



Diffusione di un modello sostenibile per la
produzione di bioetanolo di 1^a generazione
dal sorgo zuccherino in impianti decentralizzati

Manuale Intersettoriale



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

Layout
CETA
<http://www.ceta.ts.it>



Foto in copertina: CETA



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	5
3. Lista degli acronimi e delle abbreviazioni.....	7
4. Il progetto Sweethanol.....	11
5. Il partenariato del progetto Sweethanol	13
6. Il bioetanolo – un biocarburante strategico per l'UE	15
6.1 Caratteristiche.....	15
6.2 Produzione	16
6.3 Utilizzo	18
6.4 Le strategie europee per le FER ed i biocarburanti.....	23
6.5 Consumo, produzione e mercato del bioetanolo nell'UE	30
6.6 Strategie nazionali e relative ricadute per le possibili applicazioni del modello sviluppato per l'UE.....	32
7. Il sorgo zuccherino come coltura energetica sostenibile.....	57
7.1 Perché il sorgo zuccherino?.....	57
7.2 Caratteristiche botaniche e morfologiche	59
7.3 Tecnica colturale e raccolta.....	62
7.4 Programmi di selezione degli ibridi	66
7.5 Esperienze nella coltivazione del sorgo zuccherino condotte nell'UE	67
8. Linee guida per il modello di filiera sviluppato per l'UE.....	75
8.1 Introduzione	75
8.2 Dimensionamento della filiera di approvvigionamento	76
8.3 Processamento della biomassa a bioetanolo	79
8.4 Unità di valorizzazione energetica dei sottoprodotti.....	87
9. Il modello 1 sviluppato per l'UE: il sorgo zuccherino come unica materia prima processata nell'impianto decentralizzato	91

9.1 Caso studio: l'applicazione del modello 1 nella Pianura Padana, Italia	94
9.2 Caso studio: l'applicazione del modello 1 nell'area industriale di Salonicco, Grecia	103
9.3 Caso studio: l'applicazione del modello 1 in Andalusia, Spagna	111
10. Il modello 2 sviluppato per l'UE: il sorgo zuccherino e la barbabietola da zucchero come materie prime processate alternativamente nell'impianto decentralizzato	117
10.1 Caso studio: l'applicazione del modello 2 in Andalusia, Spagna	117
11. Trasferibilità.....	121
11.1 Bulgaria	121
11.2 Romania.....	123
11.3 Ungheria.....	124
11.4 Francia	126
11.5 Portogallo.....	127
11.6 Croazia	128
11.7 Dove risulta trasferibile il modello?.....	130
12. Esperienze maturate nel corso delle visite	133
12.1 India.....	133
12.2 Perù.....	137
12.3 Spagna.....	138
13. Esperienze pilota in UE.....	141
13.1 Il Gruppo I.M.A. - Bertolino in Italia:	141
14. Conclusioni	143
15. Riferimenti bibliografici e fonti	147

2. PREFAZIONE

Il bioetanolo prodotto dal sorgo zuccherino è sostenibile dai punti di vista ambientale ed economico: il suo utilizzo in sostituzione della benzina consente un risparmio nelle emissioni di GHGs in linea con l'obiettivo europeo per il 2018 (i.e. 60%) e la possibilità di valorizzare i sottoprodotti rende remunerativi anche gli impianti decentralizzati di dimensioni medio-piccole (i.e. capacità fino a 10.000 t/anno).

Attualmente il mercato europeo del bioetanolo è controllato dai grossi gruppi industriali e dalle grandi cooperative agricole legati al settore saccarifero e la produzione si concentra in impianti di elevata capacità (100.000-200.000 t/anno), dove sono processati principalmente i cereali. La scarsa differenziazione delle materie prime e la produzione centralizzata trovano spiegazione nella persistenza di alcune barriere non tecnologiche, che frenano la penetrazione di diversi modelli produttivi applicati in altre realtà al di fuori dell'UE.

Il progetto SWEETHANOL, finanziato nell'ambito del programma Intelligent Energy Europe della Commissione europea, è finalizzato a superare tali barriere, legate soprattutto all'assenza di informazione e conoscenza, e promuove azioni a favore dell'aumento della diversificazione delle materie prime, della produzione decentralizzata e dello sviluppo di filiere locali per l'utilizzo del sorgo zuccherino come coltura energetica dedicata.

L'assenza di know-how in merito alle potenzialità del sorgo zuccherino come coltura energetica per produrre in modo sostenibile il bioetanolo ed altri prodotti energetici in impianti decentralizzati è stata superata attraverso un'ampia discussione dei principali aspetti tecnici ed amministrativi con gli attori della filiera. Tale percorso sarà completato con l'attività di formazione prevista per ciascuno dei profili degli *stakeholders*.

Lo "Sweethanol – Manuale Intersectoriale" completa lo "Sweethanol – Manuale Tecnico" e lo "Sweethanol – Manuale Amministrativo" ed è finalizzato specificatamente ad integrare i dettagli tecnici, relativi alla filiera di produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino, con le informazioni in merito allo scenario funzionale al suo sviluppo nei Paesi dell'Europa meridionale.

Questo manuale è uno dei principali strumenti prodotti nell'ambito del progetto e finalizzati a superare le barriere non tecniche, che impediscono la diffusione del sorgo zuccherino come coltura energetica ed alcoligena adatta alle condizioni delle regioni dell'Europa meridionale. I contenuti di tale manuale costituiscono la base di partenza per la stesura di studi di fattibilità tecnico-economica e per l'avvio di nuove imprenditorialità basate sull'impiego del sorgo zuccherino come coltura energetica.

La trattazione del modello di filiera sviluppato per l'UE è organizzata nella descrizione delle linee guida generali, applicabili ai diversi contesti territoriali dell'Europa meridionale per avviare una filiera di utilizzo alcoligeno del sorgo zuccherino, e nella declinazione di queste linee guida in casi studio specifici contestualizzati alle condizioni pedo-climatiche ed economiche dei Paesi del consorzio (i.e. Italia, Grecia, Spagna).

Questo manuale è uno degli strumenti didattici impiegati per la formazione degli *stakeholders* nei corsi di formazione che saranno tenuti nei Paesi partecipanti al progetto.

Per favorire la trasferibilità dei risultati del progetto ai Paesi esterni al consorzio, ma inclusi nell'areale di crescita del sorgo zuccherino (i.e. Romania, Bulgaria, Francia, Portogallo, Croazia, Ungheria), un capitolo del manuale è dedicato all'analisi degli scenari nazionali che risultano funzionali allo sviluppo della filiera energetica in esame.

I testi di "*Sweetethanol – Manuale Intersettoriale*" sono stati prodotti da Michela Pin, Denis Picco ed Alessia Vecchiet (CETA – Centro di ecologia teorica ed applicata, Italia), Oscar León, Paloma González, Roberto Marcos ed Anabel Elisa Ruiz (Fondazione Cartif – Centro tecnologico, Spagna), Kostas Konstantinou, Iakovos Sarigiannis, Irene Tsakiridou e Nikos Remvos (REACM – Agenzia regionale per l'energia della Macedonia Centrale Anatoliki S.A., Grecia), Luca D'Apote e Luisa Daidone (INIPA – Coldiretti, Italia), Marina Sanz Gallego, Maria Hernando Sanz e M^a Dolores Curt (ADABE – Associazione per la diffusione della biomassa, Spagna), Fernando Mosquera Escribano (Gruppo di agro-energetica dell'Università Politecnica di Madrid, Spagna), Athanasios Bartsios, Migdalias Prodromos e Tsimos Ioannis (Cooperativa agricola di Halastra, Grecia).

Si ringraziano tutti gli autori e gli enti finanziatori per la loro cooperazione.

Si desidera infine estendere i ringraziamenti ad Eugenio Macchia, vicepresidente di Green Engineering S.r.l., che ha contribuito significativamente all'ottimizzazione del caso studio in Italia.

30 Novembre 2011

Michela Pin – Project Manager
CETA, Italia

Alessia Vecchiet
CETA, Italia

Denis Picco
CETA, Italia

3. LISTA DEGLI ACRONOMI E DELLE ABBRAVIAZIONI

ABI incubatore di agro-business (India)

AEBIOM associazione europea delle biomasse

AIA autorizzazione integrata ambientale, IPPC - *Integrated Pollution Prevention and Control* (Italia)

ASP agro-parco scientifico (India)

B10 biodiesel in miscela al 10% v/v

B30 biodiesel in miscela al 30% v/v

Bio-ETBE etil-ter-butil-etere ottenuto dal bioetanolo

Bio-SPK cherosene paraffinico sintetico di derivazione biologica

BOD domanda biochimica di ossigeno

CAICYT commissione sulla ricerca scientifica e tecnica (Spagna)

CCHP produzione combinata di energia termica, elettrica e di raffrescamento

CE Commissione europea

CH₄ metano

CHP cogenerazione di energia termica ed elettrica

CO monossido di carbonio

CO₂ anidride carbonica

COD domanda chimica di ossigeno

CRA-CIN centro di ricerca in agricoltura – centro di ricerca per le colture industriali (Italia)

CRA-ING centro di ricerca in agricoltura – unità di ricerca per l'ingegneria agraria (Italia)

CRA-RPS centro di 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)

Crpa S.p.A. centro ricerche produzioni animali (Italia)

DCU unità di spremitura decentralizzate (India)

DDG *distillers dried grains*, sottoprodotto del processamento a bioetanolo della granella dei cereali

DDGS *distillers dried grains with solubles*, sottoprodotto del processamento a bioetanolo della granella dei cereali con le componenti solubili

DPI specifiche di produzione integrata

E10 bioetanolo in miscela al 10% v/v

E15 bioetanolo in miscela al 15% v/v

E85 bioetanolo in miscela all'85% v/v

E90 bioetanolo in miscela al 90% v/v

E100 bioetanolo al 100 %

ENEA agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (Italia)

ETEAN fondo nazionale per le imprese e lo sviluppo (Grecia)

FAME esteri metilici degli acidi grassi

FER fonti di energia rinnovabile

FIT conto energia

FFV *flexible fuel vehicles*, veicoli adatti ad essere alimentati con la miscela E85 o la benzina

FP programma quadro della Commissione europea

FYROM Ex repubblica Jugoslava di Macedonia

GHGs gas ad effetto serra

GPL gas di petrolio liquefatti

GSE fornitore di servizi elettrici (Italia)

H₂S acido solfidrico

HHST *higher-heat shorter time*, tecnica di pastorizzazione con temperature elevate e tempi brevi

HRT tempo di ritenzione idraulica

HTST *high temperature short time pasteurisation*, tecnica di pastorizzazione con temperature elevate e tempi brevi

HVO oli vegetali idro-trattati

ICRISAT istituto internazionale per la ricerca sulle colture delle zone tropicali semi-aride (India)

IEE programma Intelligent Energy Europe

ILUC cambio indiretto di uso del suolo

I.M.A. industria meridionale alcolici S.r.l. (Italy)

INIA centro nazionale di ricerca a favore dell'agricoltura e dell'alimentazione (Spagna)

IPPC *Integrated Pollution Prevention and Control*, autorizzazione integrata ambientale (AIA)

JMD decisione ministeriale congiunta (Grecia)

K₂O ossido di potassio

KEOP programma operativo per l'ambiente e l'energia (Ungheria)

LCA analisi dell'intero ciclo di vita

LCFS standard per carburante a basso contenuto di carbonio (USA, California)

LUC cambio d'uso del suolo

MATM ministero dell'ambiente, del territorio e del mare (Italia)

MIPAAF ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali (Italia)

MON *motor octane number*, numero di ottano calcolato con il motore sotto carico

MSE ministero dello sviluppo economico (Italia)

MTBE metil-ter-butil-etere

N₂ azoto molecolare

N₂O ossido di azoto

NEC commissione nazionale per l'energia (Spagna)
NO_x ossidi di azoto
NUT2 unità territoriale statistica (in Italia le Regioni e le Province Autonome)
O₂ ossigeno molecolare
ORC ciclo organico Rankine
O&M *operative and maintenance*, costi di gestione e manutenzione
P₂O₅ pentossido di fosforo
p/p peso su peso
PAC politica agricola comune
PAN piano di azione nazionale (Italia)
PANER piano di azione nazionale per le energie rinnovabili (Spagna, Grecia)
PCI potere calorifico inferiore
PER piano per le energie rinnovabili
PIL prodotto interno lordo
PM particolare
PMI piccole medie imprese
PMI punto morto inferiore
PMS punto morto superiore
R.A.E. autorità di regolazione per l'energia (Grecia)
RD decreto regio (Spagna)
R&D ricerca & sviluppo (*research & development*)
RED direttiva 2009/28/CE
RFS standard per i carburanti rinnovabili (USA)
RFS2 standard 2 per i carburanti rinnovabili (USA)
rpm rivoluzioni per minuto
RON *research octane number*, numero di ottano con il motore a freddo
RSU rifiuti solidi urbani
RUE efficienza nell'uso della radiazione solare
SAU superficie agricola utilizzata
s.l.m.m. sul livello medio del mare
s.s. sostanza secca
SO₂ anidride solforosa
tep tonnellate equivalenti di petrolio
TIR tasso interno di rendimento
TRPF sistema di estrazione a coppie di cilindri dentati
UP ultra pastorizzazione
USA Stati Uniti d'America
VOC composti organici volatili



v/v volume su volume

wb sostanza umida

WUE efficienza nell'uso dell'acqua

ZVAIEB atto sui biocarburanti e sulle fonti di energia rinnovabile ed alternativa (Bulgaria)

4. IL 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 prima 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 professionale;
- 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 i seguenti.

- 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 è successivamente diffuso mediante corsi di

formazione rivolti a ciascuno dei profili degli attori di filiera. Come conseguenza è 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 prima 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 PARTENARIATO DEL PROGETTO SWEETHANOL

CETA – Centro di ecologia teorica ed applicata - Italia

Il CETA è stato fondato nel 1987 a Gorizia (Italia) ed è un'associazione senza fini di lucro impegnata nella ricerca e nella sperimentazione di tecnologie e di modelli innovativi da applicare nelle seguenti aree operative e settori: ambiente, nei settori: gestione sostenibile delle risorse ambientali (acque, suolo, paesaggio), costruzione di bilanci ambientali e sviluppo di modelli di contabilità ambientale; energia, nei settori: promozione dell'uso delle fonti rinnovabili – biomasse, biogas, biocarburanti e bioliquidi, solare, geotermia, idroelettrico –, miglioramento dell'efficienza energetica, pianificazione energetica, diagnosi energetiche, sviluppo di modelli di gestione territoriale, analisi multicriteri, analisi costi-benefici, economia delle fonti energetiche rinnovabili; territorio, nei settori: VAS, VIA, governo del territorio; conoscenza, nei settori: sperimentazione per la produzione e per lo sviluppo di modelli innovativi per i biocarburanti di seconda e terza generazione e per la diffusione di colture agrarie a basso impatto ambientale. Nelle aree operative di competenza il CETA applica un approccio multidisciplinare, in virtù dell'impiego di professionisti di elevato livello formativo (i.e. PhD, master) e con profili diversificati (ingegneri, biologi, agronomi, economisti, architetti, naturalisti, geologi).

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 basata 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 della CE. 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 PER, la collaborazione con i Paesi limitrofi sul tema del risparmio energetico, la partecipazione nella pianificazione regionale per lo sviluppo e la gestione delle zone geotermiche.

INIPA- Coldiretti - Italia

INIPA, Ente di formazione nell'agro-alimentare, è una associazione senza scopo di lucro, giuridicamente riconosciuta, promossa e sostenuta da Coldiretti. Coldiretti, con un milione e mezzo di associati, è la principale organizzazione degli imprenditori agricoli a livello nazionale ed a livello europeo. La presenza sul territorio è accompagnata dalla crescente rappresentatività ed a Coldiretti fa capo il 69% delle imprese agricole italiane iscritte, pari a 504.000, con la maggioranza assoluta della superficie agricola coltivata, dei capi allevati e del PIL agricolo nazionale. INIPA, in linea con gli orientamenti e gli indirizzi strategici di Coldiretti, svolge attività di formazione ricerca e divulgazione per lo sviluppo delle risorse umane nei settori agro-alimentare, ambientale e dei servizi, orientandone i risultati nella direzione dell'innovazione e del cambiamento culturale ed organizzativo nelle imprese agro-alimentari, nelle organizzazioni di rappresentanza e servizi nei territori agricoli e rurali. INIPA opera anche attraverso una fitta rete territoriale, di livello regionale, dedicata alla formazione ed 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 un'uniforme visione di sistema, interventi di formazione e divulgazione di interesse nazionale e locale. INIPA, inoltre, si distingue per azioni di interesse economico e sociale, volte alla diffusione di un modello di impresa agricola moderna e multifunzionale fondata su principi di responsabilità sociale. In questo ambito, l'ente realizza iniziative di educazione alimentare ed ambientale nelle scuole, iniziative di formazione continua degli operatori del settore e progetti di ricerca sociale per la costruzione di modelli di sviluppo ecosostenibili.

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.

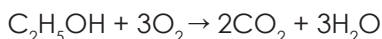
6. IL BIOETANOLO – UN BIOCARBURANTE STRATEGICO PER L'UE

6.1 Caratteristiche

Il bioetanolo è l'alcol etilico che deriva dalla fermentazione alcolica di zuccheri semplici o di polisaccaridi idrolizzati (e.g. amido, cellulosa). In questo processo, il glucosio è convertito in etanolo, CO_2 ed acqua secondo la seguente stechiometria:



L'impiego dell'etanolo come carburante si basa sulla reazione esotermica di combustione, durante la quale sono prodotte CO_2 ed acqua secondo la seguente stechiometria:



Il termine bioetanolo si riferisce specificatamente all'etanolo utilizzato come componente dei carburanti nel settore dei trasporti. Può essere classificato come biocarburante di prima, seconda o terza generazione, in funzione della materia prima impiegata per la sua produzione.

A fronte delle sue caratteristiche chimiche, fisiche e merceologiche, il bioetanolo risulta idoneo a sostituire la benzina nei motori a ciclo Otto (Tabella 1).

Per alcune caratteristiche il bioetanolo ha un comportamento migliore di quello della benzina grazie alla sua elevata capacità antidetonante dovuta ad un alto valore del numero di ottano. La volatilità del bioetanolo, espressa dalla temperatura di ebollizione e dalla pressione di vapore è maggiore di quella della benzina. Ciò causa una miscelazione più rapida ed omogenea con l'aria durante la carburazione, contribuendo a migliorare la combustione, l'avviamento a freddo del motore e le prestazioni in accelerazione.

La principale caratteristica che rende il bioetanolo un carburante peggiore rispetto alla benzina è la densità energetica: sulla base dei valori del PCI, per sostituire un chilogrammo di benzina servono 1,67 chilogrammi di bioetanolo.

Le proprietà del bioetanolo rendono questo carburante poco idoneo alla sostituzione del gasolio nei motori a ciclo Diesel (Tabella 2).

La densità energetica del bioetanolo risulta inferiore, infatti 1,0 chilogrammo di gasolio corrisponde a 1,70 chilogrammi di bioetanolo. Quest'ultimo evidenzia una rapidità di accensione inferiore al gasolio in quanto presenta un basso valore del numero di cetano.

Proprietà	Unità	Bioetanolo	Benzina
PCI	MJ/kg	27	44
Contenuto di ossigeno	% p/p	35	assente
MON	-	96	85
RON	-	130	95
Numero di ottano	-	113	90
Temperatura di ebollizione	°C	78	100
Pressione di vapore	kPa	124	85
Stato	-	Liquido	Liquido
Aspetto	-	Limpido	Limpido

Tabella 1: caratteristiche chimiche, fisiche e merceologiche del bioetanolo e della benzina, valori medi¹

Il valore di *flash point* è inferiore se comparato a quello del gasolio e per questa ragione il bioetanolo presenta maggiori difficoltà nelle fasi di trasporto, manipolazione e stoccaggio.

Queste evidenze suggeriscono che l'impiego del bioetanolo sia esclusivamente nell'alimentazione dei motori a ciclo Otto.

6.2 Produzione

Il bioetanolo può essere prodotto da un'ampia gamma di materie prime contenenti monosaccaridi e/o polisaccaridi (i.e. alcoligene) ed a seconda della materia prima impiegata, il bioetanolo è classificato come biocarburante di prima, seconda o terza generazione.

Proprietà	Unità	Bioetanolo	Gasolio
PCI	MJ/kg	27	42
Contenuto di ossigeno	% p/p	35	assente
Numero di cetano	-	27	48
<i>Flash point</i>	°C	13	72
Viscosità	cSt	0,5 (a 20°C)	2,6 (a 20°C)
Stato	-	Liquido	Liquido
Aspetto	-	Limpido	Limpido

Tabella 2: caratteristiche chimiche, fisiche e merceologiche del bioetanolo e del gasolio, valori medi²

6.2.1 Bioetanolo di prima generazione

Il bioetanolo di prima generazione è prodotto dalle materie prime contenenti zuccheri semplici (saccarifere) e/o amido (amidacee), derivanti sia da colture dedicate, sia da residui agro-alimentari.

Le principali colture saccarifere sono la canna da zucchero, il sorgo zuccherino e la barbabietola da zucchero.

Le principali colture amidacee sono i cereali, in particolare il mais, il frumento e l'orzo, di cui si impiega la granella. Tuttavia anche la cassava od altri tuberi con elevato contenuto in amido sono impiegati per produrre etanolo in alcune regioni dell'America latina e dell'Asia.

Tra i residui agro-industriali impiegabili per la produzione del bioetanolo vanno menzionati i sottoprodotti della produzione dello zucchero (i.e. melassa), i sottoprodotti delle distillerie e della vinificazione (e.g. vinacce) ed i sottoprodotti della lavorazione della frutta (e.g. marcomela).

I processi necessari per ottenere il bioetanolo differiscono a seconda delle materie prime utilizzate.

Il processamento degli zuccheri (e.g. glucosio, fruttosio, saccarosio) è più semplice e beneficia di un minore contenuto tecnologico di quello dell'amido, in quanto gli zuccheri possono essere fermentati direttamente ad etanolo. Gli impianti dispongono di un'apposita sezione di estrazione per separare gli zuccheri dai tessuti della pianta (culmi del sorgo e dalla canna da zucchero, tuberi della barbabietola) o dai sottoprodotti. L'estrazione può essere effettuata con un mulino a cilindri o attraverso un processo di diffusione. In entrambi i casi l'impiego di acqua calda favorisce la solubilizzazione e la movimentazione degli zuccheri.

Il processamento dell'amido necessita della macinazione della granella e dell'idro-

lisi enzimatica del polimero in zuccheri semplici. L'idrolisi avviene in due fasi: una fase di liquefazione, finalizzata alla riduzione della lunghezza delle catene di amido impiegando l'enzima alfa-amilasi ed una fase di saccarificazione, finalizzata alla rottura dei singoli legami all'interno della catena al fine di ottenere zuccheri semplici, impiegando l'enzima gluco-amilasi.

Per entrambi i processi la fermentazione è condotta per mezzo di lieviti che metabolizzano gli zuccheri ad etanolo e CO_2 . La concentrazione finale di etanolo nel fermentato raggiunge al massimo valori del 9-14% v/v.

Le sezioni successive del processamento (i.e. distillazione e rettifica, disidratazione) sono analoghe per entrambe le materie prime di partenza. La distillazione e la rettifica consentono di elevare la concentrazione dell'alcol dai valori del 9-14% v/v, ottenuti al termine della fermentazione, ai valori tipici dell'etanolo azeotropo, 95-96% v/v. La disidratazione è necessaria per produrre bioetanolo anidro (99,7-99,8%) e generalmente è condotta con l'impiego di setacci molecolari in zeolite, in grado di trattenere selettivamente le molecole di acqua.

6.2.2 Bioetanolo di seconda e terza generazione

Le materie prime lignocellulosiche possono essere impiegate per la produzione di bioetanolo in virtù del loro alto contenuto in carboidrati strutturali (i.e. cellulosa ed emicellulosa), che possono essere idrolizzati a zuccheri semplici fermentescibili.

Le principali materie prime utilizzabili a questo scopo sono le colture dedicate erbacee (e.g. canna comune, miscanto, panico) e legnose (e.g. pioppo, salice), i residui agricoli (e.g. paglie dei cereali autunno-vernini, stocchi e tutoli del mais, sarmenti della vite) e forestali (e.g. potature), la frazione organica dei rifiuti solidi urbani e gli sfalci e le ramaglie del verde pubblico.

La distinzione tra bioetanolo di seconda e di terza generazione si basa sulla materia prima di partenza: di seconda generazione se sono utilizzate le colture dedicate, di terza generazione se sono processati i residui e/o i rifiuti.

Il ricorso a questi materiali per la produzione di bioetanolo è strategico, in quanto permette di superare la competizione con la destinazione alimentare dei prodotti agricoli. L'impiego dei residui, inoltre, evita anche la competizione per il tipo di uso del terreno agricolo e si pregia della possibilità di valorizzare dei materiali con un basso valore di mercato (Tabella 3).

Residui colturali	Produzione media (t/ha)
Paglia di frumento	3-6
Paglia di altri cereali autunno-vernini	3-3,5
Stocchi di mais	4,5-6
Sarmenti di vite	3-4
Sarmenti di ulivo	1-2,5

Tabella 3: produzione media dei residui colturali³

Il processamento delle materie prime lignocellulosiche richiede un maggior numero di sezioni tecnologiche rispetto a quello dei materiali saccariferi ed amidacei, poiché i carboidrati strutturali per loro stessa funzione sono recalcitranti alla degradazione.

Per questa ragione risulta necessario un pretrattamento finalizzato alla disgregazione della struttura della parete cellulare, in modo da separare la cellulosa e l'emicellulosa dalla lignina, come mostrato nella Figura 1.

I pretrattamenti sono riconducibili alle seguenti tipologie:

1. pretrattamento chimico, che può essere acido, impiegando acidi concentrati o diluiti (e.g. acido solforico), oppure alcalino (e.g. sodio idrossido, calcio idrossido);
2. pretrattamento termico, quale la *steam explosion*, in cui la biomassa è saturata con acqua ad elevate temperatura (180-230 °C) e pressione (1,4-4,0 MPa) e poi trasferita velocemente in un reattore a pressione inferiore, causando la rottura delle pareti cellulari;
3. pretrattamento termo-chimico, quale l'*ammonia fiber explosion* che combina elevate temperatura e pressione all'azione dell'ammoniaca, oppure la *steam explosion* con anidride solforosa;
4. pretrattamento biologico impiegando microrganismi che degradano la lignina (e.g. *Phanerochaete* spp.).

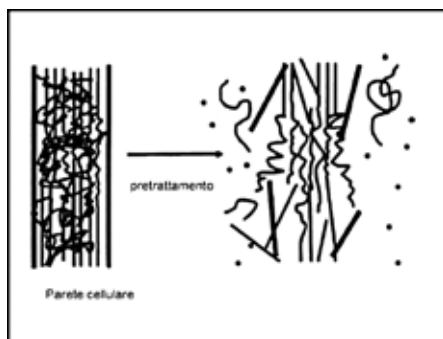


Figura 1: effetti del pretrattamento sul materiale lignocellulosico⁴

I pretrattamenti hanno l'effetto di liberare dei composti con effetto inibitore ed è, pertanto, necessario un passaggio di detossificazione condotto in due fasi: una prima fase a valori di pH compresi tra 10 e 11, per precipitare gli inibitori, ed una a pH 6, in cui gli inibitori insolubili sono filtrati a 0,2 µm.

Il passaggio successivo è l'idrolisi della cellulosa e dell'emicellulosa per opera di enzimi (i.e. endocellulasi, esocellulasi, emicellulasi), separati da funghi filamentosi come *Trichoderma* spp. o *Fusarium* spp.. L'idrolisi della cellulosa libera solo zuccheri a sei atomi di carbonio (e.g. glucosio), mentre dall'emicellulosa si ottengono anche zuccheri a cinque atomi di carbonio (e.g. xilosio). Questi zuccheri semplici possono essere fermentati a bioetanolo, impiegando microrganismi quali *Saccharomyces cerevisiae* e *Pichia* spp..

Le altre sezioni tecnologiche ricalcano quelle applicate nella produzione del bioetanolo di prima generazione.

6.3 Utilizzo

Il principale impiego dei biocarburanti è nell'alimentazione dei motori endotermici, ovvero nelle macchine, che hanno lo scopo di trasformare l'energia termica in energia meccanica.

I motori endotermici possono essere a combustione esterna, quando la combustione avviene al di fuori del fluido operante, o a combustione interna, quando il combustibile è bruciato nel fluido stesso, in modo che vengano a far parte di questo anche i prodotti di combustione. I motori a combustione interna sono senz'altro i più diffusi in termini di unità installate. Fra questi troviamo i motori a ciclo Diesel, i motori a ciclo Otto e le turbine a gas.

I biocarburanti sono stati utilizzati nei motori endotermici sin dalle prime fasi di sviluppo di queste macchine. Già nei primi anni del Novecento gli oli vegetali erano

utilizzati nei motori Diesel, mentre i primi studi più approfonditi risalgono agli anni Venti. L'interesse verso i biocarburanti crebbe durante la seconda guerra mondiale, per far fronte alla mancanza di combustibili fossili.

A partire dal secondo dopoguerra, tuttavia, lo sviluppo tecnologico ha portato ad un uso quasi esclusivo dei combustibili fossili. In questo periodo i motori, e soprattutto i sistemi di iniezione e di controllo, sono stati perfezionati a tal punto da diventare poco flessibili per l'utilizzo con carburanti diversi dal gasolio e dalla benzina.

Recentemente l'accresciuta attenzione all'impatto ambientale dei processi di combustione ha rinnovato l'interesse nei confronti dei biocarburanti e delle implicazioni che il loro utilizzo nei motori può avere in termini tecnici ed economici.

In questo capitolo ci si propone, quindi, di analizzare proprio queste implicazioni, in relazione al tipo di motore utilizzato. È descritto il principio di funzionamento dei più diffusi motori endotermici ed, in particolare, sono analizzati quei componenti del motore il cui funzionamento può essere influenzato dal tipo di combustibile impiegato.

I motori a combustione interna

I motori a combustione interna sono macchine termiche, che convertono in lavoro meccanico l'energia chimica rilasciata nel corso della combustione. Il loro nome deriva dal fatto che la trasformazione dell'energia ha luogo all'interno del motore stesso, e non all'esterno, in appositi organi come caldaie e bruciatori.

I motori a combustione interna possono essere suddivisi in differenti categorie, facendo uso di diversi criteri di classificazione, alcuni dei quali sono riportati nel seguito ^{5,6}:

- *modalità di accensione*: motori ad accensione comandata o ad accensione per scintilla, comunemente indicati come motori Otto, e motori ad accensione spontanea o per compressione, detti anche motori Diesel;
- *durata del ciclo di funzionamento*: motori a due tempi, in cui il ciclo di funzionamento si compie in un solo giro dell'albero motore e, quindi, in due corse dello stantuffo, e motori a quattro tempi, in cui il ciclo di funzionamento si compie in due giri dell'albero motore, ovvero in quattro corse dello stantuffo.

I motori a combustione interna alternativi sono caratterizzati dalla presenza di una camera di combustione a volume variabile, la cui geometria è definita dal moto alterno dello stantuffo. Quest'ultimo è collegato tramite una biella all'albero motore, detto anche albero a gomiti, e si muove tra due posizioni estreme, dette punto morto superiore (PMS) e punto morto inferiore (PMI), in corrispondenza delle quali il volume della camera raggiunge, rispettivamente, i valori minimo e massimo. Il cilindro è messo in comunicazione con l'ambiente esterno da apposite valvole di aspirazione e di scarico, che sono aperte ad ogni ciclo e consentono il ricambio del fluido di lavoro.

Nel cilindro dei motori a ciclo Otto è compressa una miscela di aria e combustibile, che viene accesa mediante una scintilla provocata da una candela negli ultimi istanti della fase di compressione. Ai fini del corretto funzionamento del motore è molto importante che il combustibile non si accenda spontaneamente a seguito delle alte temperature presenti nel cilindro (detonazione). Questo problema può essere evitato limitando il rapporto di compressione. La fase di compressione dei

motori Diesel interessa solamente aria e, quindi, il rischio di detonazione non esiste ed il rapporto di compressione può essere più elevato. Si passa così da un rapporto di compressione, che al massimo può essere 12:1 – 13:1 nei motori Otto, a dei valori superiori a 20:1 tipici dei motori Diesel. Dal momento che il rendimento del motore è proporzionale al rapporto di compressione, si evince che il motore Diesel può raggiungere delle efficienze di conversione più elevate. Un'altra differenza fra i due tipi di motore, che incide anche sul rendimento, è relativa al sistema di controllo. Nel motore Otto la regolazione della quantità di carica immessa nel cilindro avviene tramite una valvola (i.e. valvola a farfalla), che causa delle perdite di carico nel circuito di alimentazione. La regolazione dei motori Diesel avviene, invece, controllando solo la quantità di combustibile introdotta direttamente nel cilindro, mentre rimane invariata la quantità di aria. Ciò comporta ai carichi parziali un vantaggio, in termini di rendimento, per i motori Diesel rispetto a quelli Otto.

I vantaggi dei motori a ciclo Otto

Nonostante un'efficienza più bassa, i motori a ciclo Otto presentano alcuni vantaggi rispetto ai motori Diesel:

- nei motori Diesel la pressione nel cilindro è più elevata e ciò comporta delle sollecitazioni meccaniche superiori, che impongono una struttura più resistente, andando a penalizzare il costo ed il peso del sistema; questo aspetto è importante per un motore destinato alla trazione, meno rilevante per un motore stazionario;
- nei motori Diesel la combustione comporta dei depositi carboniosi e causa un più rapido degrado dell'olio lubrificante, che incide negativamente sui costi di manutenzione;
- i motori Otto, soprattutto se alimentati a gas naturale, consentono di raggiungere livelli di emissioni nocive inferiori rispetto ai motori Diesel alimentati con combustibili liquidi;
- nelle applicazioni cogenerative la minore efficienza del motore Otto può essere compensata dalla maggiore quantità di calore rilasciato e, quindi, potenzialmente recuperabile. Contestualmente utilizzando gas naturale privo di zolfo, è possibile abbassare la temperatura dei gas di scarico, senza incorrere in problemi di corrosione delle ultime sezioni degli scambiatori e recuperare così una frazione maggiore di energia termica.

I sistemi di alimentazione dei motori a ciclo Otto

Nei motori ad accensione comandata si utilizzano principalmente due sistemi di alimentazione:

- la carburazione, che sfrutta la depressione all'interno di un condotto Venturi per richiamare la quantità di combustibile necessaria nel flusso d'aria aspirato dal movimento discendente del pistone;
- l'iniezione (diretta o indiretta), ovvero il combustibile è iniettato sotto pressione nella massa d'aria aspirata.

Con la sola eccezione dei sistemi ad iniezione diretta, la preparazione della miscela aria-combustibile inizia al di fuori dei cilindri e si completa all'interno della camera di combustione.

La velocità di formazione e l'omogeneità della miscela dipendono da molti parametri di funzionamento e costruttivi del motore, quali ad esempio la velocità di rotazione, il carico, le caratteristiche del combustibile, la geometria dei condotti e la disposizione delle valvole.

La qualità della miscela può essere definita tramite la dosatura (A/F), ovvero il rapporto in massa aria-combustibile. Quando, nel caso dei motori alimentati a benzina, questo rapporto vale 14,7 la miscela è detta "stechiometrica"; per valori superiori è detta "magra" e per quelli inferiori "ricca" o "grassa". Utilizzando una miscela magra è possibile ottenere dei rendimenti migliori mentre, entro certi limiti, una miscela ricca consente di raggiungere delle potenze più elevate. Per un motore catalizzato, il funzionamento ottimale della marmitta catalitica richiede il mantenimento della dosatura stechiometrica, tuttavia in alcune condizioni di funzionamento, ad esempio durante l'avviamento a freddo, la miscela viene arricchita. Ciò comporta un temporaneo aumento delle emissioni inquinanti.

Nei sistemi ad iniezione indiretta la quantità di combustibile necessaria per ottenere la dosatura corretta può essere iniettata nel flusso d'aria in aspirazione da un unico iniettore, posizionato subito a monte della valvola a farfalla (iniezione *single-point*), oppure, l'iniezione può essere affidata a più iniettori, uno per ciascun cilindro, posizionati a monte della valvola di aspirazione (iniezione *multi-point*).

In base alla strategia di comando degli iniettori, l'iniezione *multi-point* può essere:

- *simultanea*: quando gli iniettori immettono contemporaneamente il combustibile, richiedendo così un solo comando da parte dell'unità di controllo;
- *semisequenziale*: quando sono attivati diversi gruppi di iniettori con un unico comando, semplificando così il sistema di controllo;
- *sequenziale*: quando i singoli iniettori sono azionati individualmente secondo un ordine prefissato.

L'esigenza di ridurre ulteriormente le emissioni inquinanti dei motori a benzina ha portato alla fine degli anni Novanta alla realizzazione dei motori a carica stratificata con l'adozione dell'iniezione diretta. Questo sistema, però, non è attualmente molto diffuso, in quanto comporta la necessità di introdurre il combustibile a pressioni più elevate (decine di bar) rispetto l'iniezione indiretta (3,5 bar). Per entrambi i sistemi, la regolazione della quantità iniettata e, quindi, della qualità della miscela, sono attuate intervenendo sul tempo di apertura degli iniettori.

Bioetanolo e motori a ciclo Otto

Il bioetanolo è una valida e concreta alternativa alla benzina e può essere utilizzato sia puro, E100, sia miscelato, ad esempio nella proporzione di 85% v/v di alcol e 15% v/v di benzina, E85⁷. La presenza di una piccola percentuale di benzina è necessaria per consentire l'avviamento a freddo, poiché al di sotto dei 15 °C l'alcol evapora con difficoltà, non consentendo l'innesco della combustione; questo inconveniente può essere risolto anche utilizzando un riscaldatore.

L'elevato numero di ottano dell'etanolo permette il miglioramento delle prestazioni del motore, in quanto diminuisce il rischio della detonazione. È un indice che caratterizza le qualità antidetonanti di una benzina: maggiore è il suo valore più elevata sarà la resistenza alla detonazione.

La detonazione è una combustione anomala che consiste nell'autoaccensione della miscela aria-combustibile prima che essa sia raggiunta dal fronte di fiamma. In seguito alla detonazione si creano onde di pressione, ovvero onde d'urto che si muovono alla velocità del suono nella camera di combustione, che generano una rumorosità caratteristica conosciuta come "battito in testa". La detonazione diminuisce il rendimento del motore e, se di entità rilevante, può danneggiare le componenti meccaniche (stantuffo e testata).

Il bioetanolo ha un potere calorifico inferiore rispetto alla benzina di circa il 40%, il che si traduce in un aumento dei consumi di circa il 35% ed in una leggera riduzione delle prestazioni, se non si interviene su altri parametri di funzionamento, quali la durata dell'iniezione e l'anticipo dell'accensione.

I potenziali rischi connessi all'utilizzo del bioetanolo sono dovuti ai fenomeni di corrosione; l'impianto di alimentazione, pertanto, deve essere realizzato impiegando preferibilmente l'acciaio *inox* o delle gomme compatibili.

Le proprietà lubrificanti del bioetanolo, inoltre, sono inferiori rispetto a quelle della benzina e, quindi, per certe componenti (e.g. sedi delle valvole) devono essere impiegati materiali più resistenti.

Oggi, comunque, tutti i motori sono predisposti per poter funzionare con benzine contenenti percentuali limitate di etanolo (i.e. 5-10 % in volume) in ottemperamento delle Direttive comunitarie.

Come già menzionato, l'impiego del bioetanolo nei motori a ciclo Otto permette prestazioni comparabili a quelle della benzina (Tabella 1)⁸.

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO: FLEXIBLE FUEL VEHICLES (FFV)

Alcune case costruttrici stanno commercializzando dei modelli di vetture denominati *Flexible Fuel Vehicles* (FFV). Questi veicoli sono progettati per funzionare con miscele bioetanolo-benzina, nelle quali il bioetanolo è presente al massimo fino all'85 % v/v (E85). La flessibilità e, quindi, il vantaggio dei sistemi FFV consistono nella possibilità, da parte del sistema di controllo del motore, di rilevare la concentrazione di bioetanolo nel serbatoio e di ottimizzare automaticamente sia l'iniezione che l'accensione.

Per ovviare a potenziali problemi di avviamento a freddo, alcuni modelli sono dotati di riscaldatori elettrici del blocco motore, impiegati di solito solamente quando la temperatura ambiente scende sotto dei -15 °C^{9,10}.

I benefici ambientali e le emissioni

Il ruolo strategico del bioetanolo deve essere collegato ai benefici ambientali che derivano dal suo impiego. Il bilancio della CO₂, infatti, mostra un valore pari quasi a zero se il bioetanolo è prodotto da residui agricoli o rifiuti oppure molto basso se il bioetanolo è prodotto utilizzando colture dedicate. Un altro importante aspetto è che l'impiego del bioetanolo in autotrazione contribuisce a migliorare la qualità

Emissioni inquinanti	CO	NO _x	SO ₂	PM	VOC
Bioetanolo 10 % v/v ¹¹	- 5	n.r.	- 18	- 46	n.r.
Bioetanolo 20 % v/v ¹²	- 27	+	-	-	- 25
Bioetanolo 85 % v/v ¹³	- 23	- 50	- 93	- 70	- 58

Tabella 4: risparmio in emissioni inquinanti (%) durante la combustione di differenti miscele di bioetanolo e benzina; n.r.: differenza non rilevabile

dell'aria nei centri urbani e nelle principali arterie stradali. Esso infatti contiene un elevato quantitativo di ossigeno che permette una combustione migliore di quella della benzina con un significativo contenimento delle emissioni di CO, particolato, NOx e VOC come riportato nella Tabella 4.

6.4 Le strategie europee per le FER ed i biocarburanti

L'impegno della CE a favore dell'impiego delle FER nel settore dei trasporti e nella produzione di energia elettrica e termica è testimoniato da numerose Direttive. Per motivi di sintesi questo capitolo riporta solamente le Direttive attinenti al settore dei trasporti ed ai biocarburanti in particolare, poiché il modello di filiera considerato prende avvio dalle potenzialità innanzitutto alcoligene del sorgo zuccherino, mentre la valorizzazione energetica dei sottoprodotti ne costituisce un corollario, anche se di valore agli effetti della sostenibilità economica della filiera.

A seguito del Protocollo di Kyoto la penetrazione dei biocarburanti nel settore dei trasporti è stata fortemente supportata dalla CE attraverso le Direttive 2003/30/CE e 2003/96/CE.

La Direttiva 2003/30/CE dell'8 Maggio 2003 sulla "Promozione dell'uso dei biocarburanti od altri carburanti rinnovabili nel settore dei trasporti" ha posto le basi per la promozione e la diffusione dei biocarburanti nell'UE. In particolare, tale Direttiva ha stabilito che gli Stati Membri assicurino una quota minima di biocarburanti ed altri carburanti rinnovabili immessa sul mercato e, di conseguenza, indichino gli obiettivi a livello nazionale.

I valori di riferimento per questi obiettivi sono stati forniti sulla base del contenuto energetico, come di seguito riportato:

- o il 2% dei carburanti fossili impiegati nel settore dei trasporti (i.e. benzine, gasolio) immessi sui mercati nazionali al 31 dicembre 2005;
- o il 5,75% dei carburanti fossili impiegati nel settore dei trasporti (i.e. benzine, gasolio) immessi sui mercati nazionali 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 CO₂, CO, NO_x, 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 bio-etanolo, il biodiesel, il biogas, il biometanolo, il bio-dimetill-etere, 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:

- o 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;
- o 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);

o come liquidi derivati dai biocarburanti, ossia bio-ETBE e bio-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:

o art. 16.1: gli Stati Membri possono applicare l'esenzione o la riduzione della tassa sui biocarburanti;

o art. 16.3: l'esenzione o la riduzione della tassa può essere modulata in funzione dell'evoluzione dei prezzi delle materie prime;

o 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 permette l'applicazione dell'esenzione o della riduzione delle accise dal 1° gennaio 2003 (art. 28.2)

La Direttiva 2009/28/CE del 23 aprile 2009 (RED) aggiorna gli obiettivi della Direttiva 2003/30/CE per la sostituzione dei prodotti petroliferi nel settore dei trasporti e fissa nel 10% il contributo delle FER ai consumi energetici finali del settore dei trasporti al 2020.

La RED, inoltre, introduce per la prima volta il rispetto della sostenibilità come requisito per il conteggio dei biocarburanti ai fini del raggiungimento dell'obiettivo del 10%.

Il primo criterio di sostenibilità riguarda il risparmio nelle emissioni di GHGs attribuito ai biocarburanti, che deve essere calcolato valutandone l'intero ciclo di vita, ossia dalla culla alla tomba (i.e. LCA):

o il risparmio in GHGs attribuito all'uso dei biocarburanti deve essere almeno del 35%;

o con effetto dal 1° gennaio 2017, il risparmio nelle emissioni di GHGs attribuito all'uso dei biocarburanti deve essere almeno del 50%;

o dal 1° gennaio 2018, il risparmio nelle emissioni di GHGs attribuito all'uso dei biocarburanti deve essere almeno del 60%, se la produzione degli stessi è avviata a partite dal 1 gennaio 2017.

Ulteriori criteri di sostenibilità prevedono la salvaguardia di ambienti ed ecosistemi, che necessitano di essere preservati dall'espansione delle colture energetiche. A questo scopo la RED elenca le situazioni che richiedono protezione dai potenziali impatti ambientali e sociali, ad esempio le foreste primarie, le aree protette, le zone umide e le torbiere.

Al fine di valutare il rispetto dei criteri relativi al risparmio nelle emissioni di GHGs, la RED fornisce i valori di riferimento dei biocarburanti ottenuti dalle più diffuse materie prime (Allegato V, Parte A). Tali valori sono calcolati considerando, oltre alla CO₂, anche il CH₄ ed il N₂O, i cui effetti climateranti sono significativamente superiori a quello della CO₂. Per i casi non riconducibili a questi valori di riferimento (e.g. per materia prima o per tipo di processamento), la RED indica la metodologia di calcolo del risparmio nelle emissioni di GHGs (Allegato V, Parte C).

Per semplificare questo calcolo ed utilizzare degli indici di riferimento, gli Stati Membri devono notificare alla CE le zone geografiche (i.e. NUT2), in cui le emissioni in

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO: CRITERI DI SOSTENIBILITÀ PER I BIOCARBURANTI AI SENSI DELLA RED

L'accertamento della sostenibilità è un requisito sia per i biocarburanti prodotti nell'UE, sia per quelli importati e solo i biocarburanti certificati come "sostenibili" sono conteggiati ai fini del raggiungimento dell'obiettivo al 2020 e possono beneficiare di eventuali misure di aiuto.

