

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA BASILICATA**



**SAFE – Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed  
Ambientali**

**Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali ed  
Ambientali**

**TESI DI LAUREA SPERIMENTALE**

**Un modello geografico per la valutazione dei distretti  
agroenergetici da Short Rotation Forestry fertirrigate con  
acque reflue in Basilicata**

**RELATORI**

*Ch.mo Prof. Severino Romano*  
*Dott. Mario Cozzi*

**CANDIDATO**

**Mauro Viccaro**  
*Matr. n° 40924*

**Anno Accademico 2012-2013**

***Inspiration.***  
***I've got to love and live this way***  
***It's my chance***  
***To change the world in me and all around.***

(Inspiration - Gen Rosso)

*...a Imma.*

## Indice

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>LE RINNOVABILI A LIVELLO INTERNAZIONALE</b>	<b>8</b>
2.1	IL CONTRIBUTO DELLE RINNOVABILI ALLA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI	8
2.2	LO SCENARIO MONDIALE	11
2.3	LO SCENARIO EUROPEO	15
2.3.1	<i>La politica energetica europea</i>	18
2.3.2	<i>Il risparmio energetico nella UE</i>	23
2.3.3	<i>Le energie rinnovabili nella UE</i>	24
2.3.4	<i>Le politiche di sostegno alle bioenergie</i>	26
2.3.4.1	La Politica Agricola Comune (PAC)	27
2.3.4.2	I Piani di Sviluppo Rurale (PSR)	29
<b>3</b>	<b>LE BIOMASSE ENERGETICHE</b>	<b>31</b>
3.1	DEFINIZIONE	31
3.2	CARATTERISTICHE E PROCESSI DI CONVERSIONE	32
3.2.1	<i>Caratteristiche tecnologiche ed energetiche</i>	32
3.2.1.1	Le caratteristiche chimiche	32
3.2.1.2	Le caratteristiche fisiche	33
3.2.1.3	Le caratteristiche energetiche	34
3.2.2	<i>Processi di conversione</i>	35
3.3	LE FILIERE ENERGETICHE	37
3.3.1	<i>Filiera dei biocombustibili solidi</i>	37
3.3.2	<i>Filiera del biogas</i>	38
3.3.3	<i>Filiera degli oli vegetali puri</i>	39
3.3.4	<i>Filiera del biodiesel</i>	40
3.3.5	<i>Filiera del bioetanolo</i>	41
3.4	LE COLTURE ENERGETICHE	42
3.5	BENEFICI E CRITICITÀ	44
3.5.1	<i>Benefici</i>	44
3.5.2	<i>Criticità</i>	45
<b>4</b>	<b>POTENZIALITÀ DELLE COLTURE ENERGETICHE</b>	<b>47</b>
4.1	INTRODUZIONE	47
4.2	MATERIALI E METODI	50
4.2.1	<i>Quantifier-guided Ordered Weighted Averaging (OWA)</i>	50
4.2.2	<i>I pesi ordine: l'uso dei quantificatori linguistici fuzzy</i>	51
4.3	CASO DI STUDIO	55

4.3.1	Area di studio	55
4.3.1.1	Caratterizzazione dell'area di studio	56
4.3.2	Analisi d'idoneità d'uso del suolo	58
4.3.2.1	Scelta delle Mappa d'idoneità	62
4.3.3	Individuazione dei terreni fertirrigabili	64
<b>5</b>	<b>ANALISI ECONOMICA</b>	<b>69</b>
5.1	GLI INDICATORI DI CONVENIENZA	69
5.2	VALUTAZIONI ECONOMICHE SULLE SRF	71
5.2.1	Voci di costo	71
5.2.2	Ricavi	74
5.3	VALUTAZIONI ECONOMICHE SULL'IMPIANTO DI FERTIRRIGAZIONE	76
5.4	VALUTAZIONI ECONOMICHE SU SRF FERTIRRIGATE	78
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>82</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>85</b>
<b>8</b>	<b>ALLEGATI</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUZIONE

