante:

- l'utilizzo di processi innovativi per la conversione in bioetanolo della biomassa lignocellulosica (i.e. bioetanolo di 2<sup>a</sup> generazione);
- l'utilizzo di colture zuccherine attualmente non considerate per produrre il bioetanolo convenzionale (i.e. bioetanolo di 1<sup>a</sup> generazione) attraverso processi sostenibili.

Per quanto riguarda la prima strategia, la biomassa lignocellulosica è disponibile in grandi quantità ed a bassi costi nella forma di residui agricoli e forestali ed, in alternativa, può essere coltivata con una resa più elevata ed *input* più contenuti rispetto alle colture zuccherine ed amidacee attualmente utilizzate. Ci si aspetta, perciò, che il bioetanolo di 2<sup>a</sup> generazione assicuri un risparmio nelle emissioni di GHGs superiore a quello del bioetanolo di 1<sup>a</sup> generazione.

Attualmente sono in fase di sviluppo tre tipi di processi di produzione basati sulla conversione della biomassa lignocellulosica:

- la produzione di bioetanolo attraverso il pretrattamento fisico-chimico seguito dall'idrolisi enzimatica, dalla fermentazione alcolica e dalla distillazione;
- la produzione di bioetanolo o di miscele di alcoli tramite processi di gassificazione e conversione catalitica ad alcol del *syngas*;
- la produzione di bioetanolo tramite la gassificazione e la seguente fermentazione alcolica del *syngas*, con un approccio che accosta tecniche termochimiche e biochimiche.

A fronte dell'alto contenuto tecnologico insito in queste tipologie di processamento, gli impianti per la produzione del bioetanolo di 2<sup>a</sup> generazione sono destinati ad avere capacità molto elevate (superiori alle 500.000 t/anno).

Per contro il progetto SWEETHANOL è finalizzato all'impiego del sorgo zuccherino come coltura innovativa per produrre bioetanolo sostenibile di 1<sup>a</sup> generazione.

La sostenibilità del bioetanolo ottenuto dal sorgo deriva dalle basse richieste di questa coltura (i.e. acqua e fertilizzanti) e dalla abbondante disponibilità di sottoprodotti, valorizzabili a fini energetici. Questi elementi determinano un elevato risparmio nelle emissioni di GHGs. Al contempo, il sorgo zuccherino offre un vantaggio rispetto alla conversione della biomassa lignocellulosica: permette di collegare la produzione di bioetanolo al territorio dove la materia prima agricola è prodotta, in quanto la biomassa raccolta non può tollerare un lungo trasporto, vista la sua elevata deperibilità che causa repentine perdite in zuccheri. Ne consegue che il modello di produzione si basa su impianti decentralizzati di taglia medio-piccola.

Nella valutazione dei costi di produzione del bioetanolo in impianti di grande taglia (i.e. capacità di 240.000 m<sup>3</sup> di bioetanolo/anno), i valori correnti in Europa sono stimati in 0,50-0,55 €/l per i processi che impiegano la barbabietola da zucchero, 0,55-0,60 €/l per i processi basati sui cereali, 0,85-0,90 €/l per i processi che impiegano le patate e 0,45-0,55 €/l per i processi basati sui residui della produzione amidacea.

Si evince, quindi, che i costi di produzione sono fortemente dipendenti dai prezzi delle materie prime, che contano per il 50-70% dei costi totali e che sono soggetti a continue fluttuazioni, tendendo a crescere nel tempo.

Per contro, un importante margine di miglioramento deriva dalla riduzione dei costi del processamento a seguito dell'applicazione di nuove tecnologie. Ne consegue che al 2020 ci si attende una complessiva contrazione dei costi di produzione del bioetanolo: 0,45-0,50 €/l per la produzione dalla barbabietola da zucchero, 0,50-0,55 €/l per i processi che impiegano i cereali, 0,80-0,85 €/l per i processi che impiegano le patate e 0,40-0,50 €/l per i processi basati sui residui delle produzioni amidacee<sup>2</sup>.

Ad oggi il bioetanolo immesso sul mercato comunitario deriva principalmente dalle importazioni dal Brasile e la domanda di biocarburante eccede significativamente l'offerta. L'applicazione della Direttiva RES alimenta questo squilibrio già esistente nel mercato del bioetanolo, sicché anche i processi più dispendiosi possono risultare competitivi e giustificare una produzione di bioetanolo interna all'UE.

### 6.3.1 Materie prime

Per la produzione di bioetanolo possono essere processate diverse materie prime e la scelta deriva dalla valutazione delle rese in bioetanolo e dei relativi costi.

- A. Materiali che contengono zuccheri direttamente fermentescibili (e.g. canna da zucchero, melasso). La canna da zucchero è una delle più importanti colture per la produzione di bioetanolo ed è coltivata nelle regioni tropicali. Il Brasile è il maggior produttore mondiale di bioetanolo dalla canna da zucchero, seguito, anche se a grande distanza, dall'India. Nel 2002 il Brasile ha prodotto 372 milioni di tonnellate di canna da zucchero mentre l'India 279 milioni di tonnellate. Il Brasile ha dedicato alla coltivazione della canna da zucchero 5.215.000 ettari, con punte massime di produzione di 93 t/ha di biomassa fresca, di cui 21,6 t/ha corrispondono alla zucchero prodotto. Il succo ottenuto dalla spremitura della canna contiene circa il 44% di saccarosio ed il 7% di altri zuccheri (valori espressi sul peso secco). In totale il 51% della biomassa secca dei culmi della canna è costituito da carboidrati semplici, che possono essere sottoposti a fermentazione per la produzione di bioetanolo. La restante frazione è composta da fibra, ossia cellulosa, emicellulosa e lignina (biomassa secca fino a 10,6 t/ha). In media, un ettaro di coltura permette di ottenere 11 tonnellate di zucchero, principalmente saccarosio, che può essere convertito in 5.700 litri di bioetanolo. Infatti, ogni tonnellata di canna, di cui 770 kg corrispondono ai culmi della pianta, permettono di estrarre poco meno di 400 kg di zuccheri, che con la fermentazione sono trasformati in 160 kg di bioetanolo. La coltivazione di un ettaro di canna da zucchero richiede oltre 16,7 GJ.
- B. Materiali contenenti amido come fonte di carboidrati (e.g. cassava, mais, frumento, orzo). Il mais è una delle principali colture alcoligene nell'UE e negli USA e la sua coltivazione produce una grande quantità di biomassa, di cui circa il 50% è in forma di granella. Il rimanente corrisponde a diverse strutture vegetali e parti di pianta, tra cui ad esempio gli stocchi ed i tutoli. Con l'agricoltura meccanizzata la produzione media di granella è di circa 9 t/ha (umidità del 15%) ed, in condizioni molto favorevoli, può raggiungere valori di 10-13 t/ha. In media la granella del mais è composta per il 66% (su peso secco) da amido, per il 3,9% da oli e circa per il 29% da glutine, contenente diversi quantitativi di proteine. La produzione di biomassa residuale fluttua tra le 7 e le 10 tonnellate in peso secco per ettaro. Produzioni così elevate sono possibili solamente investendo molta energia per la coltivazione, soprattutto in termini di fertilizzanti azotati ed acqua. Di conseguenza una produzione ottimale si raggiunge solamente con elevati consumi di fonti fossili, in forma di fertilizzanti, erbicidi, insetticidi, gasolio per l'alimentazione delle macchine agricole ed energia elettrica.
- C. Materiali contenenti cellulosa ed emicellulosa come fonte di carboidrati (e.g. canna comune, miscanto, pioppo, residui agricoli, frazione organica dei rifiuti urbani). L'alternativa che prevede l'impiego di residui lignocellulosici per la produzione di bioetanolo è attualmente un'opzione molto promettente per la grande disponibilità nel mondo di tali materiali ed, inoltre, per evitare la competizione "Food versus Fuel". L'esistenza di abbondanti quantitativi di queste materie prime giustifica la dedizione, registrata negli ultimi anni da parte di molti Paesi (i.e. America Latina, USA, UE), nello sviluppo e nell'adattamento di tecnologie, che si proiettano verso l'uso integrato e razionale delle biomasse residuali. In questo gruppo di materie prime è collocata anche la bagassa, come residuo agro-industriale. L'idea di produrre bioetanolo da questo materiale nasce nel decennio 1940-1950 e ha portato, in certi casi, ad una vera e propria produzione alla scala commerciale, specialmente nei Paesi sviluppati.

Il bioetanolo è prodotto dalla fermentazione degli zuccheri contenuti in queste materie prime, ricorrendo a lieviti o altri microrganismi. La prima tipologia di biomasse può essere fermentata direttamente. La seconda tipologia contiene amido, che deve essere preventivamente idrolizzato per via enzimatica in zuccheri semplici. La cellulosa e l'emicellulosa, presenti nella terza tipologia, devono essere idrolizzate a zuccheri fermentescibili tramite l'impiego di acidi o basi inorganici oppure per via enzimatica.

Altre colture, che sono in fase di studio per la produzione di bioetanolo, sono il sorgo zuccherino ed il topinambur. Queste colture potrebbero essere vantaggiose per la produzione di bioetanolo, in ragione del loro basso costo di coltivazione e della possibilità che offrono di recuperare i sottoprodotti. Infatti, a differenza del mais, i culmi del sorgo zuccherino ed i fusti del topinambur sono asportati dal campo nel corso della raccolta e possono essere usati per produrre energia elettrica e termica da impiegare nel processo stesso di produzione del bioetanolo.

### 6.3.2 Processo produttivo

La produzione del bioetanolo è basata sulla fermentazione alcolica, ma il processamento completo prevede diversi segmenti tecnologici, quali il pretrattamento della materia prima, l'idrolisi dei polisaccaridi o, in alternativa, l'estrazione degli zuccheri, la fermentazione, la distillazione e la disidratazione. I primi segmenti variano in funzione della materia prima utilizzata, mentre la fermentazione, la distillazione e la disidratazione sono comuni per tutti i substrati di partenza.

#### *Pretrattamento della materia prima*

Il pretrattamento, inteso come la preparazione della materia prima, è necessario a rendere disponibili gli zuccheri ed i polisaccaridi per la loro conseguente conversione a bioetanolo. Il pretrattamento varia in funzione della materia prima impiegata.

Nel caso della barbabietola da zucchero, dopo la raccolta le radici pulite sono processate in un dispositivo che le taglia in fettine sottili successivamente sottoposte al processo di estrazione degli zuccheri per diffusione continua.

Nel caso dei cereali, il pretrattamento prevede la macinazione della granella in mulini a martelli, per ottenere una farina che è successivamente sottoposta al processo di idrolisi. La macinazione per via secca è la tecnica più applicata nella filiera del bioetanolo. In alternativa la macinazione per via umida permette di ottenere un maggior numero di sottoprodotti; tuttavia, i costi di produzione e la complessità della metodologia per ottenerli hanno scoraggiato l'applicazione di questa tecnica.

#### *Idrolisi*

Il processo di idrolisi si rende necessario quando la materia prima non contiene zuccheri direttamente fermentescibili, ma polisaccaridi (e.g. amido, inulina, cellulosa, emicellulosa). Il processo di idrolisi dipende dal tipo di polisaccaridi presenti e, dunque, dalla materia prima utilizzata.

- **Idrolisi dell'amido.** È effettuata mediante gli enzimi alfa-amilasi e gluco-amilasi. Il processo è diviso in due fasi. La prima fase di liquefazione prevede la sospensione della farina in acqua e l'aggiunta di alfa-amilasi; a seguito dell'innalzamento della temperatura (72-75 °C) gli enzimi idrolizzano i legami alfa 1-4 glicosidici tra i residui glucidici all'interno della catena dell'amido e dell'amilopectina. Al termine di questa fase si ottengono le destrine (i.e. destrano), insolubili in acqua e non fermentescibili a bioetanolo. Nella successiva fase di saccharificazione l'enzima gluco-amilasi idrolizza i legami alfa 1-6 glicosidici all'interno delle destrine, liberando glucosio. Questo processo è generalmente realizzato ad una temperatura compresa tra i 70 ed i 90 °C, sebbene oggi possano essere impiegati enzimi resistenti al calore e capaci di operare a temperature superiori ai 125-130 °C.
- **Idrolisi dell'inulina.** L'inulina, presente nel topinambur, è un polisaccaride composto da una catena di residui di fruttosio uniti da legami beta 1-6 con un residuo di glucosio terminale. L'inulina è idrolizzata per via enzimatica oppure mediante trattamento termico a pH acido. Nel caso dell'idrolisi enzimatica si ricorre all'impiego di endo-inulinasi ed eso-inulinasi: le endo-inulinasi idrolizzano i legami tra i residui di fruttosio in posizioni interne alla catena, mentre le eso-inulinasi scindono il legame che unisce il residuo di fruttosio terminale. La combinazione di entrambi gli enzimi garantisce la migliore resa di processo. Nel caso dell'idrolisi acida si opera a valori di pH di 3-4 ed a temperature di 130-180 °C. In funzione della temperatura e del pH impostati, il tempo richiesto per l'idrolisi può variare da 3-4 minuti fino a 2 ore. In ogni caso l'idrolisi acida è un processo più veloce dell'idrolisi enzimatica, ma può generare metaboliti secondari tossici (e.g. HMF), che inibiscono il successivo processo fermentativo.
- **Idrolisi della lignocellulosa.** Nel caso della cellulosa e dell'emicellulosa, si ricorre all'idrolisi chimica (e.g. con acidi) o chimico-fisica (e.g. *steam explosion*, AFEX) ed alla successiva idrolisi enzimatica (i.e. con eso-cellulasi, endo-cellulasi, emicellulasi). La prima fase idrolitica crea una parziale rottura della struttura della parete cellulare, che rende accessibili le fibre di cellulosa ed emicellulosa all'attacco da parte degli enzimi.

#### *Estrazione*

L'estrazione è applicata sulle materie prime, che contengono zuccheri direttamente fermentescibili.

La modalità con cui è condotto il processo di estrazione dipende dalla materia prima utilizzata. In generale, l'estrazione può essere effettuata tramite la spremitura in mulini a coppie di cilindri rotanti (e.g. per la lavorazione della canna da zucchero e del sorgo zuccherino)

oppure mediante la diffusione continua (e.g. nel processamento della barbabietola da zucchero) oppure tramite i sistemi di lisciviazione (e.g. per la lavorazione della canna da zucchero, in alternativa all'impiego dei cilindri rotanti).

In tutti i processi menzionati, l'estrazione è effettuata aggiungendo acqua calda (75-85 °C) alla biomassa in rapporto di 1:0,3-1:1 e controllando il pH (tra 6 e 7) ed il tempo di estrazione (da 45 a 65 minuti). Così la resa di estrazione può arrivare al 93-94% con sistemi a cilindri ed al 98% con i processi di diffusione.

### Fermentazione

La fermentazione degli zuccheri è condotta con lieviti (generalmente *Saccharomyces cerevisiae*), impostando le condizioni ottimali per la loro attività metabolica.

Nel caso della produzione di bioetanolo, lo scopo del processo è quello di ottimizzare i tempi di fermentazione, riducendo la fase di crescita e divisione cellulare, durante la quale non è prodotto etanolo.

1. Preparazione dei lieviti. In questa fase hanno luogo la reidratazione e la stabilizzazione dei lieviti per la preparazione delle cosiddette "matri", ossia gli inoculi, che sono prelevati al momento di avviare ogni nuova fermentazione. La preparazione dei lieviti prevede la loro sospensione in una soluzione ricca in glucosio, fruttosio o saccarosio e contenente dei battericidi e talora anche ergosterolo; la sospensione è condotta ad una temperatura media di 35 °C ed in presenza di ossigeno.
2. Fermentazione. Possono essere impiegati processi in continuo o in discontinuo (i.e. *in batch*).
  - Fermentazione in continuo. Il processo in continuo è progettato in modo che il lievito non venga mai a contatto con elevate concentrazioni di etanolo e non ne risulti, dunque, inibito. Il processo è condotto, caricando il succo zuccherino in una prima vasca di fermentazione, dove è inoculato il lievito. Dalla prima vasca il succo parzialmente fermentato è veicolato in una seconda vasca ed al contempo l'etanolo prodotto è allontanato, in modo da tenerne bassa la concentrazione presente. La fermentazione riprende nella seconda vasca. Questo meccanismo si ripete fino all'ultimo fermentatore, in cui tutti gli zuccheri presenti risultano convertiti in etanolo. Questa strategia consente di ottenere una resa di fermentazione più alta di quella del processo *in batch* ed, inoltre, le capacità totali richieste per le vasche sono minori rispetto all'altra opzione. La principale criticità di questo sistema è insita nella difficoltà di contenere eventuali fenomeni di contaminazione: infatti, se una delle vasche collegate in continuo subisce una contaminazione batterica, questa può diffondersi con facilità all'intero sistema di fermentatori, complicando le operazioni di decontaminazione.
  - Fermentazione in batch. È un processo effettuato in fermentatori che non comunicano direttamente tra loro e gli zuccheri del succo sono convertiti in etanolo fino a valori di concentrazione inferiori alla soglia di inibizione dei lieviti utilizzati (i.e. 10-11% v/v per *Saccharomyces cerevisiae*). In questo caso, sebbene la resa di fermentazione sia minore di quella del processo in continuo, il controllo della contaminazione è migliore e la sicurezza è più elevata, perché questo sistema permette il contenimento del problema al solo fermentatore in cui si è verificato.
3. Recupero dei lieviti. Dopo la fermentazione i lieviti usati sono recuperati tramite centrifugazione, migliorando l'economia del processo e riducendo i costi di produzione. Il lievito esaurito a seguito del reiterato utilizzo può essere recuperato come fonte di proteine nella formulazione di integratori per l'alimentazione umana ed animale.

### Distillazione

La concentrazione di bioetanolo nel succo fermentato è compresa tra il 9 ed il 14% v/v e l'obiettivo della distillazione è di ottenere etanolo azeotropico, ossia con una concentrazione del 95-96% v/v. A questo scopo il succo fermentato passa attraverso le colonne di distillazione, che sono costituite da piatti, dove l'acqua e l'etanolo evaporano e ricondensano in frazioni diverse e specifiche in funzione della loro temperatura di ebollizione. Procedendo verso l'alto la miscela di etanolo ed acqua si arricchisce progressivamente in etanolo ed in cima alla colonna si ottiene etanolo azeotropico.

La criticità della distillazione è insita nel suo elevato consumo di energia termica. Per ridurre questa voce di costo, si ricorre alla distillazione a multiplo effetto, in cui la pressione in testa alle colonne è ridotta e, quindi, è richiesta una minore quantità di energia per ottenere la separazione dell'etanolo dall'acqua.

### Disidratazione

Il processo di disidratazione è necessario per produrre bioetanolo ad una concentrazione del 99,8% (i.e. bioetanolo assoluto). Questo livello di purezza è richiesto per la sintesi dell'ETBE e per la miscelazione del bioetanolo con la benzina.

Il bioetanolo azeotropico allo stato di vapore è fatto fluire attraverso setacci molecolari di zeolite, in cui l'acqua è adsorbita, mentre l'etanolo procede, risultando progressivamente arricchito.

Dopo il processo di disidratazione l'etanolo assoluto deve essere preservato dal contatto con l'atmosfera, poiché tende a riassorbire l'umidità ambientale. Per questa ragione lo stoccaggio ed il trasporto sono effettuati in atmosfera controllata, priva di aria.

### 6.3.3 Prodotti e sottoprodotti

Sebbene il principale prodotto dei processi descritti sia il bioetanolo, la crescente importanza che stanno assumendo i sottoprodotti si traduce nell'evoluzione degli impianti di bioetanolo in vere e proprie bioraffinerie. I sottoprodotti, che in questa prospettiva diventano concrete voci di ricavo, sono molteplici, per esempio la CO<sub>2</sub>, l'energia termica ed elettrica, il biometano, la lignina ed i materiali bioplastici.

#### Bioetanolo

Il grado di purezza ottenuto per il bioetanolo varia a seconda dell'applicazione: per la miscelazione con la benzina o per la produzione di ETBE nelle raffinerie è necessario disporre di etanolo assoluto, ossia con una purezza del 99,6-99,8%, mentre nel caso dell'impiego come carburante al 100% (E100) l'etanolo non deve essere necessariamente assoluto e l'impiego di etanolo azeotropo può essere sufficiente.