La sostenibilità dei biocarburanti è assicurata dal rispetto dei seguenti criteri:

1. il risparmio nelle emissioni di GHGs attribuito al biocarburante deve essere almeno del 35% a partire dal 1° gennaio 2012, del 50% dal 1° gennaio 2017 e del 60% dal 1° gennaio 2018;
2. i biocarburanti non devono essere prodotti a partire da materie prime ottenute su terreni che presentano un elevato valore in termini di biodiversità, ossia su terreni che a decorrere da gennaio 2008 abbiano conseguito uno dei seguenti *status*, indipendentemente dal fatto che detto *status* sia stato successivamente conservato:

- foreste primarie e altri terreni boschivi, vale a dire foreste e altri terreni boschivi di specie native, ove non vi sia alcun segno chiaramente visibile di attività umana ed i processi ecologici non siano perturbati in modo significativo;

- aree designate:

- a) a norma di legge o dall'autorità competente per scopi di protezione della natura;
- b) per la protezione di ecosistemi o specie rari, minacciati o in pericolo di estinzione, riconosciuti da accordi internazionali o inclusi in elenchi compilati da organizzazioni intergovernative o dall'Unione internazionale per la conservazione della natura, previo il loro riconoscimento;

a meno che non venga dimostrato che la produzione delle predette materie prime non abbia interferito con detti scopi di protezione della natura;

- terreni erbosi naturali ad elevata biodiversità, ossia:

- a) terreni erbosi che rimarrebbero tali in assenza di interventi umani e che mantengono la composizione naturale delle specie nonché le caratteristiche ed i processi ecologici;
- b) terreni erbosi non naturali, ossia terreni erbosi che cesserebbero di essere tali in assenza di interventi umani e che sono ricchi di specie e non degradati, a meno che non sia dimostrato che il raccolto delle materie prime è necessario per preservarne lo *status* di terreni erbosi;

3. i biocarburanti non devono essere prodotti a partire da materie prime ottenute su terreni che presentano un elevato *stock* di carbonio, ossia terreni che nel gennaio 2008 possedevano uno dei seguenti *status*, che nel frattempo hanno perso:

- zone umide, ossia terreni coperti o saturi d'acqua in modo permanente o per una parte significativa dell'anno;

- zone boschive continue, ossia terreni aventi un'estensione superiore ad un ettaro caratterizzati dalla presenza di alberi di altezza superiore a cinque metri e da una copertura della volta superiore al 30% o da alberi che possano raggiungere tale soglia *in situ*;

- terreni aventi un'estensione superiore ad un ettaro con alberi alti più di cinque metri ed una copertura della volta tra il 10% ed il 30% o da alberi che possano raggiungere tale soglia *in situ*;

4. i biocarburanti non devono essere prodotti da materie prime ottenute su terreni che erano torbiere nel gennaio 2008 a meno che non siano fornite prove del fatto che la coltivazione e la raccolta di tali materie prime non comportino drenaggio di terreno precedentemente non drenato.

GHGs per una certa coltura dedicata alla produzione di biocarburanti risultano inferiori a quelle considerate nei valori di riferimento.

Per effetto della RED sono stati predisposti alcuni sistemi di autocertificazione della sostenibilità ed alcuni di essi sono stati ufficialmente riconosciuti dalla CE: "Greenenergy Brazilian Bioethanol Verification Program", "Bonsucro EU", "Abengoa RED

Bioenergy Sustainability", "Roundtable of Sustainable Biofuels EU RED", "International Sustainability and Carbon Certification", "Biomass Biofuels Voluntary Scheme" (riconoscimento ufficiale in data 27 maggio 2011).

L'ambito di azione della RED è molto più ampio rispetto al solo settore dei trasporti. In particolare in questa sede risulta interessante richiamare il cosiddetto obiettivo "20-20-20", ossia la riduzione delle emissioni di GHGs al 2020 del 20%, il miglioramento dell'efficienza energetica al 2020 del 20% ed il contributo delle FER ai consumi energetici totali al 2020 del 20%.

Per favorire il raggiungimento di questi obiettivi, la RED indica alcune strategie, tra cui: o la definizione di un programma comune per la promozione dell'energia ottenuta dalle FER;

o la definizione di obiettivi nazionali per le quote coperte dalle FER nel consumo energetico totale e nei consumi elettrici;

o la definizione di norme per il trasferimento statistico, in modo da favorire progetti comuni fra gli Stati Membri e Paesi terzi, nonché di norme sulle garanzie di origine, sulle procedure amministrative, sulle informazioni, sulla formazione e sull'accesso alla rete elettrica da parte delle energie 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 dei 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 sulla LCA 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 bioetanolo (E10). Al fine di evitare danni alle vetture meno recenti, tuttavia, il carburante con il 5% (v/v) di bioetanolo (E5) 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 RED. 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 stati tenuti a recepire la Direttiva in legge nazionale entro il 2010.

Un recente documento della CE (i.e. Documento di Accompagnamento alla Comunicazione dalla Commissione del Parlamento Europeo e del Consiglio {COM(2011)31

		AT	BE	BG	CY	CZ	DE	DK	EE	ES	FI	FR	GR	HU	IE	IT	LT	LU	LV	MT	NL	PL	PT	RO	SE	SI	SK	UK
ENERGIA ELETTRICA	FIT	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X	X	X
	<i>Feed in premium</i>					X		X	X	X											X					X		
	Obbligo quote		X													X						X		X	X			X
	Finanziamenti		X		X	X					X		X	X			X	X	X	X	X							
	Esenzione fiscale		X							X	X		X						X		X	X			X		X	X
	Incentivi fiscali			X			X		X											X	X	X				X		
ENERGIA TERMICA	Finanziamenti	X	X	X	X	X	X		X		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
	Esenzione fiscale	X	X					X				X	X			X	X				X				X			X
	Incentivi fiscali			X			X		X			X											X					
	<i>Feed in premium</i>											X																
TRASPORTI	Obbligo quote	X		X	X	X	X	X		X	X	X			X		X	X	X		X	X	X	X		X	X	X
	Incentivi fiscali	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X

Tabella 5: misure di aiuto a favore delle FER negli Stati Membri (modificato da ¹⁴⁾)

finale} del 31 gennaio 2011) ha analizzato le misure di aiuto nazionali alle FER applicate negli Stati Membri e le strategie adottate per il raggiungimento degli obiettivi al 2020. La situazione per i supporti nazionali alle FER è riassunta nella Tabella 5.

Nel settore dei trasporti sono applicate due misure a supporto a favore delle FER ed in particolare del biodiesel e del bioetanolo: il sistema di imporre le quote di incorporazione come obbligo soggetto a sanzione amministrativa e l'agevolazione fiscale. In 17 Paesi dell'UE le due misure di supporto sono integrate, con un effettivo aumento nell'utilizzo dei biocarburanti.

Per quanto attiene all'energia elettrica dalle FER, 21 Stati Membri applicano il conto energia (FIT) almeno per alcune tecnologie ed in alcuni settori del mercato, 6 Stati Membri impiegano il sistema *feed in premium* e 6 l'applicazione delle quote d'obbligo. La combinazione di diverse misure all'interno dello stesso Paese è una scelta che permette di agire con efficacia sullo sviluppo delle FER, minimizzando le distorsioni nel mercato. L'applicazione delle diverse misure a favore dell'energia elettrica ha creato una situazione dicotomica in cui da un lato c'è il mercato dei Certificati Verdi, per i quali è fissata la quantità e non il prezzo, e dall'altra c'è il conto energia, per il quale è fissato il prezzo ma non la quantità. L'approccio storicamente applicato dalla maggior parte dei Paesi Membri è il ricorso alle risorse nazionali per il conseguimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni di GHGs. La CE non condivide questo approccio, in quanto non favorisce le FER economicamente più competitive alla scala comunitaria, ma agevola il mercato interno di ciascun Paese (e.g. in termini di occupazione). Nell'opinione della CE questo

strabismo sarà superato nel momento in cui il costo per lo sfruttamento delle FER nazionali non sarà più sostenibile rispetto a quello delle FER disponibili in altri Paesi.

Nel settore dell'energia termica il regime di aiuto si è limitato quasi esclusivamente al finanziamento per l'installazione di impianti solari. Solo recentemente si sta assistendo allo sviluppo di sistemi di incentivo differenti, principalmente per effetto della RED. Le fonti che risultano più promettenti sono la geotermia, le biomasse ed il biogas in cogenerazione con teleriscaldamento.

Per favorire lo sfruttamento delle FER più convenienti alla scala comunitaria e superare le logiche nazionali di approvvigionamento interno, la RED ha introdotto dei meccanismi di cooperazione a favore del mercato dell'energia elettrica, che permetteranno un finanziamento trasversale tra gli Stati Membri per il raggiungimento degli obiettivi al 2020:

o trasferimenti statistici: questi accordi tra gli Stati Membri prevedono il trasferimento di una quantità di energia rinnovabile prodotta in uno Stato Membro ad un altro Stato Membro ai fini del raggiungimento degli obiettivi nazionali del Paese ricevente. Il trasferimento, che è puramente virtuale, non prevede reali flussi energetici ed è funzionale affinché gli Stati Membri con elevate risorse rinnovabili e/o con misure di supporto efficaci possano cedere il *surplus* energetico ad altri Stati Membri che risultano deficitari;

o progetti congiunti: si tratta della realizzazione di impianti e/o infrastrutture in uno Stato Membro, della cui produzione elettrica beneficiano due o più Stati Membri ai fini del raggiungimento dei rispettivi obiettivi nazionali. Questo meccanismo permette di sviluppare una FER dove è conveniente farlo e di distribuirne l'energia elettrica ottenuta anche in Paesi in cui non ci sarebbe la stessa convenienza. A differenza dei trasferimenti statistici, in questo meccanismo di cooperazione possono essere coinvolti anche soggetti privati (e.g. produttori di energia elettrica, ditte per la realizzazione delle infrastrutture, produttori di strumentazione, consorzi bancari). Il finanziamento ai progetti congiunti può essere concesso dal Paese Membro ospitante l'impianto e/o l'infrastruttura, o, in alternativa da un altro Paese Membro, qualora le misure di supporto non siano idonee o l'iniziativa non rientri nelle priorità nazionali del Paese ospitante l'iniziativa. A fronte della concessione del finanziamento (e.g. prestiti, sovvenzioni, gare di appalto o accesso a regimi di supporto nazionale), lo Stato Membro finanziatore riceve un credito per la quota di energia rinnovabile prodotta. Per favorire il raggiungimento degli obiettivi al 2020, la RED estende la possibilità di avviare specifici progetti congiunti anche con questi Paesi terzi. In questo caso, pur mantenendo la stessa struttura, i progetti sono assoggettati a rigide condizioni che assicurino una reale produzione di energia elettrica da FER (ossia non virtuale), in modo da evitare una sovra-compensazione a favore dei produttori;

o schema di supporto congiunto: gli Stati Membri possono creare degli accordi per armonizzare le misure di supporto nazionali (e.g. FIT, Certificati Verdi); ne consegue che l'energia elettrica prodotta è considerata comune ed è distribuita applicando le regole dei trasferimenti statistici oppure di norme specifiche stabilite *ad hoc*.

La CE ritiene plausibile che l'applicazione di questi meccanismi si traduca nella riduzione del costo per il raggiungimento degli obiettivi al 2020, favorendo al contempo la crescita di questo settore economico a livello comunitario.

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO: CAMBIO DI USO DEL SUOLO INDIRETTO (ILUC)

Con il termine ILUC si intende l'impatto potenziale dovuto all'espansione dei terreni agricoli per la produzione agro-alimentare come conseguenza della diffusione delle colture energetiche per la produzione di biocarburanti, indotta dal rispetto dei criteri di sostenibilità previsti dalla RED.

Per effetto della RED, infatti, la perdita dei terreni con elevati stock di carbonio potrebbe non essere dovuta direttamente alla produzione dei biocarburanti, bensì alla conseguente espansione dei terreni agricoli destinati al settore agro-alimentare, che non è interdetta dalle disposizioni della RED.

A differenza della LUC, che comporta un cambio evidente nell'uso di un terreno, la ILUC non può essere direttamente osservata e misurata.

La CE sta valutando l'opportunità di includere la ILUC tra i criteri di sostenibilità dei biocarburanti ed a questo scopo ha lanciato una procedura di consultazione pubblica diretta anche a definire il modello che potrebbe essere utilizzato ai fini del calcolo.

Le opzioni considerate dalla CE sono:

- non includere per il momento la ILUC tra i criteri di sostenibilità, riservandosi di monitorare l'andamento e decidere in seguito: questa opzione manterrebbe per il momento la RED nella sua configurazione attuale, ma il monitoraggio potrebbe tradursi nell'introduzione di ulteriori criteri di sostenibilità in un momento successivo. Questo scenario allontana la questione e può avere l'effetto di non scoraggiare potenziali investitori. D'altra parte non è da escludere che tale incertezza alimenti il clima di diffidenza che grava sul settore dei biocarburanti e deprima le iniziative imprenditoriali a medio-lungo termine.
- aumentare la soglia minima del risparmio nelle emissioni di GHGs per i biocarburanti: con questa opzione sarebbe applicato un approccio cautelativo in base al quale, non conoscendo l'entità della potenziale ILUC, si aumenta il margine di risparmio nelle emissioni di GHGs nella prospettiva di limitarne l'effetto, qualora ci sia. La nuova soglia è relativa solo alle emissioni dirette, pertanto non è richiesta l'impostazione di un calcolo dell'eventuale ILUC. Ne consegue che questa opzione non incoraggia i produttori di materie prime e di biocarburanti ad adottare pratiche *ad hoc* per ridurre l'impatto derivante dall'ILUC. Peraltro, si corre il rischio che sul mercato diminuisca la disponibilità di materie prime per la produzione di biocarburanti, con ripercussioni sui costi in ogni segmento della filiera a danno anche del consumatore finale;
- introdurre nuovi requisiti di sostenibilità per certe categorie di biocarburanti: questa opzione può implicare che il rispetto della conformità ai nuovi requisiti si traduca nell'aumento dei costi di approvvigionamento e nella diminuzione nel numero degli attori di mercato. Ne consegue che in questo scenario risultano favorite le grandi organizzazioni/companie in grado di ammortizzare i costi aggiuntivi senza ricadute negative sui profitti a breve termine. La principale ripercussione prevista è l'aumento della diffidenza degli investitori;
- considerare la ILUC per i biocarburanti e quantificarla in termini di emissioni di GHGs: questa opzione introdurrebbe un fattore ILUC ed il relativo calcolo e le emissioni di GHGs corrispondenti andrebbero allocate sul biocarburante. Questa scelta è stata adottata negli USA a livello federale (i.e. RFS2) ed in alcuni casi a livello statale (e.g. in California, LCFS). La difficoltà di questa opzione è insita nella definizione della metodologia di calcolo del fattore ILUC, in quanto si corre il rischio che, utilizzando dei modelli che si basano su delle categorizzazioni (e.g. materia prima, geografia), alcune specificità siano perse.

Nell'ambito della consultazione pubblica, i rappresentanti del settore industriale si sono opposti all'introduzione di ulteriori requisiti di sostenibilità e/o del fattore ILUC, denunciando la scarsa scientificità delle opzioni proposte dalla CE. Infatti, i modelli che tentano di quantificare l'impatto della ILUC sulle emissioni di GHGs dei biocarburanti evidenziano alcune significative incertezze, relativamente ad esempio al contributo dei sottoprodotti (e.g. DDGS e DDG dal processamento dei cereali) ed alle forme di agricoltura che aumentano il sequestro del carbonio (e.g. minima lavorazione, ricorso a colture perennanti che sequestrano il carbonio nelle radici e fusti).

Una relazione, presentata nell'ottobre 2011 da parte di un consorzio di organizzazioni industriali e non governative, propone un approccio alternativo a quelli della CE, che prevede un meccanismo di mercato per i biocarburanti, per stimolare la riduzione della ILUC ed i relativi crediti di carbonio a seguito dell'applicazione di comportamenti e strategie virtuosi (e.g. impiego dei sottoprodotti ad esempio come mangimi, coltivazione in terreni abbandonati o degradati, uso di rifiuti come materia prima)¹⁵.

La CE prenderà una decisione in merito alla sua posizione sulla ILUC nei prossimi mesi.

La risoluzione di questa questione è urgente, poiché gli investimenti nel settore dei biocarburanti attualmente sono frenati dall'incertezza relativa al calcolo delle emissioni di GHGs e dall'evoluzione del mercato di ciascun biocarburante per effetto delle decisioni della CE.

6.5 Consumo, produzione e mercato del bioetanolo nell'UE

Il consumo di bioetanolo nell'UE è significativamente aumentato nel 2010 rispetto al 2009, arrivando al 26,1% come conseguenza dell'obiettivo imposto dalle Direttive e per effetto del recente aumento della quota di incorporazione del bioetanolo nella benzina (i.e. 10%, E10) (Tabella 6).

Considerando questo *trend* è plausibile che i Paesi Membri, che hanno già conseguito gli obiettivi nazionali, guideranno la crescita europea nei prossimi anni.

In merito alla produzione europea di bioetanolo, il quantitativo totale prodotto nel 2010 è stato di 4,3 milioni di tonnellate con un aumento del 13,3% rispetto al 2009 (i.e. 3,8 milioni di tonnellate).

La domanda di bioetanolo nell'UE (i.e. 2,93 milioni di tep) supera la produzione (i.e. 2,75 milioni di tep) e di conseguenza le importazioni di questo biocarburante incidono significativamente sul quantitativo totale consumato.

Il bioetanolo importato dai Paesi dell'UE deriva tradizionalmente dal Brasile e dagli Stati Uniti.

Recentemente le importazioni dal Brasile sono precipitate quasi ad un punto di non ritorno, poiché la domanda interna di bioetanolo ha difficoltà ad essere soddisfatta, a causa della grande diffusione dei veicoli FFV. Inoltre, a fronte dei prezzi elevati a livello globale, il Brasile sta incoraggiando le esportazioni di zucchero.

Al contrario, il bioetanolo prodotto negli Stati Uniti è disponibile per l'importazione nell'UE, in quanto l'offerta supera la domanda interna. Il *surplus* di bioetanolo nel mercato statunitense costituisce un rischio di esportazione sottocosto come miscela E90, poiché essa beneficia di una riduzione delle accise più elevata di quella riservata al bioetanolo puro. Questa distorsione nel mercato è destinata a rientrare nel breve termine, per effetto dell'imminente aumento della quota di bioetanolo in miscela con la benzina (i.e. dal 10% attuale, E10, al 15%, E15) in tutti i veicoli in circolazione dal 2001 ai sensi dell'RFS. Ne consegue che è prevista un'importante diminuzione della disponibilità della miscela E90.

Il rispetto dell'obiettivo del 10% introdotto dalla RED per ciascuno degli Stati Membri causerà nel breve termine un aumento nella domanda di bioetanolo, che dovrebbe essere coperta almeno in parte dalla produzione interna.

Paese	Consumo nel 2009	Consumo nel 2010	Differenziale 2009/2010	
Grecia	0	0	-	-
Italia	118.014	139.940	+ 21.926	+18,6%
Spagna	152.347	233.179	+ 80.832	+ 53,0%
Germania	581.686	746.775	+ 165.089	+ 28,4%
Francia	410.404	490.112	+ 79.708	+ 19,4%
Regno Unito	160.505	316.495	+ 155.990	+ 97,2%
Polonia	150.000	187.184	+ 37.184	+ 24,8%
Austria	64.488	63.457	- 1.031	- 1,6%
Svezia	198.183	203.943	+ 5.760	+ 2,9%
Olanda	137.360	134.136	- 3.224	- 2,3%
Belgio	42.392	52.119	+ 9.727	+ 22,9%
Portogallo	0	0	-	-
Romania	53.274	45.142	- 8.132	- 0,15%
Repubblica Ceca	48.326	61.262	+ 12.936	+ 26,8%
Ungheria	46.972	57.615	+ 10.643	+ 22,7%
Slovacchia	39.983	45.142	+ 5.159	+ 12,9%
Finlandia	75.451	73.517	- 1.934	- 2,6%
Irlanda	23.241	27.324	+ 4.083	+ 17,6%
Lituania	14.091	10.412	- 3.679	- 26,1%
Lussemburgo	740	720	- 20	- 2,7%
Slovenia	1.859	2.904	+ 1.045	+ 56,2%
Cipro	0	0	-	-
Danimarca	6.238	34.179	+ 27.941	+ 447,9%
Bulgaria	0	0	-	-
Lettonia	1.120	8.419	+ 7.299	+ 651,7%
Malta	0	0	-	-
Estonia	0	0	-	-
Totale	2.326.675	2.933.977	+ 607.302	+ 26,1%

Tabella 6: consumo di bioetanolo nell'UE nel 2009 e nel 2010 (in tep)¹⁶

Paese	Numero di impianti	Materia prima
Spagna	4	Orzo, frumento, alcol grezzo, mais, lignocellulosa
Francia	12	Barbabietola da zucchero, succhi zuccherini, frumento, glucosio, alcol grezzo
Olanda	1	Cereali
Belgio	2	Cereali
Germania	3	Cereali, succhi zuccherini
Repubblica Ceca	1	Frumento
Austria	1	Frumento
Ungheria	1	Mais

Tabella 7: impianti di produzione di bioetanolo nell'UE ¹⁷

6.6 Strategie nazionali e relative ricadute per le possibili applicazioni del modello sviluppato per l'UE

Sulla base delle indicazioni dell'UE, ogni Stato Membro ha emanato leggi e decreti per rendere effettive a livello nazionale le strategie comunitarie. Nei seguenti paragrafi sono riportati gli strumenti legislativi nazionali vigenti nei Paesi partecipanti al progetto SWEETHANOL (i.e. Italia, Spagna, Grecia) relativamente alle FER ed ai biocarburanti, specificando le condizioni nazionali che influenzano la fattibilità economica del modello sviluppato nell'ambito del progetto stesso.

6.6.1. Italia

Piano di Azione Nazionale (PAN)

In accordo con le indicazioni della RED, nel giugno 2010 è stato emanato il PAN, in cui sono riportate le strategie d'azione nazionali per il raggiungimento degli obiettivi al 2020.

Per quanto attiene il conseguimento del contributo delle FER al consumo energetico totale in Italia (i.e. 17%, rispetto al 2005), il PAN parte dall'assunzione che i valori di consumo al 2020 siano con buona approssimazione uguali a quelli relativi al 2008. Tale assunzione è giustificata dall'aumento dell'efficienza energetica degli impianti e degli edifici e dalla riduzione prevista nei consumi a causa della crisi economica. Pertanto, sulla base del consumo energetico totale al 2008 (i.e. 131 Mtep), è stata assegnata ai differenti settori (i.e. energia elettrica, energia termica, trasporti) la quota di FER del 17% (i.e. 22 Mtep) (Tabella 8).

Le stesse assunzioni sono state applicate per pianificare il raggiungimento dell'obiettivo del 10% per il settore dei trasporti (Tabella 9).

	2005			2008			2020		
	Consumo energetico		Quota di FER	Consumo energetico		Quota di FER	Consumo energetico		Quota di FER
	FER	Totale		FER	Totale		FER	Totale	
Energia elettrica	4,85	29,75	16,3%	5,04	30,40	16,6%	9,11	31,45	29,0%
Energia termica	1,92	68,50	2,8%	3,24	58,30	5,5%	9,52	60,13	15,8%
Trasporti	0,18	42,98	0,4%	0,72	42,62	1,7%	2,53	39,63	6,40%
Importazioni	-	-	-	-	-	-	1,14	-	-
Totale	6,95	141,23	4,9%	9,00	131,55	6,8%	22,30	131,21	17,0%

Tabella 8: consumo totale di energia e relativi obiettivi al 2020 (in Mtep)

	2005			2008			2020		
	Consumo energetico		Quota di FER	Consumo energetico		Quota di FER	Consumo energetico		Quota di FER
	FER	Totale		FER	Totale		FER	Totale	
Trasporti	0,34	39,00	0,9%	0,92	37,67	2,4%	3,42	33,97	10,0%

Tabella 9: consumo totale di energia per il settore dei trasporti e relativi obiettivi al 2020 (in Mtep)

	2005					2020				
	Potenza	Produzione		Quota di FER totale	Quota sul consumo totale	Potenza	Produzione		Quota di FER totale	Quota sul consumo totale
	MW	GWh	ktep			MW	GWh	ktep		
Idroelettrica	13.890	43.792	3.763	77,65%	12,65%	15.732	52.000	3.612	39,65%	11,49%
Geotermica	671	5.324	458	9,45%	1,54%	1.000	7.500	645	7,08%	2,05%
Solare	34	31	3	0,06%	0,01%	8.500	11.350	976	10,71%	3,10%
Maree	-	-	-	-	-	3	5	0,4	0,00%	0,00%
Eolica	1.635	2.558	220	4,54%	0,74%	16.000	24.095	2.072	22,74%	6,59%
Biomasse legnose	1.700	3.476	299	6,17%	1,00%	3.000	11.500	989	10,85%	3,14%
Biogas	284	1.198	103	2,13%	0,35%	750	3.200	275	3,02%	0,88%
Bioliquidi	-	-	-	-	-	900	6.300	542	5,95%	1,72%
Totale	18.214	56.349	4.846	100%	16,29%	45.885	115.950	9.112,4	100%	28,97%

Tabella 10: contributo di ogni FER alla produzione elettrica per il raggiungimento dell'obiettivo al 2020

	2005			2020		
	Produzione	Quota di FER totale	Quota sul consumo totale	Produzione	Quota di FER totale	Quota sul consumo totale
Geotermica	23	1,19%	0,03%	100	1,05%	0,17%
Solare	27	1,43%	0,04%	1.400	14,71%	2,33%
Biomasse legnose	1.629	84,99%	2,38%	5.185	54,55%	8,62%
Biogas	26	1,35%	0,04%	141	1,49%	0,24%
Bioliquidi	-	-	-	194	2,04%	0,32%
Altre pompe di calore *	212	11,04%	0,31%	2.500	26,16%	4,16%
Totale	1.917	100%	2,80%	9.520	100%	15,84%

* eccetto le pompe geotermiche

Tabella 11: contributo di ogni FER alla produzione di energia termica per il raggiungimento dell'obiettivo al 2020 (in ktep)

Il PAN ha stabilito in dettaglio il contributo di ogni FER ai fini del raggiungimento degli obiettivi finali. Le divisioni delle quote tra le diverse FER per la produzione di energia elettrica sono riportate nella Tabella 10, per l'energia termica nella Tabella 11 e per il settore dei trasporti nella Tabella 12.

Ai sensi delle indicazioni della RED, ai biocarburanti di seconda generazione ed all'alimentazione elettrica sono riservate premialità specifiche, che li favoriscono sul mercato interno: per sostenere il raggiungimento dell'obiettivo del 10% il contributo dei biocarburanti di seconda generazione vale il doppio, mentre la quota derivante dall'alimentazione elettrica nel traffico su strada beneficia di un coefficiente moltiplicativo di 2,5.

	2005				2020			
	FER	Calcolo FER per l'obiettivo del 10%	Quota per l'obiettivo del 10%	Quota sul consumo totale	FER	Calcolo FER per l'obiettivo del 10%	Quota per l'obiettivo del 10%	Quota sul consumo totale
Bioetanolo di 1ª generazione + Bio-ETBE	-	-	-	-	300	300	8,80%	0,88%
Bioetanolo di 2ª generazione + Bio-ETBE	-	-	-	-	100	200	5,82%	0,59%
Bioetanolo importato + Bio-ETBE	-	-	-	-	200	200	5,85%	0,59%
Biodiesel di 1ª generazione	158	157	46,65%	0,40%	830	830	24,27%	2,45%
Biodiesel di 2ª generazione	21	42	12,30%	0,11%	250	500	14,62%	1,47%
Biodiesel importato	-	-	-	-	800	800	23,40%	2,35%
Elettricità nel settore dei trasporti	-	-	-	-	102	256	7,48%	0,75%
Elettricità nel settore NON dei trasporti	139	139	41,05%	0,36%	284	284	8,30%	0,84%
Altri biocarburanti	-	-	-	-	50	60	1,46%	0,15%
Totale	318	338	100%	0,87%	2.916	3.430	100%	10,07%

Tabella 12: contributo di ogni FER al settore dei trasporti per il raggiungimento dell'obiettivo al 2020

Analizzando i contenuti del PAN, emergono le seguenti strategie:

- la promozione dei sistemi CHP per la combustione di biogas e bioliquidi;
- l'impiego preferenziale delle biomasse legnose nel settore termico, piuttosto che in quello elettrico;
- la creazione di reti di teleriscaldamento alimentate a FER (e.g. biomasse legnose, biogas, bioliquidi);
- l'applicazione della fonte geotermica nel riscaldamento;
- l'importanza dei biocarburanti per il raggiungimento degli obiettivi al 2020: in particolare il contributo del biodiesel dovrà coprire il 62,3% delle FER ed il bioetanolo il 20,5%;
- il ruolo fondamentale dell'importazione di biocarburanti (i.e. biodiesel, bioetanolo) per raggiungere l'obiettivo del 10%.

Il PAN riporta i principali strumenti per adottare tali strategie.

In merito al settore dell'energia elettrica, è necessaria una razionalizzazione del sistema di incentivazione. Infatti, attualmente, lo strumento di incentivazione dipende dalla FER. Ad esempio, per la fonte solare fotovoltaica si ricorre al conto energia, mentre per gli impianti alimentati a biomasse legnose, biogas e bioliquidi e di potenza fino ad 1 MWe sono disponibili due forme di incentivazione: la tariffa omnicomprensiva (con valori stabili per 15 anni) ed i Certificati Verdi moltiplicati per un coefficiente. Inoltre, l'approvvigionamento delle materie prime attraverso una filiera corta (i.e. distanza massima 70 km) è ulteriormente premiato.

In merito al settore dell'energia termica, gli attuali Certificati Bianchi appaiono poco efficienti nella remunerazione degli investimenti ed il PAN suggerisce di rinforzare queste misure di incentivazione per installazioni con un tempo di ritorno dell'investimento inferiore a 10 anni e che presentano un risparmio energetico significativo. Al contrario, ad oggi, il principale incentivo per promuovere la riduzione dell'uso dei carburanti fossili in questo settore è la detrazione di parte dei costi (i.e. 55%) per interventi finalizzati ad aumentare l'efficienza energetica (e.g. caldaie a condensazione, impianti solari termici). Nel settore dei trasporti è applicato un sistema che prevede l'obbligo di utilizzo delle FER, che è incrementale nel tempo: le quote di incorporazione fissate sono il 4% per il 2011, il 4,5% per il 2012 fino al 10% per il 2020.

Il decreto legislativo n. 28 del 3 marzo 2011 ed i decreti attuativi

Il d.lgs. 28/2011 recepisce la RED in Italia e definisce lo scenario per attuare le strategie riportate nel PAN.

In merito ai biocarburanti, il decreto ha introdotto due importanti elementi: la quota di utilizzo delle FER per il 2014 è fissata nel 5% e l'applicazione dei criteri di sostenibilità della RED per i biocarburanti entra in vigore dal 1° gennaio 2012.

In particolare, in merito alla sostenibilità dei biocarburanti, il decreto ha modificato il mercato nazionale, rendendo competitivi solo i biocarburanti sostenibili, poiché sono gli unici conteggiati ai fini del raggiungimento degli obiettivi al 2020. Inoltre, per raggiungere tale obiettivo, sono previste delle premialità specifiche che favoriscono alcune tipologie di biocarburante o di filiera:

- i biocarburanti prodotti nell'UE processando materie prime di provenienza nazionale sono conteggiati con una quota implementata: +10%, sulla base del loro contenuto energetico (i.e. 1 certificato per ogni 9 Gcal di biocarburante distribuito);
- i biocarburanti distribuiti fuori dalla rete e miscelati al 25% con prodotti di origine petrolifera sono conteggiati con una quota implementata: +10%, sulla base del loro contenuto energetico (i.e. 1 certificato per 9 Gcal di biocarburante distribuito);
- i biocarburanti prodotti da rifiuti e sottoprodotti, incluse le materie di origine non alimentare, le materie cellulosiche e lignocellulosiche e le alghe (i.e. biocarburanti di seconda generazione) sono conteggiati il doppio rispetto agli altri biocarburanti: + 100%, sulla base del contenuto energetico.

Le modalità di accesso a tali premi previsti dal decreto per i biocarburanti sostenibili saranno esplicitate dal decreto attuativo previsto per i prossimi mesi. Tale decreto darà indicazioni specifiche in merito alla tracciabilità delle filiere per conoscere in dettaglio tutti gli operatori coinvolti (i.e. distributori finali di carburanti, fornitori di materia prima) e fornire gli strumenti necessari per la verifica della conformità con i criteri di sostenibilità

fino all'operatore finale. Inoltre, il decreto attuativo conterrà una lista dei sottoprodotti che accedono al doppio conteggio per il raggiungimento degli obiettivi al 2020.

Per quanto riguarda il settore dell'energia elettrica, il decreto stabilisce la cessazione dell'attuale sistema dei Certificati Verdi a partire dal 2015 e dal 2012 prevede l'introduzione di un nuovo sistema in cui sono integrati una tariffa omnicomprensiva ed un incentivo fissato a base d'asta. Il valore della tariffa omnicomprensiva è definito per tipologia di fonte e per scaglione di potenza, che in ogni caso non può essere inferiore a 5 MWe.

La produzione di energia elettrica da impianti di potenza nominale superiore ai valori minimi stabiliti per l'accesso ai meccanismi sopra riportati beneficia di un incentivo assegnato tramite aste al ribasso gestite dal GSE. Le procedure d'asta sono disciplinate e specifiche per ogni fonte, per scaglione di potenza e per ogni tipologia di impianto. La partecipazione ad ogni asta è assoggettata alla conformità con alcuni requisiti minimi, tra cui la capacità finanziaria del proponente e la fattibilità economica dell'iniziativa. Per assicurare la realizzazione dell'impianto, inoltre, è definito il termine ultimo per la messa in esercizio.

Entrambi gli incentivi si possono abbinare a:

- finanziamenti pubblici che coprono al massimo una quota del 40% del costo di investimento:
 - o per potenze fino a 200 kW per tutte le FER;
 - o per potenze fino a 1 MW per impianti a servizio o gestite da aziende agricole, allevamenti, aziende di selvicoltura, industrie alimentari ed alimentati a biogas, biomasse o biocarburanti sostenibili;
 - o per impianti CHP o CCHP da fonte solare o da biomasse o biogas che sono ottenuti da prodotti agricoli o forestali, reflui zootecnici, inclusi i sottoprodotti, nel contesto di specifici accordi tra gli attori di filiera o attraverso il meccanismo della filiera corta (raggio di approvvigionamento fino a 70 km);
- finanziamenti pubblici che coprono al massimo la quota del 30% del costo di investimento:
 - o per potenze comprese nell'intervallo tra 200 e 1.000 kW per tutte le FER (escluse le eccezioni sopra riportate);
- finanziamenti pubblici che coprono al massimo la quota del 20% del costo di investimento:
 - o per potenze comprese nell'intervallo tra 1 e 10 MW per tutte le FER (escluse le eccezioni sopra riportate).

Le modalità di accesso a questi incentivi saranno dettagliate nel decreto attuativo atteso per i prossimi mesi. In particolare, saranno riportate le seguenti indicazioni: i valori della tariffa omnicomprensiva per ogni FER ed il relativo intervallo di potenza degli impianti, i valori degli incentivi ottenuti attraverso il sistema delle aste al ribasso (e.g. valore minimo garantito in ogni caso), i parametri per sovvenzionare i proponenti alle aste, la modalità per passare dal vecchio sistema di incentivazione a quello nuovo, il calcolo per definire la produzione da FER in impianti ibridi.

Per quanto riguarda il settore termico sono previsti due sistemi di aiuto: l'applicazione di una tariffa incentivante (il cosiddetto "conto energia termico") per gli impian-

ti domestici e per potenze basse (e.g. inferiori a 500 kWt) ed il sistema dei Certificati Bianchi per gli impianti di potenza superiore e dotati di reti di teleriscaldamento.

La tariffa incentivante è finalizzata a remunerare gli investimenti diretti a migliorare l'efficienza energetica ed a ridurre l'impiego di combustibili fossili. Questo incentivo è commisurato al risparmio energetico ottenuto ed il suo valore è costante per tutta la durata prevista (e.g. al massimo 10 anni). Questo incentivo risulta pertanto simile al conto energia applicato nel settore elettrico.

I Certificati Bianchi, previsti anche nel sistema di incentivazione precedente, sono incrementati e beneficiano di procedure semplificate. In particolare, la loro durata ed il valore sono adattati rispettivamente alla vita utile dell'impianto ed al costo dell'intervento stesso. Inoltre, è stabilito un fondo di garanzia per la realizzazione di reti di teleriscaldamento.

Le modalità di accesso a questi incentivi saranno dettagliate nel decreto attuativo atteso nei prossimi mesi. Le principali indicazioni che saranno fornite sono le seguenti: il valore e la durata della tariffa incentivante, il valore soglia di potenza per l'accesso al sistema di aiuto, i requisiti tecnici minimi per accedere agli incentivi (in termini di efficienza, qualità delle emissioni, qualità della biomassa), la cumulabilità tra gli incentivi, i valori e la durata dei Certificati Bianchi.

Inoltre, il d.lgs. 28/2011 contribuisce a regolare le procedure autorizzative per la realizzazione e l'avvio degli impianti alimentati a FER.

In accordo con la Direttiva 2001/77/CE la legislazione italiana prevede delle procedure autorizzative semplificate per gli impianti alimentati a FER, in modo da promuovere lo sviluppo del settore e contribuire al raggiungimento degli obiettivi al 2020.

Il decreto legislativo n. 387 del 29 dicembre 2003, di recepimento della Direttiva 2001/77/CE, ha introdotto l'"Autorizzazione Unica" per la realizzazione e la messa in opera degli impianti. L'organo competente per il rilascio dell'Autorizzazione Unica è la Regione, che può delegare altri soggetti istituzionali (e.g. Provincia, Comune).

Ai sensi dei decreti 387/2003 e 28/2011, l'iter di Autorizzazione Unica consta dei seguenti passaggi:

- la presentazione della domanda di un'Autorizzazione Unica all'Amministrazione regionale (oppure al soggetto delegato);
- entro 30 giorni: la convocazione di una Conferenza dei servizi, a cui partecipano i rappresentanti di tutte le amministrazioni locali (i.e. Province e Comuni), dell'Agenzia regionale o provinciale per la protezione dell'ambiente (i.e. ARPA, APPA), del gestore del servizio elettrico, dell'azienda sanitaria locale, dei Vigili del fuoco e dell'Ufficio tecnico di finanza (i.e. UTF). Nella Conferenza dei servizi sono discussi gli aspetti tecnici ed ambientali dell'iniziativa ed ai proponenti possono essere richieste informazioni ed integrazioni. Nell'ipotesi in cui siano presentate domande di Autorizzazione Unica per più di un impianto nella stessa regione, il rilascio delle stesse è subordinato all'analisi dell'effetto cumulativo delle singole iniziative;
- entro 90 giorni e comunque non oltre i 180 giorni: rilascio dell'Autorizzazione Unica. In questo arco temporale non è conteggiato il tempo necessario alla VIA. L'Autorizzazione Unica costituisce titolo a costruire ed esercire l'impianto in conformità al progetto approvato e deve contenere, in ogni caso, l'obbligo alla messa in ripristino dello stato dei luoghi a carico del soggetto esercente a seguito

della dismissione dell'impianto.

Con riferimento agli impianti alimentati da biomasse e biogas, sono considerati attività ad edilizia libera e realizzati previa comunicazione dell'inizio dei lavori da parte dell'interessato al Comune:

- gli impianti cogenerativi con potenza massima di 50 kW_e (i.e. microgenerazione);
- gli impianti realizzati in edifici esistenti (senza alterarne i volumi, le superfici e le parti strutturali o modificarne la destinazione d'uso) con una potenza inferiore a 200 kW.

Sono realizzabili mediante Procedura Abilitativa Semplificata al Comune:

- gli impianti cogenerativi con una potenza massima inferiore a 1 MW_e, ovvero a 3 MW_t;
- gli impianti non cogenerativi aventi potenza inferiore a 200 kW per le biomasse ed a 250 kW per i vari gas e biogas.

Ai sensi del decreto legislativo n. 59 del 18 febbraio 2005, di recepimento della Direttiva 1996/91/CE (Direttiva IPPC) gli impianti alimentati a biomasse e biogas di potenza inferiore a 50 MW non richiedono l'AIA.

Ulteriori disposizioni in merito alle procedure autorizzative sono materia del decreto attuativo atteso nei prossimi mesi.

I contenuti dei decreti attuativi relativi al d.lgs. 28/2011 sono discussi in tavoli di lavoro a cui partecipano rappresentanti del MSE, del MATTM e del MIPAAF. L'emanazione dei decreti è stata annunciata per la fine del 2011.

Il decreto legislativo n. 55 del 31 marzo 2011

Il d.lgs. 55/2011 dispone l'aumento della possibilità di incorporazione del bioetanolo in miscela con la benzina (esteso al 10% v/v, E10) e completa lo scenario definito dal d.lgs. 28/2011 sul risparmio nelle emissioni di GHGs derivante dall'utilizzo dei biocarburanti.

Il decreto stabilisce che all'inizio di ogni anno i distributori di carburanti dichiarino al MATTM le emissioni di GHGs ed il corrispondente contenuto energetico dei carburanti distribuiti (combustibili fossili e biocarburanti). In particolare per quanto riguarda i biocarburanti, essi devono certificare il rispetto della sostenibilità in conformità con le Direttive 2009/28/CE e 2009/30/CE.

Per quanto concerne il calcolo del risparmio nelle emissioni di GHGs per la conformità alle indicazioni comunitarie, il decreto recepisce in Italia il metodo indicato dell'Allegato V Parte C della RED.

Condizioni nazionali per la fattibilità economica del modello sviluppato per l'UE

Per quanto riguarda la fattibilità economica del modello sviluppato nell'ambito del progetto SWEETHANOL, in riferimento alla situazione attuale (novembre 2011) per l'Italia valgono le seguenti considerazioni:

- il bioetanolo prodotto dal sorgo zuccherino non appare sufficientemente supportato dagli attuali incentivi (i.e. +10%, come processamento di materia prima nazionale) e non è competitivo in confronto al bioetanolo di seconda generazione (i.e. +100%); nel caso della distribuzione fuori rete, il premio corrispondente

(+10%) non è cumulabile;

- la remunerazione dell'energia elettrica prodotta dalla bagassa del sorgo zuccherino e dal biogas ottenuto dalla borlanda di distillazione è, invece, promettente, in quanto le potenze considerate nel modello permettono di beneficiare della tariffa omnicomprensiva, che assicura delle condizioni di mercato fisse per 15 anni e riduce il rischio d'impresa. I valori della tariffa omnicomprensiva per ogni FER sono in fase di determinazione;
- la remunerazione dell'energia termica recuperata nelle unità cogenerative risulta promettente, in considerazione della possibilità di accedere al meccanismo dei Certificati Bianchi, che sarà perfezionato nel decreto attuativo in fase di emanazione.

Di conseguenza, il modello sviluppato per l'UE risulta coerente con le strategie italiane per l'utilizzo delle FER nel settore elettrico, termico e dei trasporti, ma, al contempo, non gode di una buona remunerazione del bioetanolo prodotto, in quanto sono favorite altre materie prime (e.g. scarti, sottoprodotti, colture lignocellulosiche), più propriamente utilizzate per la produzione del bioetanolo di seconda generazione.

È importante sottolineare, tuttavia, che la situazione attuale presenta delle zone d'ombra, che potranno essere chiarite nei prossimi mesi con la definizione di alcune variabili. Le principali leve su cui si ritiene che il modello potrà contare sono i valori della tariffa omnicomprensiva e dei Certificati Bianchi. Non sono altrettanto fondate le aspettative sulla premialità a favore del bioetanolo ottenuto dal sorgo zuccherino, anche se prodotto da materie prime nazionali e nell'ambito di filiere corte, che sostengono il comparto agricolo in un settore in cui le importazioni ed i grandi impianti si aggiudicano pressoché tutte le quote di mercato.

6.6.2 Grecia

Nel 2002 è stata emanata la legge nazionale che disciplina le norme relative alla politica petrolifera greca, ossia la legge 3054/2002 sull'"Organizzazione del mercato dei prodotti petroliferi ed altre disposizioni (FEK A '230/2.10.2002)". La fornitura dei servizi ed ogni altra attività legata alla raffinazione, alla commercializzazione, al trasporto ed allo stoccaggio del petrolio greggio e degli altri prodotti petroliferi sono assoggettate alle disposizioni di questa legge. L'esercizio di qualsiasi attività relativa alla raffinazione, alla distribuzione di biocarburanti, alla commercializzazione, alla vendita al dettaglio, al trasporto di prodotti petroliferi via oleodotti ed alla gestione delle bombole di GPL necessita del rilascio di una specifica autorizzazione.

La Direttiva 2003/30/CE è stata recepita dal quadro legislativo ellenico il 13 dicembre 2005 con l'entrata in vigore della legge 3423/2005 relativa all'"Introduzione nel mercato greco di biocarburanti e altri carburanti rinnovabili", successivamente modificata dalla legge 3653/2008 (articolo 55)¹⁸. Lo scopo di queste due leggi è l'incremento della quota di biocarburanti ed altri carburanti rinnovabili sul mercato per raggiungere al 31 dicembre 2010 l'obiettivo del 5,75%. Ai sensi dell'art. 56 della legge 3653/2008 l'introduzione del bioetanolo sul mercato è prevista per il periodo 2010-2016. L'uso di bioetanolo in miscela con la benzina non è considerato adatto per il clima greco e, quindi, si promuove l'impiego di tale biocarburante come componente del bio-ETBE.

La legge 3423/2005 completa la legge 3054/2002 e stabilisce la base per la distribuzione dei biocarburanti attraverso un sistema di assegnazione di quantitativi specifici di biodiesel. Grazie ad una decisione congiunta tra il Ministero delle finanze ed il Ministero dello sviluppo rurale ed alimentare, è stato stabilito un programma di distribuzione di tali quantitativi. In particolare, nell'articolo 15 della legge 3423/2005 e negli articoli 21 e 22 della legge 3769/2009 sono stabiliti gli strumenti per lo sviluppo strategico delle colture energetiche in Grecia, istituendo il sistema di distribuzione del biodiesel tra i potenziali produttori.

La legge 3851/2010 (OG A/85/4 giugno 2010) sull'“Accelerazione dello sviluppo delle fonti rinnovabili per affrontare il cambiamento climatico ed altre norme in merito, di competenza del Ministero greco dell'ambiente, dell'energia e dei cambiamenti climatici” imposta il PER ai fini dell'applicazione in Grecia della RED. In particolare, la legge 3851/2010 fissa gli obiettivi specifici per la quota di FER per la produzione di energia elettrica (40%), la quota di FER per la produzione di energia termica e per il raffrescamento (20%) e la quota di FER nel settore dei trasporti (10%), ai fini del raggiungimento degli obiettivi nazionali della RED.

Ad otto anni dall'emanazione della Direttiva 2003/30/CE non sono stati ancora avviati in Grecia impianti di bioetanolo e, considerati i nuovi obiettivi comunitari, la loro installazione risulta strategica.

Un tentativo per l'avvio di impianti di bioetanolo è stato condotto dalla Greek Sugar Company, ma non è andato a buon fine. La Greek Sugar Company aveva espresso il suo interesse nel convertire due dei suoi zuccherifici (a Larissa e Xanthi) in altrettanti impianti di bioetanolo, proponendo di produrre dai sottoprodotti foraggio ad elevato valore nutrizionale ed energia elettrica e termica. La capacità prevista per ciascun impianto era di 150.000 m³/anno, con il processamento di barbabietola da zucchero, frumento e mais, tutte colture già presenti in Grecia. L'avvio della produzione era stato ipotizzato tra la fine del 2009 e l'inizio del 2010. La compagnia aveva aperto i bandi di gara nel 2007 per trovare gli investitori e nel 2008 erano state ottenute due offerte provenienti da Motor Oil Hellas e Cal Etanolo West & Renew Energy LLC UE. Tuttavia, il concorso di livello internazionale è stato annullato nel novembre 2010 e l'operazione non è arrivata a compimento.