Gli effetti antropici relativi alla produzione e consumo di energia sono tra i responsabili del cambiamento climatico a livello globale. Gli effetti del cambiamento climatico sono individuabili in fenomeni di portata planetaria: lo scioglimento dei ghiacciai polari, variazioni generalizzate delle temperature, delle precipitazioni, l'aumento del livello marino, rappresentano segnali inequivocabili delle trasformazioni in atto. Alla responsabilità dei cambiamenti concorrono i gas serra (GHGs), di cui la CO<sub>2</sub> è il principale elemento. La sua concentrazione è infatti molto aumentata, arrivando a 390 ppm nel 2010<sup>1</sup> (IPCC, 2011). Ciò ha provocato una tendenza all'aumento delle temperature medie globali con tutti gli effetti sopra citati. Il rapporto della Banca Mondiale del novembre 2012 "Turn Down the Heat: Why a 4°C Warmer World Must be Avoided" (Word Bank, 2012) sottolinea come gli impatti di un aumento della temperatura media di 4 °C (valore raggiungibile già nel 2060 con gli attuali livelli di emissione di GHGs) possano essere catastrofici per il genere umano e per gli ecosistemi. Tra i principali effetti vi sono le ondate di calore estremo variabile tra 4 e 10 °C; innalzamento del livello del mare tra 0,5 e 1 metro; acidificazione degli oceani; riduzione delle rese in agricoltura e scarsità di approvvigionamento idrico.

Possono essere comunque individuate diverse opzioni al fine di contenere e ridurre le emissioni climalteranti in atmosfera, come politiche di decarbonizzazione nelle attività di produzione e consumo, politiche di investimenti nella green economy, ecc.. L'United Nations Environment Programme (UNEP) definisce la "green economy" come "*one that results in improved human well-being and social equity, while significantly reducing environmental risks and ecological scarcities*" (UNEP, 2011). Questo approccio allo sviluppo propone come soluzioni misure economiche, legislative, tecnologiche e sociali capaci di contenere il consumo d'energia e di risorse naturali, promuovendo l'aumento dell'efficienza energetica e di produzione, l'abbattimento delle emissioni di gas serra, la riduzione dell'inquinamento locale e globale, attraverso la nascita di una vera e propria economia sostenibile a scala globale e duratura, servendosi prevalentemente di risorse rinnovabili (come le biomasse, l'energia eolica, l'energia solare, l'energia idraulica) ed evitando inutili sprechi di risorse.

<sup>1</sup> Dati al gennaio 2013 riportano valori di concentrazione di CO<sub>2</sub> pari a 395 ppm (fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>)

La bioenergia è uno strumento di mitigazione significativo dei gas serra (GHG), a condizione che le risorse siano utilizzate in modo sostenibile e che i sistemi bioenergetici siano utilizzati in maniera efficiente (IPCC, 2011).

La biomassa è una fonte primaria di cibo, foraggio e fibre, nonché una fonte di energia rinnovabile (RE) che ha fornito circa il 10,2% (50,3 EJ) di energia primaria totale mondiale (TPES) nel 2008 (IPCC, 2011). Diversi studi confermano come vi sono ancora ampi margini di sviluppo per il settore bioenergetico (Berndes et al., 2003; Hoogwijk et al., 2005; De Vries et al., 2007; Hoogwijk et al., 2009) ed in particolare per le short-rotation crops realizzate su suoli agricoli (Dornburg et al., 2008, 2010). Infatti, secondo il rapporto dell'IPCC sulle energie rinnovabili (IPCC, 2011) si potrebbero raggiungere anche 700 EJ/yr dalle produzioni di biomassa dedicate, effettuate su suoli agricoli abbandonati e/o comunque non impiegati per le produzioni alimentari.