Nell'ipotesi di impiegare l'etanolo per la miscelazione con la benzina o per la produzione di ETBE, si ricorre alla sua denaturazione, ossia all'aggiunta di un additivo, per prevenirne l'uso fraudolento come alcol per il consumo umano. Comunemente questo additivo è costituito da benzina; in alternativa possono essere aggiunti piccoli quantitativi di composti, che ne alterano il colore ed il sapore.

#### CO<sub>2</sub>

Uno dei sottoprodotti principali del processo di fermentazione è la CO<sub>2</sub>. Questo gas è usato nell'industria alimentare per la preparazione di bevande a base carbonica oppure per migliorare le condizioni di conservazione di cibi e prodotti deperibili; uno degli utilizzi alternativi è la produzione di ghiaccio secco.

#### Generazione termica ed elettrica

La cogenerazione di energia termica ed elettrica dai sottoprodotti è uno degli elementi chiave per assicurare la redditività degli impianti per la produzione di bioetanolo, poiché consente di ridurre le voci di costo per l'approvvigionamento energetico e/o permette di implementare le voci di ricavo tramite la vendita dell'energia elettrica e del calore.

Il processo di cogenerazione è basato sulla combustione dei sottoprodotti (tal quali o preventivamente condizionati) per la produzione di vapore ad alta pressione (25-68 bar), che è in grado di azionare una turbina per la generazione elettrica. Il calore residuo, non convertito in elettricità, può essere sfruttato per coprire i fabbisogni termici dell'impianto di bioetanolo stesso (e.g. fase di distillazione) e/o per la vendita attraverso una rete di teleriscaldamento.

#### DDG e DDGS

I DDG ed i DDGS sono i residui ottenuti dal processamento della farina ottenuta dai cereali durante la produzione di bioetanolo. I DDG sono composti dai residui solidi ottenuti dalla farina, mentre i DDGS sono composti derivanti dai residui solidi della farina miscelati con la borlanda concentrata ed i sedimenti della fermentazione (i.e. fecce). Entrambi questi sottoprodotti sono ricchi in proteine e fibre di alta qualità e possono, pertanto, essere impiegati nella formulazione dei mangimi per la zootecnia.

Analogamente anche i sottoprodotti dell'estrazione degli zuccheri dalle materie prime saccharifere rappresentano dei validi substrati per la preparazione di mangimi zootecnici. Ad esempio la polpa esausta della barbabietola, ottenuta in uscita dal processo di diffusione, può essere miscelata con la borlanda o le fecce per la formulazione di un alimento finale ricco in proteine.

Nel processamento della canna da zucchero e del sorgo zuccherino, lo sfruttamento ot-



timale della bagassa è la combustione in impianti CHP per la produzione contestuale di calore ed elettricità; di conseguenza questa tipologia di sottoprodotto non è utilizzato per alimentazione animale. Al contrario, i prodotti per l'alimentazione animale possono essere ottenuti dalla borlanda concentrata e dai depositi di fermentazione.

#### **6.4 Produzione di bioetanolo nel mondo: materie prime e nuove opportunità**

Il Brasile è stato il maggior produttore (ed il primo consumatore) di bioetanolo per più di venti anni, producendo nel 2004 poco meno della metà dei quantitativi mondiali di bioetanolo. Gli USA sono il secondo più grande consumatore e produttore di bioetanolo. A differenza del Brasile, la crescita del mercato negli USA evidenzia un *trend* relativamente recente: la capacità produttiva in bioetanolo è aumentata da 4 miliardi di litri nel 1996 a 14 miliardi di litri nel 2004.

Altri Paesi impegnati nella produzione del bioetanolo includono l'Australia, il Canada, la Cina, la Colombia, la Repubblica Dominicana, la Francia, la Germania, l'India, la Giamaica, il Malawi, la Polonia, il Sud Africa, la Spagna, la Svezia, la Thailandia, le Filippine e lo Zambia. Nel 2009, la produzione mondiale di bioetanolo ha raggiunto i 76 miliardi di litri con un aumento del 10% rispetto al 2008. Gli USA ed il Brasile hanno prodotto l'88% dei quantitativi globali di bioetanolo. Gran parte dell'aumento della produzione è avvenuto negli USA, ma incrementi significativi sono stati registrati anche in Canada, Germania e Francia; la produzione in Brasile è invece diminuita. In Europa altri incrementi importanti sono stati ottenuti in Belgio (+230%) e nel Regno Unito (+160%), sebbene le loro produzioni totali siano ancora relativamente basse (120 milioni di litri e 110 milioni di litri, rispettivamente).

Dopo una significativa flessione nel mercato statunitense del bioetanolo nel 2008, la produzione nel 2009 è aumentata del 16%, raggiungendo un quantitativo di circa 41 miliardi di litri. In accordo con le stime più recenti, il bioetanolo prodotto negli USA è stato in grado di sostituire più di 360 milioni di barili di petrolio.

In Brasile, gli alti prezzi dello zucchero registrati negli scorsi anni, combinati con le condizioni climatiche avverse a carico delle regioni dove è più diffusa la coltivazione della canna, hanno determinato una contrazione nella produzione del bioetanolo dai 27,1 miliardi di litri del 2008 ai 26,3 miliardi di litri del 2009. La canna da zucchero è la principale coltura alcoligena del Brasile, seguita dal mais. Negli ultimi anni il sorgo zuccherino è stato preso in considerazione come alternativa alla canna da zucchero, per la possibilità di coltivarlo in alcuni periodi dell'anno, che permettono di minimizzare le interruzioni nel funzionamento degli impianti.

Tutte le stazioni di rifornimento in Brasile vendono bioetanolo puro (E100) o miscele con la benzina al 25% v/v e 75% v/v (E25, E75, rispettivamente). I FFV, che possono utilizzare bioetanolo puro, benzina o qualsiasi miscela dei due, offrono una grande flessibilità nella scelta del combustibile, anche in funzione del prezzo alla pompa. Tali veicoli hanno penetrato velocemente il mercato dell'automobile ed attualmente rappresentano più del 95% di tutte le autovetture nuove vendute in Brasile.

A seguito dell'aumento della domanda globale di bioetanolo, verificatasi negli ultimi anni per effetto delle politiche energetiche dell'UE e degli USA, il Brasile ha assunto un ruolo centrale come esportatore di questo biocarburante. In leggera controtendenza è il dato del 2009, che evidenzia una flessione del 31% nelle esportazioni dal Brasile, imputabile alla crisi finanziaria ed economica.

## 7. STRATEGIE PER IL BIOETANOLO

### 7.1 Unione Europea

I biocarburanti rappresentano un elemento fondamentale a sostegno dell'impiego delle FER ed a sostegno della lotta all'inquinamento, in quanto a livello globale circa il 40% delle emissioni di CO<sub>2</sub> sono causate dal settore dei trasporti.

Per capire le strategie che l'UE ha messo in campo per aumentare l'impiego di biocarburanti, e di bioetanolo in particolare, è necessario analizzare la normativa comunitaria e le strategie adottate da ciascun Paese Membro.

In particolare, la Commissione europea nel 2006 ha pubblicato un documento denominato "La strategia dell'UE per i biocarburanti", il cui contenuto può essere riassunto nei seguenti tre punti<sup>3</sup>:

1. Promozione dell'uso dei biocarburanti, sia nei Paesi dell'UE, sia nei Paesi in via di sviluppo.
2. Promozione dei biocarburanti su larga scala, incrementandone la competitività in termini di costi, ottimizzando la scelta delle materie prime agricole dedicate, promuovendo la ricerca per i biocarburanti di 2° generazione, supportando la diffusione e la penetrazione del mercato e lo *scale up* di impianti dimostrativi.
3. Analisi delle opzioni disponibili per favorire lo sviluppo dei biocarburanti nell'UE.

Il documento individua sette azioni specifiche per la realizzazione della strategia.

1. Stimolare la domanda di biocarburanti, con particolare attenzione rivolta alle agevolazioni fiscali.
2. Garantire i benefici ambientali, mettendo in evidenza i vantaggi nell'uso dei biocarburanti in termini di riduzione delle emissioni di GHGs, garantendo la tutela della biodiversità.
3. Sviluppare la produzione e la distribuzione di biocarburanti evidenziando le opportunità offerte dagli stessi, in termini di attività economica nella creazione di nuovi posti di lavoro.
4. Ampliare la fornitura di materie prime, rivedendo la politica degli aiuti, come ad esempio la PAC.
5. Aumentare le opportunità per gli scambi di biocarburanti, studiando la possibilità di separare i codici doganali che individuano i biocarburanti stessi.
6. Sostenere i Paesi in via di sviluppo e quelli europei per la creazione di piattaforme nazionali per i biocarburanti.
7. Continuare a sostenere le azioni di R&S, finalizzate al miglioramento dei processi di produzione ed alla riduzione dei costi.

Sulla base di queste strategie, gli Stati Membri hanno la flessibilità necessaria per promuovere le fonti più idonee per produrre energie rinnovabili e biocarburanti, in funzione del loro potenziale e delle specifiche priorità.

Nella seguente tabella sono riportati i dati di produzione e consumo di bioetanolo, relativi al biennio 2008-2009, e conseguenti all'adozione della strategia europea. I dati si riferiscono alla Grecia, all'Italia, alla Spagna e complessivamente all'UE 27.

Paese	Produzione nel 2008	Consumo nel 2008	Produzione nel 2009	Consumo nel 2009
Grecia	0	0	0	0
Italia	30.471	58.040	36.566	118.014
Spagna	189.431	93.179	221.934	152.193
EU 27	1.148.265	1.773.788	1.865.766	2.339.241

Tabella 2: comparazione della produzione e del consumo di bioetanolo nel periodo 2008-2009, in Grecia, Italia, Spagna e nell'UE 27 (in tep)<sup>4</sup>

La percentuale del consumo dei biocarburanti nel settore dei trasporti è stata del 3,4% nel 2008, del 4,0% nel 2009 e per il 2010 la stima EurObserv'ER ha indicato il 4,8%. Questi valori risultano ben lontani dall'obiettivo della Direttiva 2003/30/CE del 5,75%.

Attualmente il mercato europeo del bioetanolo è controllato da pochi grandi gruppi industriali, che processano la granella dei cereali, e da cooperative agricole, che producono la barbabietola da zucchero. Una maggiore diversificazione nel mercato può scaturire dalla diffusione di impianti decentralizzati di piccole e medie dimensioni ed il progetto SWEETHANOL intende operare per favorire questa linea di sviluppo.

## 7.2 Grecia

Nel 2005 il Governo greco ha adottato la Legge 3423/2005 "Introduzione di biocarburanti ed altri carburanti rinnovabili nel mercato greco", di recepimento della Direttiva 2003/30/CE. La Legge mirava a raggiungere entro il 31 dicembre 2010 una quota di biocarburanti nel mercato greco del 5,75% sul totale di benzina e gasolio consumati nel settore dei trasporti.

Dal dicembre 2005 il biodiesel puro è distribuito nel Paese nella percentuale del 5% v/v in miscela con il gasolio, nel rispetto della norma EN 590:2004.

La distribuzione del biodiesel nel mercato greco è attuata tramite un sistema di quote annuali, che hanno determinato gli obblighi di miscelazione per le raffinerie e per le compagnie petrolifere. Il biodiesel in Grecia è prodotto in conformità con le norme EN 14214, approvate con la Decisione Ministeriale 334/2004.

Finanziamenti e norme a sostegno della strategia nazionale sui biocarburanti includono il supporto alle colture dedicate ed agli investimenti per gli impianti di produzione di biocarburanti, unitamente all'obbligo di utilizzare tutto il biodiesel prodotto nell'ambito del "Programma annuale di distribuzione di biocarburanti". Per stimolare la produzione nazionale di materie prime, il biodiesel, prodotto in base ad accordi contrattuali tra agricoltori e società di semi oleosi, è prioritariamente inserito nel programma annuale di distribuzione.

Nello specifico, con la Legge 3423/2005 sono stati previsti:

- un sussidio di 45 €/ha per gli agricoltori che producono colture energetiche;
- un sussidio di 60 €/ha per gli agricoltori che seminano e trattano i semi da impiegare nella produzione di biodiesel;
- i biocarburanti non sono soggetti a tassazione, a differenza dei combustibili fossili;
- le bioraffinerie sono obbligate ad utilizzare tutto il biodiesel detassato;
- la promozione di accordi contrattuali tra agricoltori e società produttrici di semi oleosi. Per accedere alla defiscalizzazione del quantitativo di biocarburante prodotto, il 30% delle materie prime utilizzate deve essere oggetto di un contratto tra produttori e agricoltori.

Nel 2008 è stata emanata la Legge 3653/2008, con la quale sono abolite la defiscalizzazione e le sovvenzioni per i biocarburanti ed è introdotta una nuova metodologia per la definizione della qualità del biodiesel da distribuire (art. 55). Inoltre, la Legge prevede l'introduzione del bioetanolo nel mercato dei carburanti per il trasporto per il periodo 2010-2016 (art. 56).

Nel 2009, al fine di promuovere ulteriormente l'utilizzo dei biocarburanti, la Legge 3769/2009 consente la distribuzione di miscele con concentrazioni superiori a quelle stabilite dal SCC, a condizione che le caratteristiche delle miscele risultanti soddisfino gli standard stabiliti dal SCC per i biocarburanti e per i combustibili fossili; inoltre, è prevista una speciale etichettatura per i distributori di carburante.

A sostegno della strategia nazionale a favore dei biocarburanti, qualsiasi investimento nel settore è stato agevolato ai sensi della Legge nazionale di sviluppo sulla promozione degli investimenti (Legge 3299/04, come modificata dalla Legge 3522/2006). Le sovvenzioni fino al 35% sono state concesse, a seconda della regione e del tipo di impresa (nel caso di PMI è concesso un ulteriore 10-20%). La nuova Legge nazionale di sviluppo dovrebbe essere approvata a breve. Inoltre, il "Programma operativo greco per la competitività" per il periodo 2007-2013 sostiene gli investimenti per la produzione di biocarburanti, offrendo finanziamenti tra il 25% ed il 50%.

Nel 2010 è stata adottata la norma EN 590:2009 che consente la miscelazione di biodiesel nel gasolio per il trasporto con una quota del 7% v/v, ma la norma tecnica europea per il bioetanolo (EN15376) non è ancora stata adottata dalla legislazione greca. Attualmente

l'etanolo puro è prodotto o importato solo per la preparazione di bevande alcoliche e non per l'uso come carburante per l'autotrazione.

A fronte delle difficoltà tecniche legate all'uso del bioetanolo in miscela con la benzina (i.e. la separazione dell'acqua a basse temperature e l'alta RVP, in particolare in estate), in Grecia si spinge a favore della sua conversione in ETBE, per la successiva miscelazione nella benzina come antidetonante sostitutivo del MTBE. Inoltre, secondo la norma EN 228:2004 ELOT il bioetanolo può essere utilizzato fino al 5% in miscela, mentre l'ETBE fino al 15%.

In Grecia, secondo il "VI Rapporto nazionale greco", il consumo di benzina e gasolio stimato per l'anno 2009 è stato, rispettivamente, di 4.376.240 e 2.375.000 tep. In Grecia sono attualmente installati tredici impianti di biodiesel, per una produzione complessiva nel 2009 di circa 116.832 tep; inoltre, tre società di biodiesel hanno importato 14.705 tep, nel corso dello stesso anno. Invece, ad oggi non ci sono impianti di produzione di bioetanolo nel Paese<sup>5</sup>.

### 7.3. Italia

La strategia italiana per l'impiego di biocarburanti sul territorio si basa su:

- il recepimento della normativa europea di riferimento, al fine del raggiungimento degli obiettivi stabiliti dall'UE;
- il provvedimento relativo alla costituzione di adeguate forme di incentivazione.

In particolare, si fa riferimento alla Direttiva 2003/30/CE, recepita con la Legge finanziaria 2007, che istituisce un quadro chiaro e preciso che traccia un percorso progressivo dal 2008 (con obiettivi per la miscelazione di biocarburanti del 2%), per concludersi nel 2010 con una percentuale di immissione al consumo pari al 5,75%.

Alla fine del 2009, questi obiettivi sono stati rivisti e l'obiettivo per il 2010 è stato fissato nel 3,5%.

Il raggiungimento degli obiettivi è basato sull'imposizione dell'obbligo nei confronti dei soggetti che immettono al consumo il combustibile fossile.

Oltre alla strategia utilizzata dalla Legge finanziaria, il Governo fornisce garanzie per l'uso dei biocarburanti con l'adozione di due Decreti:

- Decreto Legge N.110, 29 aprile 2008, del MIPAAF, che esplicita le procedure per l'attuazione dell'obbligo di consumo di biocarburanti, individuando sia la qualità, sia gli enti soggetti all'obbligo;
- Decreto Legge N.100, 23 aprile 2008, dell'MSE, che stabilisce un quadro di sanzioni per chi non miscela biocarburanti.

La via scelta dall'Italia, per stimolare la domanda, è stata quella di utilizzare i quantitativi di biocarburanti con accise agevolate; in particolare, per quanto riguarda il bioetanolo, i primi incentivi risalgono al 2001.

Ma è solo con le Leggi finanziarie per il 2007 ed il 2008 che sono stati stanziati i fondi per il periodo 2007-2010: infatti, sono stati previsti 73 milioni di euro per la riduzione dell'accisa sul bioetanolo, per un quantitativo pari a circa 250.000 tonnellate.

Nel corso del 2009 il Governo ha ridotto gli incentivi disponibili; per il 2010 gli incentivi sono passati da 73 milioni di euro a soli 3,8 milioni di euro.

Recentemente l'Italia ha recepito la Direttiva 2009/28/CE, che promuove l'uso di energie rinnovabili e biocarburanti per il trasporto, con il Piano di Azione Nazionale e con un Decreto Legislativo, che attualmente è in corso di pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale. L'obiettivo fissato da tale Direttiva è la sostituzione dei carburanti fossili nel settore dei trasporti di 2,35 Mtep entro il 2020, pari al 10%.

A seguito della pubblicazione del Decreto Legislativo sarà stabilito un percorso per l'immissione al consumo al 2014 di biocarburanti pari al 5%, lasciando ampia flessibilità ai soggetti su cui grava l'obbligo in merito alla scelta della tipologia di biocarburante da impiegare ai fini del raggiungimento dell'obbligo stesso.

La Direttiva 2009/30/CE, che introduce il concetto di sostenibilità nella produzione di biocarburanti, è in fase di recepimento.

Tuttavia, il Decreto Legislativo in attesa di pubblicazione delinea già il quadro di sostenibilità dei biocarburanti, definendo sostenibili quelli che riducono in maniera sostanziale le emis-

sioni di GHGs durante tutta la loro fase di produzione. Infatti, secondo i criteri di sostenibilità della Direttiva, non potranno essere computati ai fini del raggiungimento dell'obbligo quei biocarburanti che sono prodotti impiegando terreni ad elevata biodiversità, con alti stocks di carbonio o utilizzati per le filiere alimentari.

È previsto un meccanismo premiante ai fini del raggiungimento dell'obbligo, per quei biocarburanti che sono prodotti all'interno dell'UE a partire dai rifiuti, dai residui non alimentari, dalle materie prime lignocellulosiche e dalle alghe.

Nel 2009 la produzione italiana di bioetanolo è stata di 36.565 tep; tale produzione deriva dall'impiego di residui delle filiere agro-alimentari (e.g. vinacce provenienti dal settore vitivinicolo). La capacità attualmente installata è di 138.214 tep e gli impianti esistenti sono elencati nella tabella 3<sup>6</sup>.

Gli attuali meccanismi di incentivo non sono stati in grado di attivare delle filiere nazionali di produzione di bioetanolo da colture energetiche ed attualmente ci sono delle iniziative sporadiche, legate sostanzialmente alla sfera della R&S.

L'attivazione delle filiere nazionali non può prescindere dal pieno coinvolgimento degli agricoltori e l'approccio verso impianti decentralizzati di taglia medio-piccola favorisce questo processo di partecipazione.

Al contempo devono essere sostenute le attività di R&S per ottimizzare quei processi, che permetteranno di convertire a bioetanolo i materiali residuali a base lignocellulosica (i.e. bioetanolo di 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> generazione).

Nome	Località	Regione	Capacità (t/a)	Situazione
I.M.A. S.r.l.	Trapani	Sicilia	172.000	Realizzato
CAVIRO S.r.l.	Faenza	Emilia-Romagna	43.000	Realizzato
Mossi & Ghisolfi S.r.l.	Tortona	Piemonte	45.000	Progetto
<b>TOTALE</b>			260.000	

**Tabella 3: lista degli impianti di bioetanolo in Italia<sup>7</sup>**

## 7.4 Spagna

A partire dal 1992 la Spagna ha adottato diverse Leggi a sostegno della produzione di biocarburanti. Ciascun testo legislativo è stato sviluppato prendendo come punto di riferimento la legislazione europea.