Nella prospettiva di valorizzare le risorse interne per ridurre la dipendenza dalle importazioni di petrolio, è stata fatta una stima della copertura che potrebbe derivare dall'utilizzo dei residui agricoli disponibili in Grecia. A fronte di una disponibilità di 5 milioni di tonnellate di biomassa secca (pari a 2 milioni di tep) e di un fabbisogno di petrolio di 4 milioni di tonnellate, dichiarato dalla Direzione politica del petrolio del Ministero dello sviluppo, un corretto utilizzo della biomassa potrebbe coprire fino al 60% della domanda interna annua di combustibili, mentre ad oggi la biomassa copre solamente il 3% del fabbisogno energetico¹⁹.

L'armonizzazione del quadro istituzionale greco è in fase di sviluppo, e più specificamente la legge 3054/2002 è in corso di adeguamento in base alle indicazioni delle Direttive 2009/28/CE e 2009/30/CE.

Nel luglio 2011 il Ministero dell'ambiente, dell'energia e dei cambiamenti climatici ha costituito un gruppo di lavoro per redigere dei regolamenti attuativi concernenti l'introduzione e la promozione del bioetanolo come combustibile sul

territorio greco ai sensi delle disposizioni dell'articolo 15A della legge 3054/2002 (GG 230 A). Il gruppo di lavoro è costituito da 24 membri, rappresentanti di vari soggetti pubblici e privati, quali:

- Ministero dell'ambiente, dell'energia e dei cambiamenti climatici
 - o Direzione delle politiche per i prodotti petroliferi, Segretariato generale per l'energia ed i cambiamenti climatici
 - o Direzione di supervisione e gestione dei prodotti petroliferi
 - o Direzione delle infrastrutture per i prodotti petroliferi
 - o Servizio agli investitori per i progetti relativi alle FER
- Ministero delle finanze
 - o Direzione per le accise
 - o D29 Direzione per l'alcol, gli alcolici, le bevande, il vino e la birra
 - o D28 Direzione petrolchimica
- Ministero delle infrastrutture, trasporti e reti di collegamento
 - o Direzione delle tecnologie per veicoli
 - o Ministero dello sviluppo rurale
 - o Direzione per il tabacco, gli aromatici e le piante medicinali
- Ministero dello sviluppo, della competitività e della navigazione
 - o Direzione dello sviluppo e della coordinazione
- Centro per le energie rinnovabili e per il risparmio energetico
 - o Dipartimento biomasse
 - o Dipartimento per l'ambiente ed i trasporti
- Hellenic Petroleum S.A.
- Motor oil Hellas-Corinth Refineries S.A.
- Università nazionale tecnica, Scuola di ingegneria chimica
 - o Laboratorio per le tecnologie sui combustibili ed i lubrificanti
 - o Laboratorio di biotecnologia
- Università di agraria di Atene
- Associazione Aziende Elleniche del Mercato dei prodotti petroliferi
- Unione Greca delle Aziende del Mercato dei prodotti petroliferi
- Associazione Ellenica dei Produttori di Biocarburanti
- Associazione Ellenica delle Industrie del Biodiesel
- Centro nazionale per l'ambiente e lo sviluppo sostenibile
- Autorità di regolazione per l'energia.

L'obiettivo del gruppo di lavoro è la promozione sul territorio greco del bioetanolo come combustibile. Più in particolare, il gruppo approfondirà alcune questioni relative all'importazione, alla fornitura, alla produzione, alla vendita, alla distribuzione, alla miscelazione minima, alle specifiche tecniche, alla tassazione ed al monitoraggio delle accise imponibili e fornirà indicazioni utili a favore di interventi istituzionali, in modo da introdurre il bioetanolo sul mercato nazionale in

conformità con le disposizioni dell'articolo 15A della legge 3054/2002 (GG 230 A), come modificata dall'articolo 22 della legge 376/2009 (Gazzetta Ufficiale A 105), conforme agli obiettivi della RED.

Il gruppo di lavoro è in procinto di ultimare i lavori (situazione a novembre 2011).

Obiettivi intermedi per l'introduzione e la promozione a livello nazionale del bioetanolo come combustibile

1. Utilizzo di risorse interne (produttori di materie prime quali colture energetiche o biomassa) da unità nazionali con molteplici vantaggi per l'economia e la sicurezza dell'approvvigionamento.
2. Produzione di energia dalle PMI locali o regionali, con un impatto positivo sulla coesione sociale, sulle prospettive delle esportazioni e sulle opportunità di lavoro per lo sviluppo regionale e locale.
3. Uso dei progressi tecnologici per garantire la riduzione dei costi di produzione e l'aumento dell'efficienza energetica.

Questi obiettivi possono essere supportati da misure di politica interna, simili a quelle applicabili al biodiesel, quali:

1. sostegno indiretto alla produzione sul territorio nazionale da parte di investitori greci o stranieri nel caso siano utilizzate materie prime nazionali e colture energetiche dedicate (e.g. sorgo zuccherino, mais);
2. supporto (sovvenzione indiretta) ai contratti previsti per il settore agricolo (contratti a lungo o breve termine) per favorire l'approvvigionamento di materie prime nazionali;
3. finanziamento per investimenti finalizzati alla produzione di bioetanolo da parte di investitori nazionali o stranieri, sia nel caso dell'implementazione di impianti esistenti (impianti di biodiesel), sia nel caso dell'installazione di nuovi impianti;
4. sviluppo di impianti di piccola e media taglia per la produzione di bioetanolo nei pressi di centri di produzione di materie prime e di aree portuali;
5. definizione della percentuale minima di miscelazione di bioetanolo nei carburanti per il trasporto;
6. definizione dell'obbligo per le raffinerie di assorbire il bioetanolo prodotto;
7. introduzione di incentivi fiscali per i produttori di bioetanolo.

Esempio di supporto indiretto allo sviluppo di colture energetiche dedicate in un sistema nazionale per la produzione e la distribuzione del biodiesel (a) & (b)

Per quanto riguarda il processo autorizzativo, i termini e le formalità relative alla produzione, alla distribuzione, alla miscelazione ed all'immissione al consumo del biodiesel sono stati pubblicati sulla Gazzetta Ministeriale 1757/2006. Le rispettive condizioni per il bioetanolo non sono state ancora pubblicate.

Le persone fisiche o giuridiche che producono energia elettrica in impianti per la produzione di biocarburanti con potenza installata minore o uguale a 1 MWe, sono esenti dall'obbligo di licenza per la produzione dell'energia elettrica stessa ed da qualsiasi altra certificazione. Sono, inoltre, esenti dall'obbligo di pubblicazione della decisione di "Approvazio-

Assegnazione di biodiesel agli impianti	
25%	a) contratti per la produzione di biodiesel con gli agricoltori che coltivano colture energetiche nel territorio nazionale
5%	b) fatture di acquisto e/o dati contabili in merito alla fornitura di semi di cotone
7,5%	c) fatture di fornitura delle materie prime derivate da oli vegetali esausti e grassi animali di origine nazionale, se adatti alla produzione di biodiesel
20%	d) capacità di un impianto di biodiesel in uno Stato Membro dell'UE o contratti d'importazione di biodiesel stabiliti in un altro Stato Membro dell'UE
5%	e) certificazione rilasciata o assegnazione di un contratto per ottenere la certificazione ISO 9000 sulla produzione e/o sul biodiesel disponibile
10%	f) offerta da parte della società richiedente un premio massimo
5%	g) accordi di cooperazione esistenti con istituti di ricerca e organizzazioni o contratti per la partecipazione a progetti di ricerca all'interno dell'UE su questioni relative ai biocarburanti ed alle biomasse
15%	h) tutti i rifornimenti di biodiesel sulla base delle assegnazioni dei due anni precedenti
7,5%	i) indice di consistenza dei rifornimenti, sulla ripartizione dell'anno precedente per le raffinerie
100%	Totale

Tabella 13: assegnazione dei quantitativi di biodiesel agli impianti di produzione

ne di condizioni ambientali" gli impianti di produzione di energia elettrica da FER, a condizione che la potenza installata non sia superiore a 0,5 MWe e che siano impiegati bioliquidi.

Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili (PANER)²⁰

In applicazione della RED, nel luglio 2010 è stato redatto il PANER con la supervisione del Comitato nazionale per il raggiungimento degli obiettivi al 2020 ("Commissione 20-20-20").

La Tabella riportata nella Figura 2 presenta la stima del contributo totale previsto in Grecia per ciascuna FER ai fini del raggiungimento degli obiettivi al 2020 e le indicazioni provvisorie per le quote di energia da FER nel settore dei trasporti nel periodo 2010-2020.

ktep	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2018	2020
Bioetanolo/Bio-ETBE	-	43	142	171	198	226	256	287	316	346	380	414
<i>Di cui importato</i>	-	43	142	171	198	226	256	287	316	346	380	414
Biodiesel	1,2	64	69	83	97	113	130	146	161	175	190	203
Elettricità da FER	-	2,4	3,3	4,0	5,1	6,2	7,2	8,3	9,4	12,1	14,5	16,5
<i>Di cui per trasporto su strada</i>	-	0,7	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	3,3	4,5	5,1
<i>Di cui NON per trasporto su strada</i>	-	1,7	2,6	3,2	4,1	5,0	5,9	6,9	7,8	8,8	10,0	11,4
Totale	1,2	110	214	258	300	345	393	441	486	534	584	634

Figura 2: stima del contributo totale atteso per ogni FER e relativa tecnologia in Grecia

Nella Tabella riportata nella Figura 3 ed elaborata confrontando i risultati relativi al consumo finale di energia, sono riassunti i contributi delle FER ed il quantitativo totale di impianti a FER installati in Grecia.

	2010			2015			2020		
	Scenario spontaneo	Conformità	Scenario desiderato	Scenario spontaneo	Conformità	Scenario desiderato	Scenario spontaneo	Conformità	Scenario desiderato
Produzione elettrica [TWh]	58,86	58,86	58,86	64,13	61,47	62,09	72,18	68,46	72,48
Elettricità totale da FER	7,84	7,84	7,84	14,16	16,97	18,26	20,23	27,27	29,74
% produzione elettrica da FER	13%	13%	13%	22%	28%	29%	28%	40%	41%
Capacità installata da FER [GW]	4,11	4,11	4,11	7,13	8,66	9,33	9,91	13,27	14,72
<i>Di cui biomasse/biogas</i>	0,06	0,06	0,06	0,05	0,12	0,12	0,05	0,25	0,25
<i>Di cui idroelettrico (escluse pompe)</i>	2,54	2,54	2,54	2,89	2,92	2,91	2,91	2,95	2,95
<i>Di cui eolico</i>	1,33	1,33	1,33	3,78	4,30	4,74	6,25	7,50	8,25
<i>Di cui solare fotovoltaico</i>	0,18	0,18	0,18	0,41	1,27	1,51	0,70	2,20	2,90
<i>Di cui CSP</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,25	0,25
<i>Di cui geotermia</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,12	0,12
Consumo finale di energia [Mtep]	21,53	21,53	21,53	22,20	21,33	21,56	24,10	23,08	24,64
<i>Di cui biomasse/biogas</i>	1,01	1,01	1,01	0,88	1,13	1,13	0,93	1,22	1,29
<i>Di cui solare termico</i>	0,22	0,22	0,22	0,24	0,27	0,22	0,27	0,36	0,41
<i>Di cui geotermia</i>	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03	0,00	0,05	0,06
<i>Di cui calore naturale dall'ambiente</i>	0,02	0,02	0,02	0,12	0,13	0,21	0,19	0,28	0,36
<i>Di cui biocarburanti per i trasporti</i>	0,11	0,11	0,11	0,28	0,39	0,39	0,41	0,62	0,69
% FER nel consumo finale lordo di energia	9%	9%	9%	12%	15%	16%	14%	20%	21%

Figura 3: risultati relativi al consumo di energia ed all'impiego delle FER nei tre scenari di base esaminati per la compilazione del PANER in Grecia

Criteri di sostenibilità per i biocarburanti ed i bioliquidi a livello nazionale

Non esiste ad oggi una normativa specifica per l'attuazione dei criteri di sostenibilità per i biocarburanti ed i bioliquidi; tuttavia, tali criteri saranno introdotti a livello nazionale per mezzo di alcune azioni che includono:

- integrazioni che modificano la legge 3769/2009, facendo sì che i quantitativi di biocarburanti immessi sul mercato nazionale soddisfino i criteri di sostenibilità della RED;
- richieste di partecipazione nell'allocazione delle quote di biodiesel puro (termini e condizioni per la verifica della conformità ai criteri di sostenibilità). Si ricorda che ai sensi dell'articolo 15A (10) (11) della legge 3769/2009, la fornitura di bioetanolo ed altri biocarburanti per il mercato interno è determinata dalle JMDs, relative ai criteri di sostenibilità;
- emissione di una JMD come specificato nell'articolo 15A par. 12 della legge 3054/2002.

Una decisione definitiva sulla misura che implementerà tali criteri di sostenibilità per i biocarburanti ed i bioliquidi non è ancora stata presa.

Condizioni nazionali per la fattibilità economica del modello sviluppato per l'UE

La Grecia ha recepito la Direttiva 2003/30/CE, emanando la legge 3423/2005, che consente l'importazione, la produzione e la commercializzazione dei biocarburanti. Fino ad oggi in Grecia non è stato prodotto bioetanolo, mentre vi è una produzione di biodiesel. A testimonianza di questa scelta, si registra che attualmente sono presenti tredici impianti industriali di biodiesel e tre imprese che importano questo biocarburante dai mercati internazionali. A seguito di questa politica la Grecia è riuscita a raggiungere l'obiettivo imposto dall'UE per la sostituzione del gasolio con il biodiesel (i.e. 5,75%) mentre è in ritardo nella produzione del bioetanolo per la sostituzione della benzina, il cui consumo nel 2009 è stato pari a 4.376.240 tep.

Le FER svolgono un ruolo importante nello sviluppo del settore energetico a livello nazionale e le biomasse ed i biocarburanti hanno un elevato potenziale di crescita nel mercato.

I principali fattori di successo, che possono influenzare la redditività della filiera del bioetanolo, sono riconducibili ai seguenti:

- lo scenario politico-amministrativo, ossia il programma legislativo del Governo, le relative politiche di sostegno ed il sistema autorizzativo;
- la sostenibilità economica del bioetanolo in funzione delle materie prime utilizzate;
- la disponibilità di tecnologie innovative.

In primo luogo per trasporre in Grecia il modello sviluppato per l'UE si ritiene necessario il supporto da parte del Governo, che può agire ad esempio attraverso l'agevolazione fiscale. Questa leva risulta efficace, in quanto la voce con l'incidenza superiore sul costo di produzione è costituita dalle accise (Tabella 14).

Un ulteriore requisito per l'avvio di iniziative imprenditoriali in questo settore è la semplificazione amministrativa. Infatti, sono noti numerosi casi in cui gli investimenti nel campo delle FER non sono andati a buon fine e gli impianti non sono stati mai realizzati a causa di problemi burocratici.

Per quanto concerne la sostenibilità economica dell'iniziativa vanno affrontate

Tipologia di biocarburante	Accisa [€/litro]
Benzina con piombo	0,621
Benzina senza piombo	0,610
Carburante per aeromobili	0,637
Gasolio per veicoli	0,382
Gasolio per riscaldamento	0,382
Cherosene	0,410
Biodiesel	0,382

Tabella 14: accise sui carburanti in Grecia ²¹

alcune importanti questioni. In primo luogo, agli agricoltori deve essere garantito, attraverso accordi contrattuali, l'acquisto dell'intera produzione ad un prezzo stabilito, che permetta loro di avere un profitto sicuro. Nel caso del sorgo zuccherino, in particolare, sono richiesti limitati *input* culturali; ne consegue che questa coltura offre dei margini di utile potenzialmente superiori a quelli di altre colture. A questo proposito è doveroso sottolineare l'elevato interesse in Grecia nei confronti del sorgo zuccherino, che è testimoniato dagli investimenti in R&S attuati da molti istituti scientifici in campo agronomico, impegnati soprattutto nel miglioramento della produttività attraverso la selezione di nuovi ibridi. Altre importanti questioni attinenti alla sostenibilità economica dell'iniziativa riguardano da un lato il posizionamento dell'impianto, in quanto i terreni coltivati devono essere prossimi all'impianto di processamento affinché la filiera sia sostenibile, e dall'altro il modello di cooperazione tra i fornitori della biomassa agricola ed i titolari del processamento. Tale modello può prestarsi a diverse declinazioni: gli agricoltori possono vendere il prodotto agricolo all'impianto oppure, in alternativa, gli agricoltori singoli o associati possono scegliere di gestire anche la fase di estrazione del succo, che poi è venduto all'impianto, o, infine, gli agricoltori in forma associata possono optare per condurre anche la fermentazione, conferendo poi il prodotto semilavorato alla distilleria. Nei tre casi il margine di utile degli agricoltori cambia sensibilmente. Inoltre, nel contestualizzare in Grecia il modello applicato e appreso in India, bisogna considerare il costo della manodopera, che risulta molto diverso tra le due realtà. Infine, si deve considerare la variabile rappresentata dalla diffidenza degli investitori, che richiedono di essere assicurati sulla vendita del prodotto finale. Verificati tali fattori che determinano la sostenibilità economica dell'applicazione in Grecia del modello sviluppato per l'UE, si ritiene plausibile che il mercato del bioetanolo possa essere implementato con la produzione derivante dal sorgo zuccherino in impianti decentralizzati.

Un'ulteriore riflessione riguarda, infine, la disponibilità di tecnologie innovative, che permetteranno di migliorare i bilanci economici riducendo, di conseguenza, il costo di produzione del bioetanolo e la necessità di sostegno da parte dello Stato. A questo proposito è stato stimato dalla Banca Mondiale che sarà necessario un investimento di oltre 30 miliardi di euro entro il 2020 per l'ammodernamento e la costruzione di nuove centrali elettriche, di centrali di trasmissione e distribuzione, e di impianti alimentati a FER.

In Grecia, il settore agricolo conta per oltre il 5% del PIL, valore più di tre volte superiore alla media dell'UE, che è pari all'1,8%. Il ruolo del comparto agricolo nel bilancio energetico nazionale è, dunque, potenzialmente importante. Grazie all'impegno del Governo greco nella sostituzione del 10% dei consumi finali per il settore dei trasporti con le FER al 2020, entro il prossimo decennio sono attesi importanti sviluppi del settore.

I principali vantaggi di un investimento nella produzione energetica da biomassa e nella produzione di biocarburanti in Grecia, sono i seguenti:

- l'abbondanza di materie prime agricole;
- il settore agricolo che conta per il 5,2% del PIL versus 1,8% della media dell'UE;
- la remunerazione ottenibile grazie alla tariffa omnicomprensiva garantita per 20 anni:
 - o 200 €/MWh per potenze installate inferiori ad 1 MW

- o 175 €/MWh per potenze installate da 1 MW a 5 MW
- o 150 €/MWh per potenze installate maggiori a 5 MW;
- l'impegno, a livello nazionale, ad imporre obblighi per l'uso dei biocarburanti e FER nel settore dei trasporti;
- il sistema normativo favorevole ed a lungo termine che assicura l'affidabilità dell'investimento²².

Disposizioni in materia di prezzi all'ingrosso dei prodotti petroliferi

Ai sensi della legge 3851/2010 i prezzi dei prodotti petroliferi disponibili sul mercato nazionale sono fissati liberamente in tutto il Paese da chi pratica il commercio di questi prodotti.

Per motivi di tutela della concorrenza, i proprietari di una licenza di raffinazione e di una licenza per la distribuzione di biocarburanti sono obbligati ad informare il Ministero dello sviluppo economico, e della competitività ed anche la R.A.E. sul modo in cui sono stabiliti i prezzi dei prodotti petroliferi alla fase di produzione.

Le aziende che commercializzano tali prodotti sono sottoposte agli stessi obblighi normativi per quanto riguarda i prezzi reali (compresi eventuali sconti), a cui vendono i loro prodotti alle stazioni di servizio in ogni area.

Legge sull'investimento n. 3908/2011

I principali contenuti della legge sono i seguenti ²³:

- un bilancio annuale definito, in cui sono esplicitate le ripartizioni delle risorse finanziarie in modo da facilitare la pianificazione da parte degli investitori interessati;
- le linee guida per tutti i settori dell'economia, ad eccezione di quelle espressamente previste dall'articolo 2 della legge;
- le scadenze determinate e fisse (aprile e ottobre).

Inoltre, questa legge:

- a fronte degli scarsi fondi pubblici disponibili, opera attraverso il meccanismo dell'esenzione fiscale: per ogni euro di finanziamento previsto corrispondono tre euro di esenzione;
- prevede programmi vincolanti, invii elettronici della documentazione, monitoraggio degli investimenti ed uno specifico servizio per gli investitori;
- introduce un nuovo processo di valutazione con il Registro nazionale dei valutatori e dei revisori;
- focalizza l'attenzione sui progetti di investimento sostenibili ed a favore della tutela dell'ambiente, promuove l'innovazione, la coesione regionale, l'imprenditoria giovanile e la creazione di posti di lavoro.

Le categorie di investimento ed i relativi aiuti previsti sono:

1. Imprenditoria generale

Beneficiari: tutte le imprese, indipendentemente dal settore.

Misura di aiuto: riduzione delle accise fino al 100% del massimale di aiuto ammissibile.

2. Coesione regionale

Beneficiari: investitori con progetti che rispondono alle esigenze locali o che sfruttano il vantaggio della competitività locale.

Misura di aiuto: tutte le forme di aiuto. Il tasso di sovvenzione e finanziamento in *leasing* può arrivare fino al 70% del massimale di aiuto. Per le nuove imprese la percentuale è aumentata di 10 punti percentuali.

3. Sviluppo tecnologico

Beneficiari: imprenditori che investono in innovazione ed intendono aggiornare le loro infrastrutture e la tecnologia.

Misura di aiuto: tutte le forme di aiuto. Il tasso di sovvenzione e finanziamento in *leasing* può arrivare fino all' 80% del massimale di aiuto.

4. Imprenditorialità giovanile

Beneficiari: investitori con età compresa tra i 20 ed i 40 anni.

Misure di aiuto: aiuti per tutte le spese (incluse quelle operative) per 5 anni dall'avvio dell'attività. L'aiuto totale massimo ammissibile è di 1.000.000 €.

5. Grandi piani di investimento

Beneficiari: investitori con capacità di investimento di almeno 50.000.000 €.

Misura di aiuto: tutte le forme di aiuto, anche abbinate tra loro. Il livello degli aiuti decresce all'aumentare degli investimenti. La percentuale della sovvenzione non può superare il 60% dell'investimento.

6. Piani di lavoro integrati e pluriennali

Beneficiari: le società legalmente costituite da almeno cinque anni al momento di presentare la domanda di contributo. L'aiuto riguarda la realizzazione integrata di un *business plan* pluriennale (2-5 anni) con un bilancio di almeno 2.000.000 €.

Misura di aiuto: a favore della modernizzazione tecnologica, amministrativa, organizzativa e del lavoro. Il 100% del contributo massimale regionale deve essere garantito.

7. Partenariato e creazione di reti

Beneficiari: partenariati e soggetti organizzati in reti o *cluster*, costituiti da almeno 10 imprese nella Regione dell'Attica e della Prefettura di Salonicco e da almeno 5 imprese in altre Prefetture, operando in forma di consorzio.

Misure di aiuto: tutte le forme di aiuto.

Forme di aiuto e contribuzione:

- A. Sgravi fiscali: comprendono l'esenzione dal pagamento delle imposte sul reddito che deriva, secondo il diritto tributario, da qualsiasi attività d'impresa;
- B. Sovvenzioni: pagamento da parte dello Stato di una somma che copre parte della spesa agevolando gli investimenti;
- C. Sussidio in leasing: prevede il pagamento da parte dello Stato di una parte delle rate nell'ambito di un accordo di *leasing* per l'acquisto di nuovi macchinari ed altre attrezzature;
- D. Prestiti a tasso agevolato da ETEAN: l'importo da coprire con un prestito bancario potrà essere finanziato da prestiti a tasso agevolato presso istituti di credito che collaborano con le imprese ETEAN.

Regione	Prefettura		Percentuale di contributo		
			Grandi imprese	Medie imprese	Piccole imprese
Sud - Egeo	Cicladì	C	15%	25%	35%
	Dodecaneso	C	15%	25%	35%
Stereà Ellada	Fthiotida	B	15%	25%	35%
	Fokida	B	20%	30%	40%
	Evia	B	15%	25%	35%
	Viotia	A	15%	20%	25%
	Euritania	C	20%	30%	40%
	Thessaloniki	B	30%	35%	40%
Macedonia centrale	Halkidiki	B	30%	35%	40%
	Kilkis	C	30%	40%	50%
	Pella	C	30%	40%	50%
	Imathia	C	30%	40%	50%
	Pieria	C	30%	40%	50%
	Serres	C	30%	40%	50%
Macedonia occidentale	Grevena	C	30%	40%	50%
	Kozani	B	30%	35%	40%
	Florina	C	30%	40%	50%
	Kastoria	C	30%	40%	50%
Attica	Attica	A	15%	20%	25%
Thessalia	Larissa	B	30%	35%	40%
	Magnissia	B	30%	35%	40%
	Karditsa	C	30%	40%	50%
	Trikala	C	30%	40%	50%
Ionia	Corfu	C	30%	40%	50%
	Lefkada	C	30%	40%	50%
	Kefallinia	C	30%	40%	50%
	Zakynthos	C	30%	40%	50%
Creta	Heraklion	B	30%	35%	40%
	Hania	B	30%	35%	40%
	Lassithi	B	30%	35%	40%
	Rethymnon	B	30%	35%	40%
Peloponneso	Lakonia	C	30%	40%	50%
	Messinia	C	30%	40%	50%
	Korinthia	B	30%	35%	40%
	Arkadia	B	30%	35%	40%
	Argolida	B	30%	35%	40%
Nord - Egeo	Mytilene	C	30%	40%	50%
	Chios	C	30%	40%	50%
	Samos	C	30%	40%	50%
Macedonia orientale/ Tracia	Kavala	C	40%	45%	50%
	Xanthi	C	40%	45%	50%
	Rodopi	C	40%	45%	50%
	Drama	C	40%	45%	50%
	Evros	C	40%	45%	50%
Epiro	Ioannina	C	40%	45%	50%
	Arta	C	40%	45%	50%
	Preveza	C	40%	45%	50%
	Thesprotia	C	40%	45%	50%
Grecia occidentale	Achaia	C	40%	45%	50%
	Etolo-Akarnania	C	40%	45%	50%
	Ileia	C	40%	45%	50%

Tabella 15: mappa regionale degli Aiuti di Stato e percentuali di contributo per ogni prefettura

Le misure di aiuto a favore di uno stesso progetto di investimento devono essere sommate al fine di determinare l'importo totale degli aiuti stanziati, che non può superare i limiti delineati sulla mappa regionale degli Aiuti di Stato (Tabella 15).

Un servizio relativo alle FER è stato introdotto presso il Ministero dell'ambiente, dell'energia e dei cambiamenti climatici, che fungerà da "sportello unico" e fornirà informazioni e supporto a tutti i potenziali investitori interessati alle FER.

6.6.3 Spagna

Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili (PANER)

Sulla base delle Direttive europee per la promozione delle energie rinnovabili, il Governo spagnolo ha sviluppato il PANER, che è stato pubblicato il 30 giugno del 2010. Il PANER è stato elaborato sulla base della RED e fissa gli obiettivi al 2020 per la Spagna pari al 20% di energia prodotta da FER sul totale della produzione energetica ed il 10% di energia da FER nel il settore dei trasporti.

La RED è stata recepita dal RD 661/2007, dove è dettagliato il Piano Nazionale per le Energie Rinnovabili (PER).

Il PANER ed il PER, oltre ad includere tutte le FER ed a prevedere specifiche riduzioni nei consumi energetici, contengono una sezione dedicata alla promozione ed alla regolamentazione della produzione e dell'impiego dei biocarburanti.

Il piano d'azione per la promozione dei biocarburanti è basato sull'evoluzione in Spagna della produzione e del consumo di biocarburanti fino al 2009. La capacità produttiva è aumentata negli ultimi anni fino a 4 milioni di tep, ma, nonostante questo incremento, il consumo non è aumentato nella stessa misura.

La promozione dell'uso dei biocarburanti nel settore dei trasporti è prevista dal decreto ministeriale ITC/2877/2008 e da altri strumenti normativi finalizzati a garantire il raggiungimento degli obiettivi al 2020.

L'efficienza energetica nei trasporti è diventata cruciale e la normativa vigente prevede una serie di azioni specifiche volte al raggiungimento di tale obiettivo.

Visto l'impatto delle attività antropiche sulla qualità dell'aria nei centri urbani, il consumo massimo è stato fissato al 40% e sono state intraprese azioni volte alla riduzione dei consumi ed all'aumento dell'efficienza tramite un sistema specifico di tassazione, che prevede riduzioni in caso di evidenti benefici ambientali. Alcune normative hanno recepito le indicazioni della Direttiva 2008/50/CE sulla qualità dell'aria nelle città e ciò si riflette concretamente sull'aumento dell'efficienza dei trasporti.

Il decreto legge 443/2009 è un altro strumento adottato dal Governo spagnolo per ridurre l'impatto dei trasporti e garantire il raggiungimento degli obiettivi al 2020; in tale decreto è stato stabilito il valore massimo in emissioni di CO₂ per il trasporto su strada, che corrispon-



Figura 4: evoluzione di produzione e consumo di biocarburanti in Spagna ²⁴

de a 95 gCO₂/km da ottenere entro il 2020 anche attraverso la promozione dell'uso di veicoli elettrici ed ibridi, che dovranno raggiungere il 10% del parco auto totale in Spagna. Gli obiettivi fissati per la Spagna sono riportati in Tabella 16 ed includono tutte le FER.

A) Quota di energia da FER sul consumo finale lordo di energia nel 2005 (S2005)	8,7 %
B) Obiettivo per la quota di energia da FER sul consumo finale lordo di energia al 2020 (S2020)	20,0 %
C) Consumo energetico totale previsto al 2020 (ktep)	97.041
D) Energia attesa dalle FER per raggiungere gli obiettivi al 2020 (calcolati come BxC) (ktep)	19.408

Tabella 16: obiettivi nazionali per la quota di energia da FER sul consumo finale lordo di energia per il 2005 e il 2020²⁵

Nella Tabella 17 sono riportati i dettagli relativi alla ripartizione della quota di FER nel settore dei trasporti.

	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
A) Consumo previsto per le FER nel settore dei trasporti	366	1.802	1.833	1.927	1.950	2.477	2.695	3.004	3.209	3.416	3.624	3.885
B) Consumo previsto per le FER nel trasporto su strada	0,0	0,1	0,9	3,1	6,8	12,3	30,6	48,3	66,5	84,6	103,6	122,9
C) Consumo previsto per i biocarburanti ottenuti da rifiuti, residui e materie prime lignocellulosiche nel settore dei trasporti	0	50	55	55	60	65	161	170	175	232	242	252
D) Contributo previsto per le FER nei trasporti ai sensi della RED: (A)+(2,5-1)x(B)+(2-1)x(C)	366	1.852	1.890	1.987	2.020	2.560	2.902	3.247	3.484	3.774	4.022	4.322

Tabella 17: calcolo della quota di energie rinnovabili nel settore dei trasporti (ktep)²¹

Anche se il calcolo del consumo di FER è da considerarsi attendibile, non sarà possibile raggiungere gli obiettivi prefissati se non ci saranno azioni concrete a livello nazionale. Alcune azioni di promozione per la produzione ed il consumo di biocarburanti sono riportate nella Tabella 18.

Per garantire il rispetto dei requisiti di sostenibilità previsti per i biocarburanti a partire dal 1° gennaio 2012, di cui agli articoli 17 e 21 della RED, sono state stabilite

	Descrizione	Tipologia di azione	Risultati attesi	Gruppo e/o attività a cui l'azione è riferita	Azione esistente o progetto	Data di inizio e conclusione
1	Sviluppo delle specifiche tecniche per il B30 e l'E85 e loro inclusione nella normativa sulla qualità dei biocarburanti in Spagna	Regolatoria	Migliorare il controllo di qualità dei biocarburanti ed aumentare la fiducia in questo settore	Settore industriale, del petrolio e della logistica	Progetto	2010-2012
2	Progettazione ed implementazione del sistema AENOR per garantire la qualità del processo di produzione di biocarburanti	Regolatoria	Migliorare il controllo di qualità dei biocarburanti ed aumentare la fiducia in questo settore	Settore industriale, del petrolio e della logistica	Progetto	2010-2012
3	Progettazione e implementazione di un sistema di controllo della sostenibilità in tutta la filiera di produzione dei biocarburanti commercializzati in Spagna, in base ai requisiti della RED	Regolatoria	Migliorare l'analisi della sostenibilità	Settore agricolo, industriale, del petrolio e della logistica	Progetto	2010-2012
4	Manutenzione e adattamento dello schema dell'uso obbligatorio di biocarburanti nei trasporti dal 2010. In questo momento fino al 2010 vi è l'Ordine ITC/2877/2008	Regolatoria	Aumentare la domanda di biocarburanti	Settore agricolo, industriale, del petrolio e della logistica	Azione esistente Progetto	Dal 2008 2010-2020
5	Modifica della normativa in merito alle accise specifiche che consentono l'impiego del biogas come biocarburante nei trasporti in condizioni simili al bioetanolo ed al biodiesel	Regolatoria	Diversificazione dell'offerta di biocarburanti	Settore industriale, del petrolio e della logistica	Progetto	2010-2011
6	Programma Nazionale per sostenere lo sviluppo tecnologico nel settore dei biocarburanti: 2G e bioraffineria	Regolatoria - Finanziaria	Aumentare lo sviluppo tecnologico	Settore industriale, del petrolio e della logistica	Progetto	2011-2020
7	Impulso alle amministrazioni attraverso la promozione per l'acquisto di vetture alimentate con miscele di biocarburanti	Regolatoria - Finanziaria	Incremento della domanda di biocarburanti	Settore pubblico ed automobilistico	Progetto	2011-2020

Tabella 18: azioni specifiche nel settore dei biocarburanti²¹

alcune specifiche azioni nel decreto ministeriale ITC/2877/2008, il quale, oltre a promuovere l'uso dei biocarburanti nel settore dei trasporti, indica anche il quantitativo minimo per l'incorporazione nei carburanti fossili ed i metodi di misurazione delle quantità vendute e consumate; inoltre, l'articolo 7 di tale decreto descrive i requisiti per accreditare i biocarburanti venduti e consumati in Spagna.

La sostenibilità dei biocarburanti deve essere accreditata, considerando la qualità, la provenienza delle materie prime e la valutazione ambientale relativa alle colture impiegate per tale produzione.

La circolare 2/2009 della Commissione nazionale per l'energia all'articolo 7 regola la promozione dell'uso dei biocarburanti nei trasporti, indicando il sistema per presentare le certificazioni per i biocarburanti acquistati o ceduti. In tale circolare si specifica, inoltre, che saranno richieste la certificazione di sostenibilità per i biocarburanti e la tracciabilità della filiera di produzione dalla coltura alla vendita finale, ponendo particolare attenzione ad *input* e *output* della produzione, tra cui i registri interni per *input-output* di ogni fase della filiera, i documenti di certificazione della filiera, il periodo minimo di tempo in cui mantenere tali registri.

Nell'ordinanza ITC/2877/2008 all'articolo 6, la Commissione nazionale per l'energia ha incaricato una specifica amministrazione come responsabile dell'accelerazione nella certificazione per i biocarburanti, della gestione del meccanismo di certificazione e della supervisione e controllo dell'obbligo per la commercializzazione.

La legge 42/2007, relativa al patrimonio naturale ed alla tutela della biodiversità, indica, invece, le caratteristiche che contraddistinguono la biodiversità stessa e come conservarla, in base alle indicazioni della RED.

Promozione dell'uso delle energie rinnovabili nei trasporti: sistemi di supporto

In Spagna la normativa vigente prevede specifiche leggi finalizzate alla promozione dell'uso dei biocarburanti, quale ad esempio la legge 34/1998 che indica gli obiettivi annuali di biocarburanti da impiegare nel settore dei trasporti pari al 5,83% nel 2010. L'ordinanza ITC/2877/2007 stabilisce gli obiettivi minimi per ogni prodotto sulla base degli obiettivi totali indicati nella legge 34/1998 e rende flessibile il calcolo della quantità di biocarburanti venduti o consumati, sviluppando un sistema di certificazione e di pagamento che è gestito dalla Commissione nazionale per l'energia. Questa azione di promozione garantisce al 2011 una quota del 7% di biocarburanti in miscela nel gasolio e nella benzina.

Gli obiettivi finora raggiunti in totale sono il 3,40% nel 2009 ed il 5,83% nel 2010. Gli obiettivi specifici per tipologia di prodotto sono riportati nella Tabella 19.

Ad oggi, nell'ordinanza ITC/2877/2008 non c'è una promozione specifica per la tecnologia o per il prodotto ai sensi dell'articolo 21, paragrafo 2 della RED. Considerando che tale ordinanza ha stabilito che la Commissione nazionale per l'energia debba gestire il rilascio di certificati, la gestione ed il controllo della commercializzazione dei biocarburanti, la Commissione stessa ha pubblicato la circolare 2/2009 in cui sono stabiliti il meccanismo per promuovere il consumo di biocarburanti

Quota biocarburanti nel gasolio	
2009	2010
2,5%	3,9%
Quota biocarburanti nella benzina	
2009	2010
2,5%	3,9%

Tabella 19: obiettivi per i biocarburanti raggiunti in Spagna

e la normativa per il controllo di tali produzione e consumo. La circolare indica, inoltre, che la Commissione è autorizzata a fare ispezioni per controllare che gli obblighi previsti siano rispettati.

Un'ulteriore alternativa in Spagna per promuovere l'uso dei biocarburanti nel settore dei trasporti è l'impiego degli stessi nei veicoli/automezzi della pubblica amministrazione. Il Consiglio dei Ministri ha sviluppato il 22 maggio 2006, una Commissione interministeriale per includere gli aspetti ambientali negli appalti pubblici. Questo obiettivo è fissato nell'ordinanza PRE/116/2008, dove è stato approvato un piano per il *Green Public Procurement* da parte dell'Amministrazione Generale dello Stato.

Con l'applicazione dell'ordinanza sopra citata, l'obiettivo è di raggiungere nel 2012 il 38% di biocarburanti sul consumo totale di carburanti dal parco mobile dello Stato.

In Spagna, altre azioni che favoriscono la produzione ed il consumo di biocarburanti riguardano in particolare gli aiuti finanziari, gli incentivi ed i finanziamenti pubblici.

La legislazione specifica è la seguente:

- legge 38/1992 sulla tassazione speciale;
- RD1165/1995 che approva lo statuto della tassazione speciale;
- legge 53/2002 sulle azioni fiscali, amministrative e sull'ordine sociale;
- RD 1739/2003 che modifica lo statuto della tassazione speciale approvata con RD 1165/1995 e RD 3485/2000;
- legge 22/2005 che include nell'ordinamento legislativo spagnolo le Direttive relative alla tassazione dei prodotti energetici e dell'elettricità;
- RD 191/2010 che modifica lo statuto sulla tassazione speciale approvato con RD 1165/1995.

In tutte le norme citate sono riportate le considerazioni specifiche in merito alle accise applicate ai biocarburanti. Ad esempio, la legge sulla tassazione speciale prevede l'esenzione dalle accise per i biocarburanti fino al 31 dicembre 2012. Tale imposta deve essere applicata solo per il volume di biocarburante realmente utilizzato, anche se miscelato con altri prodotti.

Ogni qualvolta vi sia una variazione nei costi di produzione dei prodotti petroliferi e dei biocarburanti, lo Stato può sostituire il valore zero (i.e. esenzione) con un'aliquota fiscale di importo positivo (i.e. agevolazione fiscale), non superiore all'importo della tipologia di accisa applicabile al carburante convenzionale equivalente. Si tratta di un regime statutario gestito dal Dipartimento delle dogane e dall'Agenzia fiscale delle accise. L'ammissibilità a questo sistema di supporto non è correlata alla dimensione del soggetto che commercializza il biocarburante.

Esenzione delle accise per i progetti pilota per la produzione di biocarburanti

La legislazione sulla tassazione speciale prevede che la produzione o l'importazione di biocarburanti destinati all'impiego, sia diretto che in miscela con combustibili tradizionali, in progetti pilota per lo sviluppo tecnologico di prodotti energetici meno inquinanti siano esentati dalla tassa sugli idrocarburi.

I progetti pilota devono servire allo sviluppo tecnologico di prodotti meno inquinanti e devono prevedere un uso limitato nel tempo di tali carburanti necessari alla produzione, oltre a dover dimostrare la fattibilità tecnica del progetto, escludendo lo sfruttamento industriale dei risultati ottenuti. Tale sistema è gestito dal Dipartimento delle dogane e dall'Agenzia fiscale delle accise. Lo statuto sulla tassazione speciale indica che, una volta approvata la domanda di esenzione, è stipulato un accordo, in cui si specifica che la durata dell'esenzione non deve superare i cinque anni.

C'è, inoltre, una dimensione massima stabilita per l'accreditamento dei progetti pilota pari ad una produzione di 5.000 litri all'anno.

Evoluzione dei biocarburanti in Spagna

Sulla base delle informazioni disponibili ad oggi, si possono fare delle previsioni di massima sullo scenario di sviluppo atteso nella produzione e nel consumo dei biocarburanti in Spagna per il periodo 2011-2020.

- **Bioetanolo e bio-ETBE.** Il consumo dovrebbe raddoppiare, da 232 ktep nel 2011 a 400 ktep nel 2020. Un salto importante nei consumi avverrà intorno al 2013, con la probabile dismissione della benzina agevolata e la generalizzazione delle specifiche relative alle benzine come l'E10. D'altra parte, si stima che il contributo significativo delle importazioni di bio-ETBE a livello nazionale nel 2010 sarà ridotto negli anni successivi fino a scomparire. Questo aspetto sarà assicurato dall'incorporazione diretta nelle benzine di una miscela di bioetanolo e bio-ETBE. Per quanto riguarda il consumo di bioetanolo e bio-ETBE, le informazioni riportate mostrano che alla fine del periodo 2011-2020 i progetti che impiegano materie prime lignocellulosiche o rifiuti e residui per la produzione di bioetanolo diventeranno attività commerciali reali.
- **Biodiesel.** Si stima che il consumo di biodiesel raddoppi nel periodo di tempo corrispondente al PANER, passando da 1.471 ktep nel 2011 a 3.100 ktep nel 2020. Tuttavia, il tasso di crescita previsto non è uniforme: fino al 2013 sarà molto basso e successivamente accelererà, per effetto delle nuove specifiche per le miscele e con l'atteso successo della miscela B10. Per quanto riguarda le importazioni, che nel 2010 hanno rappresentato oltre il 60% del consumo interno, è prevista una graduale flessione con una stabilizzazione intorno al 10% sul consumo totale nella seconda metà del periodo 2011-2020. Infine, per quanto riguarda il consumo di biodiesel la Tabella 20 evidenzia che alla fine del periodo 2011-2020 sarà raggiunto un elevato livello di impiego degli oli vegetali esausti, a copertura di quasi i due terzi del potenziale disponibile.
- **Altri biocarburanti.** L'evoluzione del consumo di biocarburanti tra il 2011 e il 2020, secondo le stime fatte durante la stesura del PANER, comprende anche un piccolo contributo da parte dei biocarburanti diversi dal bioetanolo e dal biodiesel, da prendere in considerazione per la seconda metà del periodo. Tra questi, hanno maggiori probabilità di uno sviluppo futuro il biometano per il trasporto su strada, gli HVO ed il Bio-SPK per il mercato dell'aviazione; va specificato, tuttavia, che queste tecnologie di biocarburanti sono ancora in una fase preliminare di sviluppo.

	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Bioetanolo / Bio-ETBE	113	232	232	281	281	290	301	300	325	350	375	400
Biocarburanti secondo l'articolo 21.2 della RED	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	52	52
Biocarburanti importati	0	25	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel	145	1.471	1.471	1.493	1.493	1.990	2.169	2.450	2.600	2.750	2.900	3.100
Biocarburanti secondo l'articolo 21.2 della RED	0	50	55	55	60	65	161	170	175	180	190	200
Biocarburanti importati	0	910	515	373	299	299	325	245	260	275	290	310
Idrogeno da fonti rinnovabili	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energia da fonti rinnovabili	107,9	99,1	130,5	152,9	175,8	195,5	223,6	252,4	282,3	312,6	346,3	381,2
Per il trasporto su strada	0,0	0,1	0,9	3,1	6,8	12,3	30,6	48,3	66,5	84,6	103,6	122,9
Per trasporto non su strada	108	99	130	150	169	183	193	204	216	228	243	258
Oli vegetali, biogas ed altro	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	4
Biocarburanti secondo l'articolo 21.2 della RED	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE	366	1.802	1.833	1.927	1.950	2.477	2.695	3.004	3.209	3.416	3.624	3.885

Tabella 20: stima del contributo totale previsto per ciascuna FER e relativa tecnologia in Spagna, ai fini del raggiungimento degli obiettivi al 2020 ed andamento indicativo per le quote di energia da FER nel settore dei trasporti (in tep)²¹

7. IL SORGO ZUCCHERINO COME COLTURA ENERGETICA SOSTENIBILE

7.1 Perché il sorgo zuccherino? ^{26,27,28,29,30,31,32}

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 un'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 elevata 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 come s.s. e per certe varietà si può arrivare al 90%.

Gli zuccheri accumulati nei culmi del sorgo zuccherino sono idrosolubili e direttamente 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 come s.s., 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 come wb, un contenuto in zuccheri corrispondente al 40% su base secca ed un fattore di conversione di 0,591 litri di bioetanolo 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 (pH tra 5,0–8,5); 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 come 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 come coltura energetica, quindi, richiede minori apporti idrici per unità di bioetanolo 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 nutrizionali, 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), e la conservazione degli zuccheri attraverso la concentrazione del succo estratto dai culmi o, in alternativa, l'insilamento della biomassa.

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.

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 granella, che può essere convertita in bioetanolo di prima 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 seconda generazione. In attesa che siano disponibili le tecnologie 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 prima e di seconda 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 tipologia 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.

7.2 Caratteristiche botaniche e morfologiche ^{33,34,35,36,37,38}

7.2.1 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 commercialmente come sorgo da granella, sorgo da fibra, sorgo da foraggio, sorgo da saggina e 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 molto più recente (1850 d.C.).

7.2.2 Morfologia

Il sorgo è una pianta erbacea annuale e presenta una buona 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).

Per quanto riguarda la disposizione delle foglie sul culmo, da ciascun nodo si sviluppa 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 del culmo; 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 ad esempio la densità delle piante in campo, il fotoperiodo e la temperatura.



Figura 5: confronto tra 2 varietà di sorgo zuccherino³⁹

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 peduncolata 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 tipico delle graminacee, formato da un ovario supero, uniovulare, con stilo biforcuto e stigma piumoso, e da un androceo composto da tre stami.