Nel caso della regione Basilicata si sta assistendo ad un fenomeno di abbandono delle aree agricole marginali, determinato essenzialmente dalla bassa redditività rispetto alle produzioni ed ai prodotti e dalle trasformazioni indotte dalla recente Politica Agricola Comunitaria. È fuori dubbio però che, nell'ambito della Politica Agricola Comunitaria, l'introduzione del disaccoppiamento, della condizionalità, dello sviluppo rurale e della modulazione, mutando radicalmente il sistema di pagamenti diretti a favore delle imprese agricole, ha determinato una profonda influenza sull'aspetto e sulla manutenzione del territorio rurale (Romano S. e Cozzi M., 2008). La dinamica agricola della Basilicata può essere letta attraverso un confronto tra i due Censimenti dell'Agricoltura (ISTAT, 2000, 2010), dai quali si evince una consistente riduzione delle aziende agricole (-36%, passate da 81.448 del 2000 a 51.756 del 2010) combinata con un'altrettanta riduzione della Superficie Agricola Utilizzata, passata da 538 a 519 mila ettari nel decennio. Le coltivazioni che hanno subito le maggiori contrazioni sono le colture annuali a cereali, ridotte del 31%, passando da circa 240.000 a 183.000 ettari. Parte di tale superficie è stata investita a colture di altro tipo, come ad esempio le legnose agrarie e parte è stata invece abbandonata.

Da quanto detto ne risulta una considerevole disponibilità di suoli adatti alle coltivazioni bioenergetiche. La domanda che però a questo punto ci si pone riguarda la scelta delle specie da impiegare nella coltivazione e nella produzione di biomassa, sulla base delle caratteristiche stagionali e climatiche, specifiche di ciascuna area.

All'individuazione dei terreni idonei per la SRF va inoltre aggiunta la possibilità di irrigarli con acque reflue trattate in maniera semplificata.

Attualmente, in Europa, la maggior parte delle acque reflue urbane viene trattata ai soli fini di salvaguardia ambientale. Di fatti le acque scaricate nei bacini idrici continentali rientrano negli schemi idrici complessivi e vengono, di fatti, riutilizzate. Al contrario quelle scaricate a mare sono perse del tutto ai fini del bilancio idrico delle acque dolci. Solo in Italia oltre 2.000 Mm<sup>3</sup> di acqua l'anno viene scaricata a mare o nei tratti terminali dei corsi d'acqua; con questa quantità di acqua potrebbero essere irrigati oltre 500.000 ettari (pari all'intero territorio del Molise) per colture arboree o biomasse legnose.

In Europa, attraverso i trattamenti di depurazione convenzionali delle acque reflue, vengono eliminati:

- 25 Mton di sostanza organica;
- 2,5 Mton di sostanze azotate;
- 500.000 ton di fosfati;

con una spesa di oltre 20 miliardi di € all'anno.

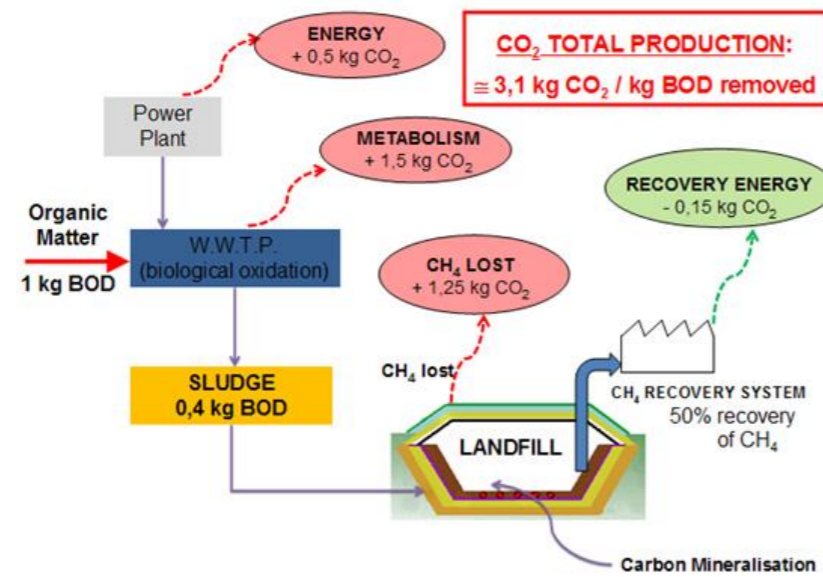
Questo ingente quantitativo di carbonio e fertilizzanti potrebbe essere visto in positivo se utilizzato per le colture agricole e forestali piuttosto che scaricato a mare.

Numerose ricerche hanno dimostrato che per gli utilizzi agronomici nel campo no-food potrebbero essere utilizzate acque reflue a concentrazioni più che doppie rispetto a quanto richiesto dagli standard depurativi per lo scarico in acque superficiali. In questo modo si otterrebbero ulteriori vantaggi in termini di potenziale di "fertiirrigazione" senza compromettere la sicurezza per gli operatori e per l'ambiente.