Sono state adottate Leggi specifiche circa l'uso di bioetanolo e biodiesel, miscelati nei tradizionali carburanti. Le più importanti sono:

- la Legge 38/1992 in tema di accise;
- il R.D. 1165/1995 sui regolamenti e sulle imposte;
- la Legge 40/1995 per le esenzioni per i progetti pilota di biocarburanti;
- il R.D. 1739/2003, del 19 dicembre, modifica i regolamenti per i soggetti sottoposti ad accise: la modifica è a carico dell'art. 105 sui biocarburanti usati nei progetti pilota. I progetti pilota saranno considerati in base al quantitativo di biocarburante prodotto, che non dovrà superare 5.000 litri l'anno. L'accordo per il riconoscimento dell'esenzione sarà valido per non più di 5 anni. All'alcol etilico è applicata l'imposta sugli alcolici e le bevande derivate, pur mantenendo la sua natura di biocarburante;
- il R.D. 1700/2003 sull'uso dei biocarburanti prevede norme precise per l'alimentazione dei motori a benzina. Si rende obbligatoria l'etichettatura per le miscele superiori al 5% v/v;
- il R.D. 218/2004 è relativo alle sovvenzioni per superficie applicate ai produttori di colture energetiche (45 €/anno per ogni ettaro di colture energetiche); l'MGA ha beneficiato di un aiuto per 1.500.000 ettari;

- nel 2006 con i R.D. 61/2006 e 774/2006 sono state stabilite le regole per i combustibili liquidi ed è stato modificato il regime delle accise. Con il R.D. 61/2006 del 31 gennaio (art. 8) si definiscono le specifiche per la benzina, il gasolio, l'olio combustibile ed il gas di petrolio liquefatto e si regola l'uso di alcuni biocarburanti. Il R.D. 774/2006 del 23 giugno modifica i regolamenti dei soggetti sottoposti ad accisa.

A parte i Regi Decreti e le Leggi, il Governo cerca di promuovere la produzione e l'impiego dei biocarburanti e di altre FER, attraverso il REP per il periodo 2005-2010, approvato dal Consiglio dei Ministri nel mese di agosto del 2005.

La REP ha avuto come obiettivi al 2010 la sostituzione del 12,1% dell'energia primaria consumata con le FER, la produzione dalle FER del 30,3% dell'energia elettrica lorda consumata e per i biocarburanti l'utilizzo del 5,83% dei consumi finali di benzina e gasolio.

È stato stimato che i posti di lavoro creati a seguito dello sviluppo del settore dei biocarburanti dovrebbero essere circa 13.600 (i.e. il 14% della stima dell'occupazione nel settore delle rinnovabili). Di conseguenza, alla promozione di questo settore come obiettivo principale è stato associato uno sviluppo occupazionale.

Nel caso del settore dei biocarburanti, il principale sostegno pubblico è stato fornito dall'esenzione fiscale sugli idrocarburi, corrispondente ad un importo complessivo di 2.855 milioni di euro per l'intero periodo 2005-2010.

A seguito della sua politica in materia di biocarburante, la Spagna dispone di numerosi impianti di bioetanolo ed è considerevole anche il numero dei progetti in corso di realizzazione (Tabella 4).

Name	Località	Regione	Capacità (t/a)	Situazione
<b>Albiex</b>	Villanueva della Serena	Badajoz	110.000	In costruzione
<b>Ecobarcial</b>	Barcial del Barco	Zamora	145.000	In costruzione
<b>Sniace Biofuels</b>	Torrelavega	Cantabria	126.000	In costruzione
<b>Biocarburantes Castilla y León</b>	Babilafuente	Salamanca	158.000	In funzione
<b>Bioetanolo della Mancha</b>	Alcázar di San Juan	Ciudad Real	26.000	In funzione
<b>Bioetanolo Galicia</b>	Teixeiro	La Coruña	139.000	In funzione
<b>Ecocarburantes Españoles</b>	Cartagena	Murcia	118.000	In funzione
<b>Villarejo Bioetanolo (Sperimentale)</b>	Villarejo di Orbigo	León	200.000	In funzione
<b>Bio Europa 2</b>	Puertollano	Ciudad Real	150.000	Progetto
<b>Bioener Energía (EVE e Abengoa)</b>	Zierbana	Vizcaya	126.000	Progetto
<b>Bioetanolo DosBio 2010 (Miranda)</b>	Miranda de Ebro	Burgos	65.000	Progetto
<b>TOTALE</b>			1.363.000	

Tabella 4: lista di impianti di produzione di bioetanolo in Spagna<sup>8</sup>

## 8. SORGO ZUCCHERINO

### 8.1 Perché il sorgo zuccherino?<sup>9,10,11,12,13,14,15</sup>

Con il nome comune di "sorgo" ci si riferisce ad una vasta gamma di genotipi riconducibili alla specie *Sorghum bicolor* (L.) Moench, che fa parte della famiglia delle graminacee (*Poaceae*).

In base all'espressione fenotipica, possono essere riconosciuti cinque gruppi di varietà.

- A. Sorgo da granella. Comunemente sono varietà nane (50-80 cm di altezza), coltivate per la produzione alimentare di granella. Il sorgo da granella è la quarta coltura cerealicola nel mondo dopo il frumento, il riso ed il mais.
- B. Sorgo da foraggio. Sono varietà impiegate principalmente per la produzione di insilati per l'alimentazione animale, grazie al loro elevato contenuto in proteine e fibra.
- C. Sorgo da fibra. Sono varietà con alti culmi, ricchi in cellulosa ed emicellulosa ed adatti alla produzione di biocombustibili solidi.
- D. Sorgo da saggina. Sono varietà con infiorescenze caratterizzate da diramazioni lunghe ed elastiche ed utilizzate principalmente per la produzione di scope.
- E. Sorgo zuccherino. Sono varietà con culmi grossi e lunghi, contenenti elevate concentrazioni di zucchero; per questa caratteristica possono essere utilizzate per la produzione di bioetanolo.

Tutte le varietà di sorgo sono accomunate da alcune caratteristiche fisiologiche, quali l'alta efficienza fotosintetica e la sensibilità al fotoperiodo ed alle elevate temperature, e da alcuni tratti morfologici, tra cui l'altezza tipica delle grandi colture erbacee di origine tropicale. Il sorgo zuccherino si distingue dagli altri gruppi di varietà grazie ad una caratteristica fisiologica tipica, che è la sua capacità di accumulare nei culmi zuccheri semplici, e non solo carboidrati strutturali. Nella trattazione che segue, quindi, ci si riferirà specificatamente al sorgo inteso come zuccherino.

Il sorgo zuccherino è una coltura con ciclo fotosintetico di tipo  $C_4$ . Tra le peculiarità delle piante  $C_4$  si richiama la caratteristica anatomia della foglia, chiamata "anatomia Kranz", che presenta una separazione specifica tra la fissazione fotosintetica della  $CO_2$  e la sintesi degli assimilati (i.e. composti prodotti dalla pianta come risultato della fotosintesi e responsabili della crescita della pianta stessa). Questa compartimentazione permette un uso più efficiente della radiazione solare ed una elevata resa fotosintetica della coltura, se confrontata con le colture a metabolismo  $C_3$ , più comuni nelle regioni temperate. Il rapporto di assimilazione fotosintetica è evidente specialmente in condizioni di elevate radiazione solare e disponibilità di acqua. Alcuni studi condotti nel sud dell'Europa hanno evidenziato alti valori di RUE, dimostrando l'elevata produttività di questa coltura, se coltivata in condizioni favorevoli (i.e. temperatura, radiazione solare, disponibilità di acqua). Sono stati riportati valori compresi tra 3,10 in Francia e 4,96 in Spagna.

La resa produttiva si colloca in un intervallo tra le 40 e le 110 tonnellate di biomassa fresca per ettaro per anno. In ragione dell'elevata umidità, il contenuto in biomassa secca varia tra il 19% ed il 30%, in funzione della varietà, delle condizioni di coltivazione e del momento scelto per la raccolta. Alla fine del ciclo i culmi solitamente rappresentano più del 75% del peso finale della biomassa raccolta (su peso secco) e per certe varietà si può arrivare al 90%.

Gli zuccheri accumulati nei culmi del sorgo zuccherino sono idrosolubili e facilmente fermentabili. Sono costituiti principalmente da saccarosio ed in quota minore da glucosio e fruttosio. Il contenuto di succo nei culmi è pari al 65-80%, mentre il loro contenuto in zuccheri è del 9-15%. Al momento della raccolta, la concentrazione degli zuccheri nei culmi, espressa sul peso secco, è del 20-45%, con una variabilità che dipende dalla lunghezza del ciclo.

Le rese in biomassa del sorgo zuccherino, quando è coltivato in regioni mediterranee ed in condizioni non limitanti per quanto riguarda la disponibilità idrica, sono comprese tra le 25 e le 35 tonnellate di sostanza secca per ettaro. Assumendo una proporzione culmo/pianta del 75-85% sul peso umido, un contenuto in zuccheri corrispondente al 40% su base secca ed un fattore di conversione di 0,591 litri di etanolo per chilogrammo di zucchero, la produzione stimata per il bioetanolo dal sorgo zuccherino può raggiungere valori di 4.400-7.000 l/ha.

Il sorgo zuccherino può essere coltivato in una grande varietà di suoli e climi (i.e. tropicale, sub-tropicale, temperato). Sebbene le rese migliori si ottengano in suoli fertili, profondi e ben drenati, può essere coltivato in condizioni peggiori, come ad esempio in terreni poco profondi o con scarso contenuto in sostanza organica. Il sorgo tollera bene anche la reazione del suolo e può essere coltivato con buone rese tra 5,0–8,5 unità di pH; inoltre, dimostra una buona adattabilità ai suoli salini. Tale coltura, infine, è resistente alla siccità (mostra grande resistenza agli stress idrici), se comparato ad altre colture tropicali; al contempo è tollerante al ristagno idrico. Questa grande adattabilità ne permette la coltivazione in aree dove altre colture non potrebbero essere coltivate.

In relazione alle esigenze idriche della coltura, nelle regioni mediterranee il sorgo zuccherino può necessitare dell'irrigazione, ma la sua efficienza nell'uso dell'acqua è molto elevata. Per la Spagna sono riportati valori compresi tra 3,7 e 5,4 g di biomassa aerea (s.s.) per litro di acqua. Il sorgo zuccherino mostra una resistenza più elevata alla siccità rispetto a quelle del mais e della canna da zucchero, in virtù della sua bassa evapotraspirazione e dell'abilità di bloccare la traspirazione in condizioni limitanti. Nella prospettiva dell'impiego alcoligeno, quindi, richiede minori apporti idrici per unità di etanolo prodotto. Infatti, la quantità di acqua necessaria per il sorgo zuccherino è 1/3 di quella richiesta dalla canna da zucchero e 2/3 di quella necessaria alla barbabietola da zucchero. Per quanto riguarda le esigenze di nutrienti, il sorgo zuccherino richiede bassi apporti di fertilizzanti azotati rispetto ad altre colture, tra cui ad esempio il mais.

La coltivazione del sorgo è facilitata dalla possibilità di meccanizzare la fase di semina (3,0–6,0 kg semi/ha). Questo aspetto rappresenta un vantaggio significativo rispetto alla canna da zucchero, che deve essere propagata tramite culmi tagliati, che successivamente emettono germogli (4.500–6.000 kg/ha). Analogamente anche la raccolta può essere meccanizzata. La criticità in questa fase è insita nella elevata deperibilità della biomassa, a causa dei suoi alti contenuti in zuccheri ed acqua. Ne consegue che, per prevenire perdite significative di zuccheri, le operazioni di processamento devono essere effettuate in un breve periodo di tempo dopo la raccolta. Alcune soluzioni per risolvere questo inconveniente sono una corretta programmazione della raccolta, ricorrendo a varietà con cicli di diversa durata (corti, medi, lunghi), la concentrazione del succo estratto dai culmi e l'insilamento della biomassa come tecnica di conservazione degli zuccheri.

Due ulteriori caratteristiche favorevoli del sorgo sono la durata annuale del ciclo vegetativo e la sua brevità (4-6 mesi). Questi elementi rendono il sorgo adatto ad avvicendamenti colturali o a doppi cicli di coltura; infatti, in condizioni adeguate (i.e. in climi tropicali o sub-tropicali) può essere coltivato due volte all'anno, aumentando la sua redditività. Con una scelta accurata, questa configurazione è positiva in termini di agro-diversità, in quanto si dilata il periodo di copertura del suolo, contribuendo a ridurre l'erosione ed a preservarne la fertilità.



Figura 1: coltivazione del sorgo zuccherino a Udine (Italia)<sup>6</sup>

Il processamento a bioetanolo del sorgo zuccherino rende disponibili diversi sottoprodotti (i.e. bagassa, borlanda), che possono essere recuperati e valorizzati. Inoltre, alcune varietà producono anche granello, che può essere convertito in bioetanolo di 1<sup>a</sup> generazione, come materia prima amidacea. La bagassa, residuo dell'estrazione degli zuccheri, può essere valorizzata seguendo due approcci alternativi: la combustione per la produzione di energia termica ed elettrica oppure la conversione in bioetanolo di 2<sup>a</sup> generazione. In attesa che siano disponibili le tecnolo-



gie per la seconda ipotesi di recupero, si può ricorrere alla prima, analogamente a quanto accade per la bagassa della canna da zucchero. Dunque, nel medio termine il sorgo zuccherino potrà essere usato per la produzione di biocarburanti di 1° e 2° generazione. Le foglie, ed anche la bagassa se non valorizzata in altro modo, possono essere recuperate come foraggio.

In sintesi, il sorgo zuccherino è stato scelto, in quanto è una materia prima molto versatile ed interessante per la produzione di bioetanolo, principalmente in virtù della sua elevata resa in biomassa, del suo alto contenuto in zuccheri fermentescibili, della sua adattabilità ad una vasta gamma di suoli ed ambienti, della sua modesta richiesta idrica (più bassa di quella di altre colture irrigue, come il mais e la canna da zucchero), della sua resistenza alla siccità, della meccanizzazione agricola per la sua coltivazione e della possibilità di valorizzare i sottoprodotti, anche a scopi energetici.

## 8.2 Caratteristiche botaniche e morfologiche<sup>17,18,19,20,21,22</sup>

### Classificazione sistematica

Divisione: *Magnoliophyta*

Classe: *Liliopsida*

Sottoclasse: *Commelinidae*

Ordine: *Cyperales*

Famiglia: *Poaceae*

Tribù: *Andropogoneae*

Sottotribù: *Sorghinae*

Genere: *Sorghum* Moench

Specie: *Sorghum bicolor* (L.) Moench

Sottospecie: *Sorghum bicolor* sottospecie *bicolor*

Tutte le varietà di sorgo, classificate come *Sorghum bicolor* sottospecie *bicolor*, presentano un corredo cromosomico diploide di 20 cromosomi. Tuttavia, a seconda dell'espressione fenotipica, che le rende adatte a diversi utilizzi, le varietà di *Sorghum bicolor* (L.) Moench sono state commercialmente suddivise in: sorgo da granella, sorgo da fibra, sorgo da foraggio, sorgo da saggina, sorgo zuccherino.

Il luogo di origine di *Sorghum bicolor* è collocato nelle regioni aride dell'Africa orientale, comprese tra l'Etiopia ed il Sudan. Si stima che l'uomo abbia iniziato a coltivarlo attorno al 4000-3000 a.C. e che sia stato introdotto in India attorno al 1500-1000 a.C., nell'Europa centro-orientale nel 900-700 a.C. e nell'Europa orientale nel 400 a.C.; in America la sua coltivazione è più recente (1850 d.C.).

### Morfologia

Il sorgo è una pianta erbacea annuale e presenta, in funzione della varietà considerata, una elevata capacità di ricaccio.

#### *Culmi*

I culmi del sorgo, analogamente a quelli della canna da zucchero, sono compatti e ricchi in midollo, e per questa caratteristica si distinguono all'interno della famiglia delle graminacee. La lunghezza dei culmi rientra nell'intervallo 0,5-5,0 m ed il diametro oscilla da 1,5 a 5,0 cm, a seconda della varietà; anche il numero dei nodi e degli internodi varia in funzione della varietà.

La sezione trasversale dei culmi mette in evidenza una corona esterna ricca in fasci vascolari densamente sistemati e, più internamente, un tessuto midollare parenchimatico, di consistenza soffice, in cui sono sparsi alcuni fasci vascolari e dove è accumulata la maggior parte degli zuccheri (i.e. glucosio, fruttosio e soprattutto saccarosio).

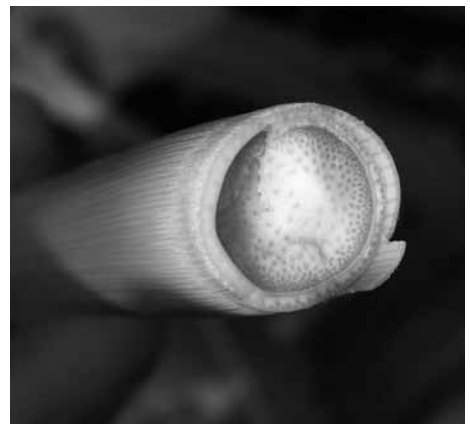


Figure 2: sezione trasversale di un culmo di sorgo zuccherino<sup>23</sup>

Per quanto riguarda la disposizione delle foglie sullo stelo, da ciascun nodo nasce una foglia. Nel nodo, in corrispondenza del punto di inserzione, si crea un incavo da cui si forma una gemma ascellare. Tutte le gemme ascellari sono dormienti, ad eccezione di quelle poste nei nodi inferiori dello stelo; da queste ultime gemme possono prendere origine germogli, determinando l'accestimento della pianta.

La tendenza all'accestimento dipende sia dalle caratteristiche varietali (i.e. massima nelle varietà da foraggio, modesta nelle varietà da granella), sia dalle condizioni in cui la coltivazione è condotta, quali, a titolo di esempio, la densità delle piante in campo, il fotoperiodo e la temperatura.

### *Foglie*

Il culmo del sorgo presenta generalmente da 7 a 24 foglie opposte, ossia inserite alterne ad ogni nodo, e decussate. Il numero delle foglie varia in funzione della varietà (i.e. più numerose nelle specie più tardive), della latitudine, della maturità che la pianta può raggiungere compatibilmente con i suoi utilizzi e con le condizioni climatiche.

Le foglie sono lineari, lanceolate, lucide e parallelinervie; hanno una lunga guaina glauca (per la presenza di una spessa pruina cerosa), che avvolge il culmo. La lamina fogliare è lunga 30-135 cm e larga 1,5-13,0 cm ed è piatta, sebbene in condizioni di stress idrico possa arrotolarsi longitudinalmente, come succede alle foglie del mais. Gli stomi sono localizzati su entrambe le lamine della foglia.

### *Infiorescenza*

Le infiorescenze sono organizzate in un racemo generalmente apicale, detto panicolo, la cui lunghezza può raggiungere i 60 cm, peduncolo incluso. L'infiorescenza presenta numerose diramazioni; al termine di ciascuna ramificazione laterale si trovano spighe secondarie (i.e. spighette), sempre accoppiate a due a due, di cui quella sessile è fertile e l'altra pedunculata è sterile. La spighetta sessile è formata da due glume che a maturità diventano coriacee e lucenti, da due glumelle, di cui la superiore è piccolissima e l'inferiore è cartacea, e da un fiore bisessuato tipicamente graminaceo, formato da un ovario supero, uniovulare, con stilo biforcuto e stigma piumoso, e da un androceo composto da tre stami.

### *Frutto*

Il frutto è una cariosside ruvida di forma arrotondata e di colore diverso in funzione delle varietà. Nelle varietà zuccherine la cariosside ha dimensione generalmente inferiore rispetto a quella delle varietà da granella. Il peso di mille semi è in media di 21 grammi, con una variabilità tra 16 e 28 grammi.