Figura 6: semi di sorgo zuccherino ⁴⁰

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 e la risorsa suolo.

7.2.3 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 lo sviluppo vegetativo e contestualmente blocca anche l'accumulo degli zuccheri.



Figura 7: varietà di sorgo zucherino Sugargraze⁴¹

7.3 Tecnica colturale e raccolta^{42,43,44,45,46,47,48}

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.

7.3.1 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. glifosato).

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.

7.3.2 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 kgN, 60-100 kgP₂O₅ e 60-100 kgK₂O. L'applicazione dell'azoto è consigliata in due fasi: prima della semina e indicativamente 20-30 giorni dopo l'emergenza.

7.3.3 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 un'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. 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.



Figura 8: semina di sorgo zuccherino in Pianura Padana, Italia ⁴⁹

La scelta varietale è un fattore cruciale per assicurare dei 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 vegeta-

tivo. Nelle regioni mediterranee questa condizione è soddisfatta se le temperature si mantengono miti o calde durante l'intero mese di settembre.

o Varietà a ciclo breve: nei climi mediterranei 70-90 giorni dall'emergenza alla fioritura. A questa categoria appartengono ad esempio le varietà denominate Mer 60-2, Mer 78-13, Soave, Atlas e Madhura.

o Varietà a ciclo lungo: indicativamente 110 giorni dall'emergenza alla fioritura. A questa categoria appartengono ad esempio le varietà denominate Keller, Dale e Wray.

7.3.4 Irrigazione

Il fabbisogno irriguo del sorgo dipende soprattutto dalle caratteristiche climatiche del sito di coltivazione, quali ad 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 in letteratura sono riportati valori di 3,7-6,1 kg s.s./m³ 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 richieda un compromesso tra apporto irriguo e livelli produttivi.

7.3.5 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 un'adeguata scelta della varietà (i.e. sulla base della durata del ciclo biologico) e del periodo di semina.
2. Allettamento spontaneo. 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 azione 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.



Figura 9: coltivazione di sorgo zuccherino ad 1 mese dalla semina in Pianura Padana, Italia ⁵⁰



Figura 10: coltivazione di sorgo zuccherino a 2 mesi dalla semina in Pianura Padana, Italia ⁵¹

7.3.6 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&S sono indirizzate ad ottimizzare la meccanizzazione della raccolta del sorgo zuccherino. Alcune



Figura 11: falcia-trincia-caricatrice ⁵²



Figura 12: falcia-trincia-caricatrice in azione durante la raccolta in Pianura Padana, Italia ⁵³

macchine agricole attualmente utilizzate sono mutate dalla foraggicoltura o dalla coltivazione della canna da zucchero, nel qual caso prevedono la raccolta e l'imballatura (o rotoimballatura) 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.

7.3.7 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 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 precluso finora l'utilizzazione 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.



Figura 13: biomassa di sorgo zuccherino trinciata⁵⁴

7.4 Programmi di selezione degli ibridi^{55,56,57,58}

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 CE nell'ambito del 7°FP.

7.4.1 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 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.

7.4.2 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.

7.4.3 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.

7.5 Esperienze nella coltivazione del sorgo zuccherino condotte nell'UE

7.5.1 Italia^{59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70}

Sebbene in Italia la domanda di biocarburanti sia incrementata per effetto del

recepimento delle Direttive 2009/28/CE e 2009/30/CE (i.e. con il decreto legislativo n. 28 del 23 marzo 2011), la situazione della produzione interna di bioetanolo non è cambiata rispetto al passato: il bioetanolo continua ad essere ottenuto dal processamento dei residui della lavorazione della frutta e della filiera vitivinicola e non esistono filiere e/o impianti specificatamente dedicati a questo scopo. Dal momento che la capacità produttiva rimane molto modesta, la domanda interna di bioetanolo è soddisfatta principalmente con le importazioni, soprattutto da Pakistan, Turchia e Brasile, in ordine di importanza.

Per quanto riguarda la ricerca sulle colture alcoligene, l'Italia beneficia di una lunga tradizione che ha preso avvio dalla politiche autarchiche degli anni Trenta.

In particolare 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 adottati in Italia per il miglioramento genetico. 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 molto elevate in culmi e zuccheri fermentescibili, rispettivamente di 55-70 t/ha come wb, 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 5°FP. 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, quando il sorgo zuccherino 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 del 75-80% e le produzioni ottenute sono di 35-40 t/ha come s.s. con un adeguato apporto e di 20-25 t/ha come s.s., 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, ed "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).

Nell'ultimo decennio l'interesse nei confronti del sorgo zuccherino è stato nutrito dall'opportunità di utilizzarlo come coltura foraggiera e più recentemente dalla diffusione degli impianti di digestione anaerobica per la produzione di biogas, alimentati a colture dedicate e deiezioni zootecniche.

Per quanto attiene alle applicazioni del sorgo zuccherino nella filiera del biogas, gli studi condotti dal Crpa S.p.A. hanno evidenziato che le rese produttive della coltura beneficiano significativamente della fertirrigazione con liquami zootecnici e dell'applicazione del digestato (i.e. residuo della digestione anaerobica), validando così da un punto di vista tecnico questa forma di recupero dei sottoprodotti in un'ottica di gestione integrata della filiera.

Le ricerche agronomiche hanno avuto un significativo contributo da parte delle attività svolte dal CRA-CIN sulle differenze produttive tra le varietà da fibra e quelle zuccherine: i risultati conseguiti nelle Marche ed in Emilia-Romagna (Italia centrale) suggeriscono che in queste condizioni climatiche le rese in zuccheri e biomassa sono confrontabili e che, quindi, le varietà testate (i.e. H133, Bulldozer, Padana 1) possono essere considerate a duplice attitudine.

Parallelamente ricerche pluriennali sono state realizzate dal CRA-ING per migliorare la meccanizzazione della coltivazione del sorgo: sono stati progettati e sperimentati alcuni prototipi per la raccolta ed il condizionamento della biomassa del sorgo ed uno di questi è stato recentemente applicato in una versione pre-commerciale in campi sperimentali allestiti dal Gruppo Mossi & Ghisolfi e Coprob.

Negli ultimi anni l'applicazione del sorgo alla filiera del bioetanolo è stata oggetto di ricerca da parte di alcuni istituti di ricerca e gruppi industriali, quali l'Università degli Studi di Bologna, l'Università degli Studi di Torino, il CETA, l'ENEA, il CRA-RPS ed il Gruppo Mossi & Ghisolfi (Chemtex Italia S.p.A.).

Le ricerche industriali di Chemtex S.p.A. sono state condotte in Emilia-Romagna in collaborazione con l'Amministrazione regionale, la Provincia di Parma, l'Università degli Studi di Parma e l'Università del Sacro Cuore. Le prove sperimentali sono state impostate per confrontare alcune varietà di sorgo da fibra e da foraggio in termini di resa produttiva e per testare la logistica del rifornimento di un ipotetico impianto di produzione di bioetanolo di seconda generazione. I risultati delle prove hanno confermato le indicazioni bibliografiche di una buona produzione in biomassa anche con bassi input colturali: 20-25 t/ha come s.s. con un basso dosaggio di fertilizzanti (-50% DPI) e senza irrigazione. Inoltre, queste prove hanno permesso di verificare la possibilità di introdurre il sorgo nei piani colturali delle aziende agricole in rotazione con le colture autunno-vernine.

Le ricerche in campo agronomico sul sorgo zuccherino come coltura alcoligena si sono avvalse dei risultati del progetto "SWEETFUEL", finanziato dalla CE nell'ambito del 7°FP. L'Università degli Studi di Bologna, in particolare, ha selezionato e testato degli ibridi con elevata resistenza alle basse temperature, la cui applicazione in Italia consente di anticipare la semina e dilatare il ciclo vegetativo con il fine ultimo di ottimizzare il rifornimento degli impianti di processamento.

Per quanto riguarda il modello decentralizzato di utilizzo energetico del sorgo zuccherino, le esperienze in Italia sono state maturate a partire dal 2007.

Nel biennio 2007-2008 in Piemonte un progetto di ricerca finanziato dall'Amministrazione regionale e realizzato dal CETA e dall'Università degli Studi di Torino è stato incentrato sulla coltivazione di alcune varietà di sorgo zuccherino e sulla conservazione degli zuccheri nella biomassa trinciata mediante l'insilamento mutuato dalla maidicoltura.

A partire dal 2010 sono in corso delle prove sperimentali sulla valorizzazione energetica del sorgo zuccherino, finanziate dal MIPAAF e coordinate dal CETA in collaborazione con l'ENEA ed il CRA-RPS (i.e. progetto MULTISORGO). Le prove agronomiche sono condotte in campi sperimentali del Nord Italia e del Sud Italia (Friuli Venezia Giulia e Basilicata, rispettivamente) e la biomassa prodotta dalle varietà testate è processata per produrre bioetanolo di prima generazione dal succo zuccherino, bioetanolo di seconda generazione da quota parte della bagassa e biogas dalla borlanda e dalla restante parte della bagassa. Alla conclusione del progetto (nel 2013) lo schema sperimentale impostato fornirà delle indicazioni precise sulle potenzialità complessive della coltura se utilizzata a scopo energetico. Attualmente le prove agronomiche stanno confermando la necessità dell'irrigazione a sostegno della coltivazione del sorgo nelle regioni a clima mediterraneo: 2,4-4,6 t/ha come s.s. senza apporto irriguo versus 7,6-11,3 t/ha come s.s. con irrigazione (dati produttivi del 2010). Vice versa nelle regioni a clima temperato oceanico del Nord Italia le precipitazioni nel periodo di sviluppo vegetativo (e.g. 670 mm tra maggio e settembre 2010) sono sufficienti a coprire il fabbisogno idrico della coltura ed a garantire delle buone rese produttive (i.e. 14,3-19,0 t/ha come s.s. nel 2010 e 16,3-21,1 t/ha come s.s. nel 2011).

7.5.2 Grecia

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 RED.

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_4) 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 CE, 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 Paese⁷¹.

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.*⁷² 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.*^{73,74} 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 rispettivamente⁷⁵.

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* colturali, 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^{76,77}.

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 wb 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.*⁷⁸ 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 s.s., 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.

7.5.3 Spagna^{79,80,81}

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:

- o 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;
- o 1990-1993. "Sorgo zuccherino, una coltura energetica sostenibile per l'Europa. Miglioramento ed ottimizzazione negli aspetti agricoli ed industriali", programma AIR Joule della CE;
- o 1993-1995. "Sweet sorghum network", programma AIR della CE;
- o 1997-2000. "Studi ambientali sul sorgo zuccherino e da fibra, come colture energetiche sostenibili", programma FAIR della CE;
- o 2004-2005. "Studio della fattibilità economica relative alla produzione di bioetanolo da colture energetiche innovative", Ministero dell'educazione e della scienza della Spagna, progetto Profit;
- o 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;
- o 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.

Una linea di ricerca avviata recentemente in Spagna riguarda l'utilizzo del sorgo zuccherino come coltura in secondo raccolto in ambiente mediterraneo. Il Gruppo di agro-energetica dell'Università Politecnica di Madrid ha valutato i risultati delle prove su un'annata agraria, ottenuti con alcune varietà commerciali a duplice attitudine (i.e. zucchero e biomassa) ed a ciclo breve, ritenute promettenti a questo scopo (Tabella 21).

Varietà	Altezza	Resistenza all'allettamento	Sviluppo vegetativo				
			Ciclo	Tipo di panicolo	Granella	Biomassa	Saccarosio
Sugargraze	M	*	L	O	N	H	* / ***
SSG	M	*	L	O	N	M	*
23402	M	***	L	SC	N	L	*
Biom. 133	VT	***	E	O	N	VH	**
Sugar T	T	***	I	O	N	M	* / ***
Aufan	T	***	I	O	Y	H	*
Such. 506	T	***	I	C	Y	VH	** / ***
Such. 405	S	***	I	SC	Y	L	*
Madhura	T	**	E	C	Y	VH	* / ***
Nectar	M	**	E	C	Y	M	** / ***

Tabella 21: risultati conseguiti nel corso della coltivazione di varietà commerciali di sorgo zuccherino a ciclo breve. Agenda: Altezza: molto elevata (VT), elevata (T), media (M), bassa (S); Resistenza all'allettamento: bassa (*), intermedia (**), buona (***); Ciclo: precoce (E), intermedio (I), lungo (L); Tipo di panicolo: aperto (O), semi-compatto (SC), compatto (C); Granella: sì (Y), no (N); Biomassa: resa molto alta (VH), resa alta (H), resa media (M), resa bassa (L); Saccarosio: contenuto basso (*), contenuto intermedio (**), contenuto buono (***). Quando sono riportati due indici, il primo si riferisce alla raccolta anticipata (15 settembre, 85 DAS) ed il secondo alla raccolta normale (18 ottobre, 118 DAS)

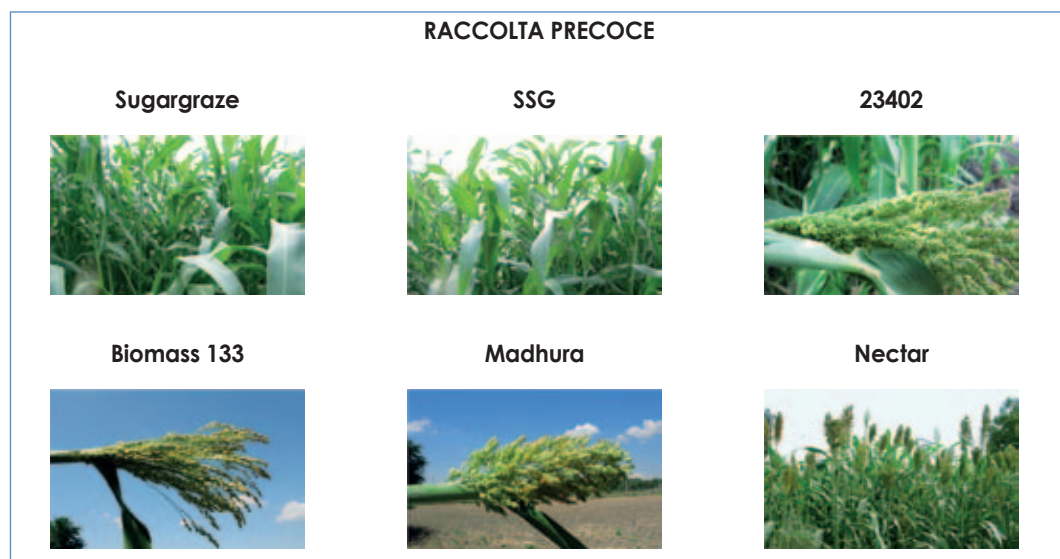


Figura 14: stato fenologico del sorgo zuccherino nelle prove condotte a Madrid, Spagna. Data della semina: 22 giugno 2010; data della raccolta: 15 settembre 2010 (fonte: Gruppo di agro-energetica dell'Università Politecnica di Madrid)

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO: BIOETANOLO E Bio-ETBE

Con il termine bioetanolo ci si riferisce all'alcol etilico utilizzato come biocarburante per il trasporto.

Analogamente all'etanolo alimentare, il bioetanolo deriva dalla fermentazione alcolica degli zuccheri, semplici (i.e. glucosio, saccarosio, fruttosio) o ottenuti dall'idrolisi dei polisaccaridi (i.e. amido, cellulosa, emicellulosa, fruttani).

Il bioetanolo può essere usato come biocarburante nei motori a ciclo Otto, poiché le sue caratteristiche sono simili a quelle della benzina:

- il PCI è elevato: 27 MJ/kg
- il numero di ottano indica un buon potere antidetonante: MON 96, RON 130, numero di ottano (i.e. calcolato come media tra MON e RON) 113.

In alternativa, il bioetanolo può essere utilizzato nei motori a ciclo Otto come antidetonante in sostituzione del MTBE. In questo caso il bioetanolo è convertito in bio-ETBE attraverso una reazione chimica con l'isobutilene. Il bio-ETBE è un buon sostituto del MTBE, in quanto:

- il PCI è elevato: 35 MJ/kg
- ha un buon comportamento come antidetonante: MON 102, RON 118, numero di ottano (i.e. calcolato come media tra MON e RON) 110.

L'utilizzo del bioetanolo è una delle misure più efficaci per contenere le emissioni di GHGs derivanti dal settore dei trasporti, in quanto deriva dalla biomassa e, quindi, il suo bilancio tra le emissioni di CO₂ e lo stoccaggio del carbonio nella vegetazione è nullo.

Il bio-ETBE è considerato neutrale agli effetti delle emissioni di GHGs solo per la sua frazione derivante dalla biomassa, ossia per il 47% p/p.

I principali substrati, che possono essere utilizzati per la produzione del bioetanolo, sono:

- materie prime zuccherine: canna da zucchero, barbabietola da zucchero, sorgo zuccherino, melassa, residui della lavorazione della frutta
- materie prime amidacee: granella dei cereali, patate, batate, manioca
- materie prime lignocellulosiche: canna comune, paglia, stocchi e tutoli del mais, FORSU.

Il bioetanolo rientra tra i biocarburanti di prima, seconda o terza generazione in funzione del tipo di substrato utilizzato e dal tipo di tecnologia applicata nella linea produttiva:

- prima generazione: se sono processate materie prime zuccherine ed amidacee
- seconda generazione: se è processata biomassa lignocellulosica ottenuta da colture dedicate (e.g. canna comune)
- terza generazione: se sono processati residui lignocellulosici (e.g. paglia, FORSU).

8. LINEE GUIDA PER IL MODELLO DI FILIERA SVILUPPATO PER L'UE

8.1 Introduzione

Il sorgo è una coltura che si presta a diverse applicazioni, in quanto, a seconda della varietà scelta, può fornire elevate rese in biomassa, zuccheri semplici e granella.

Attualmente le varietà zuccherine sono caratterizzate da buone rese in biomassa e zucchero, a scapito, però, della produzione di granella. Le ricerche in campo agronomico stanno tentando di superare questo limite, selezionando e testando ibridi che permettano di completare la granigione, mantenendo al contempo un'elevata altezza delle piante e la persistenza degli zuccheri nei culmi. Inoltre, per permettere la piena espressione delle potenzialità di questa coltura, la ricerca sta investendo molto sull'adeguamento dell'agro-meccanica a servizio della coltivazione del sorgo. In particolare si rende necessaria l'ottimizzazione della raccolta, in modo da separare già in questa fase da una parte la biomassa contenente gli zuccheri e dall'altra la granella.

Attualmente questi filoni di ricerca sono ancora in corso e, dunque, il modello sviluppato per l'UE si basa sull'utilizzo solo degli zuccheri e della biomassa lignocellulosica.

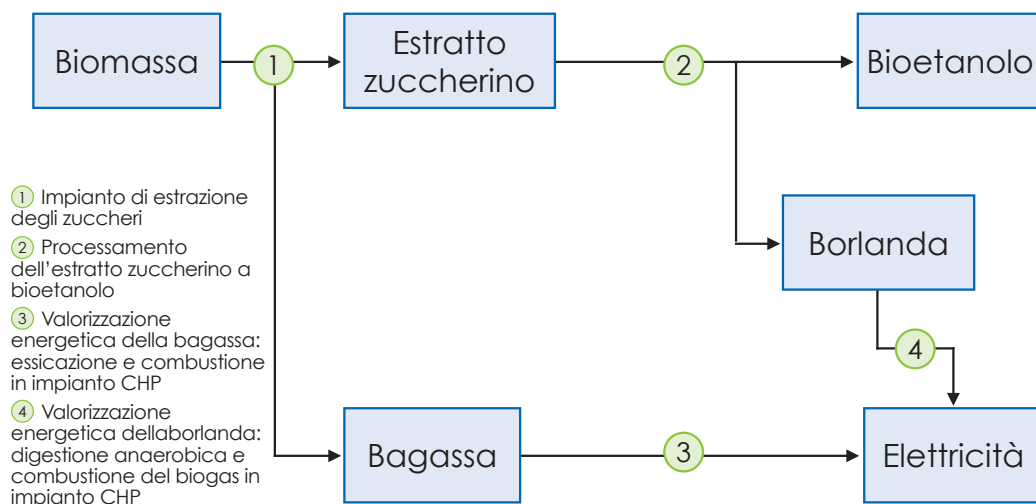


Figura 15: schema dell'impianto per il processamento del sorgo zuccherino ⁸²

Come si evince dalla Figura 15, il succo zuccherino separato dalla biomassa trinciata è convertito in bioetanolo. La bagassa, sottoprodotto della fase di estrazione, è essiccata e bruciata in un impianto CHP per fornire energia termica ed elettrica. La borlanda, residuo dell'unità di distillazione e rettifica, rappresenta un substrato idoneo per la digestione anaerobica, eventualmente in co-digestione con altri materiali, tra cui ad esempio le deiezioni zootecniche, che fungono al contempo da inoculo microbico e da fonte di azoto. Il biogas ottenuto, previa purificazione, è combusto in un impianto CHP per la produzione di energia termica ed elettrica.

Sulla base di questo schema di massima è possibile inserire alcune varianti, che permettono di declinare questo modello di impianto decentralizzato in funzione delle specificità di ogni situazione.

Infatti, la linea produttiva descritta può essere l'unica all'interno di un impianto, appositamente sviluppato per il processamento del sorgo zuccherino, o, in alternativa, può costituire una delle linee di produzione implementate all'interno dello stesso stabilimento ed eventualmente può funzionare anche con altri substrati, quando il sorgo zuccherino non è disponibile.

Nel presente capitolo, sono delineate le linee guida valide per ciascuna di queste strategie, mentre nei capitoli successivi sono sviluppati nel dettaglio questi diversi approcci, portando i relativi casi studio contestualizzati alle situazioni specifiche dei Paesi partecipanti al progetto (i.e. Italia, Grecia, Spagna). In dettaglio, l'alimentazione di un impianto con il solo sorgo zuccherino è stata contestualizzata in tutti e tre i Paesi, mentre la fattibilità del processamento di sorgo zuccherino in alternanza con un altro substrato (i.e. barbabietola da zucchero) è stata approfondita solo per il contesto spagnolo, in cui questa situazione è concretamente realizzabile.

Gli elementi che accomunano i due approcci e che, quindi, sono essenziali per definire il modello sviluppato per l'UE, riguardano il dimensionamento della filiera di approvvigionamento e le sezioni tecnologiche del processamento della biomassa per ottenere bioetanolo, energia termica ed energia elettrica. Ne consegue che i seguenti paragrafi intendono fornire i dati di base per la progettazione della filiera, che sia incentrata solo sul sorgo zuccherino o che preveda anche altri materiali in ingresso. Tali informazioni si configurano come valori di massima sulla cui base contestualizzare gli studi di fattibilità relativi alle specifiche applicazioni.

8.2 Dimensionamento della filiera di approvvigionamento

La capacità dell'impianto in termini di bioetanolo anidro ottenuto dal sorgo zuccherino è assunta come criterio fondamentale per il dimensionamento della filiera di approvvigionamento, sia che il sorgo zuccherino sia l'unica materia prima processata, sia che esso sia soltanto uno dei substrati lavorati nell'impianto. In questo secondo caso, la capacità si intende riferita alla sola linea produttiva alimentata con il sorgo. Fissato questo come criterio di base, sono due gli elementi da quantificare per la definizione del dimensionamento della filiera: la superficie agricola, che è necessario asservire all'impianto (o alla linea produttiva alimentata a sorgo), ed il raggio massimo di approvvigionamento.

Superficie agricola asservita

La superficie agricola necessaria a garantire l'approvvigionamento dell'impianto dipende dalle rese produttive della coltura nelle condizioni specifiche del territorio in esame ed in definitiva, quindi, dalla varietà scelta, dal tipo di suolo (e.g. fertilità), dalla disponibilità idrica del terreno (e.g. riserva idrica, granulometria, profondità) e dal clima (e.g. temperatura, piovosità, distribuzione degli eventi meteorici).

Le eterogeneità di ciascuna di queste variabili sono state aggregate in alcuni macroscenari di riferimento, in modo da fornire un primo elemento di valutazione agli stakeholders (Tabella 22).

Gli intervalli riportati per i valori produttivi si riferiscono alle varietà zuccherine attualmente commercializzate nell'UE.

Sono stati scelti due tipi di ambiente all'interno dell'areale di crescita del sorgo e comuni nei Paesi dell'Europa meridionale e per ciascuno di essi sono state tenute in con-

Macroscenari per pianificare la filiera di approvvigionamento			
Tipo di ambiente		Resa	
<u>Tipo MEDITERRANEO</u> Suoli con bassa fertilità Clima secco	Irrigazione	Biomassa	10,3-35,0 t/ha s.s.
		Bioetanolo	1,5-6,0 t/ha 1,9-7,6 m³/ha 40,5-162,0 GJ/ha
<u>Tipo TEMPERATO</u> Suoli con fertilità media Clima temperato oceanico	Senza irrigazione	Biomassa	14,3-19,0 t/ha s.s.
		Bioetanolo	2,1-3,4 t/ha 2,8-4,4 m³/ha 56,7-91,8 GJ/ha
	Irrigazione (di soccorso)	Biomassa	30,0-40,0 t/ha s.s.
		Bioetanolo	4,3-6,1 t/ha 5,9-7,9 m³/ha 116,1-164,7 GJ/ha

Tabella 22: resa in biomassa ed in bioetanolo conseguibili dal sorgo zuccherino in due tipi di ambienti caratteristici dell'Europa meridionale ^{83,84}

siderazione le condizioni che garantiscono la sostenibilità economica della coltura.

Dal momento che il sorgo si adatta a crescere anche in terreni marginali, questa opzione è stata inclusa nei macroscenari di riferimento soltanto nei casi in cui la sostenibilità economica per l'azienda agricola è garantita, ossia quando il costo per la lavorazione di questi terreni, tendenzialmente problematici, è adeguatamente compensato dai ricavi. I valori più bassi degli intervalli della Tabella 22 si riferiscono alle rese nei contesti marginali che rispettano questi presupposti.

Per quanto riguarda l'ambiente di tipo mediterraneo, caratteristico dell'Italia meridionale e della maggior parte del territorio della Spagna e della Grecia, la coltivazione del sorgo zuccherino senza apporto irriguo appare insostenibile, poiché le rese produttive sono troppo basse. Al contrario, negli ambienti a clima temperato oceanico, tipici dell'Italia settentrionale ad esempio, rese buone sono ottenute anche prevedendo la sola irrigazione di soccorso, in quanto gli eventi meteorici nel periodo di crescita del sorgo sono generalmente sufficienti a soddisfare il fabbisogno idrico della coltura (e.g. 670 mm nel periodo maggio-settembre nel 2010).

I valori della Tabella 22 costituiscono i dati di partenza per il calcolo degli ettari da destinare alla coltivazione del sorgo zuccherino, sulla base della capacità produttiva dell'impianto (o della linea produttiva). In via cautelativa, tuttavia, si suggerisce di prevedere un'area complessiva di approvvigionamento più ampia, in modo da permettere ad esempio la rotazione con altre colture come misura per diversificare l'attività agricola e per preservare la fertilità del suolo.

Si ribadisce, inoltre, che questi valori di macroscenario hanno valore come indicazione di massima e richiedono necessariamente una precisa contestualizzazione alla specificità di ciascuna situazione.

Raggio di approvvigionamento

Nella definizione della distanza massima da coprire per il rifornimento dell'impianto (o della linea produttiva) è necessario incrociare diversi punti di vista. I principali elementi di valutazione sono: l'incidenza della voce relativa ai trasporti sul bilancio energetico del bioetanolo (e.g. consumo di carburante, usura dei mezzi e relativa manutenzione), il rispetto di eventuali limiti imposti dalla normativa nazionale per la definizione di "filiera corta" (e.g. in Italia attualmente 70 km), la scelta di una logistica compatibile con le esigenze delle aziende agricole e dell'impianto di processamento (e.g. numero di macchinari, distanze percorse e relative tempistiche, ritmi di conferimento) e, non ultimo, il fattore di impatto rappresentato dall'accresciuto traffico pesante nell'area interessata.

Nella Tabella 23 sono delineate due simulazioni per il raggio di approvvigionamento e per le conseguenti implicazioni in termini di attrezzature agricole da asservire.

3.700-3.800 ettari coltivati a sorgo zuccherino		
Raggio massimo	Raccolta in 40 giorni	Macchinari agricoli
15 km	4 cantieri paralleli	4 falcia-trincia-caricatrici 24 trattori con dumper
20 km	6 cantieri paralleli	6 falcia-trincia-caricatrici 24 trattori con dumper

Tabella 23: risultati relativi a 2 simulazioni per l'approvvigionamento di un impianto della capacità di 10.000 t/anno di bioetanolo anidro^{85,86}

Per quanto riguarda il dimensionamento dell'unità di valorizzazione energetica dei sottoprodotti, le potenze installate e la definizione delle componenti tecniche derivano dalle disponibilità materiali di bagassa e borlanda, che sono legate alle rese produttive e di processo e, quindi, in definitiva, alla capacità dell'impianto (o della linea produttiva). Per la trattazione dettagliata di questi aspetti si rimanda al paragrafo 8.4.

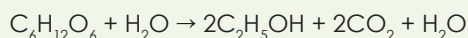


Figura 16: cantiere di raccolta del sorgo zuccherino in un campo in Pianura Padana, Italia⁸⁷

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO: PRODUZIONE DEL BIOETANOLO

La produzione del bioetanolo è incentrata sulla fermentazione alcolica, che è condotta da microrganismi (e.g. lievito della birra) in condizioni controllate di pH, temperatura e pressione parziale di ossigeno.

L'intera via metabolica implicata è riconducibile in estrema sintesi alla seguente reazione stechiometrica:



Sebbene questa reazione costituisca il nucleo della produzione del bioetanolo, l'intero

processo è più articolato e si differenzia in base al tipo di substrato alcoligeno: gli zuccheri semplici sono direttamente fermentabili, mentre i polisaccaridi necessitano dell'idrolisi prima della fermentazione.

Inoltre, la complessità dell'idrolisi varia in funzione del tipo di polisaccaride utilizzato: l'amido è facilmente idrolizzabile in residui glucidici liberi, mentre la cellulosa e l'emicellulosa, in virtù della loro funzione strutturale e del forte legame intermolecolare con la lignina, sono piuttosto recalcitranti all'idrolisi.

Il processamento per le varie tipologie di substrato può essere riassunto come segue:

- materie prime zuccherine:
 1. estrazione degli zuccheri liberi
 2. fermentazione
 3. distillazione e rettifica
 4. disidratazione

Al termine del processamento si ottiene bioetanolo anidro, che è definito di prima generazione;

- materie prime amidacee:
 1. idrolisi enzimatica: liquefazione con alfa-amilasi e saccarificazione con gluco-amilasi
 2. fermentazione
 3. distillazione e rettifica
 4. disidratazione

Al termine del processamento si ottiene bioetanolo anidro, che è definito di prima generazione;

- materie prime lignocellulosiche:
 1. pretrattamento per separare la lignina dai polisaccaridi strutturali
 2. idrolisi enzimatica: condotta con endocellulasi, esocellulasi, emicellulasi
 3. fermentazione degli zuccheri esosi, C6 (e.g. glucosio)
 4. fermentazione degli zuccheri pentosi, C5 (e.g. xilosio)
 5. distillazione e rettifica
 6. disidratazione

Al termine del processamento si ottiene bioetanolo anidro di seconda generazione, se è stata utilizzata biomassa prodotta da colture dedicate e, in alternativa, si ottiene bioetanolo anidro di terza generazione, se è stata processata una biomassa lignocellulosica residuale.

8.3 Processamento della biomassa a bioetanolo

Le sezioni tecnologiche implicate nella linea produttiva del bioetanolo di prima generazione dal sorgo zuccherino sono: l'unità di estrazione degli zuccheri, l'unità di concentrazione del succo zuccherino per la conservazione e lo stoccaggio, l'unità di fermentazione, l'unità di distillazione e rettifica, l'unità di disidratazione.

8.3.1 Unità di estrazione del succo zuccherino

La separazione degli zuccheri liberi dalla biomassa trinciata può essere realizzata ricorrendo alla spremitura in mulini a coppie di cilindri dentati o, in alternativa, alla lisciviazione.

In entrambe le ipotesi la movimentazione degli zuccheri è favorita dall'aggiunta di acqua calda (75-85 °C) in un rapporto rispetto alla biomassa di 1:0,1 – 1:1. La resa estrattiva con questi dispositivi è del 85-98%, inferiore per i mulini a cilindri (85-93% in impianti con 3-5 coppie di cilindri) e superiore per i sistemi a diffusione continua (93-98%).

Il principio alla base dell'estrazione nei mulini a cilindri è la separazione solido-liquido per effetto della forte compressione sulla biomassa quando viene a trovarsi tra due cilindri dentati rotanti disposti in coppia (sistema TRPF). I dispositivi possono essere verticali o orizzontali. I modelli a capacità bassa sono generalmente orizzontali e sono

dotati al massimo di 3 coppie di cilindri. I modelli ad elevata capacità hanno sviluppo orizzontale e vi sono allestite fino a 9 coppie di cilindri dentati.

La velocità di rotazione dei cilindri posti in coppia varia dalle 10-12 rpm dei modelli più piccoli alle 6-8 rpm dei dispositivi ad elevata capacità.

Con questo tipo di dispositivi di estrazione le rese ottimali sono conseguite con un'aggiunta di acqua calda del 10% p/p. Lo schema di funzionamento di un mulino a cilindri è raffigurato nella Figura 17.

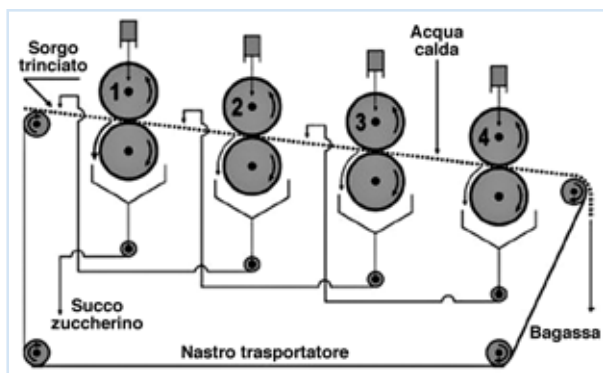


Figura 17: mulino a cilindri ⁸⁸

In alternativa, il processo di diffusione in continuo si basa su un dosatore sistemizzato che sottopone la biomassa ad un lavaggio con flusso di d'acqua corrente per favorirne l'imbibizione. Questa condizione è ottenuta depositando uno strato di biomassa trinciata o di bagassa di prima spremitura su un nastro trasportatore e aggiungendo progressivamente l'acqua, che percola attraverso i fori presenti nelle piastre del trasportatore stesso. L'acqua favorisce la movimentazione degli zuccheri presenti nel substrato e l'estratto è raccolto in un serbatoio, da cui è pompato in un unico passaggio verso un ulteriore serbatoio di raccolta. Tale processo è ripetuto più volte, in modo da ottenere la concentrazione massima all'estremità finale di alimentazione del diffusore; a questo scopo il dispositivo può essere impostato per un funzionamento a flusso di circolazione singolo del succo o a flussi paralleli.

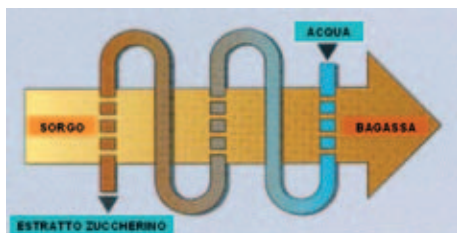


Figura 18: estrazione in continuo ⁸⁹

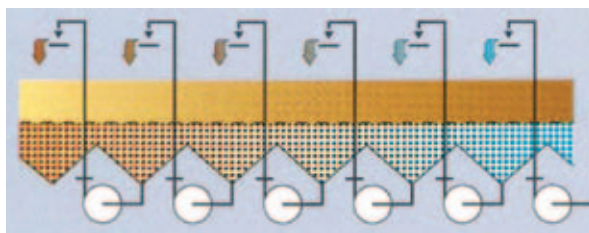


Figura 19: diagramma rappresentante il processo di diffusione in continuo ⁹⁰

I diffusori sono progettati per avere una lunghezza dai 35 ai 52 metri; la sezione trasversale è rettangolare e la capacità varia in funzione della larghezza. Le griglie di trasporto ed i divisori sono supportati da 2 catene a rullo con un passo di circa 3 piedi. Queste catene sono supportate alle estremità da ruote dentate. All'estremità di comando del diffusore le dentature sono accoppiate attraverso un ingranaggio ed un pignone e permettono una velocità variabile di trasmissione idraulica oppure una trasmissione con motore elettrico.

Il nastro trasportatore è composto da una struttura articolata a cui sono fissati i divisori. Questi elementi sono rigidamente assicurati alle connessioni corrispondenti delle due catene che sono dotate di raccordi auto-lubrificanti. I rulli girano su delle rotaie

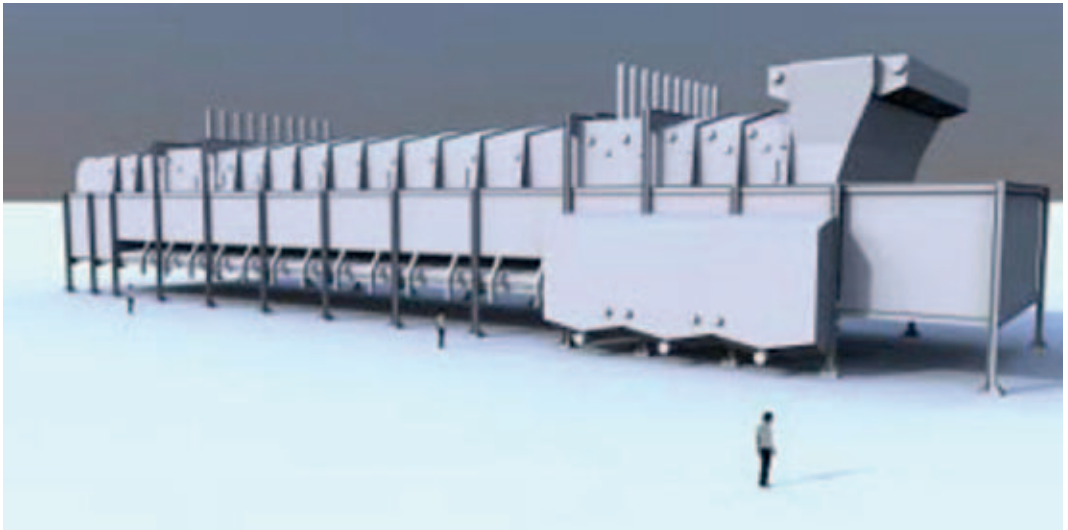


Figura 20: diffusore in continuo ⁹¹

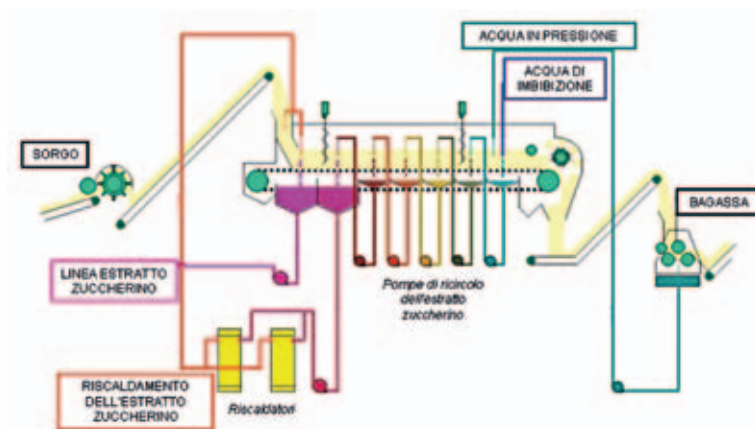


Figura 21: processo di estrazione dai culmi di sorgo zuccherino tramite il processo di tipo 1 ⁹²

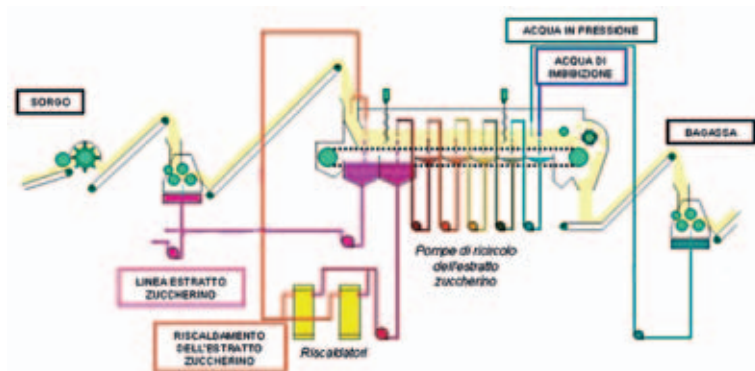


Figura 22: processo di estrazione dai culmi di sorgo zuccherino tramite il processo di tipo 2 ⁹³

parallele poste sotto l'alloggiamento, dando piena accessibilità ai divisori. Lo spessore del cosiddetto letto del trasportatore, su cui è deposta la biomassa in ingresso, varia da 1,5 a 2 metri. Lo spazio tra i due trasportatori è occupato da un serbatoio con fondo inclinato di elevata capacità, diviso in singoli serbatoi più piccoli grazie a dei piatti verticali, che presentano scanalature orizzontali in punti specifici ed attraverso cui l'estratto prodotto fluisce ed è raccolto nel contenitore successivo. All'estremità del nastro trasportatore un raschiatore girevole permette di uniformare il flusso di biomassa che cade in una tramoggia di scarico. La tramoggia è dotata di un nastro trasportatore per la rimozione della bagassa. Il diffusore è, inoltre, dotato di viti di sollevamento nella zona di ritorno dell'acqua in pressione.

Nel corso dell'intero passaggio attraverso il diffusore, la biomassa di sorgo zuccherino depositata sul nastro trasportatore è sottoposta ad intensi getti di estratto diluito, la cui concentrazione decresce progressivamente. Il succo è distribuito omogeneamente sulla biomassa attraverso dei canaletti che si estendono per l'intera larghezza dell'alloggiamento e sono posti sopra ad ogni serbatoio in cui si raccoglie il succo stesso; l'accuratezza del dosaggio è del 2%. La curva rappresentata nella Figura 23 evidenzia la regolare diminuzione di concentrazione del succo nei serbatoi.

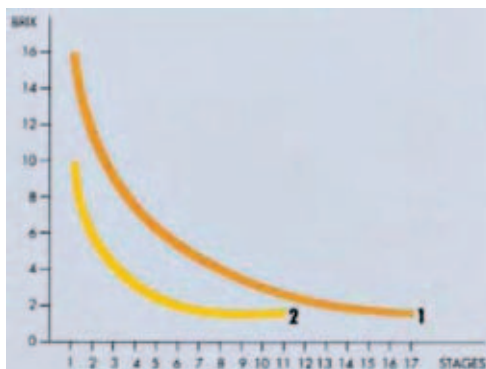


Figura 23: curva dei gradi Brix: (1) diffusione con i culmi di sorgo zuccherino, (2) diffusione con la bagassa⁷⁴

L'ultimo canaletto è alimentato con acqua. Tutti i serbatoi hanno la stessa larghezza e raccolgono l'estratto che percola attraverso i fori alla base dell'alloggiamento per il trasporto dei culmi. Ogni serbatoio è collegato ad una singola pompa centrifuga ad elevata capacità, predisposta per raccogliere l'estratto dal serbatoio e distribuirlo sulla biomassa posta sulla parte di nastro trasportatore precedente (in direzione opposta al movimento del nastro stesso). Un'ultima singola pompa porta l'estratto più concentrato all'apposita vasca di raccolta. Un'altra pompa fa circolare continuamente l'estratto concentrato sui culmi di sorgo zuccherino in ingresso. Il flusso di biomassa è portato all'interno del diffusore per mezzo di un trasportatore a draga trasversale progettato in modo da disporre la biomassa omogeneamente per ottimizzare la resa. Il succo concentrato è poi pompato verso le successive fasi di processamento.

Il diffusore è gestito da un unico pannello di controllo centralizzato che raggruppa e comanda tutte le componenti.

I principali vantaggi della diffusione in continuo sono:

- o elevata efficienza di estrazione sia in sistemi di spremitura già esistenti, sia in impianti nuovi;
- o bassi costi iniziali dell'impianto di estrazione, in quanto i diffusori sono progettati per funzionare con preparazioni standard di biomassa ed in concomitanza a sistemi di spremitura esistenti; inoltre, tali diffusori possono essere installati all'aperto e non richiedono apposite opere edili;
- o bassi costi di manutenzione e funzionamento: i diffusori sono completamente automatizzati ed è sufficiente un solo addetto per comandare il pannello di controllo;

- i costi per la lubrificazione sono trascurabili;
- o basse richieste energetiche: l'unica utenza termica richiesta è una modesta quantità di vapore a bassa pressione per riscaldare l'estratto nel diffusore; tutte le parti in movimento hanno alimentazione elettrica;
- o ampio intervallo di capacità: i diffusori possono operare dal 10% al 30% oltre la capacità nominale, senza modifiche e perdite significative di efficienza. Variando l'altezza dell'alloggiamento e la velocità del nastro trasportatore, l'intervallo di capacità può essere ulteriormente esteso. La progettazione del diffusore è fatta in modo tale che aumenti non previsti nel carico di biomassa in ingresso possano essere sopportati, entro un certo limite, grazie all'aggiunta di ulteriori passaggi di lavaggio;
- o assenza di fermentazione: i diffusori sono progettati per evitare la formazione di zone statiche, dove potrebbero avvenire fenomeni di fermentazione incontrollata. Il nastro trasportatore è lavato ad ogni ciclo per prevenire contaminazioni. Inoltre, il diffusore è dotato di un sistema di controllo del pH ed opera a basse temperature;
- o lo scarico della biomassa avviene per gravità all'estremità terminale del diffusore, dove uno speciale raschiatore fa fluire il materiale e permette un'alimentazione continua. Il diffusore può essere svuotato del tutto per lunghi periodi di tempo e non necessita di pulizia manuale;
- o la qualità del succo è elevata: una chiarificazione sistematica del succo di ultima spremitura permette la rimozione delle impurità e contribuisce alla produzione di estratti idonei alle sezioni successive di processamento;
- o risparmio di energia termica: tutti i sistemi di riscaldamento della biomassa e del succo sono analoghi a quelli usati negli zuccherifici. Inoltre, il diffusore è completamente chiuso e isolato.