Lo scopo del lavoro di tesi è di sviluppare una filiera economica basata sull'impiego di acque reflue urbane trattate nel campo delle bioenergie. In questo modo, oltre all'economia indotta dalla riconversione irrigua di aree marginali o sottoutilizzate, si persegue:

- la riduzione dei costi di trattamento delle acque reflue;
- il recupero di importanti quantitativi di sostanze agronomicamente utili;
- una significativa riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente.

Allo stato attuale la depurazione delle acque reflue è una significativa fonte di gas serra, sia a causa dei consumi energetici che della fermentazione dei fanghi in discarica con conseguente produzione di metano. Nel prospetto seguente si riporta il bilancio della CO<sub>2</sub>eq per la rimozione della sostanza organica (Figura 1-1).

Figura 1-1 Bilancio di produzione di CO<sub>2</sub> equivalente dal ciclo di depurazione delle acque reflue

I punti di forza del lavoro consistono nella vasta diffusione dei siti in cui è possibile attuare gli interventi di recupero acque e di “fertiirrigazione”.

Lo studio che in questo contesto si propone è finalizzato dunque a stimare la potenzialità di un territorio, quello della Regione Basilicata, nella produzione di biomasse ad uso energetico, derivanti da aree che possono essere fertirrigate con acque reflue. In particolare, l’obiettivo è quello di rispondere alle seguenti domande:

- Qual è lo scenario attuale delle fonti rinnovabili, in particolare delle biomasse, per la produzione di energia e per la mitigazione dei cambiamenti climatici?
- Quali sono le politiche di sostegno alle bioenergie?
- Quali sono le potenzialità di conversione alla bioenergia dei terreni regionali?
- Quant’è la superficie potenzialmente fertirrigabile e con quali depuratori?

Nel capitolo 2 si introducono le tematiche che riguardano i cambiamenti climatici, i consumi energetici e le politiche adottate nell’ambito della questione energetica per poter comprendere il contesto internazionale ed europeo in cui i temi legati allo sviluppo delle biomasse devono inserirsi. Nel capitolo 3 vengono descritte le biomasse per meglio comprendere le loro caratteristiche e i loro utilizzi nelle diverse filiere energetiche per la produzione di energia e, quindi, i benefici e le criticità che esse comportano.

Il tema centrale di questo lavoro di tesi è invece esposto nel capitolo 4, in cui viene descritta la metodologia utilizzata per stimare la potenzialità del territorio della regione Basilicata nella produzione di biomasse attraverso l’individuazione dei terreni idonei alle SRF

e di quelli fertirrigabili con acque reflue derivanti dai depuratori presenti in regione. Inoltre al fine di fornire ai decisori (pubblici e privati) un punto di partenza per la possibile conversione dei terreni a colture energetiche, nel capitolo 5 è stata effettuata un’analisi economica per valutare la convenienza degli investimenti.

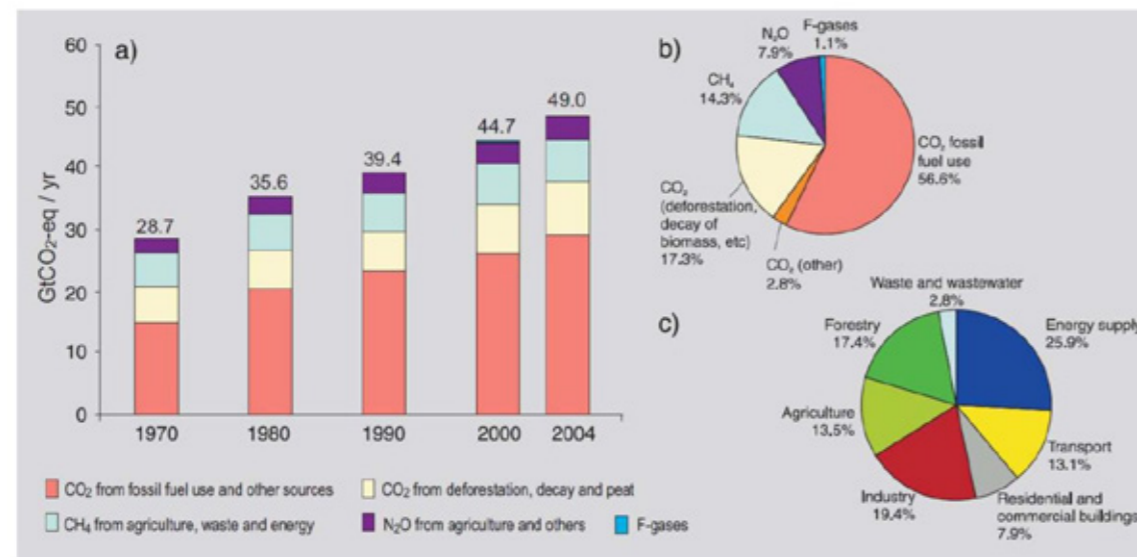
Nel capitolo 6, infine, si riassumono i risultati ottenuti mettendo in evidenza eventuali punti deboli e futuri ambiti di ricerca.