### *Apparato radicale*

L'apparato radicale del sorgo è fascicolato e formato da radici embrionali ed avventizie e si può estendere fino a 1,5 metri di profondità. La radice primaria va incontro a senescenza precoce, come generalmente succede nella famiglia delle graminacee, e la sua funzione è svolta da radici avventizie originatesi dalla parte inferiore dei culmi. Questa tendenza è particolarmente spiccata nelle varietà zuccherine, in cui i culmi beneficiano di un supporto nella loro funzione principale di sostegno dell'apparato fogliare. L'apparato radicale del sorgo è più espanso rispetto a quello del mais, sia in larghezza, sia in profondità; inoltre, le radici sono più robuste e fibrose. Queste caratteristiche rendono il sorgo più efficiente del mais nella capacità di utilizzare la risorsa idrica ed i nutrienti del suolo.

## Biologia

### *Ciclo vegetativo*

Il ciclo vegetativo del sorgo occupa indicativamente quattro mesi, da maggio a settembre, con una certa variabilità in funzione della localizzazione geografica e della varietà specifica. La fase in cui la crescita è massima (i.e. allungamento dei culmi) deve coincidere con il periodo di massimo irradiazione solare.

### *Fasi fenologiche*

Nell'ipotesi di collocare la semina in primavera, quando la temperatura è mite, l'emergenza avviene generalmente dopo 7-10 giorni dalla semina e la fase di allungamento dopo altri 47-55 giorni. La durata della fase di allungamento oscilla tra i 30 ed i 90 giorni, in funzione della varietà. La fioritura avviene dopo 5-7 giorni dalla formazione del panicolo; la granigione richiede indicativamente altri 30 giorni, con una certa variabilità in relazione alla varietà considerata.

### Accumulo degli zuccheri

L'andamento dell'accumulo degli zuccheri è legato alla scelta varietale, alla data della semina ed alle condizioni climatiche nel corso dello sviluppo vegetativo. L'accumulo raggiunge il suo picco in corrispondenza della formazione del panicolo, più specificatamente dopo la fioritura.

Gli zuccheri sono accumulati nel tessuto midollare del culmo, sottoforma di saccarosio, glucosio e fruttosio; tra questi il saccarosio è il più abbondante.

Il profilo quali-quantitativo degli zuccheri accumulati cambia nel corso della maturazione e progressivamente aumenta la frazione di saccarosio, a spese della presenza di glucosio e fruttosio.

Nelle aree geografiche, in cui nel mese di settembre le temperature sono basse, il sorgo interrompe il suo sviluppo e contestualmente blocca anche l'accumulo degli zuccheri.

## 8.3 Tecnica culturale<sup>24,25,26,27,28,29,30</sup>

Il sorgo tollera bene la siccità e si adatta a crescere in terreni con caratteristiche pedologiche differenti. Queste peculiarità sono legate all'ampia disponibilità di genotipi di sorgo (circa 4.600), che si distinguono per la diversa risposta al fotoperiodo, per la durata variabile del ciclo vegetativo e per l'idoneità a crescere in differenti condizioni pedo-climatiche.

### 8.3.1 Preparazione del terreno

Nella preparazione del letto di semina le operazioni di aratura ed erpicatura sono il presupposto essenziale per consentire una buona emergenza delle plantule, per favorire la protezione della coltura dalle infestanti e per prevenire il compattamento del terreno. Il controllo delle infestanti può essere eventualmente completato con l'applicazione di erbicidi (e.g. glifosate).

Nel caso in cui la coltivazione avvenga in regime irriguo, la preparazione del letto di semina deve tenerne conto. In particolare è stato evidenziato che l'irrigazione a scorrimento previene l'allettamento del sorgo; in questa ipotesi i solchi devono essere realizzati già nel corso della preparazione del letto di semina. In alternativa, nel caso si intenda ricorrere all'irrigazione per aspersione o di soccorso, il terreno deve essere livellato e mantenuto piatto.

### 8.3.2 Fertilizzazione

La quantità di fertilizzanti da applicare alla coltura varia in funzione della fertilità del suolo e dei livelli produttivi pianificati. Nelle regioni mediterranee, in cui la fertilità del suolo oscilla tra bassa e moderata, gli apporti richiesti dalla coltura, espressi per ettaro, sono: 100-150 kg N, 60-100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60-100 kg K<sub>2</sub>O. L'applicazione dell'azoto è consigliata in due fasi: prima della semina e indicativamente 20-30 giorni dopo l'emergenza.

### 8.3.3 Semina

La semina deve essere programmata in modo che la temperatura sia compatibile con la germinazione del sorgo (i.e. almeno 10-12 °C) e non vi sia rischio di gelate tardive. Inoltre, l'umidità del suolo dovrebbe essere prossima alla capacità di campo.

In considerazione della lunghezza del ciclo vegetativo e dell'effetto inibitorio delle basse temperature sull'accumulo degli zuccheri, nelle regioni mediterranee la semina dovrebbe collocarsi all'inizio di maggio.

La semina è generalmente condotta con una interfila di 0,75 m, mentre sulla fila le distanze sono di 0,10-0,15 m. Il seme dovrebbe essere deposto ad una profondità superiore o uguale ai 3-5 cm, in funzione della varietà prescelta.

La quantità di semente usata dipende dalla varietà scelta e dalla forza germinativa dei semi forniti. A questo scopo è consigliato un saggio di germinazione preliminare, che metta in luce la qualità della semente da utilizzare. Il peso specifico dei semi normalmente varia tra 30-70 semi per grammo.

Per garantire l'emergenza della coltura, è essenziale che, successivamente alla semina, nel terreno sia mantenuto un buon tenore di umidità.

La scelta varietale è un fattore cruciale per assicurare buoni livelli produttivi. Come principio generale, le varietà a ciclo lungo sono più produttive di quelle a ciclo breve.

Va sottolineato, tuttavia, che in alcuni contesti territoriali l'utilizzo delle varietà a ciclo lungo non è opportuno, perché, per esprimere pienamente il loro potenziale, esse dovrebbero beneficiare di temperature elevate durante l'intero ciclo vegetativo. Nelle regioni mediterranee questa condizione è soddisfatta se le temperature si mantengono miti o calde durante l'intero mese di settembre.

- **Varietà a ciclo breve:** nei climi mediterranei 70-90 giorni dall'emergenza alla fioritura. A questa categoria appartengono le varietà denominate Mer 60-2, Mer 78-13, Soave, Atlas e Madhura.
- **Varietà a ciclo lungo:** indicativamente 110 giorni dall'emergenza alla fioritura. A questa categoria appartengono le varietà denominate Keller, Dale e Wray.

### 8.3.4 Irrigazione

Il fabbisogno irriguo del sorgo dipende soprattutto dalle caratteristiche climatiche del sito di coltivazione, quali, a titolo di esempio, le temperature medie e massime e la piovosità; inoltre, vi è un fattore intrinseco, legato alle esigenze specifiche della varietà scelta.

Generalmente il fabbisogno idrico del sorgo è di 500-1.000 mm.

È stato evidenziato come per molte varietà di sorgo zuccherino, coltivate in terreni con buona riserva idrica, i valori di WUE diminuiscano ad alti regimi idrici: a questo proposito, in prove condotte nelle regioni centrali della Spagna, per la varietà Keller sono riportati in letteratura valori di 3,7-6,1 kg s.s./m<sup>3</sup> di acqua evapotraspirata.

Il sorgo zuccherino tollera le condizioni di stress idrico, ma le produzioni ne sono penalizzate. Ne consegue che nelle regioni mediterranee, caratterizzate da carenze idriche estive, la coltivazione del sorgo richiede un compromesso tra apporto irriguo e livelli produttivi.

### 8.3.5 Protezione della coltura

Il sorgo è molto sensibile alla competizione con le infestanti, soprattutto nelle prime fasi del ciclo biologico (i.e. dalla semina alla completa copertura del suolo, quando la pianta raggiunge l'altezza di 1 m). Dunque, è essenziale che nel corso della preparazione del letto di semina siano eliminate le infestanti, anche mediante l'applicazione di prodotti fitoiatrici. Inoltre, l'applicazione di diserbanti deve essere ripetuta immediatamente dopo la semina (i.e. in pre-emergenza), perché la germinazione del sorgo è molto rapida e la coltura potrebbe essere danneggiata in caso di ritardo nell'applicazione.

Il sorgo è suscettibile alle stesse malattie ed all'attacco da parte degli stessi parassiti che danneggiano le coltivazioni estensive di mais e canna da zucchero, rispettivamente negli USA ed in Brasile. Contrariamente, se le coltivazioni non sono vaste, questi problemi non si verificano. A titolo di esempio, in campi realizzati nelle regioni centrali della Spagna non sono stati registrati né attacchi da parassiti, né malattie; tuttavia, occasionalmente è stato notato l'attacco da parte della piralide.

Per quanto riguarda i danni da agenti abiotici, il sorgo è sensibile soprattutto al freddo ed è soggetto all'allettamento.

1. Freddo. Si può ovviare a questa criticità attraverso una adeguata scelta della varietà (i.e. sulla base della durata del ciclo biologico) e del periodo di semina.
2. Allettamento. Si può ovviare a questa criticità attraverso un'adeguata scelta della varietà e della tecnica colturale applicata (i.e. altezza delle piante, diametro dei culmi, densità delle piante, fertilizzazioni azotate), nonché della data di raccolta.
3. Allettamento per effetto del vento. Nelle località ventose, si può optare per delle varietà, che non raggiungono altezze elevate e che sono caratterizzate da una bassa tendenza all'allettamento spontaneo, e si può ridurre l'apporto di azoto; inoltre, nel caso in cui la ventosità si accentui in autunno, si può anticipare la raccolta.



Figure 3: raccolta del sorgo zuccherino mediante una falcia-trincia-caricatrice mutuata dalla maidicoltura<sup>31</sup>

### 8.3.6 Raccolta

Il periodo di raccolta varia in funzione della varietà e delle condizioni climatiche e coincide con il picco nella crescita della pianta e nell'accumulo degli zuccheri nel culmo. Generalmente questa condizione è raggiunta in corrispondenza dello sviluppo del panicolo, ossia immediatamente dopo la fioritura; tuttavia, un monitoraggio della concentrazione degli zuccheri nel culmo è raccomandato almeno nel primo anno in cui si coltiva una certa varietà, in modo da testarne le prestazioni.

Nel caso delle varietà zuccherine, la raccolta è specificatamente finalizzata a massimizzare il recupero degli zuccheri, che sono accumulati quasi esclusivamente nei culmi. Ne consegue che le operazioni prevedono il taglio dei culmi alla base, in modo da minimizzare le perdite, e l'abbandono delle foglie in campo.

Molte attività di R&D sono indirizzate ad ottimizzare la meccanizzazione della raccolta del sorgo zuccherino. Alcune macchine agricole attualmente utilizzate sono mutate dalla foraggicoltura o dalla coltivazione della canna da zucchero, nel qual caso prevedono la raccolta e la imballatura (o rotoimbollatura) dei culmi tagliati. Accanto a questi, sono in corso di sperimentazione alcuni prototipi specificatamente progettati per il sorgo zuccherino.

Negli USA sono convertite a questa coltura le macchine per la raccolta del mais da foraggio, ma in questo caso la biomassa raccolta deve essere immediatamente avviata al processamento. Da un lato questa strategia consente di utilizzare macchinari tradizionali e, dunque, di evitare dei costi legati alla predisposizione ed all'acquisto di nuove attrezzature. Per contro, però, queste macchine non sono progettate per massimizzare il recupero degli zuccheri e sono da mettere in conto delle perdite considerevoli.

### 8.3.7 Operazioni successive alla raccolta

Sebbene il sorgo zuccherino sia un'interessante coltura alcoligena da inserire nel panorama agricolo dei Paesi a clima temperato, finora sono stati fatti passi molto modesti in questa direzione. La ragione principale per la mancata penetrazione nel mercato del sorgo come coltura alcoligena va ricondotta all'intervallo di tempo troppo breve che deve intercorrere tra la raccolta della biomassa ed il suo processamento.

Infatti, l'elevata umidità dei culmi al momento della raccolta (70-80%), associata ad un alto contenuto in zuccheri, rende questa matrice facilmente deteriorabile. Una raccolta rapida e tempestiva nonché l'immediato processamento della biomassa diventano, quindi, strategici per ridurre le perdite e prevenire l'irreversibile alterazione della matrice. Al contempo, nelle regioni temperate (e.g. aree a clima mediterraneo) il periodo idoneo alla raccolta è breve, poiché con l'approssimarsi dell'autunno subentrano danni alla coltura a causa dell'allettamento (e.g. per effetto del vento), nonché l'interruzione della crescita e dell'accumulo degli zuccheri per il progressivo abbassamento della temperatura.

Questi fattori hanno di fatto finora precluso l'utilizzo del sorgo zuccherino nei processi industriali per la produzione del bioetanolo. A tal riguardo sono state individuate diverse soluzioni per superare questi limiti operativi.

Una prima strategia prevede di estendere il periodo di raccolta della biomassa, diversificando le coltivazioni asservite all'impianto industriale, in termini di varietà (i.e. a ciclo breve ed a ciclo lungo) ed eventualmente anche di tipo di coltura alcoligena.

Un'ulteriore misura è la conservazione della biomassa e/o dell'estratto zuccherino da essa ottenuto, in condizioni che li preservino dal deterioramento.

## **8.4 Programmi di selezione degli ibridi<sup>32,33,34,35</sup>**

Gli studi sul sorgo zuccherino come coltura saccarifera da introdurre nelle regioni a clima temperato risalgono alla fine del Diciannovesimo secolo. Tali programmi di ricerca sono stati finalizzati tanto al miglioramento quali-quantitativo della produzione di zucchero (e.g. come sciroppo ed in forma cristallina), quanto alla selezione di varietà resistenti alle malattie (i.e. antracnosi delle foglie, fusariosi e marciumi dei culmi).

Le ricerche su questa coltura proseguono anche oggi e hanno principalmente lo scopo di massimizzare la diffusione del sorgo, di ottimizzare l'estrazione degli zuccheri dai culmi e di migliorare il profilo quali-quantitativo del succo ottenuto (i.e. concentrazione di zuccheri, frazione di zuccheri non riducenti e totali, attività dell'enzima invertasi).

Alcune delle principali linee di ricerca sono sviluppate nell'ambito del progetto SWEETFUEL, finanziato dalla Commissione europea nell'ambito del Settimo programma quadro per la ricerca e per lo sviluppo tecnologico.

#### 8.4.1 Selezione per il miglioramento dell'adattamento alle basse temperature

Il ciclo biologico del sorgo è influenzato dalla temperatura nelle fasi di emergenza e di fioritura, nell'allungamento dei culmi e nell'accumulo degli zuccheri. A fronte delle sue caratteristiche, che lo configurano come una pianta macroterma, il sorgo è adatto ad essere coltivato nelle regioni meridionali dell'Europa, mentre trova delle difficoltà a completare il ciclo vegetativo nell'Europa centrale e settentrionale, dove, di conseguenza, le rese produttive sono basse. Il progetto SWEETFUEL affronta questa problematica, selezionando ibridi di sorgo zuccherino, capaci di assicurare, anche nelle più rigide condizioni climatiche dell'Europa centro-settentrionale un'alta resa in biomassa, una germinazione rapida ed omogenea ed una buona resistenza alle malattie. In queste attività progettuali sono coinvolti istituti di ricerca italiani, tedeschi e francesi.

#### 8.4.2 Selezione per il miglioramento dell'adattamento ai climi aridi

Sebbene il sorgo evidenzia una buona risposta agli eventi siccitosi, migliore ad esempio di quella della canna da zucchero, il fabbisogno idrico continua ad essere un agente limitante la resa produttiva di questa coltura, soprattutto nelle regioni aride. La selezione di ibridi che garantiscano elevate rese in zuccheri ed in granella in ambienti aridi è uno degli obiettivi del progetto SWEETFUEL, che prevede delle attività su questa linea di ricerca in India, Messico e Sudafrica.

#### 8.4.3 Selezione per il miglioramento dell'adattamento ai terreni con bassa fertilità

Molte delle aree in cui il sorgo può essere coltivato sono caratterizzate da terreni con reazione acida ed elevati contenuti di alluminio (e.g. savana) e questi fattori esercitano una certa tossicità sulla coltura. Di conseguenza, un importante obiettivo del progetto SWEETFUEL è la selezione di genotipi che siano tolleranti a queste condizioni pedologiche e garantiscano buone rese produttive in termini di biomassa e zuccheri. Le attività di questa linea di ricerca sono condotte in Brasile e Sudafrica.

### **8.5 Esperienze nella coltivazione del sorgo zuccherino condotte nell'UE**

#### Grecia<sup>36,37,38,39,40,41,42,43</sup>

In Grecia il bioetanolo è stato introdotto nel mercato dei prodotti energetici a seguito della Direttiva 2003/30/CE e recentemente l'interesse nei suoi confronti è accresciuto per effetto della Direttiva RES.

Sebbene attualmente in Grecia non vi sia una produzione interna di bioetanolo, il sorgo zuccherino è una delle colture alcoligene più promettenti, poiché fornisce zuccheri semplici direttamente fermentescibili, presenta un'alta efficienza fotosintetica (i.e. pianta C<sub>4</sub>) e richiede modesti apporti di acqua e fertilizzanti.

L'interesse a studiare il sorgo zuccherino per diffonderne la coltivazione in Grecia è testimoniato da numerosi progetti di ricerca, finanziati dalla Commissione europea, ad esempio nell'ambito dei programmi comunitari AIR e FAIR.

Uno degli istituti di ricerca impegnati in questa linea di ricerca è il CRES, che, in collaborazione con la Scuola superiore di studi universitari in campo agronomico di Atene (i.e. Highest Agricultural School of Athens), ha realizzato dei campi sperimentali in diversi contesti territoriali del Paese.

I risultati di queste prove sperimentali confermano anche in Grecia le prestazioni caratteristiche del sorgo zuccherino in ambiente mediterraneo.

Le ricerche di Dalianis *et al.* sulla varietà Keller, seminata con distanza tra le righe di 0,7 m e sulle righe di 5, 10, 15 e 20 cm, hanno evidenziato che la densità di investimento di 71.000 piante/ha (i.e. corrispondente a 20 cm di distanza) è ottimale in termini di produzione di biomassa (circa 113 t/ha, espressa come biomassa fresca) e di sviluppo vegetativo (i.e. numero di foglie e altezza delle piante).

Altre ricerche di Dalianis *et al.*, condotte nei primi anni Novanta, sono state rivolte a valutare l'adattabilità di alcune varietà di sorgo zuccherino a diversi contesti territoriali e con differenti apporti di acqua ed azoto. In particolare sono stati valutati la produzione di biomassa fresca, il contenuto di zucchero nei culmi e lo sviluppo fenologico. Complessivamente il sorgo zuccherino risulta molto adatto alla crescita in diversi ambienti della Grecia, dal nord al sud del Paese e dal livello del mare all'altitudine di 800 m s.l.m.m.. La sua coltivazione può essere condotta in diverse condizioni pedologiche, dai terreni marginali a quelli ad elevata fertilità. Tuttavia, le rese produttive riflettono le caratteristiche del terreno, poiché sono più basse nei contesti marginali (i.e. terreni abbandonati, suoli poveri in sostanza organica) e più elevate nei suoli fertili della Grecia meridionale.

Tra le varietà studiate, la Keller ha fatto registrare le rese migliori in termini di biomassa fresca e zuccheri: 87-144 t/ha e 9-12 t/ha, rispettivamente.

L'irrigazione sembra favorire, sia la produzione di biomassa, sia la resa in zuccheri; invece, l'apporto di azoto sembra non avere effetto su questi parametri. Il contenimento di questi *input* culturali, pertanto, può tradursi in una riduzione dei costi della coltura, senza riflessi sulle rese produttive.

Per quanto riguarda l'effetto dei fattori abiotici sui parametri fisiologici del sorgo, i valori di RUE sono di 3,5 g s.s./MJ PAR ed i valori di WUE di 55 kg/mm di acqua.

Più recentemente, alla fine degli anni Novanta, gli studi del CRES sono stati rivolti anche ad altre varietà (i.e. Sofra, Korral, Colley, MN 1500, Keller) e ad alcuni ibridi di sorgo zuccherino. Queste ricerche hanno evidenziato che le varietà Keller e MN 1500 hanno le prestazioni migliori: 105-115 t/ha come biomassa fresca con una densità di impianto di 110.000 piante/ha.

In queste prove sperimentali è stato anche valutato l'effetto della fertilizzazione su alcuni parametri agronomici, quali l'altezza delle piante e l'indice di area fogliare (6,2 nelle tesi con concimazione, rispetto a 4,4 nelle tesi senza).