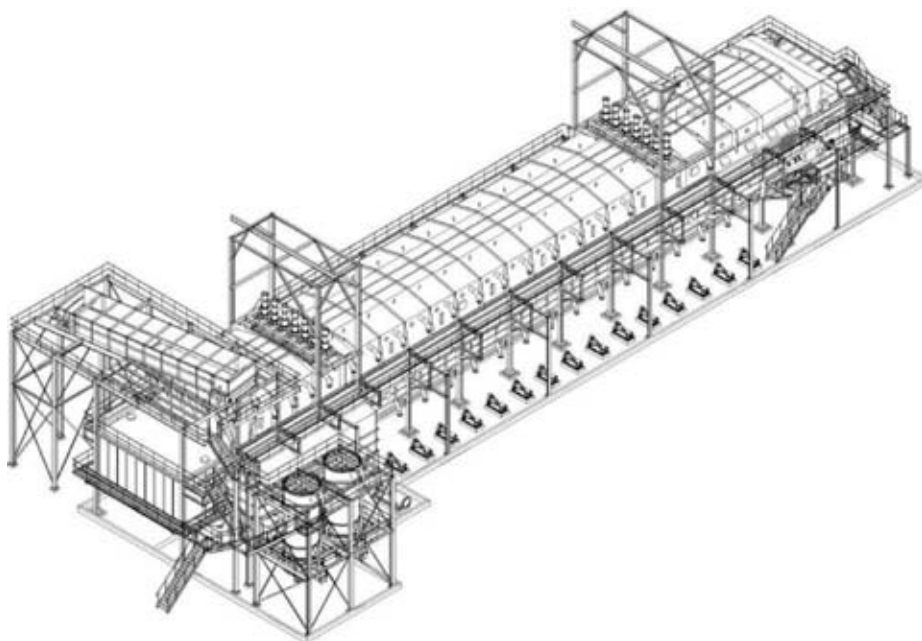


Figura 24: diffusore continuo ⁹⁵

Capacità	Da 2.000 t																	a			15.000 t		
Dimensioni	Larghezza [m]																						
	2,8	3,3	4,2	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,2	7,7	8,2	8,7	9,2	9,7	10,9	11,4	11,9	13,4					
	Lunghezza [m]																						
	Da 48,3																	a		61 m			
	Altezza [m]																						
	Circa 8 m																						
Potenza a pieno regime	Circa 110 CV / 1.000 t/giorno							Circa 100 CV / 1.000 t/giorno															
Consumo di vapore	80 – 85 kg/t di biomassa																						

Figura 25: dati per la progettazione di un diffusore in continuo ⁹⁶

Il processo di diffusione in continuo permette di conciliare rese di estrazione elevate con bassi consumi energetici; inoltre, l'estratto presenta un quantitativo minimo di sostanze contaminanti che potrebbero interferire con le successive fasi del processamento.

L'estratto di sorgo zuccherino, infatti, generalmente contiene solidi solubili (e.g. antociani e clorofille) ed insolubili (e.g. granuli di amido), che devono essere rimossi prima di avviare la conversione degli zuccheri a bioetanolo.

La chiarificazione dell'estratto, ottenuto con un sistema a mulini o un diffusore in continuo, avviene attraverso un processo di evaporazione, che prevede la rimozione in continuo del materiale coagulato, che flotta in superficie sottoforma di schiuma al lento aumentare della temperatura. Se il processo è effettuato troppo velocemente, il materiale coagulato tende a dissolversi, creando addensamenti statici nello sciroppo prodotto.

Una soluzione per migliorare ulteriormente la qualità dell'estratto è la purificazione del succo con idrossido di calcio (i.e. *lime*) e CO₂ prima di procedere con l'evaporazione. Questi composti, infatti, favoriscono la flocculazione delle componenti contaminanti, che sono successivamente eliminate per filtrazione. Tale rimozione assicura la riduzione di incrostazioni nelle tubazioni.

8.3.2 Evaporatore a film cadente

La concentrazione è la strategia scelta con gli *stakeholders* per il modello sviluppato per l'UE per preservare gli zuccheri e per rifornire l'impianto nei mesi successivi alla raccolta della biomassa di sorgo zuccherino. Questa sezione è necessaria sia se è previsto il processamento solamente del sorgo, sia se l'impianto è alimentato anche con altre materie prime.

Lo scopo di questo passaggio è la concentrazione del succo zuccherino dai 12-16 °Brix, ottenuti al termine dell'estrazione, ai 45-80 °Brix, a seconda del periodo di stoccaggio programmato per lo sciroppo concentrato. Il principio alla base della conservazione è l'aumento della pressione osmotica a livelli in cui la crescita microbica risulta completamente inibita.

La tecnologia ritenuta più efficiente per la concentrazione dell'estratto zuccherino è l'evaporatore a film cadente con sistema sotto vuoto, in grado di assicurare al contempo il minimo consumo energetico e la migliore qualità dello sciroppo.

L'evaporatore a film cadente concentra l'estratto zuccherino in diversi passaggi (tra 2 e 4 in funzione della concentrazione finale desiderata), operando sotto vuoto, in modo da assicurare un processo a bassa temperatura, basso consumo di vapore e minima degradazione degli zuccheri stessi. Ad ogni passaggio di concentrazione, il diametro dei tubi dell'evaporatore a film cadente aumenta per ridurre l'intorbidamento e mantenere l'efficienza di concentrazione; da questo passaggio, l'acqua condensata dopo la concentrazione può essere impiegata nell'unità di estrazione degli zuccheri, minimizzando il consumo di acqua dell'intero processo.

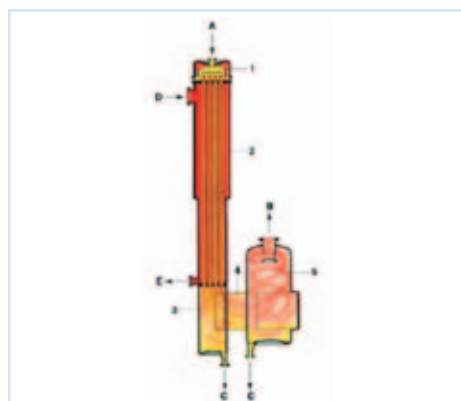


Figura 26: evaporatore a film cadente. Legenda:
A: prodotto; B: vapore; C: concentrato; D: riscaldamento a vapore; D: condensato; 1: testa; 2: calandria; 3: calandria, parte inferiore; 4: canale di miscelazione; 5: separatore di vapore ⁹⁷

8.3.3 Unità di fermentazione

Per la fermentazione alcolica si ricorre all'impiego del lievito della birra (*Saccharomyces cerevisiae*), impostando le condizioni ottimali per favorire in un primo momento la crescita cellulare e la proliferazione e successivamente il metabolismo anaerobico.

In dettaglio le impostazioni adottate sono le seguenti:

- concentrazione del glucosio nel mezzo superiore a 9 g/l (in modo da innescare l'effetto Crabtree ed assicurare la fermentazione alcolica invece del ciclo di Krebs e della fosforilazione ossidativa);
- pH 4-5;
- temperatura 30-35 °C;
- concentrazione di azoto nel mezzo 150-180 mg/l (in forma ammoniacale).

La fermentazione è articolata in cinque sezioni.

1. Pastorizzazione dell'estratto zuccherino: questa operazione previene l'avvio di fermentazioni incontrollate ed indesiderate da parte di batteri. Per ottenere la pastorizzazione possono essere impostate le condizioni riassunte nella Tabella 24.
2. Preparazione dell'inoculo di lieviti: i lieviti liofilizzati sono reidratati e stabilizzati per ottenere una sospensione nella vasca madre. Questa operazione è condotta con una soluzione di glucosio, fruttosio o saccarosio alla temperatura indi-

Temperatura	Tempo	Tecnica di pastorizzazione
63 °C (145 °F)	30 minuti	pastorizzazione "Vat"
72 °C (161 °F)	15 secondi	HTST
89 °C (191 °F)	1,0 secondi	HHST
90 °C (194 °F)	0,5 secondi	HHST
94 °C (201 °F)	0,1 secondi	HHST
96 °C (204 °F)	0,05 secondi	HHST
100 °C (212 °F)	0,01 secondi	HHST
138 °C (280 °F)	2,0 secondi	UP

Tabella 24: condizioni per impostare la pastorizzazione dell'estratto zuccherino ⁹⁸

cativa di 35 °C ed aggiungendo una sostanza ad effetto battericida, ossigeno ed eventualmente anche ergosterolo. Al momento di avviare ogni processo fermentativo un'aliquota di sospensione madre è inoculata nel fermentatore attraverso un sistema di pompe e condotte idrauliche.

3. Fermentazione: il processo fermentativo può essere gestito in discontinuo (*in batch*) o in continuo.

- fermentazione *in batch*: è caratterizzata dall'essere condotta in reattori indipendenti e non comunicanti direttamente gli uni con gli altri. La resa fermentativa dipende dalla tolleranza dei lieviti nei confronti dell'alcol, che progressivamente si accumula nel mezzo nel corso della fermentazione (tolleranza massima per ceppi selezionati 19% v/v). A fronte del limite fisiologico alla resa fermentativa dovuto alle caratteristiche intrinseche dei lieviti, questo processo assicura un'elevata possibilità di contenimento delle eventuali contaminazioni batteriche con un alto livello di sicurezza dell'unità, poiché il reattore contaminato può essere rapidamente isolato, prevenendo l'estensione del problema agli altri.
- Fermentazione in continuo: il processo è impostato in modo che l'estratto zuccherino pastorizzato fluisca nel primo fermentatore, dove avviene l'inoculo, ed il mezzo parzialmente fermentato transiti nei reattori successivi, mentre l'alcol prodotto sia progressivamente separato, senza raggiungere mai il valore soglia di inibizione dei lieviti. Con questa strategia, la fermentazione non si interrompe fino all'ultimo reattore, dove tutti gli zuccheri inizialmente presenti risultano convertiti in alcol. La resa fermentativa, dunque, è più elevata di quella conseguibile con il processo *in batch*. Inoltre, i volumi richiesti sono inferiori di quelli necessari per il processo discontinuo. Il principale svantaggio di questo processo è la difficoltà di contenere eventuali fenomeni di contaminazione batterica: infatti, la contaminazione di un reattore può rapidamente espandersi all'intera unità di fermentazione e gli interventi di decontaminazione risultano difficoltosi.

4. Recupero dei lieviti. Il riutilizzo dei lieviti al termine della fermentazione è una delle misure per migliorare il bilancio economico dell'impianto, poiché la voce per l'acquisto dei microrganismi è significativa. I lieviti sono separati dal mezzo fermentato mediante centrifugazione. Se i lieviti sono ancora vitali possono essere riutilizzati, in caso contrario hanno un valore nutrizionale per il loro contenuto proteico nella formulazione di integratori alimentari o di mangimi zootecnici.

8.3.4 Unità di distillazione e rettifica

Il passaggio attraverso l'unità di distillazione e rettifica consente di aumentare la concentrazione dell'alcol dai valori del 9-14% v/v, ottenuti al termine della fermentazione, ai valori tipici dell'etanolo azeotropo, 95-96% v/v.

L'unità è organizzata in colonne di distillazione poste in serie (i.e. a multiplo effetto), ciascuna delle quali è costituita da una successione di piatti. A livello di ciascun piatto la miscela di alcol ed acqua evapora e salendo lungo la colonna progressivamente si arricchisce in alcol in virtù della differente temperatura di ebollizione dei due composti.

La tecnologia a multiplo effetto consente di ridurre il consumo termico di questa sezione, tipicamente molto elevato, in quanto la pressione in testa a ciascuna colonna è inferiore al valore atmosferico e, dunque, sono sufficienti temperature più basse affinché le componenti della miscela evaporino e si separino.

8.3.5 Unità di disidratazione

Questa sezione consente di ottenere il bioetanolo anidro (i.e. 99,7-99,8% p/p), compatibile con le specifiche richieste per la sintesi del bio-ETBE e per la miscelazione diretta con la benzina.

La disidratazione si avvale dell'utilizzo di setacci molecolari in zeolite, che sono in grado di trattenere selettivamente le molecole di acqua, mentre l'alcol fluisce, risultando progressivamente arricchito nella miscelazione circolante.

Lo stoccaggio del bioetanolo anidro impone delle misure specifiche (i.e. conservazione in atmosfera controllata priva di aria, generalmente con N_2 o CO_2), per evitare che l'umidità atmosferica condensi diminuendo il titolo di alcol nella miscela. Le stesse cautele devono essere applicate anche durante le fasi di trasporto e distribuzione.

8.4 Unità di valorizzazione energetica dei sottoprodotti

8.4.1 Bagassa

Le caratteristiche chimiche e fisiche della bagassa rendono questo sottoprodotto dell'estrazione degli zuccheri adatto alla combustione in impianti CHP per la produzione di energia termica ed elettrica (Tabella 25).

Il dimensionamento dell'impianto CHP è correlato alla disponibilità materiale del sottoprodotto e, dunque, alla superficie agricola asservita ed alla resa produttiva in biomassa.

In considerazione delle rese produttive riportate nella Tabella 22 e del PCI della bagassa (Tabella 25), sono stati calcolati i valori di riferimento per il dimensionamento di massima dell'unità cogenerativa (Tabella 26).

Per quanto attiene ai dettagli tecnici

Caratterizzazione della bagassa	
Umidità iniziale	30-50%
Zuccheri residui	6-7% s.s.
Cellulosa	16-18% s.s.
Emicellulosa	11-13% s.s.
LIGNINA	7-9% s.s.
PCI	17-18 MJ/kg s.s. 4,7-5,0 kWh/kg s.s.

Tabella 25: principali caratteristiche della bagassa di sorgo zuccherino, ottenuta come residuo dell'estrazione in mulini a cilindri (sistema TRPF), ai fini della sua valorizzazione energetica "

Valorizzazione energetica della bagassa			
Tipo di ambiente		Resa	
Tipo MEDITERRANEO Suoli con bassa fertilità Clima secco	Irrigazione	Bagassa	6-20 t/ha s.s.
		Energia	100-340 GJ/ha 28-94 MWh/ha
Tipo TEMPERATO Suoli con fertilità media Clima temperato oceanico	Senza irrigazione	Bagassa	10-12 t/ha s.s.
		Energia	190-200 GJ/ha 53-56 MWh/ha
	Irrigazione (di soccorso)	Bagassa	18-25 t/ha s.s.
		Energia	312-442 GJ/ha 87-123 MWh/ha

Tabella 26: principali valori di riferimento per il dimensionamento di massima dell'unità di valorizzazione energetica della bagassa applicabili in due tipi di ambienti caratteristici dell'Europa meridionale

dell'impianto CHP, le principali componenti sono il bruciatore, che deve essere adatto alla combustione di substrati erbacei, e la turbina, che può essere ad esempio una turbina a vapore basata sul ciclo Rankine-Hirn o a gas basata sul ciclo Brayton o un turbogeneratore basato sul ciclo ORC.

La scelta tecnologica dipende soprattutto dalla potenza nominale richiesta. Nella Figura 27 sono riassunte alcune situazioni di riferimento che possono guidare la scelta della tipologia impiantistica in funzione dei valori di potenza nel caso del modello di filiera in esame (0,1-10 MWe).

La principale criticità legata alla combustione della bagassa riguarda il suo alto contenuto in ceneri (3-5% s.s.), che, inoltre, sono caratterizzate da un basso punto di fusione. Ne consegue che il bruciatore deve essere dotato di un adeguato sistema di rimozione delle ceneri e che deve essere richiesta alla casa produttrice l'apposita estensione della garanzia per l'utilizzo di questo biocombustibile. La gestione delle ceneri (e.g. recupero, smaltimento) varia in funzione del quadro normativo del Paese in esame.

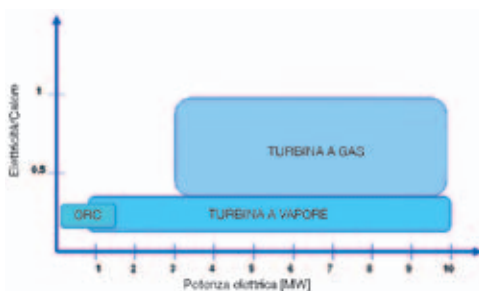


Figura 27: campi di applicazione di alcuni sistemi cogenerativi¹⁰⁰

8.4.2 Borlanda

In considerazione della sua composizione chimica, la borlanda, residuo dell'unità di distillazione e rettifica, è un substrato adatto alla produzione di biogas attraverso la digestione anaerobica (Tabella 27).

Il dimensionamento della sezione di digestione anaerobica è correlato sia alla disponibilità materiale del substrato, e, quindi, alla capacità dell'impianto, sia al HRT.

Per quanto riguarda la disponibilità materiale di borlanda, il fattore di conversione è di 7-8 litri di borlanda per litro di bioetanolo prodotto.

Per quanto attiene, invece, al tempo richiesto per completare la metanogenesi, il valore di HRT dipende dalla composizione dei substrati avviati alla digestione anaerobica: come principio generale la lignina, la cellulosa e le proteine richiedono un tempo di degradazione più lungo dei grassi, dell'amido e degli zuccheri. La biometanazione della borlanda è condotta in co-digestione con altri substrati, in grado di bilanciarne la composizione, accelerare l'avvio del processo ed, inoltre, stabilizzarne l'andamento: a titolo di esempio le deiezioni zootecniche sono utilizzate come inoculo microbico all'inizio della digestione anaerobica e le biomasse lignocellulosiche sono miscelate alla borlanda per migliorare il rapporto tra carbonio ed azoto, qualora necessario. Alla luce di queste considerazioni, il HRT per la borlanda è indicativamente di 60 giorni.

Caratterizzazione della borlanda	
Sostanza secca	6-7%
Sostanze volatili	85-90%
BOD₅	40-50 gO ₂ /l
COD	70-90 gO ₂ /l
Azoto	750-850 mg/l
Fosforo	1,5-2,5 g/l
pH	4,4-4,6

Tabella 27: profilo chimico della borlanda utile ai fini della digestione anaerobica¹⁰¹

Il profilo chimico del biogas ottenuto dalla biometanazione è riportato nella Tabella 28.

Se il contenuto di metano nel biogas è del 60%, la resa teorica in metano è di 0,395 Nm³/kg COD.

Assumendo i valori caratteristici per le rese in borlanda (i.e. 7,52 l/l di bioetanolo) ed in metano (i.e. 0,395 Nm³/kg COD), per il COD della borlanda (i.e. 80 gO₂/l) e per il PCI del biogas ottenuto (i.e. 21,5 MJ/ Nm³), sono stati calcolati gli indici di riferimento per il dimensionamento di massima dell'unità (Tabella 29) .

Caratterizzazione del biogas	
CH ₄	50-70%
CO ₂	25-45%
H ₂	1-10%
N ₂	0,5-3,0%
CO	0,08-0,10
H ₂ S	0,02-0,20
O ₂	tracce
PCI	21-22 MJ/Nm ³ 5,8-6,1 kWh/Nm ³

Tabella 28: composizione chimica del biogas

Valorizzazione energetica della borlanda			
Tipo di ambiente		Resa *	
Tipo MEDITERRANEO Suoli con bassa fertilità Clima secco	Irrigazione	Metano	340-1.030 Nm ³ /ha
		Energia	7,9-23,7 GJ/ha 2,2-6,6 MWh/ha
Tipo TEMPERATO Suoli con fertilità media Clima temperato oceanico	Senza irrigazione	Metano	500-790 Nm ³ /ha
		Energia	11,6-18,4 GJ/ha 3,2-5,1 MWh/ha
	Irrigazione (di soccorso)	Metano	1.070-1.420 Nm ³ /ha
		Energia	24,9-32,7 GJ/ha 6,9-9,1 MWh/ha

* calcolo eseguito con la produzione reale di metano

Tabella 29: principali valori di riferimento per il dimensionamento di massima dell'unità di valorizzazione energetica della borlanda applicabili in due tipi di ambienti caratteristici dell'Europa meridionale

Per la combustione del biogas si utilizza un impianto CHP, che può essere allestito con un motore a ciclo Diesel o con una microturbina a gas.

Nel caso in cui si applichi il motore a ciclo Diesel, si rendono necessari alcuni interventi per far funzionare il motore secondo il ciclo Otto: in particolare devono essere inseriti un carburatore e le candele. Ad oggi sono già commercializzati dei modelli di motore appositamente predisposti a questo scopo. Il calore rilasciato nel corso della combustione è recuperato dai fumi e/o dal raffreddamento del motore attraverso uno scambiatore.

Il rendimento della conversione energetica è correlato alla potenza dell'impianto: nell'intervallo di potenza applicato nel modello sviluppato per l'UE (0,1-5,0 MWe), il rendimento elettrico è del 30-42% ed il rendimento termico è del 45-50%. Passando a taglie superiori si assiste ad un significativo incremento del rendimento, soprattutto

to a carico della conversione elettrica.

Il digestato, residuo della digestione anaerobica, ha buone proprietà fertilizzanti (azoto 800 g/t, principalmente in forma ammoniacale) e, dunque, può essere utilizzato come fertilizzante e/o ammendante in agricoltura per compensare alle asportazioni colturali.

.

9. IL MODELLO 1 SVILUPPATO PER L'UE: IL SORGO ZUCCHERINO COME UNICA MATERIA PRIMA PROCESSATA NELL'IMPIANTO DECENTRALIZZATO

Il principale vantaggio legato ad alimentare l'impianto unicamente con il sorgo zuccherino è insito nella possibilità di massimizzare il contributo positivo di questa coltura in termini di sostenibilità, in quanto l'intera capacità installata nell'impianto si può pregiare sia di un elevato risparmio nelle emissioni di GHGs del bioetanolo ottenuto, sia dell'utilizzo di una materia prima, la cui produzione richiede bassi *input* agronomici (i.e. acqua, fertilizzanti).

Il principale svantaggio di questa scelta va, invece, ricercato nella dipendenza dell'impianto da un'unica materia prima, in quanto questa situazione riduce significativamente la sicurezza dell'approvvigionamento in caso di annate agrarie cattive.

Per migliorare il livello di dettaglio della spiegazione e la relativa comprensione, il modello 1 è stato contestualizzato, assumendo una capacità produttiva di riferimento di 10.000 t/anno in termini di bioetanolo anidro.

I principali dettagli del modello 1 sono riassunti nella Tabella 30.

Nelle regioni a clima temperato oceanico, caratterizzate da terreni a fertilità media e da precipitazioni dell'ordine di 600-700 mm durante il periodo di sviluppo del sorgo, la superficie agricola da asservire alla filiera è di 3.000-4.800 ettari. Nel caso in cui sia programmata l'irrigazione (anche se di soccorso), la superficie agricola può essere ridotta a 1.700-2.300 ettari, poiché aumenta in quota parte la resa produttiva della coltura. Tuttavia, in questo scenario peggiora il conto economico della filiera e la competizione con altre colture irrigue (*in primis* il mais in questo tipo di ambiente) può deprimere sensibilmente la possibilità di inserire il sorgo nei piani colturali. Ne consegue che l'opportunità di prevedere l'irrigazione è una variabile da tenere in seria considerazione nella valutazione dei terreni da destinare alla filiera e nella relativa analisi della fattibilità economica.

Nelle regioni a clima mediterraneo, invece, la coltivazione del sorgo non può prescindere dall'apporto irriguo per garantire delle rese sostenibili. In questo tipo di ambiente la superficie agricola da asservire alla filiera fa registrare un intervallo molto ampio (2.200-6.600 ettari), poiché i valori di resa possono essere molto diversi in funzione degli *input* agronomici che devono essere applicati ai terreni che generalmente hanno una bassa fertilità.

La definizione del raggio di approvvigionamento richiede un approccio multidisciplinare, poiché devono essere incrociate considerazioni di natura tecnica, logistica ed economica.

In primo luogo, se la competitività del sorgo rispetto alle altre colture è il prerequisito per lo sviluppo della filiera, molto importanti sono anche il peso delle colture tradizionalmente coltivate nell'area in esame e la propensione all'innovazione degli imprenditori agricoli. Alcuni parametri possono essere assunti come indicatori per misurare l'incidenza di questi fattori sull'estensione del raggio di approvvigionamento, a titolo di esempio la diversificazione delle colture nel territorio in esame e la struttura delle aziende agricole. Se la diversificazione è alta, significa che numerose colture sono remunerative e, dunque, è plausibile che l'elevata competizione si traduca in una distanza di approvvigionamento piuttosto elevata. Al contrario, la giovane età degli imprenditori agricoli, la presenza di aziende di grandi dimensioni ed un elevato

Capacità 10.000 t/anno (come bioetanolo anidro)		
Dimensionamento della filiera di approvvigionamento	Superficie agricola asservita	<u>Tipo di ambiente</u> 2.200-6.700 ha <u>Tipo temperato</u> 3.000-4.800 ha (senza irrigazione) 1.700-2.300 ha (con irrigazione di soccorso)
	Raggio di approvvigionamento	Dipende dalle caratteristiche specifiche del territorio in esame, ad esempio in termini di diversificazione colturale, struttura delle aziende agricole, limitazioni alla definizione di "filiera corta"
Processamento dell'estratto zuccherino	Dettagli operativi	330 giorni lavorativi all'anno 68.000-69.000 t come s.s. di sorgo zuccherino spremute in 40 giorni Estrazione degli zuccheri, fermentazione, distillazione, rettifica e disidratazione secondo le linee guida
	Unità di concentrazione	<u>Stoccaggio</u> Sciroppo concentrato al 45%, conservabile fino a 2 mesi Sciroppo concentrato all'80%, conservabile fino a 11 mesi <u>Utilizzo</u> Diluizione dello sciroppo concentrato al 18% <u>Gestione delle acque</u> Scarico delle acque di processo residuali dalla concentrazione del succo zuccherino in corpo idrico superficiale nel rispetto delle leggi nazionali e regionali Acquisto dell'acqua per la diluizione dello sciroppo concentrato <u>Consumi termici</u> Autoconsumo dell'energia termica prodotta nell'unità di valorizzazione dei sottoprodotti 0,43 MWe potenza disponibile a livello di questa unità dopo la conclusione del periodo di raccolta
Valorizzazione energetica dei sottoprodotti	Bagassa	<u>Disponibilità</u> 41.850- 42.460 t come s.s., stoccata presso l'impianto, essiccata e bruciata nel corso dell'anno lavorativo 711,4-764,3 TJ/anno 196,69-212,31 GWh/anno
		<u>Impianto CHP</u> 4,20 MWe
		<u>Ceneri</u> 2.040-3.450 t/anno Smaltimento in discarica o recupero, in funzione del quadro normativo nazionale dei diversi Paesi
	Borlanda	<u>Disponibilità</u> Capacità del digestore anaerobico 20.000-22.000 m ³ (HRT 60 giorni) Capacità di stoccaggio del biogas 10.000-14.000 m ³ 14,0-14,7 TJ/anno 3,86-4,06 GWh/anno
		<u>Impianto CHP</u> 0,75 MWe <u>Digestato</u> 93.000-95.000 t/anno Utilizzo come fertilizzante e/o ammendante 74-76 t/anno di azoto (principalmente in forma ammoniacale)

Tabella 30: principali dettagli relativi al modello 1 sviluppato per l'UE nel caso la capacità sia di 10.000 t/anno di bioetanolo anidro

livello di innovazione già implementato nelle pratiche agricole, ossia elementi desumibili complessivamente dalla struttura delle aziende agricole, suggeriscono che il territorio in esame possa fornire una buona disponibilità alla penetrazione del sorgo e che il raggio di approvvigionamento possa essere abbastanza breve.

In secondo luogo, la definizione del bacino di approvvigionamento deve essere assoggettata alla LCA ed all'analisi della logistica, valutando gli impatti energetici ed ambientali in ogni ipotesi esaminata.

Infine, la distanza di approvvigionamento deve essere compatibile con i limiti che talora sono imposti a livello nazionale per la definizione di "filiera corta", in modo da beneficiare degli eventuali regimi di sostegno.

Per quanto attiene alla logistica, la raccolta si avvale di cantieri paralleli, ciascuno dei quali richiede l'impiego di 1 falcia-trincia-caricatrice e di 4-6 trattori muniti di *dumper* (i.e. capacità di 50 m³), in base all'ampiezza del raggio di approvvigionamento.

A valle di queste considerazioni relative all'inserimento della filiera nel territorio in esame, a prescindere dalla superficie agricola asservita e dall'ampiezza del bacino di approvvigionamento, l'impianto è progettato per processare 68.000-69.000 tonnellate all'anno di biomassa trinciata, producendo bioetanolo di prima generazione dall'estratto zuccherino ed energia termica ed elettrica dai sottoprodotti.

L'impianto riceve la biomassa soltanto durante il periodo della raccolta, al massimo, quindi, per 40 giorni, che nelle condizioni climatiche dell'Europa meridionale si collocano tra agosto e settembre. Al contrario le linee produttive funzionano per 330 giorni all'anno con un unico fermo impianto per la manutenzione, programmato indicativamente in luglio.

La strategia scelta per conciliare la breve finestra di raccolta con il periodo lavorativo dell'impianto si fonda sulla spremitura di tutta la biomassa trinciata al momento del conferimento presso l'impianto e sulla concentrazione dell'estratto zuccherino per il suo progressivo processamento a bioetanolo anche nella restante parte dell'anno. Il livello raggiunto nella concentrazione si riflette nella durata dello stoccaggio: una concentrazione finale del 45% consente di conservare lo sciroppo fino a 3 mesi, mentre una concentrazione dell'80% permette di estendere la conservazione fino a 11 mesi. Gli sciroppi sono stoccati in appositi serbatoi allestiti presso lo stabilimento.

Al momento di avviare il processamento a bioetanolo lo sciroppo è diluito al 18%. Solo successivamente l'estratto zuccherino è inoculato con un'aliquota della sospensione madre di lieviti. La fermentazione è condotta *in batch* e ciascun processo è impostato per durare 22 ore.

Per gli altri dettagli del processamento a bioetanolo, si fa riferimento ai contenuti delle linee guida descritte nel capitolo 8.

La gestione delle acque richiede, tuttavia, un approfondimento rispetto a quanto esposto nel capitolo 8. Infatti, dal momento che elevati quantitativi di acqua sono dapprima evaporati e condensati e successivamente sono di nuovo richiesti per diluire gli sciroppi stoccati, possono essere applicati diversi modelli gestionali.

Nel modello 1 sviluppato per l'UE si opta per lo scarico in corpo idrico superficiale dell'acqua condensata nell'unità di concentrazione durante il periodo della raccolta (nel rispetto dei limiti imposti dalla normativa nazionale ed eventualmente locale, in termini di COD, nitrati, pH, fosfati, temperatura ed altri parametri chimici

e fisici) e per il prelievo di acqua potabile dalla rete idrica nel corso della restante parte dell'anno per la diluizione dello sciroppo stoccato.

Un'alternativa a questo approccio è lo stoccaggio dell'acqua in un bacino appositamente realizzato, in modo da poterla riutilizzare per la diluizione; tuttavia questa opzione è penalizzata dai costi molto elevati per la realizzazione del bacino di stoccaggio.

Per quanto riguarda la valorizzazione energetica dei sottoprodotti, la bagassa è essiccata immediatamente prima della combustione nell'impianto CHP con turbina a vapore da 4,20 MWe ed il biogas ottenuto dalla biometanazione della borlanda è bruciato in un impianto CHP con turbina a gas da 0,75 MWe. L'elettricità ed il calore prodotti dalle unità cogenerative possono essere utilizzati per la copertura dei consumi interni dell'impianto ed il *surplus* può essere ceduto alla rete elettrica e distribuito attraverso una rete di teleriscaldamento, rispettivamente.

Dal momento che l'unità di concentrazione funziona soltanto durante il periodo di raccolta del sorgo zuccherino, un'importante utenza termica viene a mancare per la maggior parte dell'anno lavorativo; di conseguenza, il corrispondente *surplus* energetico può essere convertito in elettricità attraverso una turbina a vapore della potenza di 0,43 MWe, aumentando la produzione complessiva dell'impianto.

9.1 Caso studio: l'applicazione del modello 1 nella Pianura Padana, Italia

9.1.1 Ipotesi di lavoro

La Pianura Padana è una zona vocata per la coltivazione del sorgo zuccherino e, dunque, è stata scelta per la contestualizzazione del caso studio in Italia. L'area in esame più precisamente si colloca nell'Italia Nord Orientale ed è caratterizzata da una consolidata tradizione agricola, incentrata soprattutto sui seminativi ed in particolare sul mais. Alcuni dettagli relativi all'area oggetto del caso studio sono riassunti nella Tabella 31.

Pianura Padana, Nord Est Italia	
Caratteristiche climatiche	Clima temperato oceanico
Tipo di suolo	Argilloso-limoso, buone profondità e tessitura, buona dotazione in sostanza organica
Precipitazioni durante il periodo vegetativo	600-700 mm
Data della semina	Maggio
Data della raccolta	Settembre
Diversificazione delle colture	Piuttosto bassa, prevalenza del mais
Struttura delle aziende agricole	Frammentazione agraria

Tabella 31: principali caratteristiche dell'area geografica del caso studio

L'impianto con capacità di 10.000 t/anno richiede l'asservimento di terreni per 3.800 ettari all'interno di un bacino di approvvigionamento di 15 km di raggio.

In considerazione della diversificazione delle colture e della struttura delle aziende agricole, è stata assunta la seguente distribuzione dei terreni da coltivare a sorgo zuccherino: il 35% dei terreni si colloca entro i primi 5 km dallo stabilimento, il 44% dei terreni si colloca tra i 6 e gli 11 km dall'impianto ed il restante 21% dei terreni ha una distanza dallo stabilimento compresa tra i 12 ed i 15 km. In queste ipotesi si rendono necessari

4 cantieri di raccolta che operano parallelamente, ciascuno con 1 falcia-trincia-caricatrice e 6 trattori muniti di *dumper*; il traffico pesante nell'area in esame derivante da questa filiera durante il periodo di raccolta del sorgo è di 15 trattori all'ora.

Le condizioni climatiche dell'area considerata impongono il ricorso all'alternanza tra varietà di sorgo a ciclo lungo ed a ciclo breve, in modo da estendere la finestra della raccolta fino a 40 giorni; infatti, in questo tipo di clima la semina non può essere precoce a causa delle temperature ancora piuttosto rigide nei mesi di marzo ed aprile.

I dettagli relativi alla fase di produzione agronomica sono riassunti nella Tabella 32.

Il processamento a bioetanolo di prima generazione segue le linee guida del modello sviluppato per l'UE.

L'estrazione è condotta con mulino a martelli caratterizzato da una resa del 93%; ne consegue che la concentrazione in zucchero nell'estratto è del 12,4%, mentre la bagassa presenta un residuo zuccherino quantificato nel 5,4% sulla s.s.. La bagassa al termine dell'estrazione ha una umidità del 31%. L'unità di concentrazione è programmata per portare la maggior parte dell'estratto zuccherino (i.e. 73% del totale) alla concentrazione dell'80% ed il residuo 27% alla concentrazione del 45%. La fermentazione *in batch* sullo sciroppo diluito al 18% assicura un'efficienza di conversione pari al 90% della resa teorica.

Il bioetanolo anidro ottenuto al termine del processamento ha una specifica del 99,7% p/p, compatibile sia con la sintesi del bio-ETBE, sia con la miscelazione diretta con la benzina.

La bagassa è stoccata al tenore di umidità con cui è ottenuta all'uscita del mulino a cilindri (31%) ed è essiccata al 10% immediatamente prima della combustione nell'impianto CHP. È stata ipotizzata una perdita di sostanza secca a carico della bagassa corrispondente al 5% (principalmente a carico degli zuccheri). L'impianto CHP previsto nel caso studio si basa su un bruciatore adatto ai substrati erbacei, su un generatore di vapore e su una turbina a vapore ed è caratterizzato da un rendimento termico del 0,90. A differenza delle altre sezioni dell'impianto, questa unità cogenerativa funziona per 340 giorni all'anno. Il biogas è ottenuto dalla biometanazione della borlanda secondo le linee guida del capitolo 8 ed è combusto in un impianto CHP basato su una microturbina a gas con un'efficienza elettrica del 34%. Nel caso studio è stato assunto che l'elettricità sia ceduta alla rete ed il calore sia usato per la copertura dei consumi interni dell'impianto.

La scelta di cedere l'energia elettrica alla rete è motivata dal regime di sostegno attualmente vigente in Italia, che è molto favorevole allo sfruttamento delle FER e della biomassa in particolare. Per effetto di questa situazione contingente, il conto economico della filiera privilegia la cessione di tutta l'energia elettrica alla rete ed il contestuale acquisto della quota necessaria alla copertura dei consumi interni, rispetto all'autoconsumo.

Fase agronomica*	
Fertilizzazione	100 kgN/ha 60 kgP ₂ O ₅ /ha 60 kgK ₂ O/ha
Irrigazione	No
Resa in biomassa	18,2 t/ha come s.s.
Resa in zucchero	6,5 t/ha
Resa in bioetanolo anidro	2,8 t/ha 3,5 m ³ /ha 75,6 GJ/ha
Precedente uso del suolo	Mais
* anno di riferimento: 2010	

Tabella 32: principali dettagli relative alla coltivazione del sorgo zuccherino nel caso studio

Il calore recuperato nelle unità cogenerative è in grado di coprire tutte le utenze termiche dell'impianto. Le unità più energivore sono la concentrazione dell'estratto zuccherino (in funzione solo durante il periodo della raccolta), la distillazione e la rettificazione e l'essiccazione della bagassa. Nel caso studio non è presa in considerazione la vendita del calore eccedente i consumi attraverso una rete di teleriscaldamento, poiché ci sono delle difficoltà nell'area geografica in esame a trovare gli utenti.

A parte queste specifiche ipotesi di lavoro, il caso studio applica i contenuti del modello 1.

9.1.2 Analisi economica

Nella Tabella 33 sono riassunte le voci di costo e ricavo incluse nell'analisi economica del caso studio.

Analisi economica			
Costi	Costo di investimento	30 milioni €	
	Costi di gestione	Biomassa 20-35 €/t *	4,94-8,64 milioni €/anno
		O&M	2,69 milioni €/anno
		Altro	1,22 milioni €/anno
Ricavi	Prodotti finali	Prezzo del bioetanolo 400-1.000 €/t *	4,05-10,13 milioni €/anno
		Prezzo dell'elettricità supportato 0,18-0,28 €/kWh *	7,78-12,11 milioni €/anno
* variabile sottoposta all'analisi di sensibilità			

Tabella 33: voci di costi e ricavi incluse nell'analisi economica del caso studio

Nel costo di investimento sono incluse le voci per le realizzazioni edili, gli strumenti e le attrezzature, la manutenzione straordinaria, le spese generali (5%), i costi tecnici di fattibilità e progettazione (5%), le spese imprevedute (4%); al contrario non sono state considerate le voci per l'acquisizione dei terreni e per gli eventuali licenze e/o brevetti.

Nei costi di gestione sono conteggiati complessivamente nella voce denominata "Altro" l'acquisto dei materiali di consumo (e.g. prodotti chimici), lo scarico delle acque reflue dalla concentrazione, l'acquisto dell'acqua dalla rete idrica per la diluizione dello sciroppo, lo smaltimento delle ceneri in discarica, la movimentazione della biomassa ed i premi per le coperture assicurative.

Nella Tabella 33 il prezzo della biomassa e le voci di ricavo sono riportati come intervallo, poiché sono soggetti alle analisi di sensibilità.

Il presupposto per l'avvio della filiera secondo il modello sviluppato per l'UE è una remunerazione degli agricoltori adeguata a garantire negli anni la sicurezza dell'approvvigionamento dell'impianto. Ne consegue che la definizione del prezzo di acquisto della biomassa è un passaggio fondamentale e richiede un approccio molto cautelativo. In considerazione del costo colturale del sorgo zuccherino nell'area geografica del caso studio di 16-18 €/t (corrispondente a 1.040-1.170 €/ha, incluso il trasporto della biomassa trinciata alla bocca dell'impianto, percorrendo una distanza media di 10 km), la soglia per la sostenibilità economica per l'azienda agricola è stimata in 30 €/t. Al di sotto di questo valore, infatti, si ritiene che altre colture assicurino una remunerazione migliore agli agricoltori, diventando più competitive e compromettendo, quindi, la sicurezza dell'approvvigionamento dell'impianto. Nell'analisi

di sensibilità condotta su questa variabile sono stati comunque considerati anche valori inferiori (fino a 20 €/t), in quanto la valutazione della sostenibilità economica deve comprendere scenari di ampiezza tale da includere anche importanti cambiamenti nelle condizioni del mercato (e.g. crollo del prezzo del bioetanolo, eliminazione o forte ridimensionamento del regime di sostegno a favore delle FER).

Dal momento che il prezzo del bioetanolo varia in funzione delle fluttuazioni del mercato energetico e soprattutto del prezzo del petrolio, in via precauzionale per questa variabile è stato considerato un intervallo piuttosto ampio.

La remunerazione della vendita dell'energia elettrica prodotta dalla biomassa attualmente in Italia gode di due forme di sostegno, valide per 15 anni:

- a. la remunerazione può derivare dalla somma tra i ricavi derivanti dalla cessione alla rete elettrica al prezzo di mercato ed i ricavi derivanti dalla vendita dei Certificati Verdi, il cui numero è calcolato applicando un coefficiente moltiplicativo specifico per ogni FER (i.e. 1,8 per biomassa e biogas);
- b. la remunerazione deriva dall'applicazione di una tariffa omnicomprensiva, il cui valore dipende dalla FER (i.e. 0,28 €/kWh per biomassa e biogas).

Il secondo regime di sostegno risulta preferibile, in quanto si svincola dalle fluttuazioni dei valori del prezzo di mercato dell'elettricità e dei Certificati Verdi e permette una previsione certa dei ricavi per 15 anni. Tuttavia, attualmente in Italia soltanto gli impianti di potenza fino a 1 MWe possono accedere a questa seconda forma di incentivo. Infatti, sebbene la normativa vigente (i.e. decreto legislativo n. 28 del 3 marzo 2011) abbia esteso questa possibilità anche agli impianti di potenza superiore (almeno 5 MWe), ad oggi mancano i decreti attuativi che completano la disciplina in materia (situazione a novembre 2011).

A fronte di queste considerazioni e delle potenze installate nelle unità cogenerative del caso studio (i.e. 4,20 MWe alimentata con la bagassa, 0,75 MWe alimentata con il biogas ottenuto dalla borlanda, 0,43 MWe dal mancato funzionamento dell'unità di concentrazione per la maggior parte dell'anno lavorativo), per il valore della tariffa omnicomprensiva a favore della vendita dell'energia elettrica è stato ritenuto cautelativo un intervallo da 0,18 a 0,28 €/kWh.

La soglia per la sostenibilità economica del modello è stata fissata ad un TIR del 20%, in quanto questo valore garantisce l'accesso al credito e, dunque, la bancabilità dell'iniziativa, essendo molto superiore al tasso di indebitamento generalmente applicato per questi investimenti.

I risultati delle analisi di sensibilità sono riassunti nelle seguenti tabelle. In ciascuna tabella è mantenuto fisso il valore per il prezzo di acquisto della biomassa (i.e. 20 €/t nella Tabella 34, 25 €/t nella Tabella 35, 30 €/t nella Tabella 36, 35 €/t nella Tabella 37), mentre cambiano i valori del TIR al variare delle voci di ricavo in base ai prezzi di mercato: il prezzo del bioetanolo varia lungo le colonne tra 400 e 1.000 €/t, il prezzo dell'elettricità lungo le righe tra 180 e 280 €/MWh. In giallo sono evidenziate le celle che corrispondono alle situazioni economicamente sostenibili; le celle con sfondo più scuro sottolineano i valori di TIR superiori al 30%.

Il requisito di garantire un'adeguata remunerazione agli agricoltori (i.e. 30 €/t) è soddisfatto se il prezzo del bioetanolo è di almeno 900 €/t e l'energia elettrica è ceduta alla rete ad almeno 0,22 €/kWh. Per assicurare la stessa condizione una tariffa omnicomprensiva più bassa (i.e. 0,20 €/kWh) richiede un prezzo del bioetanolo almeno di 1.000 €/t.

TIR		Prezzo del bioetanolo [€/t]						
		400	500	600	700	800	900	1.000
Prezzo dell'elettricità [€/MWh]	180	- 6,2%	4,1%	10,5%	15,7%	20,2%	24,5%	28,5%
	200	1,4%	8,7%	14,3%	19,1%	23,4%	27,5%	31,4%
	220	6,7%	12,8%	17,8%	22,3%	26,5%	30,5%	34,4%
	240	11,2%	16,5%	21,2%	25,5%	29,6%	33,5%	37,3%
	260	15,1%	20,0%	24,5%	28,6%	32,6%	36,4%	40,2%
	280	18,8%	23,4%	27,6%	31,7%	35,6%	39,4%	43,1%

Tabella 34: variare del TIR in funzione del prezzo del bioetanolo e del mercato elettrico con un prezzo di acquisto della biomassa di 20 €/t

TIR		Prezzo del bioetanolo [€/t]						
		400	500	600	700	800	900	1.000
Prezzo dell'elettricità [€/MWh]	180	-	-10,7%	2,4%	9,2%	14,6%	19,3%	23,6%
	200	-	- 0,7%	7,4%	13,2%	18,1%	22,5%	26,6%
	220	- 5,3%	5,2%	11,6%	16,8%	21,4%	25,6%	29,7%
	240	2,5%	9,9%	15,4%	20,2%	24,6%	28,7%	32,6%
	260	7,9%	14,0%	19,0%	23,5%	27,7%	31,7%	35,6%
	280	12,4%	17,7%	22,4%	26,7%	30,8%	34,7%	38,6%

Tabella 35: variare del TIR in funzione del prezzo del bioetanolo e del mercato elettrico con un prezzo di acquisto della biomassa di 25 €/t

TIR		Prezzo del bioetanolo [€/t]						
		400	500	600	700	800	900	1.000
Prezzo dell'elettricità [€/MWh]	180	-	-	-	0,5%	7,9%	13,5%	18,3%
	200	-	-	- 3,3%	5,9%	12,0%	17,0%	21,6%
	220	-	-10,1%	3,5%	10,3%	15,7%	20,4%	24,7%
	240	-	0,4%	8,5%	14,3%	19,2%	23,7%	27,8%
	260	- 4,2%	6,3%	12,8%	18,0%	22,6%	26,8%	30,9%
	280	3,7%	11,0%	16,6%	21,4%	25,8%	29,9%	33,9%

Tabella 36: variare del TIR in funzione del prezzo del bioetanolo e del mercato elettrico con un prezzo di acquisto della biomassa di 30 €/t

TIR		Prezzo del bioetanolo [€/t]						
		400	500	600	700	800	900	1.000
Prezzo dell'elettricità [€/MWh]	180	-	-	-	-	- 1,7%	6,5%	12,4%
	200	-	-	-	- 6,6%	4,3%	10,8%	16,0%
	220	-	-	-	1,5%	9,0%	14,6%	19,4%
	240	-	-	- 2,2%	7,0%	13,1%	18,2%	22,7%
	260	-	- 9,3%	4,6%	11,5%	16,9%	21,6%	25,9%
	280	-	1,6%	9,7%	15,5%	20,4%	24,9%	29,1%

Tabella 37: variare del TIR in funzione del prezzo del bioetanolo e del mercato elettrico con un prezzo di acquisto della biomassa di 35 €/t

9.1.3 Risparmio nelle emissioni di GHGs

Fase di coltivazione

Le emissioni derivanti dalla coltivazione del sorgo zuccherino includono tutte le fasi agronomiche della filiera:

1. la resa in biomassa nella Pianura Padana (Nord Est Italia) corrisponde a 65 t/ha (con un contenuto di umidità pari al 72%), corrispondente a 65.000 kg/ha/anno, il cui *output* energetico corrispondente è pari a 316.680 MJ_{sorgo}/ha/anno;
2. il consumo energetico di tale fase è stato calcolato considerando la somma dell'energia primaria della fase agronomica, i carburanti ed i lubrificanti per i macchinari necessari alla coltivazione nel caso studio: tale consumo corrisponde a 5.563 MJ/ha/anno;
3. i fertilizzanti impiegati per la fase di coltivazione sono stati utilizzati nei seguenti quantitativi, realmente impiegati nel caso studio per la coltivazione del sorgo in Pianura Padana: N 100 kg/ha/anno, K₂O 60 kg/ha/anno, P₂O₅ 60 kg/ha/anno. Il quantitativo di erbicida utilizzato è di 2 kg/ha/anno;
4. la borlanda, residuo dell'unità di distillazione e rettificazione, non è direttamente impiegata come fertilizzante per la coltivazione, in quanto è utilizzata nella sezione di digestione anaerobica per la produzione di biogas. Come fertilizzante organico, invece, è utilizzato il digestato derivante da tale processo. Il quantitativo prodotto è pari a 92.705 t/anno da distribuire su 3.800 ha: ciò corrisponde a 24.396 kg/ha/anno;
5. il quantitativo di sementi impiegato nel caso studio è pari a 10 kg/ha/anno;
6. le emissioni di N₂O derivanti dai campi coltivati sono state calcolate impiegando il foglio specifico denominato "N₂O emissions IPCC". La resa in biomassa riportata è di 65.000 kg/ha/anno con umidità del 72%. I terreni impiegati sono considerati arativi anche prima dell'impiego del sorgo zuccherino e, quindi, non vi è cambiamento di uso del suolo. Le emissioni dirette di N₂O dei terreni coltivati ricevono un *input* di azoto pari a 100 kgN/ha/anno di fertilizzante di sintesi e 19,52 kgN/ha/anno di fertilizzante organico, considerando l'applicazione del digestato. Le emissioni indirette di N₂O sono calcolate in automatico ed il valore risultante in emissioni di N₂O da tale sezione corrisponde a 3,06 kgN₂O/ha/anno.