## 2 LE RINNOVABILI A LIVELLO INTERNAZIONALE

### 2.1 Il contributo delle rinnovabili alla riduzione delle emissioni

Le attività umane, sin dall'epoca pre-industriale, hanno contribuito enormemente ad accrescere il livello globale di emissioni di gas serra nell'atmosfera. Il loro aumento dal 1970 al 2004, secondo le stime del foro intergovernativo sul mutamento climatico (IPCC, 2007), è stato del 70% (Figura 2-1a) e in particolare per la CO<sub>2</sub>, il principale gas serra di natura antropica, è stato dell'80% passando da 21 Gt a 38 Gt e toccando alla fine del 2010 la soglia delle 390 ppm (IPCC,2012; NOAA, 2010).

Figura 2-1 a) Emissioni antropogeniche globali di gas serra 1970-2004; b) Quote per tipologia di gas serra nel 2004; c) Quote per settore nel 2004



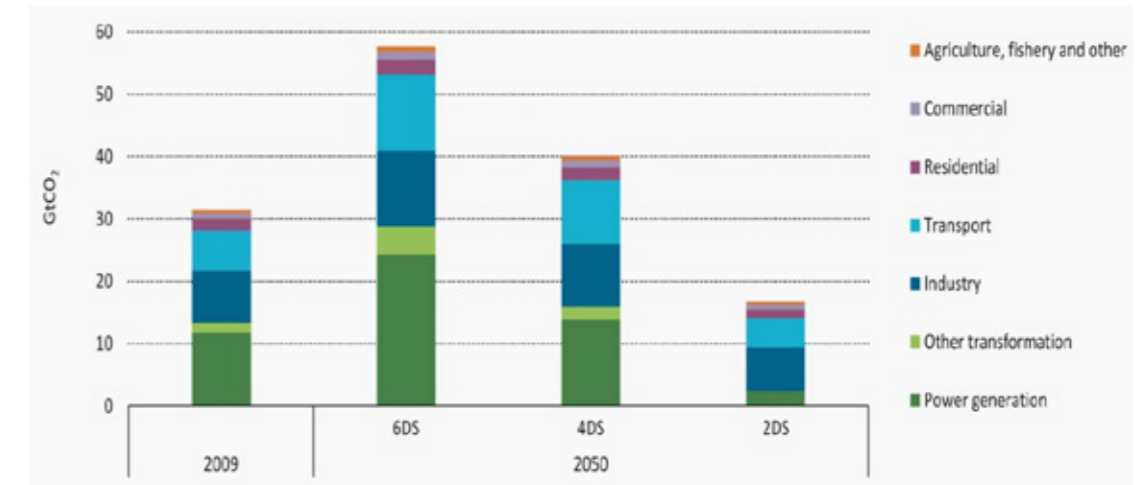
Fonte: IPCC - Climate Change 2007 Synthesis Report

La principale causa dell'accrescimento del livello di CO<sub>2</sub> sono i combustibili fossili che nel 2004 hanno contribuito per oltre il 56% del totale delle emissioni di gas serra di natura antropica (Figura 2-1b).