Alcuni studi sull'effetto dell'irrigazione sono stati condotti da Dercas *et al.* negli anni 1993-1994 in alcune località della Grecia centrale (i.e., Vagias, Viotia, Kopaida) nell'ambito del programma comunitario AIR. In particolare sono stati testati quattro tesi per l'apporto irriguo (i.e. IH, IM = 1/2 IH, IL = 1/4 IH e IHA = IH fino alla fioritura) e due livelli di concimazione azotata (i.e. NL = 40 kg N/ha e NH = 120 kg N/ha). Nelle prove sperimentali condotte a Vagias nel 1993 la produzione di 12,2 kg/mm non ha evidenziato differenze significative tra le diverse tesi irrigue. Nell'anno successivo le produzioni hanno fatto registrare delle fluttuazioni tra i livelli irrigui più alti (IH, produzione di 7,45 kg/mm) e quelli più bassi (IL, produzione di 11 kg/mm). Tale differenza è stata ricondotta all'assenza di acque sotterranee nel campo sperimentale di Kopaida. In termini di biomassa secca, la produzione con l'apporto irriguo più alto è stata di 3,2 kg/mm in entrambi gli anni di sperimentazione. La fertilizzazione azotata non ha avuto effetti sulle rese produttive in entrambi gli anni di durata della ricerca. Questa evidenza è stata spiegata con gli alti livelli di nutrienti naturalmente presenti nel terreno, adeguati a soddisfare le basse esigenze del sorgo.

#### Italia<sup>44,45,46,47,48</sup>

La produzione di bioetanolo in Italia è molto modesta, a causa della scarsità nel territorio di impianti specificatamente dedicati a questo scopo. Ad oggi la produzione ha luogo soprattutto a partire da matrici di scarto di altre filiere agro-alimentari (e.g. vinacce derivanti dalla produzione del vino, marcomela proveniente dalla lavorazione della frutta).

Di conseguenza la maggior parte del bioetanolo attualmente immesso sul mercato è importata.

La coltura del sorgo è nota in Italia dalla fine degli anni Trenta, quando è stata studiata per le sue applicazioni industriali principalmente nelle regioni settentrionali.

Gli studi sul sorgo zuccherino sono stati incentrati soprattutto sul miglioramento genetico: a partire dagli anni Trenta gli incroci delle linee parentali e la successiva selezione delle generazioni segreganti caratteri specifici sono stati i soli approcci per il miglioramento genetico adottati in Italia. Questo sviluppo piuttosto modesto trova spiegazione nello scarso peso che il sorgo ha avuto finora nel panorama agricolo italiano ed, inoltre, nell'assenza di linee genetiche maschio-sterili prettamente zuccherine.

Ulteriori studi sul sorgo sono stati condotti alla fine degli anni Ottanta e per tutti gli anni

Novanta da A.Biotec su varietà utilizzate negli USA. Le ricerche sono state focalizzate sulla selezione di ibridi con elevato contenuto di zucchero nei culmi e con buon adattamento a completare il ciclo vegetativo nelle condizioni climatiche dell'Italia centro-settentrionale. Questi studi hanno permesso di ottenere un elevato numero di ibridi, tra cui alcune varietà zuccherine, altre da granella, altre ancora da fibra. In particolare tra le varietà zuccherine va segnalato l'ibrido (LP 34 M x LP 113), che ha dato risultati eccellenti, sia come produzione di zucchero, sia come resa in biomassa secca (44 t/ha).

Le prove pluriennali condotte da A.Biotec in diversi contesti territoriali dell'Italia settentrionale, hanno messo in luce come alcune varietà (i.e. Wray, Dale, Keller, Mn 1500, M 81-E, Theis, Rio) siano in grado di dare produzioni in culmi e zuccheri fermentescibili molto elevate, rispettivamente di 55-70 t/ha come biomassa fresca, e di 6-8 t/ha di zuccheri. Tra le varietà testate, quelle più tardive hanno fornito i risultati migliori, poiché hanno beneficiato di un più lungo periodo di crescita. Tuttavia, queste varietà, selezionate per le regioni meridionali del Paese, hanno evidenziato una certa instabilità nelle rese produttive, riconducibile all'effetto delle basse temperature primaverili, all'alta tendenza all'allettamento ed ai forti ritardi accumulati nella gestione dei campi sperimentali, che, talora, non hanno consentito di effettuare la raccolta.

Altre ricerche sul sorgo zuccherino sono state condotte nel periodo 1992-1995 da ETA-Renewable Energy in campi sperimentali situati nel Sud Italia (i.e. Metaponto, Matera), nell'ambito del progetto ECHI-T, finanziato dal Quinto programma quadro per la ricerca e per lo sviluppo tecnologico. Il progetto ha analizzato, a livello di studio di pre-fattibilità, l'opportunità di avviare una produzione integrata di bioetanolo, energia elettrica e mangimi pellettizzati, utilizzando come materia prima la biomassa del sorgo zuccherino. Nel contesto del progetto è stata approfondita anche la relazione tra utilizzo della risorsa idrica, sfruttamento della radiazione solare e produzione di biomassa per il sorgo zuccherino, quando questo è coltivato in un terreno profondo e argilloso ed in un clima caratterizzato da temperature alte ed elevata evapotraspirazione. Questa analisi ha messo in luce come il sorgo zuccherino presenti alti valori di WUE e RUE (4,8 kg/mm and 3,3 g/MJ, rispettivamente) e come in queste condizioni il regime irriguo sia necessario per ottenere delle rese soddisfacenti. Inoltre, l'esito della sperimentazione suggerisce di ricorrere alle varietà precoci con ciclo colturale breve nei contesti collinari e dove la risorsa idrica è scarsa. Nei campi sperimentali lucani è stata confermata, inoltre, una buona tolleranza del sorgo zuccherino alla salinità del terreno. Il periodo che è risultato più indicato per la semina del sorgo zuccherino nell'Italia meridionale si colloca tra la metà di aprile e l'inizio di maggio, mentre le condizioni ideali per la raccolta si raggiungono tra la metà di agosto e l'inizio di settembre. Al momento della raccolta l'umidità della biomassa è di 75-80% e le produzioni ottenute sono state di 35-40 t s.s./ha con un adeguato apporto e di 20-25 t s.s./ha, quando l'apporto idrico è basso.

A partire dall'inizio degli anni Novanta la coltura del sorgo zuccherino è stata oggetto di molteplici ricerche anche da parte delle Università degli Studi di Catania e di Bologna e dell'ENEA. A questo proposito vanno annoverati i progetti comunitari "Sweet Sorghum Network" e "Sorgo zuccherino, una coltura energetica sostenibile per l'Europa. Miglioramento ed ottimizzazione negli aspetti agricoli ed industriali", finanziati dal programma AIR, e "Studi ambientali sul sorgo zuccherino e da fibra, come coltura energetica sostenibile", finanziato nell'ambito del programma FAIR, nonché il progetto nazionale "Tecniche innovative sostenibili di produzione e trasformazione delle colture energetiche e non food - TISEN", finanziato dal MIPAAF. Queste ricerche sono state focalizzate a studiare la risposta del sorgo zuccherino a diversi fattori ambientali e gestioni colturali (e.g. apporti di azoto, efficienza nell'utilizzo della risorsa idrica).

Più recentemente il sorgo è stato al centro dell'interesse per la produzione di granella e foraggio e, nel campo delle fonti rinnovabili, per la produzione di biogas.

Alla fine dello scorso decennio, per effetto della crescente domanda di bioetanolo, il sorgo zuccherino è stato nuovamente valutato come coltura alcoligena, nell'ambito di studi condotti in Piemonte dal C.E.T.A. in collaborazione con la Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Torino; in particolare la ricerca è stata rivolta ad analizzare l'opportunità di conservare gli zuccheri nella biomassa mediante l'insilimento mutuato dalla maicicoltura.

Attualmente questo tema è in corso di approfondimento nel contesto del progetto di ricerca MULTISORGO, finanziato dal MIPAAF e coordinato dal C.E.T.A. nell'ambito della collaborazione con il CRA-RPS di Gorizia e l'ENEA. La biomassa, prodotta in territori diversi per clima e



condizioni pedologiche (i.e. Basilicata e Friuli Venezia Giulia), è insilata e processata per la produzione del bioetanolo di 1<sup>a</sup> generazione dal succo zuccherino e di 2<sup>a</sup> generazione dalla bagassa. Inoltre, i sottoprodotti residuali (i.e. parte della bagassa e la borlanda) sono sottoposti alla digestione anaerobica, per valutare la produzione contestuale di biogas.

#### Spagna<sup>49,50</sup>

In Spagna il sorgo zuccherino è studiato come coltura energetica dedicata a partire dagli anni Ottanta, principalmente da parte del Centro per la ricerca e lo sviluppo in agricoltura di Malaga e dell'Università Politecnica di Madrid.

I progetti più significativi in questo ambito, condotti totalmente o almeno in parte in Spagna, sono i seguenti:

- 1981-1987. "Sorgo zuccherino: studio della coltivazione per la produzione di zucchero e/o bioetanolo in Andalusia" INIA e CAICYT, programma di Agroenergia della Spagna.
- 1990-1993. "Sorgo zuccherino, una coltura energetica sostenibile per l'Europa. Miglioramento ed ottimizzazione negli aspetti agricoli ed industriali", programma AIR Joule della Commissione europea.
- 1993-1995. "Sweet sorghum network", programma AIR della Commissione europea.
- 1997-2000. "Studi ambientali sul sorgo zuccherino e da fibra, come colture energetiche sostenibili", programma FAIR della Commissione europea.
- 2004-2005. "Studio della fattibilità economica relativa alla produzione di bioetanolo da colture energetiche innovative", Ministero dell'educazione e della scienza della Spagna, progetto Profit.
- 2006-2007. "Progetto strategico per promuovere lo sviluppo ed azioni dimostrative in merito alla produzione di energia da colture dedicate in Spagna", Ministero dell'educazione e della scienza della Spagna, progetto Agrobihol.
- 2010-2011. "Iniziativa per promuovere la diffusione della coltivazione del sorgo zuccherino come coltura energetica – SORGOSWEET", Ministero della scienza e dell'innovazione, progetto PlanE.

Nell'ambito dei progetti menzionati sono state condotte delle prove di coltivazione del sorgo zuccherino tra il 36° ed il 41° parallelo, in ambienti con buona disponibilità idrica. I risultati ottenuti indicano che le produzioni delle varietà testate sono influenzate sia dalla latitudine, sia dalle condizioni climatiche. La scelta della varietà è un fattore chiave per un buon esito della coltivazione: le varietà più tardive appaiono più adatte per le regioni meridionali della Spagna, se è disponibile l'irrigazione, mentre le varietà più precoci sono consigliate per le aree mediterranee e continentali.

### 8.6 Esperienze nella coltivazione del sorgo zuccherino condotte in India

In India le principali ricerche sulla coltivazione del sorgo zuccherino sono state condotte da ICRISAT e sono state focalizzate sulla selezione di varietà adatte agli ambienti semi-aridi a clima tropicale, con particolare attenzione alle ricadute socio-economiche di questa coltura.

Gli studi sul sorgo zuccherino, come su altre colture, sono stati avviati più di trenta anni fa per la produzione alimentare e recentemente sono stati rivolti anche al settore energetico, in considerazione dell'obbligo imposto dal Governo indiano di miscelare bioetanolo alla benzina.

Attualmente sul territorio indiano sono presenti due distillerie in cui il bioetanolo è prodotto dal sorgo zuccherino: M/s. Rusni Distilleries Ltd, sita nello stato dell'Andhra Pradesh, e TATA Chemicals Ltd, nello stato del Maharashtra.

La maggior parte dell'esperienza maturata da ICRISAT sul sorgo zuccherino è finalizzata a conciliare la produzione di granella a destinazione alimentare con quella di zucchero per il processamento a bioetanolo, in modo da superare la competizione nota come "Food versus Fuel".

Le principali linee di ricerca di ICRISAT sul sorgo zuccherino riguardano la selezione di varietà ed ibridi, la produzione di sementi, l'analisi dei sistemi colturali e di gestione della coltivazione ed il miglioramento della meccanizzazione e delle operazioni successive alla raccolta. Un ulteriore obiettivo di ICRISAT è di porsi come incubatore tecnologico, per sostenere nuove iniziative imprenditoriali dirette a produrre il bioetanolo da questa coltura.

In questo contesto si inserisce il programma Landrace, che è stato sviluppato per rendere disponibili varietà di sorgo zuccherino con elevato contenuto di zucchero nei culmi, alta resistenza alle malattie, buona adattabilità alle condizioni pedoclimatiche locali (e.g. siccità) e capacità di ricaccio come la canna da zucchero. Inoltre, per rendere il sorgo zuccherino adatto all'utilizzazione industriale, è importante ridurre la sensibilità al fotoperiodo ed alla temperatura, in modo che la coltivazione possa avvenire in diversi periodi dell'anno ed assicurare un approvvigionamento continuo all'impianto di processamento.

Per quanto riguarda le prove sui sistemi colturali, gli studi sono diretti ad ottimizzare le rese ed i profitti, coltivando il sorgo in rotazione con altre colture (e.g. miglio, leguminose).

Per quanto concerne, invece, la gestione della coltivazione, sono in corso delle sperimentazioni di meccanica agraria, rivolte a massimizzare l'efficacia in fase di raccolta e minimizzare al contempo i costi e l'applicazione di *input* colturali (e.g. acqua, fertilizzanti, pesticidi). A questo proposito sono oggetto di indagine la disposizione delle piante in campo, le modalità con cui viene fornita la risorsa idrica e la gestione dei residui colturali (e.g. stoppie).

#### Sintesi del modello di filiera sviluppato da ICRISAT

Il modello di filiera ideato da ICRISAT si basa sulle DCU, dove gli agricoltori conferiscono la biomassa di sorgo zuccherino e la sottopongono ad estrazione in unità di separazione solido-liquido. Nel sistema realizzato da ICRISAT ciascuna DCU ha un bacino di rifornimento di 70 ha.

Le produzioni di biomassa fresca si attestano sulle 30-35 t/ha, mentre la resa di estrazione

presso le DCU è del 65-70%, con perdite stimate nel 5-10%. Il succo ottenuto ha un contenuto in zuccheri che può raggiungere i 17 °Brix. La bagassa è bruciata in una caldaia ed il calore prodotto è utilizzato per concentrare il succo zuccherino fino ad un valore di 60 °Brix, concentrazione a cui è stabile e, dunque, può essere conservato e trasportato all'impianto di produzione del bioetanolo. Indicativamente da una tonnellata di succo si ottengono 170 kg di sciroppo a 60 °Brix. La bagassa non utilizzata per i fabbisogni termici della DCU è venduta o ceduta per usi domestici ed è utilizzata come mangime zootecnico.

In India le condizioni climatiche consentono di avere due cicli produttivi nello stesso anno, di quattro mesi ciascuno: uno durante il monsone estivo, l'altro dopo la sua fine. La semina avviene con distanze di 0,75-0,80 cm tra le file e di 0,10-0,15 cm sulla fila, con una profondità di semina di circa 5 cm. I fertilizzanti (NPK) sono forniti generalmente in tre momenti e l'azoto è applicato anche 30 giorni dopo la semina. Gli apporti idrici forniti alla coltura dipendono dalle specifiche condizioni climatiche. In caso di necessità, sono applicati erbicidi.

In India la meccanizzazione nella coltivazione del sorgo è molto bassa, poiché è molto basso il costo della manodopera. Inoltre, a causa delle limitate disponibilità economiche, gli *input* colturali sono spesso troppo pochi.

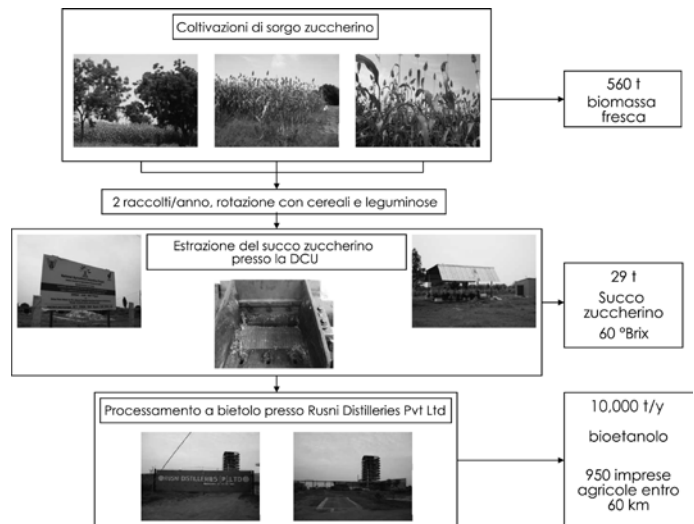


Figure 4: schema del modello di filiera sviluppato da ICRISAT<sup>51</sup>

## 9. DESCRIZIONE DI UN POTENZIALE MODELLO PER L'UE – IMPIANTI DECENTRALIZZATI PER LA PRODUZIONE DI BIOETANOLO

Una delle caratteristiche distintive del sorgo zuccherino come coltura alcoligena è la stretta connessione che consente di creare tra l'impianto di processamento a bioetanolo ed il territorio in cui esso è insediato. Infatti, la biomassa del sorgo zuccherino, essendo ricca in acqua e zuccheri, non può affrontare lunghi trasporti, senza andare incontro a deterioramento e conseguenti perdite di prodotto. Un trasporto entro i 20 km è ritenuto cautelativo da questo punto di vista ed è, pertanto, recepito nel modello di filiera considerato.

Questo forte legame rende il sorgo zuccherino adatto ad alimentare impianti decentralizzati di taglia medio-piccola ed a rinforzare il ruolo che l'agricoltura locale può svolgere nella filiera del bioetanolo.

In questa prospettiva la progettazione di un impianto decentralizzato non può prescindere dalla conoscenza delle caratteristiche intrinseche del territorio in esame, quali, a titolo di esempio, la disponibilità di terreni da asservire alla filiera, le vie di comunicazione disponibili e la struttura delle aziende agricole (e.g. frammentazione fondiaria, ricchezza delle imprese agricole, età degli imprenditori agricoli, propensione all'innovazione).

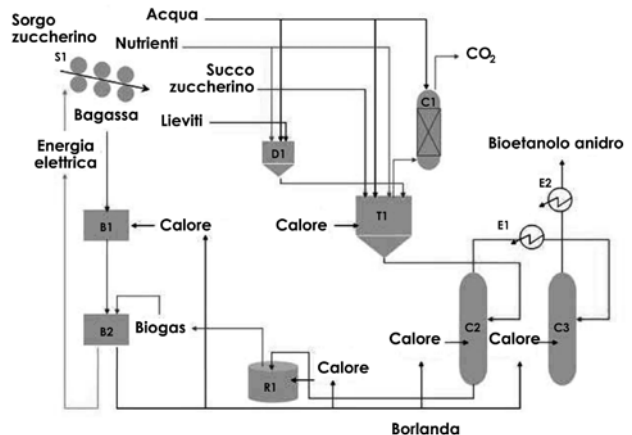


Figure 5: layout di massima della bioraffineria<sup>52</sup>

Nel modello considerato, l'impianto decentralizzato prevede tre linee produttive:

- produzione di bioetanolo, attraverso la fermentazione dell'estratto zuccherino ottenuto dai culmi mediante la separazione solido-liquido;
- valorizzazione energetica della bagassa, sottoprodotto della separazione solido-liquido; la bagassa essiccata è un biocombustibile che alimenta un impianto CHP per la produzione contestuale di energia elettrica e termica;
- valorizzazione energetica della borlanda, sottoprodotto della distillazione; la borlanda rappresenta un co-substrato per la digestione anaerobica ed il biogas ottenuto alimenta un impianto CHP per produrre energia elettrica e termica.

Il layout di massima dell'impianto considerato è riportato nella figura 5.

Sulla base di questi presupposti, l'impianto in esame assume i connotati di una bioraffineria, in cui il bioetanolo è solo uno dei prodotti energetici finali e solo una delle voci di ricavo.

Infatti, il surplus di energia elettrica e calore, eccedenti la copertura dei consumi interni (e.g. per le fasi di essiccazione della bagassa, separazione solido-liquido, fermentazione, distillazione, digestione anaerobica) può essere ceduto e contribuisce all'incremento delle voci di ricavo.

Nella modellizzazione sono state analizzate due taglie di impianto, in modo da fornire già due esemplificazioni adatte a due contesti territoriali differenti.