Fase di coltivazione	kg/ha/anno	MJ _{sorgo} /ha/anno	MJ/ha/anno	gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}
Resa in biomassa	65.000	316.680	-	-
Consumi energetici	-	-	5.563	6,81
N	100	-	-	8,22
K	60	-	-	0,48
P	60	-	-	0,85
Erbicidi	2	-	-	0,31
Digestato	24.396	-	-	0
Semente	10	-	-	0
Emissioni di N ₂ O dai terreni	3,06	-	-	12,66
Trasporto del digestato	-	-	-	0,56
Totale senza allocazione	29,9 gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}			
Totale con allocazione*	26,7 gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}			
*fattore di allocazione 89%				

Tabella 38: emissioni di GHGs dalla fase di coltivazione

Le emissioni dalla fase di coltivazione corrispondono a $29,32 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$.

Il trasporto del digestato ai campi per la fertilizzazione organica è incluso nella fase di coltivazione. Il trasporto è effettuato con camion-cisterna dotati di cannoni ad acqua; la percorrenza media nel caso studio è di 20 km. Il trasporto incide con $0,56 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$.

Le emissioni in GHGs totali per la fase di coltivazione (e_{ec}) corrispondono a $29,9 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$.

Considerando il fattore di allocazione, le emissioni corrispondono a $26,7 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$ come riportato in dettaglio nella Tabella 38.

Fasi di trasporto e distribuzione

Per la fase di trasporto, la quantità di prodotto in megajoule è calcolata automaticamente e corrisponde a $316.680 \text{ MJ}_{\text{sorgo}}/\text{ha}/\text{anno}$. Per il trasporto della biomassa, intesa come s.s., per mezzo di autocarri e/o camion alimentati a gasolio si ipotizza una distanza media pari a 20 km. Il valore parziale delle emissioni per questa fase del trasporto corrisponde a $1,49 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$, ma tale valore deve essere sommato a quello relativo al trasporto del bioetanolo dall'impianto al deposito e poi fino alle stazioni di rifornimento.

Per questa prima parte del trasporto è necessario tenere in considerazione il fattore di allocazione dell'89% e, quindi, le emissioni sono quantificate in $1,33 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$.

Per il trasporto del bioetanolo prodotto dall'impianto al deposito e dal deposito alle stazioni di rifornimento sono state applicate le seguenti assunzioni:

1. i camion impiegati per il trasporto del bioetanolo percorrono una distanza media di 300 km dall'impianto alle varie destinazioni in Europa;
2. il consumo energetico del deposito ha lo stesso valore di quello riportato per gli impianti che impiegano la canna da zucchero per produrre il bioetanolo.

Il valore parziale risultante è di $1,31 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$. L'allocazione in questa fase è totalmente a carico del bioetanolo (100%).

Per le stazioni di rifornimento si assumono gli stessi valori riportati per gli impianti che processano la canna da zucchero. Il valore corrispondente in emissioni GHGs è di $0,44 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$. L'allocazione in questa fase è totalmente a carico del bioetanolo (100%).

Per il trasporto (e_{td}) e la distribuzione il valore complessivo finale è pari a $3,08 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$ (Tabella 39).

Fasi di trasporto e distribuzione	km	Camion alimentato a gasolio	MJ/MJ _{bioetanolo}	gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}
Trasporto della biomassa raccolta *	20	Camion per trasporto biomassa	-	1,49
Trasporto del bioetanolo dall'impianto	300	Camion per trasporto liquidi	-	0,99
Consumo energetico del deposito	-	-	0,00252	0,32
Stazione di rifornimento	-	-	0,0034	0,44
Totale senza allocazione	3,24 gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}			
Totale con allocazione*	3,08 gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}			
*fattore di allocazione 89 %				

Tabella 39: emissioni di GHGs derivanti dalle fasi di trasporto e distribuzione

Fase di processamento

Sulla base delle assunzioni applicate al caso studio sono prodotti $0,226 \text{ MJ}_{\text{bioetanolo}}/\text{MJ}_{\text{sorgo}}$. Ai fini del calcolo delle emissioni GHGs del caso studio si è ipotizzato che il quantitativo totale dell'elettricità generata (i.e. dalla combustione della bagassa, del biogas e dalla sezione di concentrazione dal succo) sia ripartito tra l'energia elettrica derivante dai sottoprodotti (biogas e sezione di concentrazione), che è allocata tra bioetanolo e sottoprodotti in funzione dei corrispondenti fattori di allocazione (89% bioetanolo, 11% sottoprodotti), e l'energia elettrica derivante dall'impianto CHP alimentato con la bagassa, attribuita totalmente al bioetanolo (fattore di allocazione: 100%). Il *surplus* di elettricità prodotto dall'impianto è ceduto in rete, mentre una parte è re-impiegata per la produzione del bioetanolo stesso: tale valore corrisponde a $0,108 \text{ MJ}/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$.

Poiché l'elettricità è prodotta in largo eccesso rispetto alle necessità dell'impianto, nella fase di produzione non si può considerare che vi sia realmente una richiesta elettrica, ma piuttosto un *output* elettrico ridotto. L'*output* di elettricità derivante dalla produzione di vapore della caldaia, poi convertito grazie alla turbina, è considerato come prodotto della combustione della bagassa. Di conseguenza, anche la richiesta di elettricità per il funzionamento dell'impianto stesso è considerata come *output* dalla combustione della bagassa: ciò spiega il fatto che, in pratica, questa non è una domanda ma un *output* elettrico ridotto. Ai fini del calcolo ciò non fa alcuna differenza, in quanto ciò che risulta è l'*output* elettrico netto, che corrisponde, in definitiva, al quantitativo ceduto in rete.

Nel caso studio considerato, la produzione totale di elettricità (*output*) è di 43.240 MWh (155.664 GJ). Sottraendo il quantitativo relativo ai sottoprodotti (i.e. 8.996 MWh), l'elettricità prodotta solo nell'impianto CHP alimentato con la bagassa è pari a 34.244 MWh (123.278 GJ), corrispondenti a $-0,454 \text{ MJ}/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$ su base annuale. Sottraendo i consumi elettrici dell'impianto, il valore ottenuto è pari a $-0,346 \text{ MJ}/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$; questo è considerato il *surplus* di elettricità ed il credito è calcolato seguendo le indicazioni della RED Allegato V, Parte C, punto 16.

Fase di processamento	MJ _{bioetanolo} / MJ _{sorgo}	MJ/ MJ _{sorgo}	MJ _{bioetanolo} / ha/anno	MJ/ MJ _{bioetanolo}	gCO ₂ / MJ _{bioetanolo}
Resa in bioetanolo	0,226	-	71.570	-	-
Sottoprodotti	-	0,027		-	-
Elettricità dall'impianto di cogenerazione (CHP)	-	-	-	0,108	-
Vapore dall'impianto CHP	-	-		1,66	-
Generazione elettrica totale	-	-	-	-0,454**	-
Elettricità dalla combustione bagassa (turbina a vapore*)	-	-	-	-0,346**	-1,98
Prodotti chimici	-	-	-	0,00132 kg/MJ _{bioetanolo}	0,85
Totale senza allocazione	-1,12 gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}				
Totale con allocazione***	-1,00 gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}				

* surplus elettrico, il credito è calcolato seguendo le indicazioni della RED Allegato V, C.16

** output elettrico, quindi il valore è negativo

*** fattore di allocazione 89 %

Tabella 40: emissioni di GHGs dalla fase di processamento

L'energia termica, come già menzionato in precedenza, è completamente riutilizzata nell'impianto per fabbisogni interni. Nella sezione relativa ai prodotti chimici utilizzati nell'impianto (i.e. sostanze chimiche usate nel processo produttivo e lubrificanti per i macchinari), i valori sono analoghi a quelli del bioetanolo prodotto dalla canna da zucchero. Le emissioni dal processamento (e_p) corrispondono a $-1,12 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$. I dettagli sono riassunti nella Tabella 40.

Cambio di uso del suolo e gestione agricola

È stato assunto che non vi sia cambio di destinazione d'uso del suolo, in quanto si ipotizza la coltivazione del sorgo in terreni dove comunemente si coltiva il mais. La sostituzione del mais con il sorgo appare particolarmente fattibile a livello di azienda agricola, poiché i macchinari agricoli e le esigenze edafiche delle due colture sono simili (i.e. LUC pari a 0). Al fine del calcolo del risparmio delle emissioni di GHGs non sono stati considerati l'impiego di tecniche agricole virtuose ai fini della cattura della CO_2 ed il reintegro e lo stoccaggio geologico del carbonio (i.e. e_{sca} , e_{ccs} ed e_{ccr} pari a 0).

Il risparmio nelle emissioni di GHGs nel caso studio

Il valore finale delle emissioni di GHGs per megajoule di bioetanolo ottenuto dal sorgo zuccherino corrisponde a $32,00 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$. Il valore di riferimento per il combustibile fossile sostituito (i.e. benzina) ha un valore di emissioni pari a $83,8 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{benzina}}$. Il valore allocato per il bioetanolo da sorgo corrisponde a $28,8 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$.

La riduzione in emissioni GHGs che risulta dal calcolo previsto nella RED corrisponde al 66% ed è conforme all'obiettivo previsto a partire dal 2018.

Questo valore risulta comparabile ai valori relativi al bioetanolo ottenuto dalla canna da zucchero (i.e. valore standard 71%) e dal frumento nell'ipotesi di utilizzare la paglia in un impianto CHP (i.e. valore standard 69%).

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO: METODOLOGIA PER IL CALCOLO DEL RISPARMIO NELLE EMISSIONI DI GHGs

Un aspetto importante del modello sviluppato per l'UE è la quantificazione della sua sostenibilità, in termini di emissioni di GHGs derivanti dalla produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino.

La LCA di questa filiera e le emissioni di GHGs per megajoule di bioetanolo prodotto permettono di ottenere il valore in percentuale del risparmio nelle emissioni di GHGs legato all'uso del bioetanolo prodotto dal sorgo zuccherino in sostituzione della benzina, come richiesto per il rispetto delle indicazioni della RED (e.g. requisito di sostenibilità: dal 2012 35%, dal 2017 50%, dal 2018 60%).

Il calcolo è stato eseguito per ciascuno dei casi studio esposti nel presente manuale, applicando la metodologia riportata nell'Allegato V, Parte C della RED. Pertanto, i valori ottenuti per il modello sviluppato per l'UE nei diversi casi studio possono essere confrontati direttamente con quelli standard riportati nell'Allegato V, Parte A della RED.

Per agevolare il calcolo è stato impiegato lo strumento "BioGrace greenhouse gas calculation tool" (www.biograce.net), predisposto appositamente per contestualizzare ed armonizzare i calcoli in base alle esigenze specifiche degli utenti.

Nello strumento BioGrace sono stati modificati i fogli predisposti per alcune filiere espressamente menzionate nella RED: il foglio relativo al bioetanolo ottenuto dalla canna da zucchero, il foglio relativo al bioetanolo ottenuto dal mais ed il foglio relativo al bioetanolo ottenuto dal frumento quando la paglia è bruciata in un impianto CHP. Integrando i dati di queste tre filiere con le informazioni relative alla coltivazione del sorgo zuccherino e per la valorizzazione

dei sottoprodotti, è stato ottenuto un valore finale per ciascuno dei casi studio.

Il sorgo zuccherino è processato con un approccio analogo a quello della canna da zucchero: la biomassa trinciata è trasportata all'impianto ed è immediatamente sottoposta all'estrazione degli zuccheri, l'estratto zuccherino è processato a bioetanolo e la bagassa essiccata è bruciata nell'impianto CHP. Di conseguenza, come foglio di base è utilizzato quello del bioetanolo dalla canna da zucchero.

Dal momento che, a differenza della canna da zucchero, il sorgo è un seminativo, per i dati di coltivazione (e.g. fertilizzanti, periodo di semina e raccolta, consumi energetici dei macchinari agricoli) è stato applicato il foglio relativo al bioetanolo ottenuto dal mais.

Infine, il foglio del bioetanolo dal frumento è stato applicato per alcuni aspetti attinenti alla combustione dei sottoprodotti nell'impianto CHP.

Un elemento centrale nel calcolo delle emissioni di GHGs è la definizione dei fattori di allocazione per il bioetanolo e per gli altri sottoprodotti del processo.

L'elettricità prodotta dalla combustione della bagassa è considerata nel calcolo delle emissioni con il seguente approccio: una parte è re-impiegata nella produzione del bioetanolo e, pertanto, non è inclusa nel calcolo, mentre l'eccedenza è conteggiata nelle emissioni del processamento in accordo con le indicazioni della RED.

L'energia elettrica derivante dalla combustione del biogas, ottenuto dalla digestione anaerobica della borlanda, e dalla turbina sita presso l'unità di concentrazione è ceduta alla rete ed è considerata un sottoprodotto della filiera.

Sulla base di queste premesse, l'allocazione delle emissioni di GHGs a carico del bioetanolo è pari all'89%, mentre il resto è allocato al sottoprodotto.

Lo strumento impiegato è strutturato in modo da ottenere i valori delle emissioni di GHGs derivanti dalle fasi di coltivazione (e_{ec}), trasporto e distribuzione (e_{td}), processamento (e_p), dalla LUC (e_l), dalla migliore gestione agronomica se prevista (e_{sca}), dalla cattura della CO_2 (e_{ccr}) o dallo stoccaggio geologico del carbonio (e_{ccs}) ed il conseguente risparmio espresso in percentuale, rispetto all'utilizzo del sostituto fossile (i.e. benzina).

9.2 Caso studio: l'applicazione del modello 1 nell'area industriale di Salonicco, Grecia

9.2.1 Ipotesi di lavoro

La regione di Salonicco è una zona vocata per la coltivazione del sorgo zuccherino e, dunque, è stata scelta per la contestualizzazione del caso studio in Grecia. Alcuni dettagli relativi all'area oggetto del caso studio sono riassunti nella Tabella 41.

Le rese in biomassa, intesa come s.s., ed in zuccheri sono in accordo con i risultati dell'Istituto Tecnologico di Salonicco, che ha condotto una sperimentazione pilota in condi-

Area Industriale di Salonicco, Grecia	
Caratteristiche climatiche	Clima mediterraneo
Tipo di suolo	Sciolti argillosi, buona profondità e tessitura, buon contenuto in sostanza organica
Precipitazioni nel periodo di crescita ¹⁰²	33,5 mm
Semina	Maggio
Raccolta	Settembre
Diversificazione colturale	Bassa, prevalenza di riso
Struttura delle aziende agricole	Frammentazione agraria

Tabella 41: principali caratteristiche dell'area geografica considerata nel caso studio

zioni analoghe in una regione della Grecia settentrionale. I valori sono presentati in dettaglio nella Tabella 42. Tra le quattro varietà di sorgo zuccherino testate nei due anni di sperimentazione, la varietà “Urja” ha mostrato le rese teoriche maggiori in bioetanolo.

Varietà	Biomassa fresca [t/ha]	Biomassa [t/ha s.s.]	Succo zuccherino [t/ha]	Gradi Brix [%]	Zuccheri totali [t/ha]	Bioetanolo teorico [l/ha]	Bioetanolo teorico [t/ha]
Urja	97,3	33,5	34,4	14,4	3,86	7.620	6

Tabella 42: rese in biomassa fresca, come s.s., succo zuccherino e zuccheri totali e resa teorica in bioetanolo della varietà “Urja” coltivata in condizioni di salinità del suolo pari a 3,2 dSm⁻¹ e con irrigazione pari a 210 mm

I terreni agricoli considerati nel caso studio coprono una superficie di 1.660 ettari ed il raggio di rifornimento della materia prima è di circa 20 km. I campi sono localizzati vicino all'Area Industriale di Salonicco dove potrebbe essere posizionato l'impianto di processamento. I soci della Cooperativa Agricola di Halastra possiedono una superficie agricola pari a 6.000 ettari: in questo bacino potrebbero essere individuati i terreni da asservire alla filiera. In questo scenario ed in accordo con le linee guida per il modello sviluppato per l'UE, la raccolta della biomassa richiede 6 cantieri di raccolta che operano in parallelo: ognuno di questi impiega 1 falcia-trincia-caricatrice e 4 trattori.

In queste condizioni climatiche la raccolta può durare fino a 40 giorni, se varietà a ciclo breve ed a ciclo lungo sono coltivate nello stesso periodo in diversi terreni.

I principali dettagli della fase agronomica sono riportati nella Tabella 43.

Fertilizzazione: due giorni prima della semina sono applicati 130 kgN/ha, come ammonio solfato [(NH₄)₂SO₄], 50 kgP/ha come fosfato di calcio [Ca(H₂PO₄)₂] e 65 kgK/ha come potassio solfato (K₂SO₄).

Biomassa: si ipotizza una produzione di 10.000 tonnellate (12.649.200 litri) di bioetanolo all'anno impiegando solo il sorgo zuccherino come materia prima. L'efficienza produttiva della biomassa è stimata in 97,3 t/ha, la superficie agricola interessata è pari a 1.660 ha e l'efficienza di conversione in bioetanolo è stimata in 6 t/ha o 7,6 m³/ha. Per produrre 10.000 t di bioetanolo sono necessarie 161.518 t di biomassa fresca. Relativamente ai costi, non ci sono dati disponibili sul prezzo del sorgo zuccherino come materia prima per la produzione di bioetanolo in Grecia, poiché esi-



Figura 28: localizzazione dell'impianto a bioetanolo, dei terreni coltivati con il sorgo zuccherino e della raffineria ¹⁰³

Fertilizzazione	130 kgN/ha 50 kgP/ha 65 kgK/ha
Irrigazione	210 mm (supplemento di 142-261 mm di pioggia)
Contenuto di umidità	65,6%
Resa in bioetanolo anidro	6 t/ha 7,6 m ³ /ha 164,8 GJ/ha
Produzione di bioetanolo	10.000 t/anno 12.649 m ³ /anno
Biomassa fresca processata	161.518 t/anno
Biomassa come s.s. processata	55.610 t/anno
Superficie agricola interessata	1.660 ha

Tabella 43: caratteristiche agronomiche relative alla coltivazione del sorgo zuccherino e rese in bioetanolo del caso studio

stono solamente prove colturali pilota e ad oggi non esiste una produzione regolare. I costi della fase agricola sono stimati in 16-18 €/t di biomassa fresca, mentre i profitti netti finali per gli agricoltori sono stimati in 12-14 €/t di biomassa fresca.

Resa in bioetanolo anidro: per il calcolo della produzione teorica di bioetanolo dalla biomassa fresca di sorgo zuccherino, sono state modificate le equazioni riportate da Sakellariou-Makrantonaki *et al.* (2007)¹⁰⁴ e Zhao *et al.* (2009)¹⁰⁵ come segue: resa totale in bioetanolo [l/ha] = contenuto in zuccheri totale [%] x biomassa fresca [t/ha] x 6,5 (fattore di conversione dagli zuccheri al bioetanolo) x 0,85 (efficienza del processo di produzione del bioetanolo dagli zuccheri) x (1,00/0,79) (peso specifico del bioetanolo in g/ml).

Il processamento è effettuato in accordo con le linee guida riportate nel capitolo 8. Relativamente allo sfruttamento dei sottoprodotti, l'elettricità è ceduta in rete ed il calore è utilizzato per l'autoconsumo all'interno dell'impianto stesso.

Il fattore più importante per lo sviluppo della filiera di produzione del bioetanolo da sorgo zuccherino è la localizzazione ottimale dell'impianto. In Grecia, i siti possibili per la sua costruzione possono infatti essere diversi, ed una strategia volta a trovare la soluzione più consona risulta necessaria, comparando diversi siti per alcune caratteristiche essenziali.

Prerequisiti minimi per la scelta del sito

La scelta dei possibili siti dove localizzare l'impianto per la produzione del bioetanolo dovrebbe essere indirizzata dai seguenti criteri:

- disponibilità di risorse umane
- costo per l'acquisto del terreno
- facilità a reperire la materia prima
- condizioni ambientali minime necessarie
- disponibilità di mezzi di trasporto
- prossimità ai mercati
- disponibilità di materiali ausiliari e servizi di pubblica utilità
- accettazione da parte della comunità locale
- adeguate infrastrutture finanziarie, amministrative e sociali
- servizi e mezzi speciali forniti dalla legge di sviluppo n. 3908/2011.

Il punto di partenza per una prima selezione dei possibili siti è la localizzazione della materia prima, in quanto l'impianto dovrebbe essere localizzato vicino ai terreni coltivati a sorgo zuccherino.

Un secondo prerequisito è l'esistenza di un parco industriale nella zona. I parchi industriali forniscono vantaggi specifici alle imprese insediate come ad esempio infrastrutture integrate, attività industriali organizzate, infrastrutture per il rifornimento di acqua ed energia, reti di comunicazione (telefono, internet), impianti per il trattamento dei rifiuti, reti stradali. Inoltre, l'installazione di un impianto all'interno di un parco industriale fornisce dei vantaggi, sia da un punto di vista tecnico, che relativamente al *business* per i futuri investitori:

- termini di concessione
- rete sviluppata di infrastrutture tecniche
- servizi a valore aggiunto (gas naturale, rete a banda larga, stazione antincendio)
- accesso alla rete di trasporto
- installazione semplificata con minore burocrazia
- sussidio preferenziale attraverso la legge di sviluppo.

Parco Industriale di Salonico Vipathe S.A.

Il Parco Industriale di Salonico Vipathe S.A. è situato nella zona nord-orientale della città (18 km) presso l'area di Sindos e soddisfa i criteri sopra menzionati. Il Parco Industriale occupa una superficie totale di 395 ettari, con 12 grandi isolati attraversati da strade e zone ad uso comune; approssimativamente sono attualmente disponibili 187 ettari di capannoni. Veicoli per uso privato o altri mezzi pesanti possono passare attraverso il Parco per mezzo della rete stradale che è in fase di costruzione. Inoltre, per facilitare le aziende che risiedono nel Parco, esiste una piattaforma ferroviaria che collega il Parco con le linee dirette a Salonico, Atene ed ai centri urbani del nord e del nord-est della Grecia, della Bulgaria e della Repubblica Ex-Jugoslava di Macedonia.



Figura 29: Parco Industriale di Salonico Vipathe S.A., ideale per la localizzazione potenziale dell'impianto a bioetanolo¹⁰⁶

Caratteristiche del Parco Industriale di Salonico Vipathe S.A.

1. Disponibilità di risorse umane

La regione di Salonico ha una popolazione di 1.104.460 abitanti ¹⁰⁷. Il tasso di disoccupazione nella Macedonia Centrale è del 18,8 %¹⁰⁸.

2. Costo del sito

Il costo per l'acquisto dei terreni corrisponde a 160 €/m² ¹⁰⁹.

3. Facilità nel rifornimento delle materie prime

I terreni coltivabili nella regione di Salonico in totale corrispondono a circa 412.747 ettari ¹¹⁰.

4. Condizioni ambientali minime necessarie

La temperatura media di Salonico è di 5,2 °C in gennaio e di 26,6 °C in luglio. La media delle precipitazioni per gli stessi mesi corrisponde a 36,8 mm e 23,9 mm, rispettivamente.

5. Disponibilità di mezzi di trasporto

Il Parco Industriale di Salonico è situato vicino all'autostrada Atene-Salonico, alla Strada Egnatia ed è prossimo alla raffineria "HELLENIC PETROLEUM S.A". Anche la ferrovia, l'aeroporto, il porto e la linea degli autobus sono vicini all'area interessata.

6. Prossimità ai mercati

Il Parco Industriale è situato presso il secondo più grande nucleo di attività commerciali della Grecia, cioè la città di Salonico, ed è supportato dal porto della città.

7. Disponibilità di materiali ausiliari e servizi di pubblica utilità

Il Parco Industriale è fornito di acquedotto e fognatura, impianto di trattamento dei rifiuti, laboratorio per il controllo dell'inquinamento. Offre, inoltre, reti telefoniche ed elettriche, comunicazione a banda larga, servizio antincendio e connessione alla rete del gas naturale.

8. Strutture finanziarie, amministrative e sociali adeguate

Il Parco Industriale possiede un dipartimento amministrativo e gestionale, mentre la città di Salonico offre tutti i servizi amministrativi, economici e sociali necessari.

9. Servizi e mezzi speciali forniti dalla legge di sviluppo n. 3908/2011

Per l'Area Industriale di Salonico, la legge di sviluppo fornisce sussidi al 35%, sussidi in leasing o finanziamenti per l'impiego e le assunzioni.

9.2.2 Analisi economica

I principali costi di produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino sono in accordo con il modello 1 e sono riassunti nella Tabella 44.

Biomassa	~160.000 t/anno x 30 €/t = 4.800.000 €/anno
Costi di investimento	30 milioni €
• Costi operativi	1,22 milioni €/anno
• O&M	2,69 milioni €/anno
Altro	1,22 milioni €/anno

Tabella 44: costi principali dell'analisi economica del caso studio

I costi di investimento sono stimati in 30 milioni di euro, includendo edifici, attrezzature, manutenzione straordinaria, spese generali (5%), costi tecnici (5%), spese non previste (4%); l'acquisto dei terreni, eventuali licenze e brevetti non sono inclusi. I costi operativi includono l'acquisto dei reagenti chimici, la gestione delle acque, lo smaltimento delle ceneri, il trasporto della biomassa, i costi assicurativi ed altre categorie di costo.

In merito alle entrate derivanti dalla vendita del bioetanolo, il prezzo del biocarburante dipende dal mercato dell'energia, specialmente in relazione alla quotazione del petrolio. I valori sono riportati come medie nella Tabella 45.

Il reddito derivante dalla vendita dell'elettricità prodotta, segue gli incentivi previsti in Grecia nel Conto Energia^[1], che sono compresi tra 0,15-0,20 €/KWh; per la biomassa tali incentivi sono garantiti per 20 anni:

Ricavi	Prodotti finali	Prezzo del bioetanolo 400-1.000 €/t	4,0-10,0 milioni €/anno
		Prezzo dell'elettricità 0,15-0,20 €/kWh	7,78-12,11 milioni €/anno

Tabella 45: principali ricavi inclusi nell'analisi economica del caso studio

Giorni di funzionamento dell'impianto all'anno	330 giorni	
Produzione giornaliera di bioetanolo	Q = 30,7 t/giorno	
Metodo di calcolo	L = K/Q-0.76	
Processi	K	L = ore lavorative per tonnellata di prodotto
1. Spremitura	10	1,384
2. Estrazione	17	2,352
3. Fermentazione	23	3,182
4. Distillazione	10	1,384
5. Disidratazione	10	1,384
6. Gestione dei sottoprodotti	10	1,384
Ore totali del personale per tonnellata di prodotto	11,07 h/t giorno	
Ore lavorative del personale al giorno	340 h/giorno	
K = costante corrispondente al valore di "23" per processi condotti in modo discontinuo, "17" per processi con bassa manutenzione e "10" per processi automatici in continuo		

Tabella 46: ore del personale impiegato nell'impianto al giorno

[1] I produttori di energia da fonti rinnovabili sono pagati con una tariffa a tasso fisso per ogni unità di elettricità ceduta in rete e generalmente le compagnie che gestiscono ed acquistano l'energia per la distribuzione sono obbligate ad acquistare l'elettricità fornita dai produttori della loro area di servizio per periodo di tempo molto lungo.

o 200 €/MWh per una potenza installata inferiore ad 1 MW

o 175 €/MWh per una potenza installata da 1 a 5 MW

o 150 €/MWh per una potenza installata superiore a 5 MW.

La manodopera necessaria all'impianto è stata stimata in 14 addetti che lavorano per ogni ora di funzionamento (Tabella 46).

9.2.3 Risparmio nelle emissioni GHGs

Anche il processo produttivo per ottenere il bioetanolo di prima generazione del sorgo zuccherino, come qualsiasi altro processo industriale, si trova ad affrontare una grande sfida, che è quella della tutela ambientale non solo durante la fase di costruzione dell'impianto e durante la produzione, ma anche in tutte le fasi operative. Pertanto, uno dei maggiori obiettivi dell'impianto è la riduzione delle emissioni di GHGs per tutto il ciclo di vita del prodotto.

Fase di coltivazione

Le emissioni derivanti dalla coltivazione del sorgo zuccherino includono tutte le fasi agronomiche della filiera:

1. la resa in biomassa nella zona ovest del distretto regionale di Salonicco nel nord della Grecia corrisponde a 97,3 t/ha di biomassa umidità pari al 65,6%, corrispondenti a 97.300 kg/ha/anno, il cui *output* energetico è di 582.399 MJ_{sorgo}/ha/anno;
2. il consumo energetico di tale fase è stato calcolato, considerando la somma dell'energia primaria della fase agronomica, i carburanti ed i lubrificanti per i macchinari necessari alla coltivazione nel caso studio specifico: tale consumo energetico corrisponde a 5.563 MJ/ha/anno;
3. i fertilizzanti impiegati nel caso studio in Grecia sono stati utilizzati nei seguenti quantitativi: azoto 130 kg N/ha/anno, potassio 50 kg K₂O/ha/anno, fosforo 65 kg P₂O₅/ha/anno. Il quantitativo di erbicida utilizzato è stato di 2 kg/ha/anno;
4. la borlanda derivante dalle unità di distillazione e rettifica non è direttamente impiegata come fertilizzante per la coltivazione, bensì è utilizzata nella sezione di digestione anaerobica per la produzione di biogas. Il digestato derivante da tale processo è, invece, impiegato come fertilizzante organico nella coltivazione del sorgo zuccherino. Il quantitativo prodotto è pari a 60.621,5 t/anno da distribuire su 1.660 ettari: ciò corrisponde a 36.519 kg/ha/anno;
5. il quantitativo di sementi impiegato nel caso studio è pari a 10 kg/ha/anno;
6. le emissioni di N₂O derivanti dai campi coltivati sono state calcolate impiegando il foglio "N₂O emissions IPCC". La resa in biomassa riportata è di 97.300 kg/ha/anno come biomassa umida (umidità del 65,6%). I terreni impiegati sono considerati arativi anche prima dell'impiego del sorgo zuccherino, quindi la destinazione d'uso del suolo è da arativa ad arativa. Le emissioni dirette di N₂O dei terreni coltivati ricevono un *input* di azoto pari a 130 kgN/ha/anno di fertilizzante di sintesi. Le emissioni indirette di N₂O sono calcolate in automatico ed il valore risultante in emissioni di N₂O da tale sezione corrisponde a 3,51 kgN₂O/ha/anno.

Le emissioni derivanti dalla fase di coltivazione corrispondono a 15,09 gCO₂/MJ_{bioetanolo}. Il digestato è impiegato per la fertilizzazione organica dei terreni coltivati, ed il

quantitativo risultante in emissioni di GHGs per il trasporto di tale fertilizzante è pari a $0,37 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$ che si sommano al precedente valore.

Considerando l'allocazione, le emissioni di GHGs corrispondono a $13,75 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$ come riportato nella Tabella 47.

Fase di coltivazione	kg/ha/anno	$\text{MJ}_{\text{sorgo}}/\text{ha/anno}$	MJ/ha/anno	$\text{gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$
Resa in biomassa fresca	97.300	582.399	-	-
Consumi energetici	-	-	5.563	3,02
N	130	-	-	4,74
K	50	-	-	0,23
P	65	-	-	0,52
Erbicidi/pesticidi	2	-	-	0,14
Digestato	36.519	-	-	0
Sementi	10	-	-	0
Emissioni di N_2O dai terreni	3,51	-	-	6,44
Trasporto del digestato	-	-	-	0,37
Totale senza allocazione	$15,46 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$			
Totale con allocazione*	$13,75 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$			

*fattore di allocazione 89%

Tabella 47: emissioni di GHGs dalla fase di coltivazione

Fasi di trasporto e distribuzione

Per la fase di trasporto, la quantità di prodotto è calcolata automaticamente e corrisponde a $582.399 \text{ MJ}_{\text{sorgo}}/\text{ha/anno}$. Per il trasporto della biomassa, intesa come s.s., per mezzo di autocarri/camion alimentati a gasolio, si ipotizza la percorrenza di una distanza media pari a 20 km. Il valore parziale delle emissioni per questa fase del trasporto corrisponde a $1,46 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$, ma il valore deve essere sommato a quello relativo al trasporto del bioetanolo dall'impianto al deposito e poi fino alle stazioni di rifornimento. Per questa prima parte del trasporto è necessario considerare il fattore di allocazione dell'89% e, quindi, le emissioni sono pari a $0,88 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$. Per il trasporto (e_{id}) il valore finale è di $1,77 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$ (Tabella 48).

Fasi di trasporto e distribuzione	km	Camion alimentato a gasolio	$\text{MJ}/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$	$\text{gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$
Trasporto della biomassa raccolta	20	Camion per trasporto biomassa secca	-	0,88
Trasporto del bioetanolo dall'impianto	9	Camion per trasporto liquidi	-	0,35
Consumo energetico del deposito	-	-	0,00252	0,32
Stazione di rifornimento	-	-	0,0034	0,44
Totale senza allocazione	$1,99 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$			
Total con allocazione*	$1,77 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$			

*fattore di allocazione 89 %

Tabella 48: emissioni di GHGs dalle fasi di trasporto e distribuzione

Fase di processamento

Basandosi sui dati del caso studio sono prodotti $0,277 \text{ MJ}_{\text{bioetanolo}}/\text{MJ}_{\text{sorgo}}$.

Nel modello sviluppato l'elettricità prodotta in largo eccesso negli impianti CHP è ceduta alla rete elettrica, mentre l'elettricità assorbita dall'impianto per la produzione del bioetanolo e prelevata dalla rete corrisponde a $0,108 \text{ MJ}/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$.

Poiché l'elettricità è prodotta in largo eccesso rispetto alle necessità dell'impianto, nella fase di produzione non si può considerare che vi sia realmente una richiesta elettrica ma piuttosto un *output* elettrico ridotto. L'*output* di elettricità derivante dalla produzione di vapore della caldaia, poi convertito grazie alla turbina, è considerato come prodotto della combustione della bagassa. Di conseguenza, anche la richiesta di elettricità per il funzionamento dell'impianto stesso è considerata come *output* dalla combustione della bagassa: ciò spiega il fatto che in pratica questa non è una domanda ma un *output* elettrico ridotto. Ai fini del calcolo ciò non fa differenza, perché ciò che risulta è l'*output* elettrico netto che corrisponde al quantitativo ceduto in rete.

Nel caso studio considerato, la produzione totale di elettricità (*output*) è di 43.240 MWh (155.664 GJ) ottenuti dalla combustione della bagassa, del biogas e dalla sezione di concentrazione del succo. Sottraendo il quantitativo relativo ai sottoprodotti (8.996 MWh), l'elettricità prodotta solo nell'impianto CHP alimentato con la bagassa è pari a 34.244 MWh (123.278 GJ), corrispondenti a $-0,454 \text{ MJ}/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$ su base annuale. Sottraendo i consumi elettrici dell'impianto, il valore ottenuto è pari a $-0,346 \text{ MJ}/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$; questo è considerato il *surplus* di elettricità ed il credito è calcolato seguendo le indicazioni della RED Allegato V, Parte C, punto 16.

L'energia termica, come già menzionato in precedenza, è completamente riutilizzata nell'impianto per fabbisogni interni. Nella sezione relativa ai prodotti chimici utilizzati nell'impianto, i valori sono analoghi a quelli del bioetanolo prodotto dalla canna da zucchero.

Le emissioni di GHGs derivanti dal processamento (e_p) corrispondono a $-1,12 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$. I dettagli sono riassunti nella Tabella 49.

Fase di processamento	MJ _{bioetanolo} /MJ _{sorgo}	MJ/MJ _{sorgo}	MJ _{bioetanolo} /ha/anno	MJ/MJ _{bioetanolo}	gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}
Resa in bioetanolo	0,277	-	161.324	-	-
Sottoprodotti	-	0,027		-	-
Elettricità dall'impianto di cogenerazione (CHP)	-	-	-	0,108	-
Vapore dall'impianto CHP	-	-		1,660	-
Generazione elettrica totale	-	-	-	-0,454**	-
Elettricità dalla combustione bagassa (turbina a vapore*)	-	-	-	-0,346**	-1,98
Prodotti chimici	-	-	-	0,00132 kg/MJ _{bioetanolo}	0,85
Totale senza allocazione	-1,12 gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}				
Totale con allocazione***	-1,00 gCO ₂ /MJ _{bioetanolo}				

* surplus elettrico, il credito è calcolato seguendo le indicazioni della RED Allegato V, C.16

** output elettrico, quindi il valore è negativo

*** fattore di allocazione 89 %

Tabella 49: emissioni di GHGs dalla fase di processamento

Cambio di uso del suolo e gestione agricola

Il cambio di destinazione d'uso del suolo, le tecniche agricole migliorate, i sistemi di cattura della CO_2 , il reintegro e lo stoccaggio geologico del carbonio non sono stati tenuti in considerazione in tale calcolo.

Il risparmio nelle emissioni di GHGs nel caso studio

Il valore finale delle emissioni di gas serra per megajoule di bioetanolo ottenuto dal sorgo zuccherino corrisponde a $14,66 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$. I risultati allocati corrispondono a $13,04 \text{ gCO}_2/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$.

La riduzione nelle emissioni di GHGs del bioetanolo ottenuto dal sorgo rispetto al sostituto fossile (i.e. benzina) corrisponde all'82,5 %.

9.3 Caso studio: l'applicazione del modello 1 in Andalusia, Spagna

9.3.1 Ipotesi di lavoro

Il modello 1 è stato contestualizzato al caso studio nella regione di Jédula (Cádiz) nel sud della Spagna (Andalusia), poiché il Ministero spagnolo dell'industria, del turismo e del commercio, in conformità alle indicazioni europee, ha recentemente reso pubblico un documento sulla "Valutazione del bilancio delle emissioni di GHGs dalla produzione di biocarburanti", in cui è valutata la produzione di bioetanolo dal sorgo zuccherino in Andalusia¹¹¹. La situazione specifica dell'area studio è riassunta nella Tabella 50.

Jédula (Cadiz), Spagna meridionale	
Caratteristiche climatiche	Clima mediterraneo temperato
Precipitazioni nel periodo di crescita	600-800 mm
Semina	Maggio
Raccolta	Settembre
Diversificazione colturale	Barbabietola da zucchero
Struttura delle aziende agricole	Frammentazione agraria

Tabella 50: principali caratteristiche dell'area geografica considerata nel caso studio

I terreni necessari al rifornimento di biomassa per l'impianto, riferiti al caso studio della Spagna, occupano una superficie di 2.147 ettari ed il raggio di rifornimento della filiera, date le caratteristiche specifiche della regione, è fissato in 15 km. La produzione di biomassa corrisponde a 31 t/ha come s.s. e la percentuale di zuccheri per tonnellata di biomassa è pari al 38%.

In questa zona si producono approssimativamente 214.750 tonnellate di sorgo zuccherino come wb, contenenti il 10% di zuccheri. Il quantitativo di zuccheri necessario a produrre 12.500 m^3 di bioetanolo è pari a 21.475 tonnellate. Con questi dati, il quantitativo di bagassa impiegata nell'unità cogenerativa è pari a 77.310 tonnellate all'anno con una percentuale di umidità del 10%.

Tenendo in considerazione la diversificazione colturale e la struttura delle aziende agricole nella regione considerata, la localizzazione dei terreni coltivabili è ipotizzata come segue: 35% dei campi entro 5 km dall'impianto, 44% dei campi da 6 a 11 km dall'impianto, 21% dei campi tra 12 e 15 km dall'impianto. In questo scenario la raccolta della biomassa necessita di 4 cantieri paralleli: in ognuno di questi lavorano 1 falcia-trincia-caricatrice e 6 trattori con carro; ne consegue che il traffico orario durante i 40 giorni di raccolta prevede 15 trattori in continuo movimento.

Dato il clima della regione, la durata del periodo di raccolta può arrivare a 40 giorni, se sono coltivate varietà a ciclo breve ed a ciclo lungo nello stesso periodo in diversi terreni.

I principali dettagli della fase agronomica sono riportati nella Tabella 51.

Sezione agronomica *	
Fertilizzazione	31 kgN/ha 273 kg Urea (46% N)/ha 60 kgP ₂ O ₅ /ha 31 kgK ₂ O/ha
Irrigazione	Sì (4.478,5 m ³ /ha)
Resa in biomassa	31 t/ha come s.s.
Resa in zuccheri	6-12 t/ha
Resa in bioetanolo anidro	2,8-5,6 t/ha 3,5-7,0 m ³ /ha 84-168 GJ/ha
Utilizzo precedente dei terreni	Barbabietola da zucchero
* anno di riferimento: 2010	

Tabella 51: principali dettagli della coltivazione del sorgo zuccherino nel caso studio

La produzione di bioetanolo di prima generazione segue le linee guida riportate nel capitolo 8. Per l'estrazione è impiegato il processo di diffusione continua, caratterizzato da un'efficienza del 97%; di conseguenza la concentrazione degli zuccheri è del 12% nel succo e del 5% sulla s.s. nella bagassa, che ha un'umidità residua variabile tra il 31% ed il 50%.

Per quanto riguarda l'unità di concentrazione, il rifornimento continuo di materiale nei reattori è pianificato, concentrando all'80% la maggior parte del succo zuccherino (54,5% del quantitativo totale) ed al 45% solo il 27,3% del quantitativo totale; una parte di succo estratto (18,2%) è impiegato non concentrato o ad una concentrazione ridotta (15-18%). La fermentazione del succo zuccherino è condotta con un processo *in batch* e l'efficienza della fermentazione alcolica è del 90% rispetto alla resa teorica.

Il bioetanolo anidro ottenuto ha una purezza del 99,7% p/p e può essere impiegato per la sintesi del bio-ETBE o per la miscelazione diretta con la benzina.

In relazione allo sfruttamento dei sottoprodotti, la bagassa umida è stoccata e quindi essiccata ad un'umidità del 10-20% immediatamente prima della combustione nell'impianto di cogenerazione. Durante lo stoccaggio si stima una perdita in peso pari al 5%, principalmente a carico degli zuccheri. L'impianto di cogenerazione è costituito da un bruciatore per la combustione della biomassa, un generatore ed una turbina a vapore; la sua efficienza termica è 0,90 e l'efficienza

elettrica 0,29. A differenza delle altre unità, l'impianto CHP alimentato con la bagassa lavora per 360 giorni all'anno. Il biogas ottenuto dalla borlanda è impiegato in una micro-turbina a gas con efficienza elettrica del 34%.

In questo caso studio, l'elettricità è ceduta in rete ed il calore prodotto è impiegato per l'auto-consumo nell'impianto stesso.

In Spagna, gli incentivi per la generazione elettrica da FER, e specificamente dalla biomassa, hanno un valore di 16,81 c€/kWh quando l'impianto di cogenerazione ha più di 2 MW di potenza installati, se la bagassa è considerata una coltura energetica, mentre di 11,38 c€/kWh, se la bagassa è considerata una biomassa di scarto da impianti industriali. Siccome il quantitativo di bagassa prodotta è pari a 77.310 tonnellate all'anno, la potenza installata può arrivare a 10 MWe.

Il calore recuperato è in grado di coprire completamente i consumi termici dell'impianto. Le unità che presentano le richieste termiche più elevate sono la concentrazione del succo zuccherino (solo durante il periodo di raccolta), la distillazione e la rettifica, l'essiccazione della bagassa. In questo caso studio non è considerata la vendita dell'energia termica attraverso una rete di teleriscaldamento, in quanto risulta difficile trovare degli utenti entro una distanza ragionevole dall'impianto.

9.3.2 Analisi economica

Le principali voci di costi e ricavi considerati nell'analisi economica sono riassunti nella Tabella 52.

Analisi economica			
Costi	Costi di investimento	30 milioni di €	
	Costi operativi	Biomassa 29-34 €/t (come s.s. con il 38% di zuccheri nei culmi)	6,23-7,30 milioni di €/anno
		O&M	2,9 milioni di €/anno
		Altro	1,22 milioni di €/anno
Ricavi	Prodotti finali	Prezzo del bioetanolo 450-800 €/m ³	5,63-10,00 milioni di €/anno
		Prezzo per elettricità prodotta dalla biomassa 16,81 – 11,38 c€/kWh (10 MWe installati con una produzione di 86.400 MWh/anno, 360 giorni, 24 h/giorno)	14,52 – 9,83 milioni di €/anno

Tabella 52: principali costi e ricavi inclusi nell'analisi economica del caso studio

I costi di investimento includono le opere edili, le strumentazioni, la manutenzione straordinaria, le spese generali (5%), i costi tecnici (5%), le spese imprevedute (4%); l'acquisto dei terreni ed eventuali licenze e brevetti non sono inclusi.

I costi operativi per l'acquisto dei prodotti chimici, la gestione delle acque (i.e. scarico delle acque reflue dall'unità di concentrazione, acquisto di acqua dalla rete idrica per la diluizione dello sciroppo), lo smaltimento delle ceneri, la movimentazione della biomassa ed i costi assicurativi sono inclusi nella voce "Altro".

Il prezzo della biomassa ed i valori delle entrate sono riportati come intervallo.

Un'adeguata remunerazione degli agricoltori che forniscono la biomassa è il prerequisito per uno sviluppo ottimale della filiera; di conseguenza, quantificare il prezzo della

biomassa richiede un approccio cautelativo. Assumendo che nell'area considerata i costi agronomici siano pari a 16-18 €/t di biomassa fresca (corrispondente a 1.040-1.170 €/ha incluso il trasporto alla bocca dell'impianto con una distanza media di 10 km) il valore-soglia per l'acquisto della biomassa è stimato in 30 €/t. Ciò è dovuto al fatto che in periodi di pessime condizioni climatiche o di instabilità del mercato altre colture possono diventare più competitive del sorgo zuccherino e di conseguenza la sicurezza nel rifornimento può diventare critica. A questo si aggiunge che il prezzo della biomassa può variare anche in relazione alla concentrazione di zucchero nei culmi: se è maggiore è plausibile che la quotazione della biomassa possa essere superiore.