I settori che maggiormente hanno determinato la crescita del livello di emissioni antropogeniche di gas serra nel periodo 1970-2004 sono stati quello dell'industria, dei trasporti e della produzione di energia. Quest'ultimo nel 2004 ha inciso per una quota pari al 26% circa del totale (Figura 2-1c).

Secondo le stime dell'International Energy Agency (IEA), riportate nell'ultimo rapporto ETP<sup>2</sup>, se non si dovesse intervenire con politiche di mitigazione ai cambiamenti climatici (scenario 6DS - ETP 2012 6°C Scenario), le emissioni di CO<sub>2</sub> nel 2050 raggiungeranno valori doppi rispetto quelli del 2009 (Figura 2-2), con il conseguente innalzamento della temperatura globale media di circa 6°C.

Figura 2-2 Emissioni globali di CO<sub>2</sub> nei diversi scenari



Fonte: IEA – Energy Technology Perspectives 2012

Considerate inoltre le previsioni di crescita dell'economia mondiale al 2050, in particolare di Cina ed India, risultano sempre più urgenti interventi volti a svincolare la crescita economica dal corrispondente aumento della domanda energetica ed in particolare da quella di combustibili fossili. Infatti secondo lo scenario "ottimistico" 2DS (ETP 2012 2°C Scenario) prospettato dall'IEA, che considera un livello di emissioni di CO<sub>2</sub> al 2050 ridotto del 50% rispetto i livelli del 2009, ottenibile attraverso l'introduzione di tecnologie nuove e in fase di sviluppo meno inquinanti, si potrebbe ottenere una riduzione di circa 42 Gt di CO<sub>2</sub> in meno rispetto allo scenario 6DS. Raggiungere entro il 2050 una diminuzione delle emissioni tra il 50% e l'85% potrebbe consentire di contenere l'aumento della temperatura atmosferica entro un intervallo di 2°C.

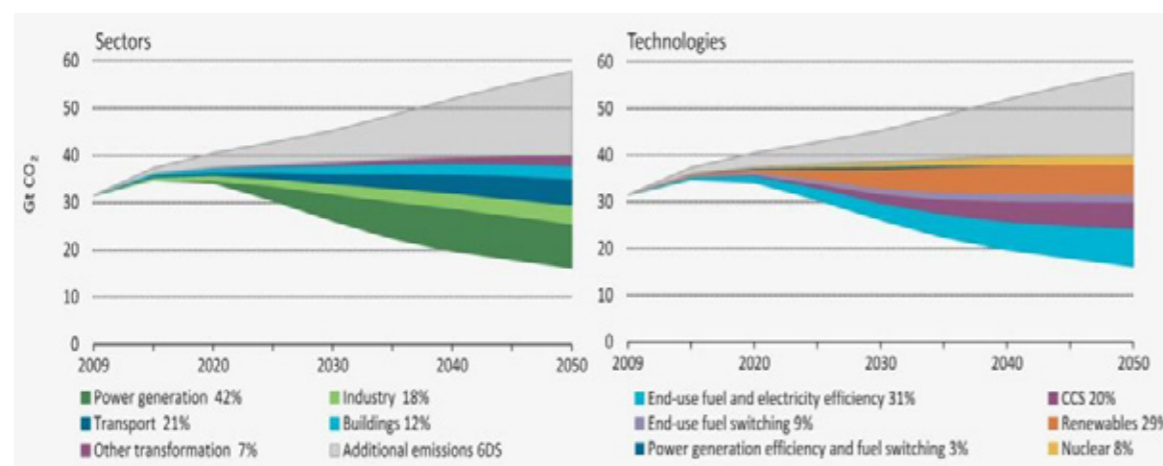
Da un'osservazione della diminuzione di emissioni globali imputabile ai settori maggiormente responsabili dell'inquinamento nel periodo 2009-2050 che è possibile ottenere passando dallo scenario 4DS (ETP 2012 4°C Scenario, compatibile con il New Policies Scenario del World Energy Outlook 2012, in cui si prevede un aumento della temperatura media globale di 4°C nel lungo termine) a quello 2DS (Figura 2-3), emerge chiaramente il ruolo centrale del settore elettrico con una riduzione delle emissioni pari al 42% del totale,

<sup>2</sup> Energy Technology Perspectives 2012. International Energy Agency.



seguito da quello dei trasporti con il 21%, dall'industria con il 18% e da quello residenziale con il 12%.