- capacità produttiva: bioetanolo 10.000 t/anno, superficie agricola asservita 3.700 ha circa;
- capacità produttiva: bioetanolo 3.200 t/anno, superficie agricola asservita 1.200 ha circa.

Le ipotesi di lavoro applicate nella modellizzazione sono le seguenti:

- resa in biomassa fresca: 65 t/ha (umidità 75%);
- resa della separazione solido-liquido: 78%;
- resa della fermentazione: 50%.

Nel corso dell'esposizione dei principali contenuti dei modelli sono stati messi in evidenza alcuni elementi che rappresentano degli importanti spunti di riflessione per la discussione prevista nell'ambito del progetto SWEETHANOL.

### 9.1 Coltivazione del sorgo zuccherino

Nelle regioni a clima mediterraneo la semina si colloca all'inizio di maggio ed è prevista una sola raccolta alla fine del ciclo vegetativo. Per estendere il periodo di raccolta, nell'ottica di dare continuità all'impianto di processamento, si possono diversificare le varietà coltivate nel bacino di approvvigionamento, optando per varietà a ciclo breve ed altre a ciclo lungo. È presumibile che questa strategia consenta di estendere la raccolta a quaranta giorni tra agosto e settembre. Raccolte successive sono sconsigliate nei climi mediterranei, poiché la coltura va incontro a danni da freddo ed arresto nell'accumulo dello zucchero; inoltre, sono più frequenti i casi di allettamento a causa del vento.

Il cantiere di raccolta prevede una falcia-trincia-caricatrice, macchina ampiamente utilizzata nella coltivazione del mais, e quattro trattori muniti di *dumper* (capacità 18 t/*dumper*). Per ogni cantiere è prevista una capacità di lavoro di 15 ettari al giorno, nell'ipotesi che i campi distino dall'azienda agricola non più di 5 km.

Il numero dei cantieri di raccolta varia in funzione della superficie agricola asservita all'impianto: nel modello 1 (3.700 ha) sono necessari almeno sei cantieri, mentre il loro numero scende a due nel modello 2 (1.200 ha).

#### **ARGOMENTO DI DISCUSSIONE: DIFFUSIONE DEL SORGO ZUCCHERINO E DISPONIBILITÀ DI GERMOPLASMI**

Il sorgo zuccherino non appartiene al panorama agricolo europeo e, quindi, la sua introduzione in sostituzione di altri cereali (e.g. mais in regime seccagno) o in terreni attualmente destinati ad altri usi costituisce una criticità.

Inoltre, attualmente nel mercato comunitario sono reperibili poche varietà zuccherine di questo cereale e le varietà disponibili sono in corso di prova alla scala pilota ed in pieno campo.

Alcune varietà, testate in India ed in Cina, sono di particolare interesse perché permettono di conciliare la produzione di granella con quella di zucchero, contribuendo a risolvere il conflitto "Food versus Fuel".

#### **ATTORI DI FILIERA DA COINVOLGERE NELLA DISCUSSIONE**

Imprenditori agricoli, ditte sementiere, associazioni di categoria agricole.

### 9.2 Conservazione e processamento della biomassa e degli zuccheri

Se il sorgo zuccherino non è trinciato durante la raccolta, i culmi sono trasportati interi all'impianto di processamento, dove sono movimentati con una coclea fino al dispositivo preposto al loro sminuzzamento. La biomassa pretrattata va ad alimentare direttamente l'unità di estrazione ed il passaggio è gestito con un elevato livello di automazione, in modo da minimizzare la manodopera richiesta.

In alternativa, il sorgo può essere trinciato già nel corso della raccolta ed in questo caso la biomassa può essere direttamente sottoposta alla fase di estrazione del succo zuccherino.

La tecnologia applicata nell'estrazione è mutuata dalla filiera di lavorazione della canna da zucchero. Il dispositivo adottato è un mulino a cilindri, che può essere verticale (nei dispositivi a bassa capacità) o orizzontale (nei dispositivi ad elevata capacità). Il principio alla base dell'estrazione è l'applicazione

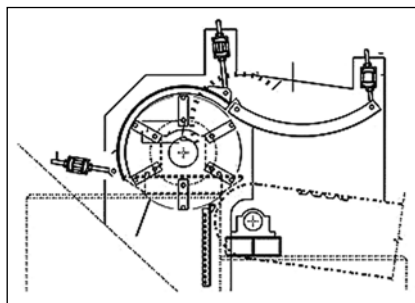


Figure 6: schema di funzionamento del dispositivo per lo sminuzzamento dei culmi di sorgo zuccherino<sup>53</sup>

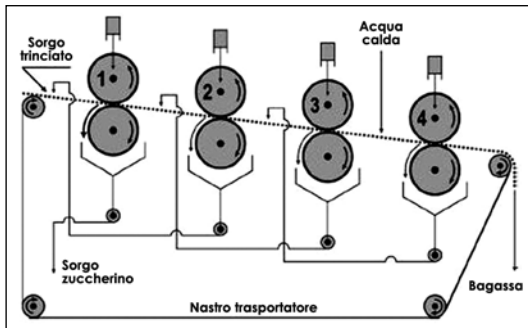


Figure 7: schema di funzionamento di un mulino a quattro coppie di cilindri<sup>54,55</sup>

di una forte pressione tra due cilindri posti in coppia (sistema TRPF). Il numero delle coppie di cilindri varia in funzione della taglia del separatore solido-liquido: nei modelli verticali a capacità modesta si trovano fino a tre coppie di cilindri, mentre nei modelli orizzontali ad alta capacità vi possono essere fino a nove coppie.

La velocità di rotazione dei cilindri è generalmente di 10-12 rpm nei modelli di più piccola taglia, mentre raggiunge le 6-8 rpm nei modelli a capacità elevata. Per favorire la movimentazione degli zuccheri e, dunque, l'efficienza dell'estrazione si aggiunge acqua calda (circa 65 °C, ge-

neralmente nella quantità del 10% v/v) prima del passaggio della biomassa attraverso l'ultima coppia di cilindri.

Lo schema di funzionamento di un mulino a cilindri è riportato nella figura 7.

Oltre agli zuccheri, il succo ottenuto dal sorgo contiene delle componenti solubili (e.g. antociani, clorofilla) ed altre insolubili (e.g. granuli di amido), per cui è necessaria una fase preventiva di filtrazione. Una buona qualità del succo, inoltre, può essere ottenuta sottoponendolo a bollitura. Nel corso di questa operazione le componenti insolubili si separano sottoforma di schiuma, accumulandosi nella fase superiore del mezzo e, dunque, possono essere allontanate per scrematura. Il riscaldamento del succo zuccherino deve essere graduale, in modo che le componenti che diventano insolubili progressivamente si separino e possano essere rapidamente allontanate.

Per quanto riguarda la tempistica del processamento, la diversificazione delle varietà coltivate a servizio dell'impianto contribuisce ad estendere il periodo della raccolta, ma non è di per sé risolutiva. Di conseguenza sono in corso di valutazione alcune strategie per garantire la continuità dell'approvvigionamento degli impianti nel corso dell'intero anno solare, ossia per 330 giorni all'anno con un solo fermo impianto per la manutenzione ordinaria (indicativamente nel mese di agosto, prima della raccolta).

Sono stati analizzati due approcci che consentono di raggiungere questo obiettivo:

- A. insilamento della biomassa e processamento della biomassa desilata nei mesi successivi alla raccolta (da ottobre a luglio);
- B. concentrazione e conservazione del succo zuccherino separato nel periodo della raccolta e suo utilizzo previa diluizione.

### Strategia A

Nel caso si opti per l'insilamento della biomassa, nel territorio in cui si intende collocare l'impianto deve essere disponibile un'adeguata capacità in termini di sili. Preme sottolineare che a questo scopo possono essere utilizzate le strutture a servizio della maidicoltura e della zootecnia.

La dimensione del silo da destinare alla conservazione del sorgo deve essere compatibile con il suo esaurimento in un breve arco di tempo (i.e. al massimo un giorno), poiché a seguito della sua apertura si perdono le condizioni di anaerobiosi, che sono alla base della preservazione degli zuccheri. Nella modelli esposti in questa sede, il silo di riferimento ha una capacità di 720 m<sup>3</sup>.

In questa ipotesi il numero di sili da asservire alla filiera dipende dalla taglia dell'impianto: nel modello 1 sono richiesti circa 510 sili, con un ritmo di desilamento di tre sili in due giorni, mentre nel modello 2 ne sono richiesti circa 160, con un ritmo di desilamento di un silo al giorno.

La criticità di questa strategia riguarda la difficoltà nel preservare gli zuccheri. Infatti, normalmente gli zuccheri sono velocemente degradati dai microrganismi e la conseguente acidificazione della matrice è una delle condizioni necessarie per la stabilizzazione e la conservazione della biomassa stessa.

Per conciliare la stabilizzazione della biomassa con la preservazione degli zuccheri si può ricorrere all'applicazione di additivi. In base alle indicazioni finora disponibili, l'utilizzo di acido formico nella dose del 0,4-0,5% fornisce dei risultati promettenti, poiché la biomassa nel corso del desilamento rimane stabile per almeno 50 ore, che è un tempo compatibile con la logistica di rifornimento ipotizzata per l'impianto.

Il punto debole del ricorso all'acido formico è insito nei suoi costi di approvvigionamento e di distribuzione, che incidono in misura significativa sul costo di produzione della biomassa da processare.

### Strategia B

La concentrazione rende l'estratto zuccherino inadatto allo svolgersi di attività microbiche e, dunque, lo preserva dal deterioramento, permettendone l'utilizzo per un periodo lungo fino ad undici mesi.

I valori di concentrazione degli zuccheri, ottenuti alla fine di questa fase, si riflettono nel tempo per cui il succo può essere conservato e, quindi, nella pianificazione della logistica dei rifornimenti.

Al momento dell'estrazione la concentrazione degli zuccheri è indicativamente di 12 °Brix:

- la concentrazione fino a 45 °Brix permette la conservazione del succo per un mese a 20 °C;
- la concentrazione fino a 60-65 °Brix consente la conservazione del succo per un periodo di tre mesi a temperatura ambiente;
- la concentrazione fino a 85 °Brix permette di estendere la conservazione del succo fino ad undici mesi a temperatura ambiente.

Dal momento che la concentrazione del succo zuccherino è energivora, e quindi dispendiosa, nel pianificare la logistica e la gestione degli approvvigionamenti è strategico puntare sulla differenziazione dei livelli di concentrazione a cui sottoporre le diverse aliquote di succo, per assicurarne la disponibilità nell'intero arco dell'anno.

L'attrezzatura necessaria per questa sezione dell'impianto è costituita da un serbatoio di sedimentazione, da una pompa alimentata da un motore per la movimentazione dell'estratto zuccherino, da una vasca a fondo piano in alluminio o in acciaio inox e da un generatore di energia termica alimentato a biomasse.

Al livello attuale di elaborazione, nei modelli è applicata la strategia A. Tuttavia, nel corso della discussione funzionale ad ottimizzare il modello per la sua penetrazione nell'UE, questo tema sarà approfondito con gli attori di filiera interessati.

### **ARGOMENTO DI DISCUSSIONE: PERIODO DI RACCOLTA E PROCESSAMENTO DEL SORGO ZUCCHERINO PER IL RIFORNIMENTO DELL'IMPIANTO DI BIOETANOLO**

Sono in corso di valutazione due strategie per ampliare il periodo di rifornimento della bioraffineria oltre i mesi in cui avviene la raccolta:

- A. insilamento della biomassa (presso le singole aziende agricole o presso un sito unico);
- B. concentrazione dell'estratto zuccherino.

Nella discussione del modello da proporre nell'UE questo argomento sarà approfondito con gli attori di filiera interessati, analizzando entrambi gli approcci e focalizzando l'attenzione sugli aspetti economici (e.g. costi di investimento, costi di gestione), logistici (e.g. insilamento presso le singole aziende o in un sito centralizzato) e gestionali (e.g. conservazione della bagassa) con le conseguenti differenti attribuzioni di responsabilità per la conservazione degli zuccheri.

### **ATTORI DI FILIERA DA COINVOLGERE NELLA DISCUSSIONE**

Imprenditori agricoli, ditte sementiere, associazioni di categoria agricole, processisti e PMI.

### 9.3 Fermentazione e distillazione

Nella modellizzazione esposta si propone il ricorso alla fermentazione *in batch*, poiché si avvale di tecnologie più semplici, quindi più adatte all'inserimento in impianti di taglia medio-piccola ed in grado di consentire una facile limitazione di eventuali contaminazioni batteriche.

L'estratto zuccherino è preventivamente pastorizzato a 100 °C per 30 minuti.

La fermentazione è condotta in reattori verticali cilindrici a fondo conico, realizzati in acciaio inox e dotati di un circuito di refrigerazione e di un elettroagitatore ad albero con pala ad elica marina (400 rpm). È previsto l'impiego di *Saccharomyces cerevisiae*, impostando le condizioni ottimali per le sue attività metaboliche: 30-32 °C, pH 4.0-4.5. La fase di fermentazione è protratta per 22 ore e la concentrazione finale di bioetanolo è del 10% v/v.

Per quanto riguarda la distillazione, è ipotizzato un impianto a triplo effetto. L'etanolo azeotropico ottenuto è sottoposto alla rettifica fino alla concentrazione del 96% v/v e, successivamente, alla disidratazione con un impianto a setacci molecolari di zeolite. La sezione di distillazione-rettifica-disidratazione complessivamente consta, dunque, di sei colonne.

Al termine del processamento è prodotto bioetanolo anidro (i.e. 99,8% v/v), che può essere miscelato alla benzina o convertito in ETBE.



Figura 8: bagassa ottenuta dal processamento del sorgo zuccherino<sup>56</sup>

### 9.4 Valorizzazione dei sottoprodotti

Tra le opzioni descritte nel paragrafo 6.3.3 del presente manuale, nei modelli esposti i sottoprodotti sono indirizzati alla valorizzazione energetica ai fini dell'autoconsumo e della vendita del *surplus* di energia elettrica e termica.

#### Bagassa

La bagassa, ottenuta nel corso dell'estrazione del succo zuccherino dalla biomassa fresca e da quella insilata, presenta un profilo qualitativo compatibile con l'impiego come biocombustibile.

Il solo condizionamento richiesto è l'essiccazione, poiché al termine dell'estrazione questo sottoprodotto ha una umidità elevata (approssimativamente 50%). L'essiccazione consente di ottenere un biocombustibile con un tenore di umidità del 10% ed un PCI di 16,0-17,0 GJ/t, nonché di semplificare le eventuali fasi di conservazione e stoccaggio.

La principale criticità della combustione della bagassa nel bruciatore di un impianto CHP è rappresentata dall'elevato contenuto in ceneri, ricche in cloro e zolfo. L'impiego, comunque, non è interdetto, ma è subordinato ad una appropriata scelta impiantistica, che deve focalizzare su sistemi in grado di gestire biocombustibili con elevato contenuto in ceneri, dalle tendenziali caratteristiche bassofondenti.

La scelta dell'impianto CHP, in termini di potenza e tecnologia, varia in funzione del modello:

- nel modello 1, la quantità di bagassa da bruciare richiede una potenza di 6,4 MW<sub>el</sub> e si suggerisce di optare per un impianto CHP basato sul ciclo Rankine-Hirn (i.e. con turbina a vapore,  $\mu_{el}$  25%,  $\mu_t$  60%);
- nel modello 2, la quantità di bagassa richiede una potenza di 1,0 MW<sub>el</sub> e si suggerisce di optare per un impianto CHP basato sul ciclo Rankine-ORC ( $\mu_{el}$  14,4%,  $\mu_t$  80%).

## Borlanda

Il profilo chimico della borlanda, ottenuta dalla distillazione del bioetanolo a partire dalla biomassa fresca e da quella insilata, è compatibile con il suo utilizzo come co-substrato nella digestione anaerobica: infatti, il COD è mediamente di 65-70 gO<sub>2</sub>/l e la sostanza secca è del 20-25%.

La criticità di questa forma di valorizzazione energetica è a carico del rapporto C/N, che può essere corretto, per eccesso o per difetto a seconda delle circostanze, mediante la miscelazione con altri substrati. A questo scopo si possono impiegare deiezioni e siero dell'industria lattiero-casearia, per aumentare la presenza di azoto, oppure si può utilizzare la biomassa lignocellulosa, per ridurre l'apporto di azoto al digestore.

Analogamente, nel caso il contenuto di sostanza secca della borlanda sia eccessivamente basso, il ricorso alla miscelazione con altri substrati può correggere questo parametro nella matrice organica complessivamente avviata alla digestione anaerobica.

L'impiantistica richiesta per questa tipologia di valorizzazione della borlanda comprende sostanzialmente il digestore anaerobico ed un sistema CHP per la combustione del biogas prodotto (e.g. motore a ciclo diesel adattato). La capacità del digestore e la potenza del motore variano in funzione del modello:

- nel modello 1, i volumi di borlanda richiedono una capacità del digestore di 15.000 m<sup>3</sup> ed il biogas ottenuto è combusto in uno o più motori per la potenza complessiva di 4 MW<sub>el</sub> ( $\mu_{el}$  41%,  $\mu_t$  45%);
- nel modello 2, i volumi di borlanda richiedono una capacità del digestore di 4.400 m<sup>3</sup> ed il biogas è combusto in un motore da 1,2 MW<sub>el</sub> ( $\mu_{el}$  41%,  $\mu_t$  45%).

In queste ipotesi, i fabbisogni energetici della bioraffineria sono coperti con l'energia termica ed elettrica ottenuta dalla valorizzazione della bagassa e della borlanda.

Il surplus energetico, che può essere venduto a terzi, dipende dal modello:

- nel modello 1, il surplus di energia elettrica è del 83%, il surplus di energia termica è del 43%;
- nel modello 2, il surplus di energia elettrica è del 77%, il surplus di energia termica è del 43%;

Altre forme di valorizzazione prevedono il recupero di questi materiali come fertilizzanti (i.e. bagassa: N 0,45%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,33%, K<sub>2</sub>O 0,71%; borlanda: N 0,2%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,22%, K<sub>2</sub>O 0,30%), anche mediante il compostaggio; in alternativa, dalla borlanda possono essere separati composti ad elevato valore commerciale (e.g. bioplastiche, biopolimeri, antiossidanti). In questo scenario, i consumi interni della bioraffineria possono essere soddisfatti da altri biocombustibili (e.g. legno, residui colturali).

La forma ottimale di valorizzazione dei sottoprodotti è uno degli argomenti su cui verterà la discussione del modello da introdurre nell'UE per la produzione di bioetanolo dal sorgo zuccherino.

### ARGOMENTO DI DISCUSSIONE: VALORIZZAZIONE DEI SOTTOPRODOTTI

Le forme di valorizzazione dei sottoprodotti del processamento del sorgo zuccherino a bioetanolo sono molteplici, tra cui per esempio:

- conversione in energia elettrica e termica;
- produzione di mangimi per la zootecnia;
- separazione di composti chimici ad elevato valore commerciale (e.g. bioplastiche, biopolimeri, antiossidanti).

Nella discussione del modello da proporre nell'UE questo tema sarà approfondito con gli attori di filiera interessati, analizzando le strategie alternative, in termini di bilancio energetico e sostenibilità del bioetanolo ottenuto, nonché di fattibilità tecnica ed economica. Un importante ruolo è inoltre demandato al decisore pubblico stante la necessità di comprendere al meglio la possibilità di utilizzo energetico dei sottoprodotti e il contestuale accesso alle forme di incentivazione, nonché la corretta gestione dei residui della digestione anaerobica (digestato).

### ATTORI DI FILIERA DA COINVOLGERE NELLA DISCUSSIONE

Imprenditori agricoli, associazioni di categoria agricole, processisti, PMI, legoslatore.



## 9.5 Analisi energetica

Nell'analisi energetica sono stati inclusi i seguenti consumi diretti ed indiretti:

- consumi diretti: carburanti, energia elettrica e gas naturale per l'alimentazione dei macchinari agricoli e per il funzionamento delle diverse sezioni della bioraffineria (tre linee produttive, inclusa la valorizzazione dei sottoprodotti), nell'ipotesi che la distanza massima tra l'impianto e le aziende agricole sia di 20 km;
- consumi indiretti: produzione, confezionamento, trasporto e stoccaggio dei fertilizzanti, degli erbicidi, degli additivi (i.e. acido formico per l'insilamento), dei semi, dei nutrienti per la fermentazione, manodopera, trasporto e manutenzione dei macchinari agricoli e delle attrezzature della bioraffineria, considerando il rispettivo ciclo di vita medio.