Il prezzo del bioetanolo dipende dal mercato internazionale dell'energia e dei bio-carburanti, in particolare considerando il prezzo del bioetanolo proveniente dal Brasile, dagli Stati Uniti o dall'India. Tenendo conto del prezzo del bioetanolo importato e della relativa tassazione, nonché del costo del trasporto in Europa, il prezzo finale deve avere un valore massimo di 0,80-0,85 €/l. D'altro canto, il prezzo minimo del bioetanolo può essere fissato a 0,45 €/l. Questo valore può essere valutato con i dati dei costi produttivi in Brasile, che sono di circa 0,30 €/l.

Visti i costi del processo produttivo, l'iniziativa si sostiene solo massimizzando la valorizzazione della bagassa attraverso la generazione elettrica.

Come indicato nella Tabella 53, i costi variano nell'intervallo 10,14-11,21 milioni €/anno, i ricavi tra i 15,46 ed i 24,52 milioni €/anno.

Se il costo di investimento totale è fissato in 30 milioni di euro, il tempo di ritorno dell'investimento può variare tra i 2,5 anni nel migliore dei casi ed i 7,5 anni nel caso peggiore.

9.3.3 Risparmio nelle emissioni GHGs

Fase di coltivazione

La valutazione del risparmio nelle emissioni di GHGs è stata effettuata considerando l'area cerealicola di Jédula (Cádiz) in Andalusia, Spagna, dove la resa in sorgo zuccherino è di 31 t/ha espresse come s.s..

Nella Figura 30 è riportata la resa produttiva in Andalusia.

La produzione di sorgo zuccherino in Andalusia dà buoni risultati solamente in regime irriguo. Gli apporti irrigui possono variare tra 4,0 e 4,3 m³/ha. Se l'efficienza nell'uso dell'acqua per questa coltura è di 0,16-0,27 m³/kg su s.s., il quantitativo totale di acqua necessario alla coltura per arrivare ad una produzione di 31 t/ha è di 4,96-8,37 m³/ha, che corrisponde alla somma dell'irrigazione e delle precipitazioni.

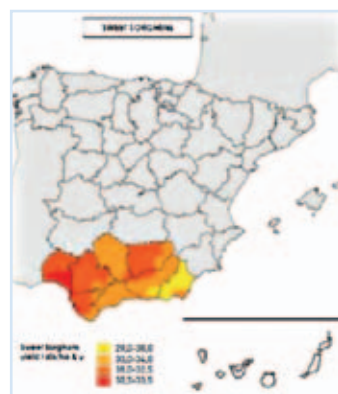


Figura 30: rese in sorgo zuccherino in Andalusia (espresse in t/ha come s.s.) ¹¹²

Coltura	Produzione di fertilizzanti	Carburante	Produzione della coltura	Energia elettrica	Semina	Totale
Sorgo zuccherino in regime irriguo in Andalusia	49,59	17,53	2,80	0,03	0,13	70,08

Tabella 53: consumi energetici della fase agronomica (valori espressi in MJ _{energia fossile} /MJ _{bioetanolo}) ¹¹³

In relazione a quanto menzionato, è stato effettuato il calcolo delle emissioni di GHGs e dei consumi energetici, ottenendo il valore del risparmio nelle emissioni dovuto all'uso del bioetanolo ottenuto dal sorgo zuccherino in sostituzione della benzina.

Coltura	Produzione di fertilizzanti	Carburante	Produzione della coltura	Energia elettrica	N ₂ O	Semina	Totale
Sorgo zuccherino in regime irriguo in Andalusia	5,70	1,20	0,10	1,81	5,65	0,03	14

Tabella 54: emissioni di GHGs della fase agronomica (valori espressi in $\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$)¹¹⁴

Fasi di trasporto e distribuzione

Il calcolo dei costi e dei consumi relativi al trasporto della materia prima è stato effettuato considerando la tipologia di strade percorse e la distanza tra i terreni coltivati e l'impianto di produzione del bioetanolo.

La Figura 31 mostra il posizionamento dell'impianto di produzione del bioetanolo e l'area in cui si trovano i terreni coltivati a sorgo zuccherino.

Nella Tabella 55 sono riportati i consumi energetici e le emissioni di GHGs calcolati per il caso studio in Spagna.

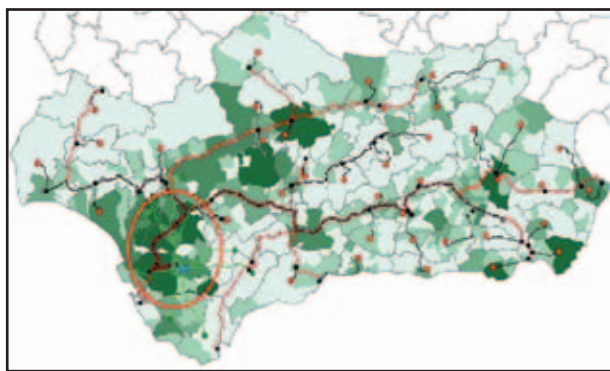


Figura 31: area considerata nel caso studio¹¹⁵

	Consumo di energia fossile [MJf/MJ]	Emissioni GHGs [$\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$]
Sorgo zuccherino in regime irriguo in Andalusia	0,014	1,9

Tabella 55: consumi energetici ed emissioni di GHGs dovuti al trasporto della materia prima nel caso studio¹¹⁶

Fase di processamento

Per quanto riguarda la fase di processamento, la valutazione è stata effettuata considerando il processo produttivo del caso studio. Gli input e gli output del processo produttivo sono riportati nella Tabella 56. Queste informazioni permettono di eseguire il calcolo relativo alle emissioni di GHGs ed il bilancio energetico del processo di produzione del bioetanolo.

Bioetanolo anidro	1 kg
Potenza	0,74 kWh
Bagassa (eccesso)	0,32 kg
Borlanda	13,20 kg
Acido solforico	0,04 kg
Ammonio solfato	0,01 kg
Di-ammonio fosfato	0,01 kg
Culmi di sorgo zuccherino	17,18 kg

Tabella 56: consumi energetici e materie prime nella produzione di bioetanolo da sorgo zuccherino¹¹⁷

Materia prima	0,4
Consumo energetico	0
Energia elettrica	0
Energia termica	0
e_p	0,4
e_{ee}	0
e_{ccr}	0

Tabella 57: emissioni di GHGs nel processo di produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino (valori espressi in $\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}_{\text{bioetanolo}}$)¹¹⁸

Considerando l'impiego della bagassa per produrre l'energia necessaria al processo, le emissioni di GHGs sono indicate nella Tabella 57.

Risparmio nelle emissioni di GHGs nel caso studio

A seguito di un'attenta valutazione di tutti i dati riferiti alla produzione di bioetanolo dal sorgo zuccherino a Jédula, i risultati più importanti sono stati ritenuti quelli relativi al risparmio nelle emissioni di GHGs grazie all'uso della bagassa nel processo di combustione, che permette di produrre energia elettrica da cedere in rete. Tale aspetto risulta di grande importanza ed assicura la sostenibilità della produzione di bioetanolo da tale coltura.

I risultati sono riportati in dettaglio nella Tabella 59 e nella Tabella 60. Il risparmio in emissioni di GHGs di questo caso studio corrisponde al 79%.

Materia prima	0,1
Consumo energetico	0
Energia elettrica	0
Energia termica	0
Totale	0,1

Tabella 58: bilancio energetico del processo di produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino (valori espressi in MJ_{energia fossile}/MJ_{bioetanolo})¹¹⁹

Coltura	Consumo energetico dalle fasi agronomiche	Consumo energetico dalle fasi di trasporto	Consumo energetico dalla fase di produzione di bioetanolo	Totale [MJ/MJ]	Risparmio emissioni GHGs [%]
Sorgo zuccherino in regime irriguo in Andalusia	0,07	0,021	0,01	0,10	92

Tabella 59: consumi energetici fossili della produzione di bioetanolo in Spagna (Jédula) (espressi in MJ_{energia fossile}/MJ_{bioetanolo})¹²⁰

Coltura	Emissioni dalle fasi agronomiche e_{ec}	Emissioni dalle fasi di trasporto e_t	Emissioni dalla fase di produzione di bioetanolo e_p	Emissioni credito per produzione energetica e_{ee}	Cattura della CO₂ e_{ccr}	Totale [gCO_{2eq}/MJ]	Risparmio emissioni [%]
Sorgo zuccherino in regime irriguo in Andalusia	14,3	2,3	0,4	-	-	17,2	79

Tabella 60: emissioni di GHGs nella produzione di bioetanolo in Spagna (Jédula) (esprese in gCO_{2eq}/MJ_{bioetanolo})¹²¹

10. IL MODELLO 2 SVILUPPATO PER L'UE: IL SORGO ZUCCHERINO E LA BARBABIETOLA DA ZUCCHERO COME MATERIE PRIME PROCESSATE ALTERNATIVAMENTE NELL'IMPIANTO DECENTRALIZZATO

Il principale vantaggio del modello 2 è di offrire una finestra più ampia del modello 1 per il processamento di biomassa fresca, permettendo di ridurre l'incidenza dell'unità di concentrazione: per un periodo dell'anno è disponibile il sorgo zuccherino, per un altro periodo la barbabietola da zucchero e si ricorre al processamento dell'estratto zuccherino concentrato e stoccato solo nei mesi rimanenti.

Uno svantaggio del modello 2 è legato al limite intrinseco di questo approccio, ossia alla necessità di coltivare in una stessa area in diversi periodi dell'anno due colture alcoligene, il cui processamento sia simile. Questa condizione non sempre può essere soddisfatta nell'area in cui si intende sviluppare la filiera.

10.1 Caso studio: l'applicazione del modello 2 in Andalusia, Spagna

Il caso studio è contestualizzato al territorio di Jédula (Andalusia, Spagna), dove la raccolta del sorgo zuccherino e della barbabietola da zucchero si collocano in periodi diversi dell'anno.

Il periodo di raccolta della barbabietola da zucchero in Andalusia va dall'inizio di giugno alla fine di luglio e le barbabietole possono essere conservate fino ad un mese senza perdere più del 3-4% degli zuccheri accumulati.

Il periodo di raccolta del sorgo zuccherino nella stessa area si colloca tra settembre e novembre, se si alternano varietà precoci e tardive.

Ne consegue che l'impianto può processare materia prima fresca in totale per sei mesi: la barbabietola da zucchero da giugno ad agosto, il sorgo zuccherino da settembre a novembre.

Se il fermo impianto è programmato per maggio, il processamento dello sciroppo concentrato si limita al periodo compreso tra dicembre ed aprile, ossia per 5 mesi, invece degli 11 del modello 1.

10.1.1 Ipotesi di lavoro

Per la descrizione dell'area geografica del caso studio valgono le informazioni riportate nella Tabella 50, mentre per la fase di produzione agronomica del sorgo zuccherino si fa riferimento alla Tabella 51.

Per quanto attiene alla barbabietola da zucchero, la resa produttiva in regime irriguo può variare tra le 80 e le 120 t/ha. La percentuale in zuccheri rientra nell'intervallo tra il 13% ed il 16%, espressi come wb. Assumendo un valore medio in zuccheri del 14%, la resa in bioetanolo è compresa tra 6.600 e 10.000 l/ha.

Nelle ipotesi che la capacità dell'impianto sia di 12.500 m³/anno (i.e. 10.000 t/anno) e che la barbabietola lo alimenti per 3 mesi all'anno (i.e. tra giugno-agosto, per una produzione di 3.500 m³/anno), sono richiesti 350-525 ettari coltivati a barbabietola.

Per quanto attiene agli aspetti logistici, i macchinari per la coltivazione e la raccolta differiscono sostanzialmente per le due colture, mentre il trasporto non presenta differenze significative.

Una discrepanza importante nel sistema logistico delle due colture deriva, invece,

dal tempo che può intercorrere tra la raccolta ed il processamento: la biomassa trinciata del sorgo, infatti, va rapidamente incontro alla perdita degli zuccheri ed all'avvio di fermentazioni incontrollate (i.e. dopo sole 7-8 ore dalla raccolta), mentre le barbabietole possono essere stoccate in campo o presso l'impianto per un mese ed eventualmente la raccolta può essere posticipata fino al momento del processamento, poiché gli zuccheri non vanno incontro a degradazione.

Nell'impianto di produzione del bioetanolo le attrezzature devono avvalersi di soluzioni idonee al processamento sia della barbabietola da zucchero, sia del sorgo zuccherino. Tuttavia, le principali differenze nella lavorazione dei due substrati si concentrano nella prima sezione dell'impianto, ossia in quella preposta alla preparazione della biomassa per l'estrazione degli zuccheri. Invece, il profilo zuccherino dell'estratto ottenuto dalle due colture è simile e, dunque, le due linee di processamento possono coincidere senza alcuna difficoltà.

I principali elementi da apportare alla linea per il processamento anche della barbabietola sono l'unità di lavaggio, finalizzata all'eliminazione dei residui grossolani della raccolta (e.g. fango, sassi), e quella di sminuzzamento delle barbabietole in sezioni molto fini.

Per l'estrazione degli zuccheri, il ricorso al diffusore in continuo permette di processare con lo stesso dispositivo entrambi i substrati.

Per le restanti unità, il modello 2 si basa sulle linee guida descritte nel capitolo 8.

10.1.2 Analisi economica

Per l'analisi economica si fa riferimento ai dati riportati per il modello 1.

10.1.3 Risparmio nelle emissioni di GHGs

Il calcolo del risparmio di emissioni di GHGs è stato effettuato considerando due scenari alternativi. Nel primo si ipotizza di impiegare il gas naturale come fonte primaria, quando manca la produzione di bagassa, ossia quando è processata la barbabietola da zucchero. Nel secondo si prevede di utilizzare la bagassa del sorgo, appositamente stoccata presso l'impianto, in un impianto CHP per l'intero anno lavorativo.

Production of Ethanol from Sugarbeet (steam from NG boiler)									
Overview Results									
All results in g CO _{2,e} /MJ _{ethanol}	Non-allocated results	Allocation factor	Allocated results	Total	Actual/Default	Default values RED Annex V.D	Allocation factors		Emission reduction Fossil fuel reference (petrol)
Cultivation e _{cc}				7,2	A	12	Ethanol plant to ethanol to Sugar beet pulp 71,8% 28,7%		83,8 g CO _{2,e} /MJ GHG emission reduction 57%
Cultivation of sugarbeet	10,07	71,3%	7,18			11,54			
Processing e _p				26,3	A	26			
Ethanol plant	36,82	71,3%	26,26			26,42			
Transport e _{tr}				2,9	A	2			
Transport of sugarbeet	1,85	71,8%	1,32			0,84			
Transport of ethanol	1,10	100%	1,10			1,10			
Filling station	0,44	100%	0,44			0,44			
Land use change e _l	0,0	71,3%	0,0	0,0		0			
e _{cc} + e _{tr} + e _l	0,0	100%	0,0	0,0		0			
Totals	50,3			36,3		40			

Figura 32: emissioni di GHGs relative alla produzione di bioetanolo ottenuto dalla barbabietola da zucchero impiegando gas naturale come combustibile¹²²

Il risparmio nelle emissioni di GHGs è stimato come valore medio tra i due contributi della barbabietola da zucchero e del sorgo zuccherino.

Le emissioni evitate relative al bioetanolo ottenuto dalla barbabietola da zucchero (i.e. 57%) sono state rapportate al contributo di questa coltura all'alimentazione totale dell'impianto (i.e. 27,3% della produzione di bioetanolo).

Per il sorgo zuccherino è stato assunto che sia valido il risparmio nelle emissioni GHGs del modello 1 (i.e. 79%) e che questa coltura alimenti l'impianto per il 72,7% della sua capacità produttiva.

Il risparmio nelle emissioni di GHGs, ottenuto come media dei due contributi, è del 73% nello scenario in cui durante il processamento della barbabietola la fonte primaria sia il gas naturale, ed è dell'80% nello scenario in cui la bagassa alimenti l'impianto CHP nell'intero anno lavorativo.

Production of Ethanol from Sugarbeet (steam from biomass boiler)									
Overview Results									
All results in g CO _{2,eq} / MJ _{ethanol}	Non-allocated results	Allocation factor	Allocated results	Total	Actual/Default	Default values RED Annex V.D	Allocation factors	Emission reduction	
Cultivation e _{cu}				7,2	A	12	Ethanol plant 71.3% to ethanol 28.7% beet pulp	Fossil fuel reference (petrol)	
Cultivation of sugarbeet	10,07	71.3%	7,18			11,54		83.8 g CO _{2,eq} /MJ	
Processing e _{pr}				4,5	A	26		GHG emission reduction	
Ethanol plant	6,32	71.3%	4,51			26,42		88%	
Transport e _{tr}				2,9	A	2			
Transport of sugarbeet	1,85	71.3%	1,32			0,84			
Transport of ethanol	1,10	100%	1,10			1,10			
Filling station	0,44	100%	0,44			0,44			
Land use change e _{lc}	0,0	71.3%	0,0	0,0		0			
e _{cu} + e _{pr} + e _{tr}	0,0	100%	0,0	0,0		0			
Totals	19,8			14,5		40			

Figura 33: emissioni di GHGs relative alla produzione di bioetanolo ottenuto da barbabietola da zucchero usando la bagassa di sorgo come combustibile ¹²³

10.1.4 Considerazioni sul modello 2

Una delle principali caratteristiche della barbabietola da zucchero è che non vi è produzione di biomassa da impiegare nel processo di combustione. Pertanto, per ovviare a questa mancanza, le alternative sono l'impiego del gas naturale per la produzione dell'energia necessaria all'impianto anche se si riduce il risparmio nelle emissioni di GHGs, oppure l'impiego della biomassa stoccata del sorgo zuccherino che può essere bruciata al posto del gas naturale, assicurando un maggiore risparmio in emissioni di GHGs e minori costi di produzione.

La combinazione di sorgo zuccherino e barbabietola da zucchero nello stesso impianto di produzione richiede, tuttavia, alcune modifiche strutturali volte ad includere una linea per la pulizia della barbabietola, passaggio necessario prima del processamento, ed una zona adibita allo stoccaggio delle barbabietole stesse. Tali modifiche prevedono maggiori costi di investimento, che risultano però compensati dalla riduzione di scala delle unità di estrazione e concentrazione. Infatti, impiegando solamente sorgo zuccherino per la produzione del bioetanolo, l'estrazione del succo può avvenire solamente per due mesi all'anno e deve essere sufficiente a coprire i fabbisogni dell'impianto per l'anno intero. Impiegando sorgo

zuccherino e barbabietola, la materia prima per la produzione di bioetanolo è differenziata ed il succo zuccherino è prodotto da entrambe, coprendo un periodo di 5-6 mesi. Grazie a ciò l'unità di concentrazione prevede un minore consumo energetico e l'energia risparmiata può essere impiegata per coprire i fabbisogni della produzione di etanolo dalla barbabietola.

11. TRASFERIBILITÀ

A conclusione della descrizione del modello sviluppato per l'UE è stata analizzata la possibilità di trasferirne i risultati anche nei Paesi europei non partecipanti al progetto e siti all'interno dell'areale di crescita del sorgo zuccherino. In particolare, risultano adatti alla coltivazione del sorgo zuccherino la Bulgaria, la Romania, l'Ungheria, la Francia, il Portogallo e la Croazia.

I fattori principali che influenzano la trasferibilità del modello vanno ricercati nelle politiche nazionali sulle FER e sui biocarburanti e nei relativi regimi di sostegno, nella capacità produttiva attualmente installata, nell'incidenza dell'importazione per raggiungere l'obiettivo al 2020 e, più in generale, nelle condizioni di mercato che possono favorire la produzione decentralizzata.



Figura 34: Paesi europei dove potrebbe essere trasferito il modello sviluppato per l'UE

11.1 Bulgaria^{124, 125, 126, 127}

Gli obiettivi fissati dalla RED per la Bulgaria prevedono l'impiego delle FER per una quota pari al 16% sul consumo finale di energia al 2020. Per quanto riguarda il settore dei trasporti, la quota prevista per le FER è del 10% sul consumo energetico finale.

La Bulgaria ha una capacità di produzione annua di 250.000 tonnellate di biodiesel e di 60.000 tonnellate di bioetanolo. Secondo i dati forniti dal Ministero dell'economia, dell'energia e del turismo, nel 2009 sono state prodotte in Bulgaria 18.456 tonnellate di biodiesel, di cui solamente 350 sono state immesse sul mercato nazionale, mentre la restante parte è stata esportata.

La produzione di biocarburanti è basata principalmente sull'impiego di materie prime locali e ciò potrebbe contribuire a migliorare la sicurezza degli approvvigionamenti. Per la Bulgaria infatti, i biocarburanti rappresentano un'alternativa ai carburanti fossili, permettendo una riduzione della dipendenza dall'importazione. La Bulgaria ha una capacità produttiva installata elevata, ma l'unica raffineria che produceva biocarburanti presso Burgas ha dismesso la produzione nel 2011, a causa di alcuni standard imposti dalla normativa e da aspettative troppo elevate che sono state disattese: la sua produzione annua era di circa 400 tonnellate.

Lo ZVAEIB è il principale strumento nazionale che stabilisce i principi generali delle politiche sulla promozione della produzione e dell'uso di biocarburanti in Bulgaria.

In conformità con la legge ZVAEIB (in vigore dal 2007, ultima modifica risalente al 1° marzo 2010), con la decisione di cui al punto 2 del protocollo n° 43, è stato approvato dal Consiglio dei Ministri del 15 novembre 2007, un programma nazionale a lungo termine per la promozione dell'uso dei biocarburanti nei trasporti per il periodo 2008-2020. Gli obiettivi nazionali indicativi per l'utilizzo dei biocarburanti sono stati determinati sulla base di un'analisi che riflette l'effettivo potenziale per la coltivazione di colture energetiche in Bulgaria. Tale analisi prende in considerazione le informazioni in merito agli impianti esistenti ed agli impianti che dovrebbero entrare in servizio nel breve termine. Nella determinazione degli obiettivi nazionali sono stati considerati sia la condizione attuale, sia l'andamento previsto nei consumi finali di benzina e gaso-

lio nel settore dei trasporti. Di conseguenza è stata fissata una quota di biocarburanti da impiegare nel settore dei trasporti dell'8,0% al 2015 e del 10,0% al 2020.

Come misura a favore della riduzione dei prezzi dei carburanti, il Governo ha votato nel 2011 una nuova legge sulle FER per ritardare la miscelazione del 5% di biodiesel nel gasolio. Per ridurre i prezzi dei carburanti fossili, infatti, il Governo ha rinviato di sei mesi l'adeguamento agli standard europei che prevedono il 5% di bio-componenti nel gasolio stesso; di conseguenza, questa decisione ha influenzato gravemente i produttori di biodiesel. L'attuale incertezza del mercato non favorisce l'investimento nel settore agro-energetico da parte degli imprenditori agricoli. L'associazione nazionale dei biocarburanti ha evidenziato che la rimozione di bio-componenti dal gasolio sarà in grado di ridurre il prezzo finale dei carburanti fossili, ma al contempo sta determinando un sensibile ritardo nello sviluppo dei biocarburanti. Si stima che questa strategia stia penalizzando direttamente 250 persone impiegate nel settore e circa 1.000 persone nell'indotto.

Nel 2011 è stato adottato un differimento di altri 3 anni relativamente alla miscelazione obbligatoria del bioetanolo nelle benzine: la percentuale minima di questo biocarburante nelle benzine, invece di essere obbligatoria da marzo del 2011, lo sarà dal 2014.

La miscelazione obbligatoria di biocarburanti con i derivati del petrolio avviene solo in depositi fiscali autorizzati in conformità con le accise previste e con l'Atto relativo ai depositi fiscali stessi. I biocarburanti possono essere utilizzati nel settore dei trasporti in forma pura o in miscela con derivati del petrolio nei motori a combustione interna e devono essere conformi ai requisiti tecnici e di qualità per i biocarburanti e le loro miscele di cui all'ordinanza sui requisiti di qualità per i combustibili liquidi, che stabilisce le condizioni, la procedura e le modalità del loro controllo tramite specifiche norme.

È stato constatato che i requisiti di legge relativi alla miscelazione obbligatoria dei biocarburanti con i combustibili fossili ad oggi non sono stati rispettati e che, pertanto, non ci sono stati progressi nel conseguimento degli obiettivi nazionali.

Le ragioni per la non conformità alla legge ZVAEIB sono diverse e complesse, come di seguito riportato:

- o sono state riscontrate delle difficoltà nel soddisfacimento dei requisiti della norma EN 228, per le miscele di bioetanolo con la benzina;
- o non sono stati promossi dal Governo incentivi fiscali per l'immissione sul mercato di biocarburanti puri e/o miscele;
- o non vi sono laboratori accreditati per verificare la qualità e la composizione dei biocarburanti e per determinare con sufficiente precisione la quota di bio-componenti contenuti in una miscela;
- o ai produttori ed agli importatori di carburanti è necessario del tempo per poter mettere in atto i programmi di investimento relativi alla preparazione tecnica dei sistemi di distribuzione;
- o vi sono stati problemi nell'esercizio del controllo di qualità dei biocarburanti puri ed in miscela immessi sul mercato ed, inoltre, non sono previste sanzioni in caso di non conformità con i requisiti di legge previsti.

Il PANER indica che dovranno essere consumati 115 ktep di biocarburanti al 2015 e 205 ktep al 2020 in modo da poter rispettare gli obiettivi nazionali.

11.2 Romania^{128,129,130,131}

In Romania, le politiche in merito alle FER ed ai biocarburanti sono state introdotte con la "Strategia per l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili (2007-2020)" e la "Strategia energetica nazionale 2007-2020"; in tali documenti sono previsti l'11% di FER sul consumo finale di energia al 2010 ed il 15% entro il 2015.

Per quanto riguarda la promozione dell'uso dei biocarburanti, gli obiettivi prefissati sono i seguenti:

- la quota di biocarburanti sul totale dei carburanti utilizzati del 5,75% entro la fine del 2010;
- la quota derivante dalle FER del 10% entro la fine del 2020, impiegando anche biocarburanti di seconda e terza generazione.

Nel 2009 sono state utilizzate in Romania circa 231.216 tonnellate di biocarburanti (148.606 tonnellate di biodiesel e 82.610 tonnellate di bioetanolo), che corrispondono ad un contributo del 4,1%, calcolato sulla base del contenuto energetico di tutti i tipi di carburanti utilizzati nei trasporti. Nel 2009 la diminuzione del prezzo del greggio ha reso la produzione di biodiesel meno redditizia e, di conseguenza, alcune aziende hanno sospeso la loro attività. La produzione di biocarburanti è in fase di sviluppo, ma non è accompagnata dallo sviluppo delle stazioni di rifornimento e manca anche l'informazione in merito: per tale ragione dovrebbero essere avviate apposite campagne di sensibilizzazione. Attualmente, nel Paese, ci sono 10 importanti progetti di investimento per impianti di bioetanolo.

L'immissione sul mercato delle miscele di biocarburanti da parte di produttori e rifornitori di carburanti deve avvenire secondo le seguenti modalità:

- a) dal 1° gennaio 2011, benzine con un tenore minimo del 5% v/v di biocarburanti;
- b) dal 1° gennaio 2013, benzine con un contenuto minimo del 7% v/v di biocarburanti;
- c) dal 1° gennaio 2017, benzine con un tenore minimo del 9% v/v di biocarburanti;
- e) dal 1° gennaio 2018, benzine con un tenore minimo di biocarburanti del 10% v/v.

Sono state avviate diverse azioni al fine di contribuire alla promozione dell'uso dei biocarburanti, quali ad esempio l'introduzione di disposizioni fiscali relative all'esenzione delle accise.

La promozione dell'uso dei biocarburanti nei trasporti costituisce il tema del decreto 1844/2005 integrato dal decreto 456/2007, che stabilisce la quantità di biocarburanti da immettere sul mercato corrispondente ad almeno il 2%, calcolato sulla base del contenuto energetico di tutti i tipi di carburanti utilizzati nei trasporti. Tale decreto ha recepito, inoltre, l'obiettivo del 5,75% da raggiungere tra la data di ingresso della Romania nell'UE ed il 31 dicembre 2010.

Il Ministero dell'economia, del commercio e degli affari per l'ambiente è responsabile dell'attuazione del "sistema di monitoraggio qualitativo e quantitativo per la benzina ed il gasolio" commercializzati nelle stazioni di servizio, approvato con l'ordinanza 742/2004 ed il cui allegato è stato sostituito con l'ordinanza 58/2006. Nel 2009 sono stati effettuati dei controlli per determinare il contenuto di biodiesel in circa 200 campioni di gasolio e di bioetanolo in circa 100 campioni di benzina. In conformità alla decisione del Governo n. 456/2007, la sanzione amministrativa pecuniaria applicata nel caso in cui non siano miscelati biocarburanti nei combustibili fossili varia dai 1.725 € ai 3.455 €.

Per le quote di bioetanolo in miscela con le benzine in una percentuale superiore al 5% v/v è richiesta un'etichettatura specifica da applicare presso le stazioni di rifornimento.

La legge 571/2003 sui regimi fiscali, come modificata dalla legge 343/2006, ha stabilito l'esenzione delle accise per i prodotti energetici che rientrano nella categoria dei biocarburanti (art. 201 (I)). Le modalità di applicazione del regime fiscale sono state approvate dalla decisione del Governo n. 1618/2008.

Il programma nazionale per lo sviluppo rurale per il periodo 2007-2013 presta particolare attenzione al problema relativo all'uso delle fonti rinnovabili, sottolineando le potenzialità del mercato dei biocarburanti per il miglioramento della struttura attuale delle colture agricole.

In virtù del quadro normativo vigente, gli agricoltori ricevono un contributo economico per la coltivazione di girasole, colza, soia e mais che dipende dalla superficie agricola coltivata e dal tipo di coltura energetica.

Al fine di incentivare l'agricoltura e favorire al contempo il settore agro-energetico, il Ministero dell'agricoltura ha previsto per i terreni lasciati incolti una sanzione pecuniaria di 95 €/ha all'anno a carico dei proprietari. Questa misura è diretta a contrastare l'attuale abbandono della campagna (i.e. 1,3 milioni di ettari coltivabili non utilizzati, corrispondenti al 14% della SAU) e le conseguenti perdite economiche, stimate in 300 milioni di euro all'anno. I risultati attesi per questa politica sono l'aumento della produzione con la conseguente flessione nel prezzo dei prodotti agricoli e la contestuale riduzione della pressione fiscale in virtù dell'aumento complessivo del gettito fiscale.

In prima approssimazione si stima che la Romania abbia un potenziale di produzione di 2 milioni di tonnellate di bioetanolo e di 400.000 tonnellate di biodiesel. In considerazione di queste potenzialità il PANER ha fissato un ulteriore sviluppo del consumo di biocarburanti in Romania: 363,3 ktep nel 2015 e 489,2 ktep nel 2020.

11.3 Ungheria^{132, 133, 134, 135}

L'Ungheria ha recepito l'obiettivo per il 2010 del 5,75% per la quota di incorporazione dei biocarburanti nel settore dei trasporti e ha individuato nella riduzione delle accise la modalità per favorire il suo raggiungimento. Nel 2005 il regime fiscale a favore dei biocarburanti è stato modificato e di conseguenza devono essere immessi sul mercato nazionale i carburanti con un contenuto in bioetanolo del 4,4% v/v dal 1° luglio 2007 e con un contenuto in biodiesel pari al 4,4% v/v dal 1° gennaio 2008. Nel 2009 la quota di incorporazione dei biocarburanti è stata del 3,75% (calcolata sulla base del tenore energetico): la quota di bioetanolo nella benzina è stata pari al 3,10% e la quota di biodiesel nel gasolio è stata del 4,11%.

Nel 2009 sono state consumate in Ungheria circa 217.750 tonnellate di biocarburanti (139.350 tonnellate di biodiesel e 78.400 tonnellate di bioetanolo), corrispondenti al 3,75%, calcolato sulla base del contenuto energetico di tutti i carburanti impiegati nei trasporti. Per quanto riguarda il bioetanolo nel 2010 il consumo è aumentato fino a 122.500 tonnellate¹³⁶.

Il decreto n. 138 del 30 giugno 2009 ha introdotto l'obbligo di rispetto mensile dell'immissione sul mercato delle quote previste di biocarburanti. Nel caso in cui questi obblighi non siano assolti, è applicata una sanzione amministrativa pecuniaria, che è calcolata sulla base del contenuto energetico del biocarburante mancante e sul prezzo di acquisto del biocarburante stesso. Questo approccio

rappresenta un forte stimolo per i rivenditori ad adempiere ai loro obblighi.

Dal 1° gennaio 2008 è stata introdotta una differenziazione fiscale che ha previsto, ad esempio nel caso della miscela E85, l'esenzione dall'accisa sulla frazione di bioetanolo fino alla metà del 2009. La differenziazione nella tassazione sui biocarburanti si è conclusa il 1° luglio 2009 ed il successivo aumento delle tasse sui carburanti è stato motivato dalla necessità di eliminare tale differenziazione fiscale basata sul contenuto in biocarburanti per benzina e gasolio. Al contempo, tuttavia, si è reso necessario introdurre una nuova forma di supporto per promuovere l'uso dei biocarburanti e, quindi, è stato approvato un nuovo regolamento, nel quadro dello stesso pacchetto legislativo, che prevede il rimborso di 0,26 €/l per il biodiesel prodotto in depositi fiscali autorizzati dalle autorità doganali.

Impianti a bioetanolo

Lo sviluppo del consumo di bioetanolo in Ungheria è previsto nel PANER con 304 ktep al 2020 (corrispondente a 475.000 tonnellate).

Il programma KEOP è stato lanciato nel 2009 per promuovere l'installazione di impianti per la produzione di bioetanolo di taglia medio-grande.

Al contempo il PANER prevede un sostegno di 19 milioni di euro per il biennio 2009-2010, con un importo massimo degli aiuti pari a 5,7 milioni €, per gli impianti di produzione di bioetanolo, che può essere aumentato nel caso in cui sia prevista la creazione di un polo di produzione di energia rinnovabile che fornisca al contempo energia anche per altri usi.

Il principale impianto di produzione di bioetanolo dal mais in Europa è stato inaugurato a Szabadegyháza nella Contea di Fejér. Tale impianto è di proprietà di Hungarna Kft'S, azienda che ha investito circa 100 milioni di euro nella costruzione dell'impianto e che è partecipata con lo stesso numero di quote dalla British-American Eaststarch e dal gruppo austriaco Agrana. L'impianto di Hungarna Kft'S è in grado di processare 3.000 tonnellate di mais al giorno e produce oltre a bioetanolo principalmente amido e zuccheri. Nell'impianto sono impiegati 285 addetti ed il fatturato nel 2009 è stato di 240 milioni di euro. Hungarna Kft'S collabora con Agip, Avia ed Oil.

La distilleria Gyori Szeszgyár presso Győr produce bioetanolo ad uso alimentare ed, in base alle indicazioni del Ministero dello sviluppo rurale, potrebbe essere una delle piccole aziende di produzione di alcol grezzo a beneficiare di incentivi per estendere la propria attività verso la produzione di prodotti energetici.

Attualmente è in corso di realizzazione un impianto di produzione di bioetanolo nella città di Dunaföldvár, che dovrebbe entrare in esercizio all'inizio del 2012. La capacità produttiva installata sarà di 240 milioni di litri di bioetanolo, ottenuti processando 575.000 tonnellate di mais all'anno. La materia prima processata sarà locale, favorendo il mercato cerealicolo e le aziende agricole ungheresi. L'impianto sarà in grado di produrre come sottoprodotto 175.000 tonnellate di alimenti per animali ad alto tenore proteico (i.e. DDG, DDGS), che saranno disponibili per le aziende zootecniche locali. Sono attese delle importanti ricadute occupazionali: oltre agli 80 addetti dell'impianto, sono previsti 250 posti di lavoro per la fase di costruzione e l'indotto è stimato complessivamente in 600 addetti.

Grazie a tale progetto del valore di 120 milioni di euro l'Ungheria auspica una sua prossima indipendenza energetica nel settore dei trasporti.

11.4 Francia¹³⁷

La Francia ha recepito la Direttiva 2003/30/CE nel 2004 e successivamente sono state adottate diverse misure per incoraggiare la produzione di biocarburanti ed accelerarne lo sviluppo. Come risultato di questa politica, l'obiettivo di incorporare il 5,75% di biocarburanti nei trasporti, previsto per il 2010, è stato raggiunto nel 2008 e l'obiettivo al 2010 è stato portato al 7%. Entro il 2020, la Francia assicura che i fornitori ridurranno le emissioni di GHGs almeno del 6%, in conformità con la Direttiva 2009/30/CE. Inoltre, la legge Grenelle I prevede diverse misure destinate in primo luogo alla riduzione dell'uso di combustibili fossili ed in secondo luogo allo sviluppo di una mobilità sostenibile anche grazie all'impiego delle FER.

Produzione e consumo di bioetanolo¹³⁸

In Francia il consumo di bioetanolo nel settore dei trasporti è aumentato costantemente: 414.661 tep nel 2008, 455.933 tep nel 2009 e 490.112 tep nel 2010. Gli impianti di produzione in Francia alla fine del 2009 erano dodici: 6 impianti di Tereos, 1 impianto di Abengoa Bioenergy, 1 impianto di CropEnergies e 4 impianti di Cristanol. La produzione di bioetanolo a livello nazionale è basata principalmente sull'impiego di cereali, ma alcuni impianti utilizzano anche i residui della filiera vitivinicola provenienti principalmente dalle distillerie (i.e. vinacce).

Sistemi di incentivazione

Per quanto concerne il sistema di incentivazione nazionale, sono state attuate alcune misure al fine di promuovere la sostituzione dei combustibili fossili con i biocarburanti.

In particolare sono state previste le seguenti forme di sostegno:

- l'incremento delle percentuali di miscelazione nei carburanti distribuiti in rete, in particolare con l'immissione sul mercato della miscela E10 dal 1° aprile 2009;
- l'autorizzazione all'immissione sul mercato di combustibili con un elevato tenore di biocarburanti, in particolare la miscela E85 per i veicoli FFV e la miscela B30 per i motori a ciclo Diesel;
- l'introduzione di doppi conteggi per i biocarburanti derivanti da rifiuti, residui e sottoprodotti, come indicato nella Legge Finanziaria del 2010.

Inoltre, sono stati adottati alcuni incentivi fiscali, tra cui:

- una tassa supplementare rispetto alle accise previste per le attività inquinanti, che deve essere pagata dall'operatore (e.g. raffinerie, rivenditori) che immette in consumo carburanti contenenti una percentuale di biocarburante inferiore a quella degli obiettivi nazionali stabiliti dalla Legge Finanziaria. L'importo della tassa supplementare è talmente penalizzante, da spingere gli operatori al raggiungimento dell'obiettivo annuale;
- la riduzione dell'accisa sul consumo nazionale di biodiesel e bioetanolo e l'esenzione sul consumo di oli vegetali puri utilizzati come combustibile nei settori agricolo ed ittico. Queste agevolazioni fiscali consentono la compensazione dei costi di produzione per i biocarburanti, che sono superiori rispetto a quelli per i combustibili fossili. Si applica solo ai biocarburanti prodotti da impianti approvati con bando di gara ad evidenza pubblica (i.e. nella Gazzetta Ufficiale dell'UE). Queste agevolazioni hanno inciso per 720 milioni di euro nel 2008 e per 521 milioni

di euro nel 2009. Gli importi sono adeguati ogni anno nell'ambito della Legge Finanziaria, al fine di valutare lo sviluppo delle condizioni economiche del Paese. La Legge Finanziaria del 2009 ha impostato gli importi unitari (€/hl) dell'agevolazione fiscale fino al 2011, stabilendo una loro progressiva diminuzione. Il Governo sta valutando la possibilità di eliminare il regime di supporto a partire dal 2012.

Infine, sono state messe in atto alcune misure per promuovere il rinnovamento del parco auto e, quindi, per sostituire i veicoli con elevati consumi ed emissioni con veicoli nuovi dotati di migliori prestazioni:

- un premio di 1.000 € per la rottamazione nel 2009, che è stato ribassato nel 2010 a 700 € nel primo semestre ed a 500 € nel secondo semestre ed è stato infine rimosso nel 2011;
- un *bonus* che promuove l'acquisto di un veicolo più ecologico. Nel 2010, il *bonus* è variato da 100 a 1.000 € per i veicoli con emissioni inferiori a 155 gCO₂/km. Tale *bonus* raggiunge i 5.000 € per l'acquisto di un veicolo con emissioni inferiori a 60 gCO₂/km (veicoli ibridi o interamente elettrici).

Anno	Benzina	
	Bioetanolo	Bio-ETBE
2004	37	38
2005	37	38
2006	33	33
2007	33	33
2008	27	27
2009	21	21
2010	18	18
2011	14	14

Tabella 61: fluttuazioni dell'agevolazione fiscale imposta ai sensi della Legge Finanziaria dal 2004 (in €/hl) per il bioetanolo ed il bio-ETBE¹³⁹

11.5 Portogallo^{140,141,142}

Il Portogallo sta sviluppando diverse azioni per affrontare e risolvere le problematiche ambientali attraverso l'emanazione di alcune leggi sulle tematiche energetiche. Tali normative si basano sulla "Estrategia Nacional para a Energia" 169/2005 (Strategia Energetica Nazionale), in cui è chiaramente indicato che gli sforzi del Paese sono volti alla sostenibilità, al risparmio energetico ed all'impiego delle migliori tecnologie disponibili, prevedendo nel lungo termine di svilupparne di nuove. Secondo le indicazioni della RED, al 2020 l'obiettivo del Portogallo per la quota di energia dalle FER sul consumo finale lordo di energia è del 31%. Inoltre, la RED come per tutti gli altri Paesi membri impone al Portogallo l'obiettivo del 10% del contributo delle FER nel settore dei trasporti.

Secondo le indicazioni del PANER entro il 2020 il contributo del biodiesel sarà di 450.000 tep e quello complessivo del bioetanolo e del bio-ETBE di 27.000 tep. La Direttiva 2003/30/CE è stata recepita nella legislazione nazionale nel gennaio del 2006 ed i quantitativi previsti di biocarburanti da immettere sul mercato sono stati del 2% nel 2006, del 3% nel 2007 e del 5% nel 2010 (i.e. calcolati sul consumo dell'anno precedente di benzina e gasolio). L'ordinanza ministeriale 353-E emanata il 3 aprile 2009 ha stabilito un sistema di calcolo delle tariffe minime e massime alle quali i biocarburanti saranno acquistati dai produttori portoghesi per l'immissione sul mercato nazionale, sulla base delle quotazioni internazionali.

L'obiettivo del 10% dalle FER nel settore dei trasporti sarà raggiunto con i contributi da parte dei biocarburanti per l'85% e da parte dei veicoli elettrici alimentati a

FER per il restante 15%, utilizzando i fattori di moltiplicazione per l'energia elettrica su strada e per i biocarburanti prodotti dai rifiuti, come previsto dalla RED (89% di biocarburanti e 11% di elettricità da FER).

Per alcuni Paesi come il Portogallo, dove le produzioni agricole ed il commercio dei prodotti alimentari presentano un bilancio in *deficit*, le politiche sui biocarburanti ed il raggiungimento degli obiettivi imposti possono essere considerati degli stimoli per contrastare l'abbandono dell'attività agricola e della vita rurale, riportando gli agricoltori ad occuparsi delle colture tradizionali (e.g. cereali), che, con l'avvio della produzione di biocarburanti di seconda e terza generazione, potrebbero fornire sottoprodotti convertibili in bioetanolo.

La normativa a favore dei biocarburanti (legge n. 21 del 22 marzo 2006), valida fino al 31 dicembre 2010, era basata sull'esenzione delle accise per il biodiesel prodotto sia alla grande, sia alla piccola scala. Essa, inoltre, prevedeva un meccanismo di sostegno ai biocarburanti prodotti dai rifiuti, dai residui, dalle materie prime lignocellulosiche e dalle colture dedicate nazionali non alimentari, al fine di non esercitare pressione sul settore agro-alimentare.

Per quanto concerne i regimi di sostegno agli investimenti, alcuni tipi di progetti per la produzione di biocarburanti, tra cui ad esempio i progetti di innovazione e sperimentazione tecnologica, possono accedere ad un regime specifico di incentivazione, che prevede l'attribuzione di finanziamenti dal 35% al 55% delle spese ammissibili.

Attualmente (situazione a novembre 2011) in Portogallo non vi sono ancora impianti di bioetanolo. La Global Green, una piattaforma internazionale per la promozione delle energie rinnovabili, intende costruire il primo impianto di bioetanolo in Portogallo presso Idanha-a-Nova, coltivando la canna da zucchero nei terreni abbandonati, dove si coltivava il tabacco, prevedendo un investimento complessivo di 140 milioni di euro¹⁴³.

11.6 Croazia¹⁴⁴

La Croazia presenta grandi potenzialità in termini di risorse naturali per la produzione energetica. Per tale ragione, l'importanza delle FER è stata riconosciuta già negli anni '70 e '80 del secolo scorso, quando la Croazia era parte della Jugoslavia. A quel tempo i programmi di ricerca e sviluppo erano focalizzati sulla promozione delle fonti solare, eolica, geotermica e delle biomasse, grazie al sostegno dato da specifiche misure legislative e finanziarie a favore delle tecnologie innovative.

Tuttavia, dopo l'indipendenza dall'Yugoslavia, le FER non sono state al centro delle politiche energetiche croate ed il potenziale delle FER è stato trascurato.

Negli ultimi anni, per scelte politiche legate al processo di adesione all'UE ed alla ratifica del Protocollo di Kyoto, il ruolo delle FER è diventato cruciale ed il Paese ha attuato alcune riforme in ambito energetico sulla base delle indicazioni comunitarie.

Le strategie energetiche della Croazia hanno permesso lo sviluppo di un atteggiamento positivo nei confronti delle FER ed il loro impiego è diventato uno dei principali obiettivi nazionali. Le attuali politiche energetiche sono finalizzate a stimolare il mercato delle FER, in quanto riduce la dipendenza dalle importazioni di energia elettrica e di combustibili fossili e diminuisce le emissioni di GHGs. Nel lungo periodo, lo sviluppo del mercato porterà ad un miglioramento per quanto concerne gli investimenti privati nelle FER, aumentando al contempo i servizi nazionali e favorendo la creazione di nuovi posti di lavoro.

Di recente sono stati tenuti numerosi convegni, dibattiti ed incontri scientifici e divulgativi riguardanti l'uso delle FER. Inoltre, negli ultimi dieci anni, sono state registrate diverse iniziative ed espressioni di interesse ad avviare la produzione energetica da FER da parte di investitori, sia esteri, sia nazionali. Attualmente, tuttavia, non sono riferibili ulteriori sviluppi di queste iniziative, principalmente a causa della mancanza di sostegni finanziari.

Il settore dei trasporti incide circa per il 30% del consumo finale di energia del Paese, con un tasso di crescita elevato, che corrisponde a più del 5% annuo negli ultimi cinque anni. Il trasporto su strada conta, infatti, per il 90%, coprendo la quota maggiore del consumo energetico in questo settore. In considerazione dell'aumento del numero di veicoli, le distanze medie percorse sono aumentate e vi è un minor numero di persone che si spostano per ciascun veicolo; si prevede che questa tendenza continui anche in futuro.