I consumi totali delle fasi agricola e di insilamento sono in media di 24,0 GJ/ha (Tabella 5), ma questo valore può subire delle oscillazioni significative in risposta al variare delle tecniche colturali applicate (e.g. quantità di *input* colturali) e delle distanze coperte (i.e. non superiori a 20 km).

La fase di processamento a bioetanolo richiede 10,5 GJ/t, valore che corrisponde al 39% del PCI del bioetanolo (27 GJ/t). Le sezioni di distillazione e disidratazione sono le più energivore e rappresentano il 92% dei consumi totali di questa fase (Tabella 6).

Il bilancio energetico (i.e. rapporto tra il PCI del bioetanolo e consumi per la sua produzione, *output/input*) è stato quantificato includendo nel calcolo il contenuto energetico dei sottoprodotti per la quota parte che è impiegata nel processo produttivo.

Il valore ottenuto per il bilancio energetico varia in funzione del modello: nel modello 1 il rapporto *output/input* è 1,92, nel modello 2 è 1,70.

	Macchinari agricoli MJ/ha	Carburanti e lubrificanti MJ/ha	Altro* MJ/ha
<b>Fase agricola</b>			
<b>Preparazione del letto di semina</b>	316	3.302	-
<b>Diserbo</b>	60	455	714
<b>Fertilizzazione</b>	101	682	6.111
<b>Semina</b>	75	455	305
<b>Raccolta</b>	154	2.314	-
<b>Trasporto</b>	170	1.337	-
<b>Fase di insilamento</b>			
Compressione della biomassa ed applicazione degli additivi	136	1.007	6.240
<b>Totale</b>	<b>1.012</b>	<b>9.552</b>	<b>13.370</b>
<b>CONSUMO ENERGETICO TOTALE</b>			<b>23.934</b>
* fertilizzanti, erbicidi, sementi, additive (i.e. acido formico)			

Tabella 5: consumi energetici delle fasi agricole e di insilamento per l'uso del sorgo zuccherino come coltura alcoligena<sup>57</sup>

Fase di processamento	Energia termica GJ/t	Energia elettrica GJ/t	Consumi totali GJ/t
<b>Separazione solido-liquido</b>	-	0,70	0,70
<b>Fermentazione</b>	0,04	0,11	0,15
<b>Distillazione</b>	6,94	0,37	7,31
<b>Disidratazione</b>	2,20	0,12	2,32
<b>CONSUMO ENERGETICO TOTALE</b>	<b>9,18</b>	<b>1,30</b>	<b>10,48</b>

Tabella 6: consumi energetici della fase di processamento per l'uso del sorgo zuccherino come coltura alcoligena<sup>58</sup>

## 9.6 Analisi economica

Nell'analisi economica sono state considerate le principali voci di costo e di ricavo ed è stata applicata l'ipotesi che la distanza tra le aziende agricole e l'impianto di processamento non superi i 20 km.

Le voci di costo incluse nell'analisi sono:

- **fase agricola:** preparazione del letto di semina (i.e. aratura ed erpicatura), diserbo, fertilizzazione, semina, irrigazione, raccolta e trasporto della biomassa trinciata fino al sito di insilamento;
- **fase di insilamento:** compressione della biomassa ed applicazione degli additivi, acquisto degli additivi (i.e. acido formico);
- **fase di processamento:** costi di investimento (i.e. realizzazione delle opere edili, acquisto ed installazione delle attrezzature tecnologiche, costi tecnici, tra cui lo studio di fattibilità e la progettazione dell'impianto, spese generali, imprevisti), costi di gestione (i.e. acquisto delle materie prime, O&M, prodotti di consumo, ammortamenti, interessi passivi); i consumi energetici non sono stati inclusi nell'analisi, poiché nella modellizzazione eseguita sono coperti con i sottoprodotti.

Le fasi agricole e di insilamento della biomassa complessivamente incidono con un costo di 1.000-1.500 €/ha. L'ampiezza dell'intervallo è dovuta soprattutto alla fase agricola. Infatti, dal momento che il sorgo può essere coltivato in tipologie di suolo molto diverse ed in differenti condizioni ambientali, gli *input* colturali richiesti (i.e. quantità di fertilizzanti, apporto idrico) possono variare significativamente. Il costo colturale, dunque, deve essere quantificato in base alle condizioni specifiche di ogni area.

Un altro elemento, che contribuisce a spiegare l'ampiezza dell'intervallo indicato, è l'incidenza del costo per l'acquisto dell'acido formico, che varia in funzione della quantità acquistata e, dunque, dalla modalità con cui è stata organizzata la fase di insilamento. Infatti, nell'ipotesi di accentrare l'insilamento in un sito unico, a cui afferiscono tutte le aziende agricole coinvolte nella filiera, è plausibile che il prezzo dell'acido formico sia inferiore a quello che ogni agricoltore potrebbe ottenere a seguito di una richiesta individuale.

La quantificazione del costo di queste fasi sarà, pertanto, uno degli argomenti da approfondire nel corso delle discussioni su questa filiera.

Per quanto riguarda la fase di processamento, i costi di investimento dipendono dalla taglia dell'impianto e beneficiano dell'economia di scala; dunque, gli impianti di taglia inferiore hanno dei costi in proporzione più alti degli impianti di dimensione maggiore.

Nelle stime riportate nel presente manuale non sono state incluse le voci per l'acquisto dei terreni, per l'ottenimento di licenze ed eventuali brevetti e per la manutenzione straordinaria.

I costi di investimento sono stimati in 22-25 milioni di euro per l'impianto da 10.000 t/anno ed in 13-15 milioni di euro per l'impianto da 3.200 t/anno.

A parità di taglia di impianto, la variabilità dei costi è dovuta soprattutto alle scelte tecnologiche adottate. In particolare le sezioni, che contribuiscono maggiormente all'ampiezza dell'intervallo, sono la separazione solido-liquido (i.e. il prezzo dei dispositivi cresce all'aumentare del numero delle coppie di cilindri e dell'automazione), la distillazione (i.e. il prezzo dell'impianto aumenta al crescere del numero delle colonne, per beneficiare del multiplo effetto e ridurre i costi energetici) e la valorizzazione dei sottoprodotti (i.e. caratteristiche del digestore anaerobico e degli impianti CHP).

Analogamente anche i costi di gestione variano in funzione della taglia dell'impianto: nel modello 1 i costi annuali di gestione sono stimati in 150-200 €/t, mentre nel modello 2 sono più alti, indicativamente 300-350 €/t.

Le voci di ricavo incluse nell'analisi economica sono: la vendita del bioetanolo, la cessione dell'energia elettrica alla rete di distribuzione, la vendita dei Certificati Verdi e la vendita dell'energia termica attraverso una rete di teleriscaldamento.

In questa sede le voci di ricavo non sono state quantificate, poiché i loro valori sono molto differenti tra i diversi Paesi Membri, in relazione alle diverse politiche di sostegno che i Governi hanno messo in atto a favore del bioetanolo e delle FER in generale, che si riflettono in condizioni di mercato specifiche per ogni Paese.

Ne consegue che la quantificazione precisa di queste voci sarà uno dei temi della discussione prevista nel progetto SWEETHANOL. I valori ottenuti nei diversi Paesi del consorzio saranno confrontati, per mettere in luce il riflesso delle politiche nazionali sulla profittabilità delle iniziative imprenditoriali in questo settore.

#### ARGOMENTO DI DISCUSSIONE: ANALISI DEI COSTI E DEI RICAVI

I valori dei costi e dei ricavi sono soggetti ad una forte variabilità tra i diversi Paesi Membri, per effetto delle differenti politiche di sostegno che plasmano i relativi mercati interni dei prodotti energetici.

Di conseguenza tutte le voci saranno quantificate grazie al confronto con tutti gli attori di filiera.

#### ATTORI DI FILIERA DA COINVOLGERE NELLA DISCUSSIONE

Imprenditori agricoli, associazione di categoria agricole, ditte sementiere, processisti, PMI, rappresentanti delle agenzie per l'energia, amministratori pubblici, rappresentanti delle autorità pubbliche, investitori.

### 9.7 Sostenibilità della produzione del bioetanolo nell'UE

Le Direttive del 2009 hanno introdotto dei criteri di sostenibilità, a cui devono assoggettarsi tutti i biocarburanti, con la finalità di assicurare un reale risparmio nelle emissioni di GHGs a seguito del loro utilizzo.

Alla luce delle indicazioni comunitarie, è stato calcolato il risparmio nelle emissioni di GHGs, che può essere ascritto al bioetanolo prodotto dal sorgo zuccherino nel modello decentratizzato proposto nel progetto SWEETHANOL.

Nel calcolo è stata adottata la metodologia riportata nell'Allegato V, parti C e D della Direttiva RES.

Il risparmio stimato per le emissioni di GHGs dipende dalla taglia della bioraffineria: 71% nel modello 1, 70% nel modello 2.

Il risparmio minimo ammesso per il bioetanolo ai sensi della Direttiva RES è attualmente del 35%; questo valore è destinato a crescere nei prossimi anni: nel 2017 dovrà essere del 50% e nel 2018 del 60%.

I modelli considerati consentono di produrre bioetanolo sostenibile ai sensi della Direttiva RES, sia rispetto alle indicazioni attuali, sia rispetto a quelle imposte al 2017 ed al 2018.

I dettagli relativi al calcolo eseguito sono riportati nella Tabella 7.

Voci di emissione di GHGs	Modello 1 gCO <sub>2</sub> /MJ	Modello 2 gCO <sub>2</sub> /MJ
Fase agricola e di insilamento (e <sub>ec</sub> )	11,2	12,2
Variazione nella destinazione d'uso del suolo (e <sub>s</sub> ) *	0	0
Fase di processamento (e <sub>p</sub> )	11,4	12,5
Trasporto e distribuzione del bioetanolo (e <sub>td</sub> ) **	2	2
Utilizzo del bioetanolo (e <sub>v</sub> )	0	0
<b>TOTALE</b>	<b>24,6</b>	<b>24,7</b>

\* Nell'ipotesi che siano convertiti a sorgo zuccherino i terreni investiti a mais in regime seccagno  
 \*\* Parte D della Direttiva RES

Tabella 7: valori utilizzati nel calcolo del risparmio nelle emissioni di GHGs, ai sensi della Direttiva RES<sup>59</sup>

La verifica dei valori ottenuti nella stima riportata è uno degli argomenti su cui sarà incentrata la discussione del modello da proporre per l'UE. In particolare, sarà introdotta l'ipotesi di coltivare il sorgo zuccherino in terreni marginali, dove la produzione alimentare è interdetta, avvalendosi del *bonus* di 29 gCO<sub>2</sub>/MJ, fissato dalla Direttiva RES ed attualmente non considerato nel calcolo.

### **ARGOMENTO DI DISCUSSIONE: RISPARMIO NELLE EMISSIONI DI GHGs AI SENSI DELLA DIRETTIVA RES**

Un risparmio minimo del 35% nelle emissioni di GHGs è il requisito che il bioetanolo deve rispettare per accedere alla defiscalizzazione e per essere conteggiato ai fini delle percentuali richieste al 2020 per la sostituzione dei prodotti petroliferi con le FER.

Di conseguenza nei prossimi anni la domanda di "bioetanolo sostenibile" è destinata a crescere.

Nel valutare le opzioni alternative per alcuni segmenti della filiera (e.g. strategie di conservazione degli zuccheri e di valorizzazione dei sottoprodotti), saranno considerate le loro ripercussioni sul calcolo del risparmio nelle emissioni di GHGs del bioetanolo ottenuto.

A questo scopo sarà applicata la metodologia inclusa nelle parti C e D dell'Allegato V della Direttiva RES, in considerazione anche dei risultati del progetto BIOGRACE, finanziato dal programma Intelligent Energy Europe.

La discussione di questo tema sarà affrontata con gli attori di filiera competenti in materia, analizzando in dettaglio tutti i parametri del calcolo.

#### **ATTORI DI FILIERA DA COINVOLGERE NELLA DISCUSSIONE**

Processisti e PMI, rappresentanti delle agenzie per l'energia.

Un altro elemento di criticità, che riguarda la sfera della sostenibilità del bioetanolo di 1<sup>a</sup> generazione, è la competizione per l'utilizzo dei prodotti agricoli e, in definitiva, per la destinazione d'uso delle superfici agricole, in quanto le filiere alimentari e quelle energetiche processano la medesima coltura agricola.

La questione cosiddetta "Food versus Fuel" negli ultimi anni ha avuto un'importante enfasi mediatica.

Nel 2008, infatti, l'impennata dei prezzi dei prodotti agricoli ha posto al centro di un acceso dibattito l'impatto del bioetanolo sulle quotazioni dei cereali.

Sebbene molteplici concause abbiano contribuito a questo incremento (e.g. speculazioni sui *futures*, eventi siccitosi in alcune regioni cerealicole, cambiamento delle abitudini alimentari nei Paesi emergenti), l'incidenza della filiera del bioetanolo è stata percepita dall'opinione pubblica come il fattore principale e l'idea, che è stata diffusa, talora anche per effetto di alcune strumentalizzazioni, è che "il bioetanolo stia affamando il mondo". Questa percezione attualmente non trova pieno riscontro nella realtà.

In ogni caso, per risolvere la questione "Food versus Fuel", una soluzione può essere ricercata in un compromesso che concili entrambe le richieste da parte di una popolazione in costante crescita ed alla ricerca di un maggiore livello di benessere.

L'utilizzo del sorgo zuccherino permette di raggiungere questo compromesso attraverso diverse strategie. Un approccio è quello di sfruttare la rusticità del sorgo, per destinare alla sua coltivazione i terreni marginali. In alternativa l'ampia disponibilità di genotipi consente di selezionare delle varietà, che consentano di produrre sugli stessi terreni, sia granella (i.e. Food), sia zuccheri (i.e. Fuel). Non ultimo, l'ottimizzazione delle tecnologie per la produzione di bioetanolo di 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> generazione permetterà nei prossimi anni di processare a bioetanolo anche sottoprodotti e scarti della filiera, attualmente smaltiti come rifiuti.

Per esprimere queste potenzialità sono in corso di svolgimento diverse attività di R&S, dirette, a titolo di esempio, ad ottimizzare la raccolta in campo per il recupero sia della granella, sia dei culmi.

Nel corso della discussione del modello da proporre nell'UE saranno recepiti suggerimenti per focalizzare le ricerche in corso sui punti ritenuti più critici dagli attori di filiera.

## 10. ESPERIENZE MATURATE NEL CORSO DELLE VISITE

La principale strategia, adottata per consolidare le conoscenze in merito alla produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino, è il confronto con le realtà in cui questa filiera è già attiva. In questa prospettiva sono state realizzate delle visite presso degli istituti di ricerca in campo agrario, dove sono selezionati germoplasmidi di sorgo zuccherino, e presso degli impianti alla scala industriale, in cui questa coltura è processata per produrre il bioetanolo.

Alcune delle visite sono state svolte al di fuori dei confini dell'UE, poiché questa filiera non è ancora stata avviata nei Paesi Membri dove il sorgo potrebbe essere coltivato, a causa di alcune barriere non-tecnologiche, che il progetto SWEETHANOL intende rimuovere.

Le visite sono state svolte nei mesi di ottobre e novembre 2010.

Le informazioni acquisite, riportate nei seguenti paragrafi in forma concisa, costituiscono una parte fondamentale del *background* per la discussione in merito al modello proposto e, quindi, per l'avvio di iniziative imprenditoriali in questo settore.

### 10.1 Esperienze maturate nel corso delle visite in India

L'India è stata scelta come meta per le visite di studio, in quanto è uno dei pochi Paesi in cui il sorgo zuccherino è utilizzato come coltura alcoligena. Nel novembre del 2007 ad Hyderabad, nello stato dell'Andhra Pradesh, è stata avviata l'attività delle M/s. Rusni Distilleries Ltd e nel dicembre 2008 è stato inaugurato l'impianto della TATA Chemicals Ltd a Nanded, nello stato del Maharashtra.

A questo proposito, tuttavia, va sottolineato che in India la filiera dei biocarburanti ha una priorità bassa rispetto a quella della produzione di alimenti, poiché un quarto della popolazione si pone al di sotto della soglia della povertà. Ne consegue che in questo Paese la strategia in materia di biocarburanti punta a sfruttare delle risorse non valorizzabili nell'ambito delle filiere alimentari.

La scelta del sorgo zuccherino come coltura alcoligena è coerente con questa strategia, poiché gli agricoltori possono produrre al contempo granella, da destinare alla produzione di alimenti, e zucchero, da processare a bioetanolo.

Il Ministero indiano del petrolio e del gas naturale ha avviato un programma che dal 2003 impone l'impiego del bioetanolo in miscela al 5% v/v con la benzina. Per effetto di questo programma ad aprile del 2009 si stima siano stati immessi sul mercato circa 540 milioni di litri di bioetanolo.

L'applicazione del programma ministeriale ha fatto registrare dei ritardi, riconducibili alla forte pressione fiscale, che rende antieconomica la commercializzazione del bioetanolo. Infatti, il Governo indiano non ha previsto alcuna forma di agevolazione finanziaria o fiscale per la produzione o la commercializzazione del bioetanolo puro o in miscela con la benzina.

Agli zuccherifici, invece, il Fondo nazionale per la diffusione della canna da zucchero concede sussidi e prestiti agevolati (i.e. tasso di interesse di due punti percentuali al di sotto del tasso normalmente applicato sul mercato), per coprire il costo di realizzazione della linea per la produzione del bioetanolo fino ad un massimo del 40%.

Per effetto di questa misura di aiuto, oltre 115 delle 320 distillerie presenti in India hanno implementato i propri impianti per produrre bioetanolo, facendo totalizzare una capacità produttiva su base annua di 1,5 miliardi di litri di biocarburante. La principale materia prima utilizzata è costituita dai sottoprodotti della produzione dello zucchero dalla canna da zucchero, mentre il ricorso ad altre matrici, tra cui anche il sorgo zuccherino, è ancora marginale.

L'interesse del Governo indiano nei confronti del sorgo zuccherino è testimoniato dal sostegno economico offerto alle ricerche scientifiche dirette ad identificare delle varietà idonee ad essere coltivate nel Paese; tra gli istituti che beneficiano di tali sostegni va annoverato ICRISAT.

ICRISAT ha la sede principale ad Hyderabad, nello stato dell'Andhra Pradesh. La *mission* di questo istituto è di "aiutare con l'agricoltura 600 milioni di persone al di sotto della soglia della povertà a vincere la fame ed a migliorare la qualità delle condizioni di vita e dell'ambiente".

Gli studi di ICRISAT sono focalizzati su cinque colture: arachide, pisello, sorgo, ceci e miglio.

Le esperienze di ICRISAT sul sorgo zuccherino riguardano soprattutto il suo miglioramento genetico. Le ricerche in questo campo sono iniziate negli anni Ottanta, valutando settanta germoplasmi, e hanno trovato un rinnovato interesse a partire dal 2002, per effetto dell'incremento della domanda di bioetanolo a seguito delle politiche energetiche introdotte dal Governo.

Nell'ambito del Programma per la selezione degli ibridi di sorgo zuccherino, ICRISAT sta selezionando, tra i genotipi con caratteristiche adatte alla produzione di bioetanolo, le varietà e gli ibridi che presentano anche una buona tolleranza alle condizioni climatiche (i.e. temperatura, siccità, fotoperiodo).

Nel 2003 ICRISAT ha istituito l'ASP, per promuovere le collaborazioni tra soggetti pubblici e privati e favorire il trasferimento tecnologico. Finora sono state introdotte nel mercato più di venti tecnologie innovative progettate dal settore privato, che stanno creando nuove opportunità di lavoro e favoriscono lo sviluppo del settore industriale.

Uno degli esempi di collaborazione è tra ICRISAT e M/s. Rusni Distilleries Ltd, nell'ambito della quale ICRISAT ha sviluppato ibridi con alte produzioni di zucchero e M/s. Rusni Distilleries Ltd ne sta curando il processamento a bioetanolo.

Al contempo sul tema della filiera del bioetanolo dal sorgo zuccherino ICRISAT ha creato due piattaforme.

La piattaforma tra ICRISAT ed il Consorzio del settore privato per la ricerca sulla produzione di bioetanolo dal sorgo zuccherino (ICRISAT-Private Sector Sweet Sorghum Ethanol Research Consortium) intende rispondere alla crescente domanda di impianti che producono bioetanolo da questa coltura. Questa piattaforma beneficia dell'ABI, che è un incubatore tecnologico costituito da ICRISAT nel dicembre 2002.

La piattaforma tra ICRISAT ed il Consorzio del settore sementiero privato per la ricerca e la selezione di ibridi di sorgo (ICRISAT-Private Seed Sector Sorghum Hybrid Parents Research Consortium) opera attualmente con 22 membri, per promuovere la distribuzione dei nuovi ibridi selezionati presso ICRISAT, interfacciandosi *in primis* con le ditte sementiere.

L'esperienza di ICRISAT sulla produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino comprende sia l'approccio tradizionale con impianti di grande taglia, sia la filiera corta con impianti decentralizzati di taglia medio-bassa.

Nel modello centralizzato di produzione, gli agricoltori forniscono la biomassa del sorgo zuccherino direttamente all'impianto di processamento.

Nel modello decentralizzato la fase di estrazione è delocalizzata presso una rete di DCU diffusa sul territorio e gli agricoltori conferiscono la biomassa raccolta alla DCU più vicina alla loro azienda. Ogni DCU fa riferimento indicativamente a 3-4 villaggi. Presso ogni DCU il succo zuccherino è estratto dai culmi ed è sottoposto ad evaporazione, per raggiungere una concentrazione finale superiore ai 60 °Brix, compatibile con il trasporto fino all'impianto di processamento a bioetanolo e con la sua conservazione. Questo approccio ha il vantaggio di coinvolgere nella filiera anche le aziende agricole lontane dall'impianto di produzione del bioetanolo.

Nel corso della viaggio di studio in India è stata visitata una delle DCU di ICRISAT, a cui fanno riferimento settanta aziende agricole, per una superficie agricola totale di 30 ettari. Nella DCU sono installati tre separatori solido-liquido, due dei quali hanno una capacità di 2 t/h ed uno di 1 t/h. Nel 2009 durante la stagione monsonica presso questa DCU sono state raccolte e processate 560 tonnellate di sorgo zuccherino e sono state prodotte 29 tonnellate di succo concentrato.

Le M/s. Rusni Distilleries Ltd di Hyderabad sono state il primo impianto al mondo a processare il sorgo zuccherino per la produzione del bioetanolo. La capacità installata è di 40.000 litri al giorno e si configura, quindi, come un impianto di taglia media. La sezione di estrazione è dotata di trenta presse a due coppie di cilindri della capacità di 1 t/h ciascuna; l'impianto è, inoltre, dotato di sei vasche per la fermentazione e lo stoccaggio del succo concentrato.

L'impianto processa in parte il succo concentrato proveniente dalle DCU, in parte la biomassa tal quale, conferita dagli agricoltori locali.

La quantità di estratto zuccherino ottenuta dalla sezione di estrazione corrisponde al 40% del peso della biomassa fresca processata. Il processamento a bioetanolo prevede le fasi di pastorizzazione dell'estratto a 100 °C per 30 minuti e di fermentazione per 34-45 ore.



Figure 9: unità di separazione solido-liquido presso ICRIAT, Hyderabad, Andhra Pradesh (India)<sup>60</sup>



Figure 10: DCU nel distretto di Medak, Andhra Pradesh (India)<sup>61</sup>



**Figure 11: sezione di concentrazione del succo zuccherino presso la DCU del distretto di Medak, Andhra Pradesh (India)<sup>62</sup>**

Le M/s. Rusni Distilleries Ltd acquistano la biomassa del sorgo ad un prezzo di 9-10 €/t. Il costo di produzione del bioetanolo è approssimativamente di 0,30 €/l, mentre il prezzo di vendita è di 0,40 €/l per gli acquirenti pubblici e di 0,46 €/l per quelli privati.

Il costo di investimento per la realizzazione dell'impianto è stato indicativamente di 7 milioni di euro.

L'impianto di bioetanolo, che TATA Chemicals ha inaugurato nel 2008 a Nanded nello stato del Maharashtra, ha una capacità produttiva di 30.000 litri al giorno di bioetanolo. Il sorgo è conferito all'impianto in forma di culmi ancora interi, che sono sminuzzati in una apposita sezione dello stabilimento. L'estrazione del succo zuccherino avviene mediante quattro presse a tre coppie di cilindri (sistema TRPF) posti in serie. Per permettere il funzionamento dell'impianto nel corso dell'intero anno solare, una parte dell'estratto zuccherino è sottoposta ad evaporazione per raggiungere una concentrazione degli zuccheri compatibile con la conservazione a temperatura ambiente fino a 12 mesi (85 °Brix). L'estratto avviato alla fermentazione è inoculato con i lieviti. Nel caso si utilizzi l'estratto concentrato, ne è richiesta la diluizione fino a valori di 18%. La fermentazione è condotta a 32 °C per 72 ore. Al termine il succo fermentato è sottoposto a distillazione.

La bagassa, residua dalla sezione di estrazione del succo, è essiccata ed utilizzata come biocombustibile per la copertura dei fabbisogni energetici dell'impianto.



## 10.2 Esperienze maturate nel corso delle visite in Spagna

Le visite in Spagna hanno avuto come destinazioni l'impianto di bioetanolo che Abengoa ha installato a Babilafuente nella provincia di Salamanca (i.e. Biocarburantes Castilla y León) e la cooperativa agricola ACOR di Olmedo nella provincia di Valladolid, impegnata nella produzione di zucchero dalla barbabietola e di biodiesel dall'olio di girasole e di colza.

In Spagna la principale coltura alcoligena è il frumento, che deriva solo in parte dalle produzioni interne, poiché quello importato ha un prezzo d'acquisto inferiore. Si calcola, infatti, che in Spagna meno del 7% della produzione di frumento sia destinata alla filiera alcoligena, sebbene questo Paese sia tra i primi produttori europei di bioetanolo.

Il processo produttivo più diffuso negli impianti spagnoli è basato sulla macinazione della granella per via secca e sull'idrolisi enzimatica dell'amido.

Gli impianti di proprietà di Abengoa in Spagna sono:

- Biocarburantes Castilla y León (Babilafuente, provincia di Salamanca);
- Bioetanol Galicia (A Coruña, provincia di Galicia);
- Ecocarburantes Españoles (Cartagena, provincia di Murcia).

La collocazione degli impianti deriva dallo studio della logistica dei trasporti delle materie prime e dei prodotti finali.

Negli impianti di A Coruña e di Cartagena è prodotto bioetanolo anidro destinato alla sintesi di ETBE e gli stabilimenti sono prossimi ai porti, da cui provengono le materie prime, ed all'impianto di conversione in ETBE.

L'impianto di Babilafuente è stato progettato per produrre bioetanolo anidro da miscelare direttamente alla benzina per l'immissione nella rete nazionale di distribuzione. Di conseguenza lo stabilimento è stato collocato in una regione a vocazione marcatamente cerealicola (soprattutto frumento ed orzo) ed in prossimità di un'area destinata allo stoccaggio temporaneo di benzina.

La differenza sostanziale tra le sezioni tecnologiche dei tre impianti spagnoli di Abengoa riguarda la fermentazione: negli impianti di Babilafuente ed A Coruña il processo è condotto *in batch*, mentre nello stabilimento di Cartagena avviene in continuo.

Va sottolineato che l'approccio di Abengoa alla filiera del bioetanolo è conforme al modello tradizionale, caratterizzato da impianti di grande taglia (e.g. 450.000 t/anno a Babilafuente), e, dunque, l'interesse nei confronti di una filiera corta a servizio di impianti decentralizzati di taglia medio-piccola non rientra nelle strategie del gruppo industriale.

Contrariamente, la cooperativa agricola ACOR, viste le dimensioni (i.e. 8.000 soci), che garantiscono una buona massa critica, e considerato l'impegno profuso nelle agroenergie, potrebbe replicare le iniziative già condotte per il biodiesel a favore della filiera del bioetanolo.

### 10.3 Esperienze maturate nel corso delle visite in Perù

In Perù la diffusione degli impianti di bioetanolo ed il suo impiego stanno creando degli impatti significativi sui settori primario e secondario ed, in generale, sulla sfera socio-economica del Paese.

L'avvio della produzione di bioetanolo in Perù è molto recente e beneficia dell'impulso da parte dei Paesi confinanti (e.g. Brasile e Colombia) e degli USA. Peraltro, le giustificazioni ad investire in questo settore sono rafforzate dal forte inquinamento atmosferico delle grandi città (*in primis* Lima), dovuto soprattutto al traffico veicolare, ed alla cui riduzione l'impiego del bioetanolo può contribuire concretamente.

In Perù il bioetanolo è prodotto principalmente dalla canna da zucchero, la cui coltivazione nelle zone desertiche e semidesertiche del Paese gode di una lunga tradizione.

Il ricorso a questa coltura è ampiamente legittimato dalle elevate rese produttive in termini di bioetanolo, dalla disponibilità di tecnologie mature e da un bilancio energetico molto alto, poiché la bagassa è bruciata per coprire i consumi energetici dell'impianto. Inoltre, il bioetanolo prodotto dalla canna da zucchero si pregia di un'elevata sostenibilità ai sensi della Direttiva RES, in quanto il risparmio nelle emissioni di GHGs è stimato del 71%.

La diffusione della canna da zucchero nelle regioni desertiche e semi-desertiche del Perù è stata promossa per le importanti ricadute positive che è in grado di esercitare sul tessuto sociale ed economico locale.

La capacità produttiva installata è concentrata principalmente nella regione di Piura, nel nord del Paese, dove si trova lo stabilimento di Caña Brava e dove sarà realizzato l'impianto di Maple.

La domanda peruviana di bioetanolo è destinata a crescere nei prossimi anni per effetto degli obblighi di miscelazione del 7,8%, imposti dal Governo. Sono attese delle ricadute considerevoli anche sul comparto agricolo, che sarà chiamato a prendere parte a questa filiera.



Figure 12: coltivazioni di canna da zucchero a Paramonga (Perù)<sup>63</sup>



Figure 13: raccolta della canna da zucchero a Sullana (Perù)<sup>64</sup>

## 11. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E FONTI

1. [www.epure.org/](http://www.epure.org/)
2. <http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/ms-reports-dir-2003-30-en.htm>
3. Communication from the Commission "An EU strategy for biofuels", {SEC (2006) 142}
4. Data processing by Biofuels Barometer – EurObserv'ER 09- July 2009 and EurObserv'ER 10- July 2010
5. 6<sup>th</sup> National report on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport in Greece (2005-2010), Athens, April 2010
6. Data processing by Biofuels Barometer – EurObserv'ER 09- July 2009 and EurObserv'ER 10- July 2010
7. Assocostieri, <http://www.assocostieri.it/>
8. [www.biodieselspain.com](http://www.biodieselspain.com)
9. Almodares A., and Hadi M.R., 2009 "Production of bioethanol from sweet sorghum: A review". African Journal of Agricultural Research Vol. 4 (9) September, 2009: 772-780
10. Curt M.D., Fernández J., Martínez M., 1995 "Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv Keller in relation to water regime". Biomass and Bioenergy 8(6): 401-409
11. Curt M.D., Fernandez J., Martinez M., 1998 "Productivity and radiation use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Keller in central Spain". Biomass and Bioenergy 14(2): 168-178
12. Fernández J., Curt M.D., Martínez M., Olalla L., González J., 1996 "Perspectivas del cultivo de sorgo azucarero para bioetanol en España en base a resultados varietales en ensayos multilocales". ITEA 17(extra): 73-81
13. Fernández J. and Curt M.D., 2005 "New energy crops for bioethanol production in the Mediterranean region". International Sugar Journal, 107(1283): 622-628
14. Köppen S., Reinhardt G., Gärtner S., 2009 "Assessment of energy and greenhouse gas inventories of sweet sorghum for first and second generation bioethanol". FAO 2009
15. Guiying L., Weibin G., Hicks A., Chapman K.R., 2010 "A training manual for sweet sorghum". Chapter 4. Genetics and Breeding. Food and Agriculture Organisation of United Nations
16. C.E.T.A.
17. Dillon S.L., Shapter F.M., Henry R.J., Cordeiro G., Izquierdo L., Slade L., 2007 "Domestication to crop improvement: genetic resources for *Sorghum* and *Saccharum* (*Andropogoneae*)". Annals of Botany 100: 975-989
18. Guiying L., Weibin G., Hicks A., Chapman K.R., 2010 "A training manual for sweet sorghum". Chapter 4. Genetics and Breeding. Food and Agriculture Organisation of United Nations
19. Petrini C., Belletti A., Salamini F., 1993 "Breeding and growing sweet sorghum for fuel". Chapter 1. Morphology and Reproduction. Elsevier Science Publishers BN
20. Price H.J., Dillon S.L., Hodnett G., Rooney W.L., Ross L., Johnston S., 2005 "Genome evolution in the genus *Sorghum* (*Poaceae*)". Annals of Botany 95: 219-227
21. Sánchez-Monje E. 2001 "*Sorghum bicolor* (L.) Moench". In: Sánchez-Monje E.: Plantas de interés agrícola, p. 1132-1134. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
22. Smith, C.W., Frederiksen, R.A. (Eds.), 2000 "Sorghum. Origin, history, technology and production". Wiley Series in Crop Science. ISBN 0471242373. 840 pp
23. C.E.T.A.
24. Belletti A., Petrini C., Minguzzi A., Landini V., Piazza C., Salamini F., 1991 "Yield potential and adaptability to Italian conditions of sweet sorghum as biomass crop for energy production". Maydica 36: 283-291
25. Berenji J. and Dahlberg J., 2004 "Perspectives of sorghum in Europe". J. Agronomy & Crop Science 190: 332-338
26. Curt M.D., Fernández J., Martínez M., 1995 "Productivity and radiation use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv Keller in relation to water regime". Biomass and Bioenergy 14(2): 168-178
27. Petrini C., Belletti A., Salamini F., 1993 "Breeding and growing sweet sorghum for fuel". Chapter 1. Morphology and Reproduction. Elsevier Science Publishers BN
28. Price H.J., Dillon S.L., Hodnett G., Rooney W.L., Ross L., Johnston S., 2005 "Genome evolution in the genus *Sorghum* (*Poaceae*)". Annals of Botany 95: 219-227
29. Sánchez-Monje E., 2001 "*Sorghum bicolor* (L.) Moench". In: Sánchez-Monje E.: Plantas de interés agrícola, p. 1132-1134. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
30. Smith, C.W. and Frederiksen, R.A. (Eds.), 2000 "Sorghum. Origin, history, technology and production". Wiley Series in Crop Science. ISBN 0471242373. 840 pp
31. C.E.T.A.
32. Guiying L., Weibin G., Hicks A., Chapman K.R., 2010 "A training manual for sweet sorghum". Chapter 4. Genetics and Breeding. Food and Agriculture Organisation of United Nations
33. Janssen R., Rutz D., Branonconier S., Reddy B., Rao S., Schaffert R., Parella R., Zaccharias A., Rettenmaier N., Reinhardt G., Monti A., Amaducci S., Marocco A., Snijman W., Terblanche H., Zavala-García F., 2010 "Sweet sorghum- An alternative energy crop". Proc. 18<sup>th</sup> Eur. Biomass Conf. Lyon, France: 200-206

34. Petrici C., Bellelli A., Salamini F., 1993 "Breeding and growing sweet sorghum for fuel". Chapter 1. Morphology and Reproduction. Elsevier Science Publishers BN
35. Price H.J., Dillon S.L., Hodnett G., Rooney W.L., Ross L., Johnston S., 2005 "Genome evolution in the genus *Sorghum* (Poaceae)". *Annals of Botany* 95: 219-227
36. <http://web.etaflorence.it/51.0.html?&L=1>
37. Dalianis C., Alexopoulou E., Dercas N., Sooter Ch., 1996, "Effect of plant density on growth, productivity and sugar yields of sweet sorghum in Greece", in: Biomass for Energy and Environment, Proceedings on the 9<sup>th</sup> European Bioenergy Conference, Vol. 1, Copenhagen, Denmark, June 1996
38. Dalianis C., Sooter C.A., Christou M., 1994, "Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) biomass productivity, sugar yields and ethanol potential in Greece", in: 8<sup>th</sup> European Biomass Conference "Biomass for Energy Environment Agriculture and Industry", Vienna, Austria, October 1994
39. Dalianis C., 1996b, "Adaption, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions", in: 1st European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, Toulouse, France, April 1996: 15-25
40. Dercas N., Panoutsou C., Dalianis C., Sooter C., 1995, "Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) response to four irrigation and two nitrogen fertilization rates" Centre for Renewable Energy Sources, Pikermi, Greece
41. Dercas N., Panoutsou C., Dalianis K., 1995, "Radiation use efficiency, water and nitrogen effects on sweet sorghum productivity", in: Chartier et al editors. Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industrial. Proceedings 8<sup>th</sup> EU Biomass Conference, Oxford, UK
42. Kavadakis G., Dercas N., Nikolaou A., 2000, "Evaluation of productivity, water and radiation use efficiency of two sweet sorghum varieties under Greek conditions", in: 1<sup>st</sup> World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, June 2000
43. Dercas N., Panoutsou C., Dalianis C., 1996, "Water and nitrogen effects on sweet sorghum growth and productivity", in: Biomass for Energy and Environment, Proceedings on the 9<sup>th</sup> European Bioenergy Conference, Vol. 1, Copenhagen, Denmark, June 1996
44. Losavio, N., Ventrella, D., Vonella, A.V., 1999 "Water requirements - water and radiation use efficiency. Parameters in order to evaluate the introduction of new crops in the Mediterranean environment [*Hibiscus cannabinus* L. - *Sorghum bicolor* (L.) Moench. - *Helianthus tuberosum* L. - *Basilicata*]" (Istituto Sperimentale Agronomico, Bari, Italy)
45. Patanè C., Copani V., Cosentino S., 1997 "Yield potential evaluation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes in the Mediterranean environment". Proc. of First International Sweet Sorghum Conference, Beijing, China, 14-19 September: 444-455
46. Dolciotti I., Mambelli S., Grandi S., Venturi G., 1998 "Comparison of two *Sorghum* genotypes for sugar and fibre production". *Industrial Crops and Products*, 7, 2-3: 265-272
47. Amaducci S., Monti A., Venturi G., 2004 "Non structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques". *Industrial Crops and Products*, 20, 1: 111-118
48. Pin M., Picco D., Migliardi D., Tomasinsig E., 2009 "Il sorgo zuccherino come coltura per la produzione decentralizzata di bioetanolo", *Dal Seme*, Anno IV, giugno 2009: 54-59
49. Curt M.D., Fernández J., Olalla L., González A., 1996 "Summary of 5 years varietal experimentation on sweet sorghum in Spain". 1-3 April 1996. First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, Toulouse, France
50. Olalla L., Muriel J.L., Ruiz J.C., Navarro E., Mira A., 1983 "Sorgo dulce: Aportación al estudio de su cultivo para producción de azúcares y/o alcohol en Andalucía (España)". *Anales INIA*, Ser. Agr. 23
51. C.E.T.A.
52. Pin M., Picco D., Migliardi D., Tomasinsig E., 2009 "Il sorgo zuccherino come coltura per la produzione decentralizzata di bioetanolo", *Dal Seme*, Anno IV, giugno 2009: 54-59
53. SS Engineers, [www.ssengineers.com](http://www.ssengineers.com)
54. Gnansounou E., Dauriat A., Wyman C.E., 2005 "Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China", *Bioresource Technology* 96: 985-1002
55. Cundiff J.S. et al., 1993 "Juice expression from sweet sorghum". Unpublished annual report, Biological Systems Engineering, Blacksburg, VA:VPI&SU, USA
56. C.E.T.A.
57. Pin M., Picco D., Migliardi D., Tomasinsig E., 2010, "Bioetanolo da sorgo, un'opportunità di reddito", *Supplemento a L'Informatore Agrario*, 6/2010: 26-31
58. Pin M., Picco D., Migliardi D., Tomasinsig E., 2010, "Bioetanolo da sorgo, un'opportunità di reddito", *Supplemento a L'Informatore Agrario*, 6/2010: 26-31
59. Pin M., Picco D., Migliardi D., Tomasinsig E., 2010, "Bioetanolo da sorgo, un'opportunità di reddito", *Supplemento a L'Informatore Agrario*, 6/2010: 26-31
60. C.E.T.A.
61. C.E.T.A.
62. C.E.T.A.
63. C.E.T.A.
64. C.E.T.A.



Stampato nel mese di Marzo 2011  
da Poligrafiche San Marco - Cormons (Gorizia) - Italia  
Per conto di C.E.T.A.