L'impiego di biocarburanti in Croazia non è molto diffuso. La produzione di biodiesel è iniziata appena nel 2006 e la quota di biodiesel sul consumo totale di gasolio nello stesso anno è stata solo dello 0,4%. A causa di una diminuzione nella produzione totale di biodiesel nel 2007, dovuta alla mancanza di materie prime, la quota di incorporazione sul consumo totale di gasolio è scesa allo 0,2% nello stesso anno. Ad oggi, il biodiesel è venduto al consumatore solo nelle stazioni di servizio di proprietà degli stessi produttori e non può essere acquistato presso altre stazioni. Alcune grandi città stanno studiando la possibilità di introdurre il biodiesel come carburante in sostituzione del gasolio nel parco dei mezzi utilizzato per il trasporto pubblico. Nel Comune di Zagabria, ad esempio, è utilizzato biodiesel per il trasporto pubblico dall'inizio del 2007.

Il Governo sostiene la produzione di olio da semi oleaginosi (i.e. colza) per la produzione di biodiesel, sovvenzionando le colture oleaginose. Tuttavia, anche se gli aiuti a favore del colza sono sensibilmente superiori a quelli per altre colture (i.e. di tre quarti più elevati rispetto a quelli per il frumento ed il mais), gli agricoltori sono ancora riluttanti a passare dalle colture tradizionali a quelle energetiche.

[Impianti a bioetanolo e situazione attuale](#)¹⁴⁵

Attualmente non vi è alcuna produzione di bioetanolo in Croazia (situazione a novembre 2011). Nell'ipotesi di avviare la produzione, le materie prime utilizzabili potrebbero essere i cereali (i.e. frumento e mais), in quanto colture tradizionalmente coltivate nel Paese.

Data la mancata organizzazione del mercato cerealicolo e le esportazioni incontrollate del mais, negli ultimi 5 anni sono stati registrati gravi flessioni e discontinuità nella produzione nazionale: i terreni coltivati a frumento sono aumentati del 13%, mentre la superficie coltivata a mais è diminuita del 5%. Al fine di impiegare materie prime di produzione croata per rifornire futuri impianti di bioetanolo, pertanto, dovrebbe aumentare la produzione di mais e frumento (tramite l'ampliamento delle zone coltivate e l'incremento delle rese agronomiche) e dovrebbe essere perseguita una corretta regolamentazione del mercato. Con oltre 3,15 milioni di ettari di SAU, la Croazia ha una forte potenzialità agricola da destinarsi a scopi sia alimentari, sia energetici. Per favorire lo sfruttamento di questa risorsa, possono essere concessi affitti a lungo termine dei terreni per investimenti agro-energetici e si può beneficiare della privatizzazione dei terreni demaniali da parte dello Stato

in aree di interesse, con incentivi agli investimenti ed altre sovvenzioni. La Croazia, come molti altri Paesi della penisola balcanica, possiedono un potenziale agricolo ampiamente inespresso ed in stato di abbandono. La sfida principale è rappresentata dal cercare di utilizzare i numerosi piccoli appezzamenti che erano privati e sono diventati statali durante il periodo socialista.

11.7 Dove risulta trasferibile il modello?

A fronte delle situazioni nazionali brevemente esposte nel precedente paragrafo, seguono alcune considerazioni di massima sulla trasferibilità del modello sviluppato per l'UE nei Paesi esterni al consorzio.

Le politiche energetiche e gli investimenti in **Francia** hanno permesso di raggiungere gli obiettivi nazionali previsti per il 2010 con due anni di anticipo e di vantare attualmente 12 impianti di bioetanolo in esercizio. Il bioetanolo necessario a coprire il fabbisogno nazionale deriva principalmente dal mercato interno e vi sono diverse misure legislative a favore dei biocarburanti, quali gli incentivi alla produzione, l'agevolazione sulle accise e la promozione dell'acquisto di veicoli ecologici. La Francia presenta condizioni climatiche adatte alla coltivazione del sorgo zuccherino che potrebbe dare buone rese in biomassa. Tuttavia, la competizione con i grossi gruppi industriali che producono bioetanolo dai cereali è molto forte. Per questo motivo, al fine di sviluppare il modello proposto, dovrebbero essere prioritari la sensibilizzazione ed il coinvolgimento degli agricoltori nell'intera filiera di produzione, ad esempio tramite la creazione di cooperative in cui ogni agricoltore dedica parte dei suoi terreni alla coltivazione del sorgo zuccherino per rifornire gli impianti decentralizzati, incrementando il proprio reddito con i ricavi derivanti dalla vendita di bioetanolo. L'energia elettrica in Francia è prodotta principalmente dalla fonte nucleare e gli incentivi a favore della biomassa non sono molto elevati; di conseguenza, le unità dell'impianto preposte alla valorizzazione dei sottoprodotti beneficiano di una scarsa remunerazione, penalizzando l'analisi economica dell'investimento. La principale leva a favore dell'applicazione del modello è, dunque, la vendita del bioetanolo, di cui gli agricoltori sarebbero in quota parte beneficiari.

La **Romania** ad oggi conta 10 impianti di bioetanolo, di cui alcuni già avviati ed altri in corso di realizzazione, ma è carente di stazioni di rifornimento. Inoltre, manca l'informazione in merito all'uso dei biocarburanti, a cui negli ultimi anni si sta cercando di porre rimedio con apposite azioni di divulgazione. Il bioetanolo è prodotto principalmente dal mais e gli agricoltori beneficiano di aiuti economici per le colture energetiche. L'introduzione del sorgo zuccherino in Romania è favorita sia dalle condizioni pedo-climatiche, che sono adatte alla sua coltivazione, sia dalla disponibilità di estese superfici agricole non utilizzate, per le quali gli agricoltori incorrono annualmente in sanzioni pecuniarie. Il Governo, inoltre, ha avviato un programma di sviluppo rurale con particolare attenzione alle FER, promuovendo l'introduzione di nuove colture dedicate a scopi energetici. Queste considerazioni suggeriscono che in Romania il modello sviluppato nel progetto possa essere recepito ed applicato.

In **Ungheria** l'impiego del bioetanolo nel settore dei trasporti è in costante crescita. La legislazione nazionale impone delle sanzioni per il mancato raggiungimento degli obiettivi previsti in relazione all'impiego delle FER nei trasporti ed al contempo incentiva il raggiungimento di tali obiettivi. Altri finanziamenti sono previsti per l'in-

stallazione di impianti di produzione di bioetanolo. Il PANER prevede una crescita nel consumo di bioetanolo al 2020 e l'avvio di nuovi impianti alimentati a granella di mais. Si ritiene che il modello basato sul sorgo zuccherino possa essere applicato in Ungheria, in virtù della rispondenza delle condizioni pedo-climatiche, della disponibilità di terreni e della presenza di incentivi nel settore dei biocarburanti. Per la conversione dal mais al sorgo zuccherino può essere funzionale la leva rappresentata dai minori *input* agronomici e, dunque, dal minor costo colturale, in grado di ampliare l'utile di impresa dell'azienda agricola.

Sebbene la **Bulgaria** vanti alcuni impianti di produzione di bioetanolo, la gran parte del biocarburante prodotto è esportata nel resto dell'Europa (i.e. nel 2009 sono state prodotte circa 20.000 tonnellate di bioetanolo, ma sono state utilizzate solamente 350 tonnellate per il mercato nazionale). Nel 2011 il Governo ha bloccato la miscelazione al 5% v/v dei biocarburanti nelle benzine e nel gasolio, in quanto tali miscele risultavano più costose sia per i produttori, sia per i consumatori. Questa politica ha accresciuto l'incertezza degli agricoltori e degli investitori nel settore dei biocarburanti, poiché la domanda interna risulta depressa e sono seriamente compromesse le previsioni del mercato. La trasferibilità del modello sviluppato sconta questa incertezza, ma un elemento, che ne mantiene alta l'applicabilità, è legato alla remunerazione dell'energia elettrica dai sottoprodotti: infatti, la normativa bulgara prevede incentivi pari a 84-110 €/MWh per 15 anni ed, inoltre, la pressione fiscale nel Paese è bassa.

Nonostante in **Portogallo** le FER (i.e. eolico, idroelettrico) coprano delle importanti quote di produzione di energia elettrica, non vi è una produzione di biocarburanti e la domanda interna è basata sull'importazione. Il comparto agricolo portoghese versa in uno stato di generale abbandono e gli interventi statali stanno tentando di contrastare questa situazione, incentivando la produzione agro-alimentare (i.e. mais, frumento). Al contempo il Governo non sta investendo per promuovere la realizzazione di impianti di bioetanolo. A fronte di queste considerazioni il modello sviluppato nell'ambito del progetto non appare trasferibile in Portogallo nel breve termine.

In **Croazia** negli ultimi anni si sta assistendo ad un recupero dell'interesse nei confronti delle FER, anche nel settore dei trasporti, che conta per il 30% del consumo finale di energia del Paese ed evidenzia un elevato tasso di crescita. Tuttavia, il consumo di biocarburanti è molto basso e mancano le materie prime per la loro produzione. Il Governo sta tentando di rimediare a questa situazione, mettendo a disposizione incentivi per le colture energetiche superiori a quelli per le colture agro-alimentari. Nonostante queste misure di aiuto, gli agricoltori si dimostrano molto riluttanti a cambiare le coltivazioni tradizionali. Attualmente non sono presenti impianti di produzione di bioetanolo (situazione a novembre 2011). Questi elementi suggeriscono per il modello sviluppato nell'ambito del progetto una bassa trasferibilità in Croazia, almeno nel breve termine.

12. ESPERIENZE MATURATE NEL CORSO DELLE VISITE

La principale strategia adottata per consolidare le conoscenze in merito alla produzione del bioetanolo dal sorgo zuccherino è data dal confronto con le realtà in cui questa filiera è già avviata.

In questa prospettiva sono state realizzate delle visite presso degli istituti di ricerca in campo agrario, dove sono selezionati germoplasmi 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 avviata nei Paesi membri, a causa di alcune barriere non-tecnologiche, che il progetto SWEETHANOL intende contribuire a rimuovere.

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

Le informazioni acquisite, riportate brevemente nei seguenti paragrafi, hanno costituito una parte fondamentale del *background* per la discussione con gli *stakeholders* in merito al modello di filiera e rappresentano degli elementi essenziali per l'avvio di iniziative imprenditoriali in questo settore.

12.1 India

L'India è stata scelta come meta per le visite studio, in quanto è uno dei pochi Paesi in cui il sorgo zuccherino è attualmente utilizzato come coltura alcoligena. Nel novembre del 2007 ad Hyderabad, nello stato dell'Andhra Pradesh, è stata avviata l'attività di M/s. Rusni Distilleries Ltd e nel dicembre 2008 è stato inaugurato l'impianto di 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 agro-alimentare, poiché un quarto della popolazione vive 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 agro-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 altri substrati, 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 l'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 ad 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, ed 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 com-

prende 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.

La M/s. Rusni Distilleries Ltd di Hyderabad è stata 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



Figura 35: unità di separazione solido-liquido presso ICRISAT, Hyderabad, Andhra Pradesh (India)¹⁴⁶



Figura 36: DCU nel distretto di Medak, Andhra Pradesh (India)¹⁴⁷

prevede le fasi di pastorizzazione dell'estratto a 100 °C per 30 minuti e di fermentazione per 34-45 ore.

La M/s. Rusni Distilleries Ltd acquista 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.



Figura 37: sezione di concentrazione del succo zuccherino presso la DCU del distretto di Medak, Andhra Pradesh (India)¹⁴⁸

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 4 presse a 3 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 fermentazio-

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO: 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.

ne è inoculato con i lieviti. Nel caso si utilizzi l'estratto concentrato, ne è richiesta la diluizione fino a valori di 12 °Brix. 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.

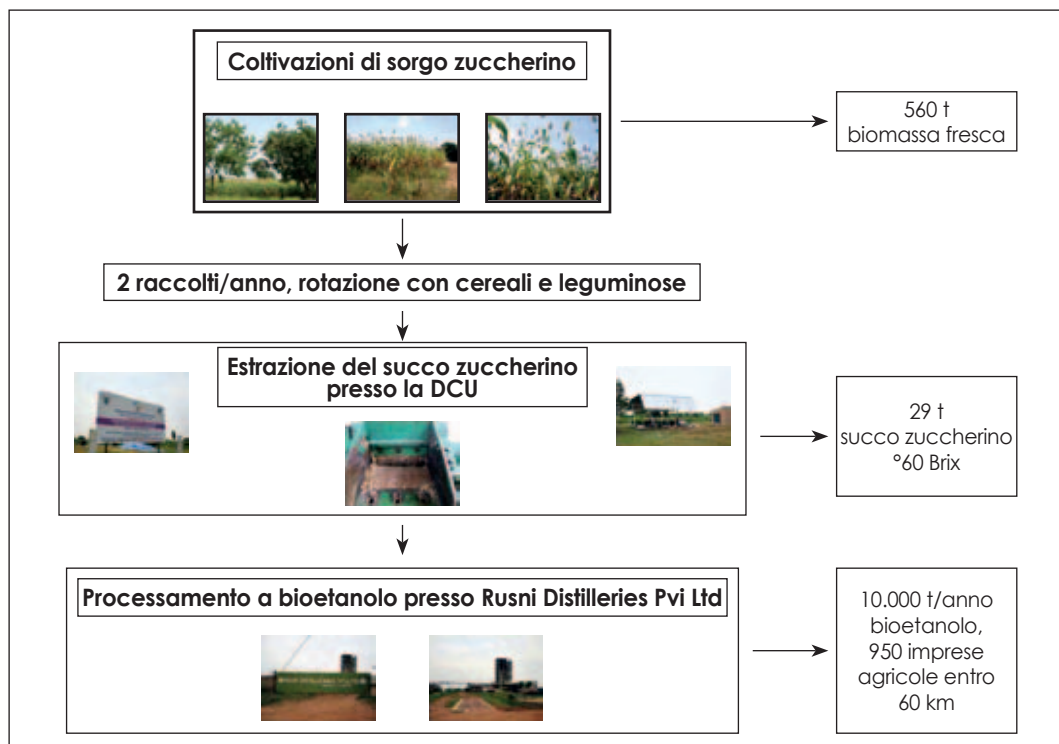


Figura 38: schema del modello di filiera sviluppato da ICRISAT ¹⁴⁹

12.2 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, 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



Figura 39: coltivazioni di canna da zucchero ed impianto a bioetanolo nella regione di Piura (Perù)¹⁵⁰



Figura 40: impianto a bioetanolo a Sullana (Perù)¹⁵¹

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.



Figura 41: raccolta della canna da zucchero a Sullana (Perù)¹⁵²

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.

12.3 Spagna

Le visite in Spagna hanno avuto come destinazioni l'impianto di bioetanolo che Abengoa Bioenergy 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 Bioenergy in Spagna sono:

- o Biocarburantes Castilla y León (Babilafuente, provincia di Salamanca);
- o Bioetanol Galicia (A Coruña, provincia di Galicia);
- o 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 bioetanol anidro destinato alla sintesi di bio-ETBE e gli stabilimenti sono prossimi ai porti, da cui provengono le materie prime, ed all'impianto di conversione in bio-ETBE.

L'impianto di Babilafuente è stato progettato per produrre bioetanol 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 Bioenergy 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 Bioenergy alla filiera del bioetanol 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 tagli 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 bioetanol.



Figura 42: Impianto per la produzione di bioetanol da cereali di Abengoa Bioenergy a Babilafuente (Andalusia)¹⁵³



Figura 43: coltivazione del sorgo zuccherino dell'AGRO-energy group del Politecnico di Madrid¹⁵⁴



13. ESPERIENZE PILOTA IN UE

13.1 Il Gruppo I.M.A. - Bertolino in Italia^{155,156}

In Italia, il principale impianto di produzione di bioetanolo si trova a Trapani, in Sicilia, ed è di proprietà di I.M.A. Industria Meridionale Alcolici S.r.l. di proprietà del Gruppo Bertolino, dove recentemente è stato testato alla scala pilota il sorgo zuccherino come coltura alcoligena.

I.M.A. è stata fondata nel 1982, anno in cui è stata avviata l'attività di movimentazione e stoccaggio di alcol nel deposito costiero di proprietà sito a Trapani di fronte al porto, ed al quale il terminale di stoccaggio è collegato mediante 2 condutture (*pipelines*) per semplificare le operazioni di carico e scarico delle navi.

Nel 1990 la società ha investito nella costruzione del più grande impianto, primo in Italia, a setacci molecolari, per la produzione di alcol anidro con specifica 99,9% v/v, dotato di una capacità pari a 300 m³/giorno. Da allora, I.M.A. ha aumentato la sua capacità di stoccaggio raddoppiandola ed attualmente conta di un parco serbatoi capace di stoccare fino a 36.000 m³, oltre ad aver incrementato la capacità produttiva fino a 600 m³/giorno di produzione di bioetanolo. Vi sono, infatti, 26 serbatoi collegati alle due *pipelines* ed agli impianti di produzione. Il bioetanolo prodotto è stoccato in serbatoi appositamente predisposti, diversi da quelli utilizzati per stoccare l'alcol grezzo da disidratare. Il pompaggio per il carico/scarico delle navi è di 300 m³/h.

La posizione di I.M.A. è strategica, in quanto Trapani è al centro del Mediterraneo quale via di passaggio per le navi da carico provenienti dal Mar Nero e dirette verso lo Stretto di Gibilterra e vice versa; inoltre, la collocazione risulta strategica anche in Italia. I.M.A. è riconosciuta come deposito costiero accreditato dal Ministero italiano dei trasporti e della navigazione, è citata nelle carte di navigazione ed è anche il primo impianto in Italia ad essere riconosciuto dall'UE (art.92 del regolamento CE 2000/1623).

L'impianto di I.M.A. è l'unico che produce bioetanolo per la miscelazione con le benzine e per la sintesi del bio-ETBE; gli altri impianti di etanolo in Italia producono, invece, etanolo per usi industriali e non per il settore dei trasporti (i.e. Gruppo Cavino e Silcompa S.p.A.). L'esperienza maturata da I.M.A. ha attirato l'attenzione delle case automobilistiche e recentemente la BMW (i.e. BMW Sustainability Press Experience) ha visitato l'impianto¹⁵⁷.

Nello stabilimento di I.M.A., il bioetanolo è importato come alcol grezzo da disidratare e trasformare in bioetanolo ad elevato grado di purezza. I.M.A. acquista l'etanolo grezzo dalla Turchia, dalla Romania e dalla Spagna. Negli scorsi anni i principali fornitori sono stati il Brasile ed il Pakistan, ma ad oggi il margine operativo da questi Paesi è molto ridotto. Attualmente l'impianto di I.M.A. produce bioetanolo solamente per rifornire gli impianti di conversione del bioetanolo in bio-ETBE, anche se la qualità del prodotto sarebbe compatibile con la miscelazione con le benzine. In Italia, per la miscelazione, vi è una difficoltà legata al fatto che i serbatoi delle raffinerie hanno un battente di acqua, dovuto al trasporto dei prodotti petroliferi su nave. Per evitare che l'etanolo assorba acqua nel corso dello stoccaggio nei serbatoi, si sta valutando l'opportunità di miscelare le benzine all'etanolo diretta-

mente in rete: in questa ipotesi il prodotto miscelato andrebbe direttamente alla stazione di rifornimento per il consumo finale ed ogni stazione sceglierebbe se erogare le miscele E5 o E10. In altri Paesi questa situazione non avviene, poiché non vi è impiego di acqua nemmeno per il lavaggio dei serbatoi.

Il sorgo zuccherino è stato scelto come coltura per la produzione di bioetanolo nell'ambito dell'esperienza pilota di I.M.A. grazie alla buona adattabilità di tale coltura alle condizioni pedo-climatiche della Sicilia. Il modello promosso da I.M.A. si basa su tecnologie per produrre bioetanolo di prima e seconda generazione ed è condotto in collaborazione con il gruppo Mossi & Ghisolfi (i.e. Chemtex Italia S.p.A.); i dettagli del processamento (e.g. sezioni tecnologiche, bilancio energetico) sono coperti da segreto industriale. In merito all'approvvigionamento della biomassa, la distanza massima dall'impianto di processamento è stata fissata in 50 km. Nei tre anni di sperimentazione condotta da I.M.A. in Sicilia, le rese in biomassa in regime irriguo sono risultate buone.

L'iniziativa pilota avviata da I.M.A. è fondata sul principio di garantire un adeguato profitto agli imprenditori agricoli locali, in modo da motivarli alla partecipazione e da garantire la sicurezza dei rifornimenti di biomassa. Il modello prevede che gli agricoltori dedichino alla produzione di sorgo zuccherino terreni non destinati a coltivazioni agro-alimentari (i.e. terreni marginali), senza sottrarli, quindi, alle colture tradizionali (i.e. agrumeti o vigneti, tipici in Sicilia). L'impianto processa la biomassa ottimizzando la valorizzazione dei sottoprodotti (i.e. produzione di biogas e CHP dai sottoprodotti), in modo da economizzare il processo industriale. Si prevede di ripartire i profitti tra l'industria (i.e. il proprietario dell'impianto) e gli agricoltori, che in questo modo possono contare su una doppia voce di ricavo: la vendita della biomassa e la ripartizione degli utili dalla vendita dell'etanolo e dell'energia elettrica prodotta. Nel modello di I.M.A. il processamento del sorgo zuccherino si alterna con quello di altre biomasse (i.e. produzione di bioetanolo di seconda generazione) per garantire il funzionamento dell'impianto in continuo. Infatti, l'impianto di produzione dovrebbe essere a pieno regime per 330 giorni/anno (i.e. giorni di funzionamento necessari alla sostenibilità economica dell'impianto) e per questa ragione la diversificazione della materia prima da processare è molto importante anche nella prospettiva di assicurare la produzione in caso di annate agrarie non buone.

L'esperienza pilota di I.M.A. è una realtà molto importante per l'applicazione del modello sviluppato nell'ambito del progetto e contestualizzato all'Italia, ma costituisce anche un esempio da trasferire in altri Paesi dell'UE, per favorire la produzione di bioetanolo *in loco* riducendo l'importazione e coinvolgendo degli agricoltori nell'intera filiera.

14. CONCLUSIONI

Le considerazioni emerse nel corso delle discussioni tecniche, amministrative ed intersettoriali, dopo essere state condivise e confrontate tra i Paesi del consorzio, permettono di sintetizzare alcune conclusioni.

In **Italia**, l'applicabilità del modello sviluppato sconta le seguenti condizioni:

- il bioetanolo di prima generazione prodotto dal sorgo zuccherino non è sufficientemente supportato dagli incentivi attuali (i.e. +10%) e non risulta competitivo, se comparato con l'etanolo di seconda generazione (+100%);
- la premialità per la produzione di energia elettrica dai sottoprodotti (i.e. bagassa, borlanda) permette una buona remuneratività, in quanto l'elettricità prodotta dalle FER beneficia della tariffa omincomprensiva che garantisce condizioni di mercato fisse e riduce il rischio d'impresa. I valori della nuova tariffa omincomprensiva per ogni FER saranno determinati nei prossimi mesi e potranno confermare questa indicazione di massima, così come prevista dal d.lgs. 28/2011;
- la premialità per la generazione di energia termica è promettente grazie ai Certificati Bianchi, per i quali il decreto attuativo del d.lgs. 28/2011 in uscita nei prossimi mesi determinerà i valori e la durata.

Di conseguenza, il modello sviluppato è coerente con le strategie italiane per l'impiego delle FER nella generazione elettrica e termica, mentre questa affermazione non è altrettanto vera per il bioetanolo di prima generazione.

È molto importante sottolineare che la situazione attuale non è ancora del tutto definita, poiché persistono alcune importanti variabili: in particolare, i valori della tariffa omincomprensiva ed i Certificati Bianchi possono influenzare significativamente la fattibilità economica del modello. La situazione corrente dovrebbe essere definitivamente chiarita nei primi mesi del 2012.

Alcuni rappresentanti del MIPAAF e dell'MSE sono stati invitati a partecipare alle tavole di discussione previste dal progetto, in modo da completare la disamina dei punti di vista degli altri *stakeholders*. Avendo compreso e condiviso l'approccio a favore della produzione decentralizzata promossa dal progetto, nei tavoli di lavoro per la stesura dei decreti attuativi del d.lgs. 28/2011 i rappresentanti ministeriali coinvolti potranno riferire in merito al modello in esame ed sostenerlo.

Per quanto riguarda le esperienze esistenti in Italia e la loro evoluzione, I.M.A. è considerata uno degli *stakeholders* più interessati, che potranno beneficiare dei risultati del progetto.

In **Grecia** attualmente non è prodotto bioetanolo e l'obiettivo imposto dall'UE sul contributo delle FER nel settore dei trasporti è raggiunto solo con l'impiego del biodiesel.

Con la legge 3423/2005 di recepimento della Direttiva 2003/30/CE sono stati consentiti la produzione, l'importazione ed il commercio dei biocarburanti. Focalizzandosi solo sul biodiesel, il Paese mostra un ritardo nella produzione di bioetanolo da introdurre nelle miscele con le benzine.

Valutando attentamente la situazione attuale, alcuni importanti fattori di successo potrebbero influenzare la redditività della filiera di produzione del bioetanolo.

Uno di questi fattori è il quadro normativo nazionale che prevede politiche di sostegno per garantire la sostenibilità economica degli impianti di bioetanolo; tuttavia,

sarebbero necessari maggiori incentivi con la concomitante riduzione delle questioni burocratiche al fine di motivare gli investitori a realizzare nuovi impianti.

Un altro importante fattore è la remunerazione della materia prima nell'ambito della filiera corta. Per garantire la sicurezza nell'approvvigionamento, agli agricoltori dovrebbe essere garantita tramite accordi contrattuali la vendita della loro intera produzione ad un prezzo fisso, in modo da assicurare un profitto di base minimo, prevedendo di implementare i loro guadagni con parte dei ricavi derivanti dalla vendita di bioetanolo e dell'energia elettrica. La scelta degli agricoltori a favore del sorgo zuccherino, peraltro, beneficia dei modesti costi di produzione, grazie alla bassa richiesta idrica e di fertilizzanti. Inoltre, la disponibilità delle più recenti tecnologie può influenzare la redditività grazie alle più alte rese ottenibili in biomassa, bioetanolo ed energia.

In conclusione, in Grecia si delinea uno scenario a favore degli investimenti nell'agro-energia, anche in considerazione dell'alto potenziale agricolo del Paese. Inoltre, l'elevata FIT per l'energia prodotta dalla biomassa, che è garantita per 20 anni, ed il quadro legislativo molto favorevole contribuiscono a rassicurare gli investitori.

In **Spagna**, la normativa che prevede la miscelazione del bioetanolo nelle benzine e la produzione di bio-ETBE è ben definita e strutturata da molti anni e ha permesso lo sviluppo di numerosi progetti e l'installazione di impianti di produzione di bioetanolo, come quelli di Cartagena, A Coruña e Salamanca, appartenenti ad Abengoa Bioenergy. Uno degli aspetti normativi, che sono risultati strategici a questo scopo, è stata l'esenzione delle accise per i biocarburanti in miscela alle benzine o impiegati per la produzione di bio-ETBE. Al contempo, la stima del risparmio nelle emissioni di GHGs sulla base delle Direttive 2009/30/CE e 2009/28/CE (i.e. 35%) ha confermato la sostenibilità del bioetanolo ottenuto dalle colture utilizzate in Spagna, assicurando anche dopo il 1° gennaio 2012 la continuità nel sostegno normativo e nell'agevolazione fiscale. Infatti, sebbene l'agevolazione fiscale per il bioetanolo in miscela ai carburanti fossili sia in vigore fino alla fine del 2012, è plausibile che la sua durata sarà estesa anche dopo questo termine, in modo da dare continuità alla nascente politica di tutela della produzione nazionale di biocarburanti.

Per quanto attiene al sostegno dell'energia elettrica prodotta dalle FER, in Spagna vige una legislazione che ne disciplina la tariffa, promuovendo in particolare gli impianti cogenerativi alimentati con colture energetiche dedicate e biomasse residuali. Nell'ipotesi di valorizzare a scopo energetico i sottoprodotti di processamento del sorgo zuccherino e di beneficiare di questo regime di aiuto, il 50% dei ricavi potrebbero derivare dalla vendita dell'energia elettrica, contribuendo significativamente alla remunerazione del progetto di investimento. In questa ipotesi il tempo di ritorno dell'investimento è stimato in 4-6 anni. Tuttavia, la crisi economica attuale e la situazione contingente stanno esercitando un deciso impatto sullo sviluppo delle FER in Spagna e gli incentivi a favore dell'energia prodotta dalle FER in nuovi impianti sono stati sospesi per due anni. La valutazione degli investimenti, dunque, deve considerare questa penalizzazione, per quanto transitoria.

Nel sintetizzare queste tendenze, si ritiene che il settore del bioetanolo in Spagna continuerà a godere di un buon sviluppo in Spagna nei prossimi anni, soprattutto in virtù della significativa crescita attesa per la domanda di biocarburante alimentata dall'aumento nella miscelazione con le benzine (dal 5% al 10%, in v/v). Un certo freno a questo andamento potrà derivare dall'aumento del prezzo del petrolio, causato dall'instabilità di al-

cuni Paesi produttori, e dalla contrazione nei consumi per effetto della crisi economica, ma tale flessione non è ritenuta sostanziale. In merito alle materie prime da utilizzare per la produzione interna, il sorgo zuccherino si dimostra una valida alternativa ai substrati alcoligeni attualmente processati in Spagna (i.e. cereali), poiché evidenzia dei bilanci energetico ed economico positivi ed un elevato risparmio nelle emissioni di GHGs, che, a differenza dell'orzo e del frumento, assicura il rispetto dei criteri vigenti dal 2017 e dal 2018 (i.e. 50% e 60%, rispettivamente).



15. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E FONTI

- 1 ARCO Chemical Europe (1996) and www.eere.energy.gov
- 2 ARCO Chemical Europe (1996) and www.eere.energy.gov
- 3 A.A.V.V., 2006, Energia dalle biomasse. Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali, AREA Science Park (a cura di), Progetto Novimpresa
- 4 Modified by CETA, Mosile et al., 2005, Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass, *Bioresource Technology*, vol. 96:673-686
- 5 Ferrari G., 2001, Motori a combustione interna, Edizioni il capitello, Torino
- 6 Giocosa D, 1990, Motori endotermici, Hoepli Milano
- 7 www.energywatch.org.uk, Assessment of bioethanol and biogas initiatives for transport in Sweden, Background information for the EU project PREMIA
- 8 ARCO Chemical Europe, 1996, e www.eere.energy.gov
- 9 Leopold R., 2005, Bioethanol, the Saab way, Presentation for Clean Vehicles and Fuels, Stockholm
- 10 Ford Flexifuel vehicles in Europe, www.media.ford.com
- 11 Tyson, 1993, Review of greenhouse gas life cycle emissions, air pollution impacts and economics of biomass production and consumption in Scotland, www.biodiesel.co.uk
- 12 2003, A testing based assessment to determine impacts of 20 % ethanol gasoline fuel blend on the Australian passenger vehicle fleet, www.environment.gov.au
- 13 Tyson, 1993, Review of greenhouse gas life cycle emissions, air pollution impacts and economics of biomass production and consumption in Scotland", www.biodiesel.co.uk
- 14 CE 2011, Accompanying document to the Communication from the Commission to the European Parliament and the Council {COM(2011)31 final} of 31st January 2011
- 15 2011, Biofuels and in direct land use change, October 2011
- 16 2011, Biofuels Barometer, EurObserver, July 2011
- 17 2011, Biofuels Barometer, EurObserver, July 2011
- 18 http://www.anatoliki.gr/anatoliki/upload/en/Law%203423_2005.pdf
- 19 CRES – Centre for Renewable Energy Sources and Saving (<http://www.cres.gr>)
- 20 <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=CEYdUkQ719k%3D&tabid=37>
- 21 http://www.gsis.gr/teloneia/xrisimes_plirofories_teloneia/efk/efk2.htm
- 22 <http://www.investingreece.gov.gr>
- 23 <http://www.startupgreece.gov.gr/sites/default/files/Investment%20Incentives%20Law%203908.pdf>
- 24 MITyC / IDAE
- 25 NREAP 2011-2020
- 26 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
- 27 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
- 28 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
- 29 Fernández J., Curt M.D., Martínez M., Olalla L., González J., 1996, Perspectivas del cul-

- tivo de sorgo azucarero para bioetanol en España en base a resultados varietales en ensayos multilocales, ITEA 17(extra): 73-81
- 30 Fernández J. and Curt M.D., 2005, New energy crops for bioethanol production in the Mediterranean region, *International Sugar Journal*, 107(1283): 622-628
 - 31 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
 - 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 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
 - 34 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
 - 35 Petrini C., Belletti A., Salamini F., 1993, Breeding and growing sweet sorghum for fuel, Chapter 1. Morphology and Reproduction. Elsevier Science Publishers BN
 - 36 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
 - 37 Sánchez-Monje E. 2001, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, Sánchez-Monje E.: *Plantas de interés agrícola. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: 1132-1134*
 - 38 Smith, C.W., Frederiksen, R.A. (Eds.), 2000, *Sorghum. Origin, history, technology and production*, Wiley Series in Crop Science. ISBN 0471242373: 840
 - 39 CETA
 - 40 CETA
 - 41 CETA
 - 42 Belletti A., Petrini C., Minguzzi A., Landini V., Piazza C., Salamini F., 1991, "Yield potential and adaptability to Italian conditios of sweet sorghum as biomass crop for energy production, *Maydica* 36: 283-291
 - 43 Berenji J. and Dahlberg J., 2004, Perspectives of sorghum in Europe, *J. Agronomy & Crop Science* 190: 332-338
 - 44 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
 - 45 Petrini C., Belletti A., Salamini F., 1993, Breeding and growing sweet sorghum for fuel, Chapter 1. Morphology and Reproduction. Elsevier Science Publishers BN
 - 46 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
 - 47 Sánchez-Monje E., 2001, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, Sánchez-Monje E., *Plantas de interés agrícola. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: 1132-1134*
 - 48 Smith, C.W. and Frederiksen, R.A. (Eds.), 2000, *Sorghum. Origin, history, technology and production*, Wiley Series in Crop Science. ISBN 0471242373. 840 pp
 - 49 CETA
 - 50 CETA
 - 51 CETA
 - 52 CETA
 - 53 CETA
 - 54 CETA

- 55 Guiyang 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
- 56 Janssen R., Rutz D., Branconnier 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-Garcia F., 2010, Sweet sorghum - An alternative energy crop, Proceedings of the 18th European Biomass Conference and Exposition, Lyon, France: 200-206
- 57 Petrini C., Belletti A., Salamini F., 1993, Breeding and growing sweet sorghum for fuel, Chapter 1. Morphology and Reproduction. Elsevier Science Publishers BN
- 58 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
- 59 A.A.V.V., 1943, L'Alcole. Prospettive Autarchiche, Quaderni, Anno IV, n°11
- 60 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)
- 61 Patanè C., Copani V., Cosentino S., 1997, Yield potential evaluation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes in the Mediterranean environment, Proceedings of the 1st International Sweet Sorghum Conference, Beijing, China, 14-19 September 1997: 444-455
- 62 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
- 63 Bortolazzo E., Ligabue M., Davolio R., Ruozzi F., 2010, Il sorgo: una pianta di sicuro interesse. I supplementi di Agricoltura, n° 41: 17-20.
- 64 Reggiani R., Amaducci S., 2010, Le prove agronomiche di raccolta e di stoccaggio del sorgo da biomassa, Proceedings of the Final Conference of "Progetto Bioetanolo di seconda generazione - I risultati di un biennio di sperimentazione", Parma, Italy, 28th September 2010
- 65 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
- 66 Assirelli A., 2010, Processo di disidratazione del sorgo in campo, Proceedings of the Technical Seminars EIMA Energy, Bologna, Italy, 11th Novembre 2010
- 67 Braconnier S., Trouche G., Gutjhard S., Luquet D., Reddy B., Rao S., Schaert R., Parella R., Zacharias A., Rettenmaier N., Reinhardt G., Monti A., Zegada-Lizarazu W., Amaducci S., Marocco A., Snijman W., Terblanche H., Zavala-Garcia F., Janssen R., Rutz D., 2011, Definition of new sorghum ideotypes to meet the increasing demand of bioenergy, Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exposition, Berlin, Germany, 6-10 June 2011
- 68 Di Candilo M., Ceotto E., Del Gatto A., Mangoni L., Pieri S., Dirozzi M., 2010, Valutazione delle caratteristiche produttive ed energetico-qualitative di varietà di sorgo da fibra e da zucchero in ambienti del centro-nord Italia, *Dal Seme* n°3: 47-56.
- 69 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
- 70 Picco D., Pin M., Vecchiet A., Balducchi R., Di Natale G., Piscioneri L., Fornasier F., Mondini C., Tomat E., 2011, Sweet sorghum: integrated bioethanol and biogas production from a high water-use efficient energy crop, Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany, 6-10 June 2011, ISBN 978-88-89407-55-7: 1905-1912.
- 71 <http://web.etaflorence.it/51.0.html?&L=1>

- 72 Dalianis C., Alexopoulou E., Dercas N., Sooter C., 1996, Effect of plant density on growth, productivity and sugar yields of sweet sorghum in Greece. Biomass for Energy and Environment, Proceedings on the 9th European Bioenergy Conference, Vol. 1, Copenhagen, Denmark, June 1996
- 73 Dalianis C., Sooter C.A., Christou M., 1994, Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) biomass productivity, sugar yields and ethanol potential in Greece. Proceedings of the 8th European Biomass Conference "Biomass for Energy Environment Agriculture and Industry", Vienna, Austria, October 1994
- 74 Dalianis C., 1996, Adaption, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions, Proceedings of the 1st European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, Toulouse, France, April 1996: 15-25
- 75 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
- 76 Dercas N., Panoutsou C., Dalianis K., 1995, Radiation use efficiency, water and nitrogen effects on sweet sorghum productivity, Chartier *et al.* editors, Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industrial. Proceedings 8th EU Biomass Conference, Oxford, UK
- 77 Kavadas G., Dercas N., Nikolaou A., 2000, Evaluation of productivity, water and radiation use efficiency of two sweet sorghum varieties under Greek conditions, Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, June 2000
- 78 Dercas N., Panoutsou C., Dalianis C., 1996, Water and nitrogen effects on sweet sorghum growth and productivity, Biomass for Energy and Environment, Proceedings on the 9th European Bioenergy Conference, Vol. 1, Copenhagen, Denmark, June 1996
- 79 Curt M.D., Sanz M., Esteban B., Sánchez G., Barreiro M., Fernández J., 2011, Assessment of commercial varieties of sorghum as short cycle crops for biomass and sugars production, In: Faulstich M., Ossenbrink H., Dallemand J.F., Baxter D., Grassi A. and Helm P (Ed.), Proceedings of the 19th European Biomass Conference. Berlin (Germany) 6-11 July 2011, p.157-163, ISBN 978-88-89407-55-7
- 80 Curt M.D., Fernández J., Olalla L., González A., 1996, Summary of 5 years varietal experimentation on sweet sorghum in Spain, Proceedings of the 1st European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, Toulouse, France, 1-3 April 1996
- 81 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
- 82 CETA
- 83 S. Braconnier, G. Trouche, S. Gutjhard, D. Luquet, B. Reddy, Rao S., Schaert R., Parella R., Zacharias A., Reftenmaier N., Reinhardt G., Monti A., Zegada-Lizarazu W., Amaducci S., Marocco A., Snijman W., Terblanche H., Zavala-Garcia F., Janssen R., Rutz D., 2011, Definition of new sorghum ideotypes to meet the increasing demand of bioenergy, Proceedings of 19th European Biomass Conference and Exposition, Berlin, Germany, 6-10 June 2011
- 84 Picco D., Pin M., Vecchiet A., Balducchi R., Di Natale G., Piscioneri I., Fornasier F., Mondini C., Tomat E., 2011, Sweet sorghum – Integrated bioethanol and biogas production from a high water use efficiency energy crop, Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exposition, Berlin, Germany, 6-10 June 2011 (ISBN 978-88-89407-55-7): 1905-1912
- 85 Pin M., Picco D., Vecchiet A., Macchia E., 2011, Sweet sorghum to produce in Italy sustainable ethanol, electricity and heat in decentralised small-medium biorefinery, Proceedings of the 19th International Symposium of Alcohol Fuels, Verona, Italy, 10-14 October 2011
- 86 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

- 87 CETA
- 88 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
- 89 CARTIF Foundation
- 90 CARTIF Foundation
- 91 CARTIF Foundation
- 92 CARTIF Foundation
- 93 CARTIF Foundation
- 94 CARTIF Foundation
- 95 CARTIF Foundation
- 96 CARTIF Foundation
- 97 CARTIF Foundation
- 98 CARTIF Foundation
- 99 Picco D., Pin M., Vecchiet A., Balducchi R., Di Natale G., Piscioneri L., Fornasier F., Mondini C., Tomat E., 2011, Sweet sorghum: integrated bioethanol and biogas production from a high water-use efficient energy crop, *Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exhibition*, Berlin, Germany, 6-10 June 2011, ISBN 978-88-89407-55-7: 1905-1912
- 100 A.A.V.V., 2006, *Energia dalle biomasse. Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali*, Progetto Novimpresa
- 101 Picco D., Pin M., Vecchiet A., Balducchi R., Di Natale G., Piscioneri L., Fornasier F., Mondini C., Tomat E., 2011, Sweet sorghum: integrated bioethanol and biogas production from a high water-use efficient energy crop, *Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exhibition*, Berlin, Germany, 6-10 June 2011, ISBN 978-88-89407-55-7: 1905-1912
- 102 http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/deltio_noa042003.pdf
- 103 REACM Anatoliki S.A
- 104 Sakellariou-Makradonaki M., Papalexis D., Nakos N., Kalavrouziotis I.K., 2007, Effects of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum on a dry year in central Greece, *Agric. Water Manage.*, 90: 181-189.
- 105 Zhao Y.L., Dolat A., Steinberger Y., Wang X., Osman A., Xie G.H., 2009, Biomass yield changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuels, *Field Crop Res.*, 111: 55-64
- 106 <http://www.vipathe.gr/en/index.asp>
- 107 http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/General/A1602_SAM01_DT_DC_00_2011_01_F_GR.pdf
- 108 http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A0101/PressReleases/A0101_SJO01_DT_QQ_02_2011_01_F_GR.pdf
- 109 [http://www.etvavipe.gr/\(6813443974285511\)/Documents/Table_New_Values.pdf](http://www.etvavipe.gr/(6813443974285511)/Documents/Table_New_Values.pdf)
- 110 Greek Payment Agency (O.P.E.K.E.P.E.). A private legal entity operating for the public interest, supervised by the Minister of Rural Development and Food.
- 111 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, *Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020*, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 544
- 112 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, *Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020*, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 28

- 113 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 66
- 114 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 70
- 115 IDEA 2011 on page 39
- 116 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 82
- 117 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 43
- 118 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 77
- 119 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 76
- 120 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (2011) "Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020". Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 83
- 121 IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, Evaluación del Balance de Gases de Efecto Invernadero en la Producción de Biocarburantes. Estudio Técnico PER 2011-2020, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: 85
- 122 **www.biograce.eu**
- 123 www.biograce.eu
- 124 http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/ms_reports_dir_2003_30_en.htm
- 125 http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency_platform/doc/national_renewable_energy_action_plan_bulgaria_en.pdf
- 126 <http://biofuels.bg/>
- 127 http://www.novinite.com/view_news.php?id=128833
- 128 http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency_platform/doc/national_renewable_energy_action_plan_romania
- 129 http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/ms_reports_dir_2003_30_en.htm
- 130 <http://www.flightglobal.com/articles/2011/03/23/354634/airbus-teams-up-with-tarom-to-build-biofuel-plant-in.html>
- 131 <http://www.balkaninsight.com/en/article/romania-to-tax-unused-land>
- 132 http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/ms_reports_dir_2003_30_en.htm
- 133 <http://biofuelsdigest.com/bdigest/2011/05/02/cordiant-commits-17m-towards-hungarian-ethanol-project/>
- 134 <http://www.agra-net.com/portal2>
- 135 <http://biofuelsdigest.com/>
- 136 2011, EurObserv'ER Barometer www.eurobserv-er.org, July 2011
- 137 National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020. In accordance with Article 4 of European Union Directive 2009/28/CE

- 138 2011, EurObserv'ER Barometer www.eurobserv-er.org, July 2011
- 139 National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020. In accordance with Article 4 of European Union Directive 2009/28/CE
- 140 2011, EurObserv'ER Barometer www.eurobserv-er.org, July 2011
- 141 Porfírio, J.A., 2011, Biofuels, the black swan of the renewable energies' policy in Portugal. Universidade Aberta and CIEO, Portugal 2011
- 142 http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency_platform/action_plan_en.htm
- 143 <http://www.bpcc.pt/enews.asp?id=128>
- 144 Analysis of renewable energy and its impact on rural development in Croatia, November 2009, AgriPolicy - Enlargement Network for Agripolicy Analysis
- 145 <http://www.relink.hr/getdoc>
- 146 CETA
- 147 CETA
- 148 CETA
- 149 CETA
- 150 CETA
- 151 CETA
- 152 CETA
- 153 CETA
- 154 CETA
- 155 <http://www.imabiofuels.com>
- 156 <http://www.gruppobertolino.com>
- 157 <http://www.informambiente.it/>



NOTE

Handwriting practice lines consisting of 20 horizontal dotted lines.

A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, providing a template for writing.

Stampato nel mese di dicembre 2011
da Poligrafiche San Marco - Cormons (Gorizia) - Italia
Per conto di CETA



Questo manuale è uno dei principali strumenti prodotti nell'ambito del progetto SWEETHANOL per superare le barriere che impediscono la diffusione nell'UE del sorgo zuccherino come coltura alcoligena. A questo scopo il manuale descrive gli elementi tecnici, normativi, economici ed amministrativi che gli *stakeholders* devono conoscere nell'approcciare tale filiera agro-energetica. Il modello di filiera sviluppato per l'UE è esposto in forma di linee guida, che costituiscono il punto di partenza per studi della fattibilità tecnico-economica applicabili in tutti i Paesi dell'Europa meridionale, areale di crescita del sorgo zuccherino. Inoltre, per raggiungere un elevato livello di dettaglio, come ad esempio l'analisi economica del progetto di investimento ed il calcolo del risparmio nelle emissioni di GHGs per il bioetanolo prodotto ai sensi della Direttiva 2009/28/CE, queste linee guida sono declinate in quattro casi studio contestualizzati nei Paesi partecipanti al progetto (i.e. Italia, Grecia, Spagna).

Per massimizzare la trasferibilità del modello di filiera nell'intero areale europeo di coltivazione del sorgo zuccherino, la trattazione è completata dalla descrizione delle situazioni politico-economiche nazionali, che influenzano gli investimenti nel settore agro-energetico nei Paesi non partecipanti al progetto (i.e. Bulgaria, Romania, Ungheria, Francia, Portogallo, Croazia).

Questo manuale è indirizzato a tutti gli *stakeholders* (i.e. imprenditori agricoli, associazioni di categoria agricole, processisti, PMI, compagnie sementiere, investitori, rappresentanti delle agenzie per l'energia e delle autorità pubbliche con competenze in materia di energia ed ambiente).



Agricultural co-operative
of Halastra