Figura 2-3 Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> per settore e per area tecnologica dallo scenario 4DS a quello 2DS. Anni 2009-2050



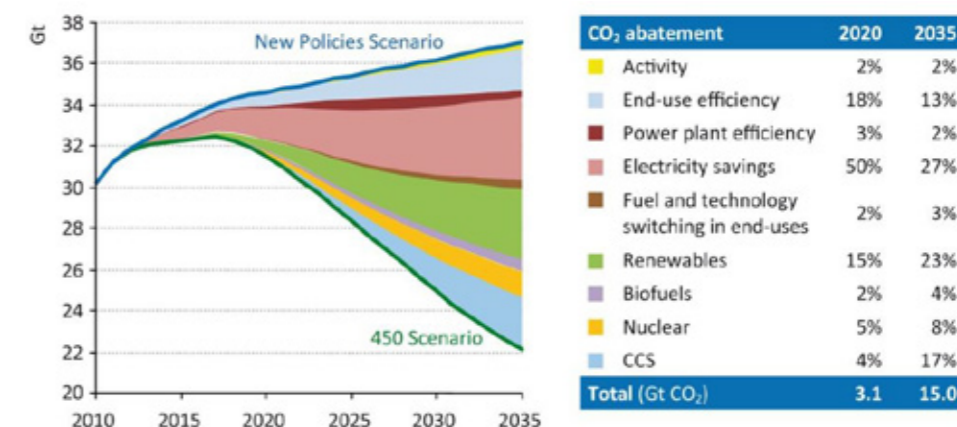
Fonte: IEA – Energy Technology Perspectives 2012

Esaminando il contributo di ogni singola area tecnologica alla riduzione delle emissioni globali di CO<sub>2</sub> nel 2050 rispetto allo scenario 4DS (Figura 2-3), emerge che in futuro le fonti rinnovabili giocheranno un ruolo determinante concorrendo per il 29% a tale riduzione subito dopo l'efficienza negli usi finali di combustibili, che invece contribuirà per il 31%.

La possibilità quindi di frenare sensibilmente l'aumento tendenziale nel tempo del livello di emissioni di CO<sub>2</sub> da uso energetico, pari a circa 3/4 delle emissioni totali di CO<sub>2</sub> in atmosfera, sarà sempre più legata alla dipendenza degli approvvigionamenti dalle diverse fonti energetiche rinnovabili e agli interventi di "efficientamento" dei consumi.

Lo scenario (2DS) esplora proprio le opzioni tecnologiche necessarie per realizzare un futuro sostenibile basato su una maggiore efficienza energetica e su un sistema energetico bilanciato con fonti di energia rinnovabili ed emissioni più basse. La sua traiettoria di emissioni è coerente con lo Scenario 450 del World Energy Outlook 2012, al fine di identificare le opzioni tecnologiche e i percorsi politici che assicurano di limitare l'aumento della temperatura globale a lungo termine a 2 °C.

Figura 2-4 Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> da uso energetico nel 450 Scenario rispetto allo scenario tendenziale nel 2035



Fonte: IEA – World Energy Outlook 2012

Con riferimento agli scenari climatico-politici contenuti nell'ultimo WEO<sup>3</sup>, è possibile infatti osservare il peso che le fonti energetiche rinnovabili e gli interventi di efficienza energetica avranno nel medio-lungo termine passando dallo scenario tendenziale (New Policies Scenario) a quello di stabilizzazione della concentrazione di gas serra sul livello di 450 parti per milione di CO<sub>2</sub> equivalente (Figura 2-4). Lo scenario tendenziale mostra la costante evoluzione in crescita del livello di emissioni di CO<sub>2</sub> da usi energetici nel mondo, che transitano da 31,2 Gt nel 2011 a 37 Gt nel 2035. Nello scenario alternativo, il 450 Policy Scenario, si nota la differente trasformazione nel tempo di questi livelli di CO<sub>2</sub> rispetto allo scenario di riferimento, che raggiungeranno infatti il picco prima del 2020 a 32,4 Gt, per poi abbassarsi a 22,1 Gt nel 2035. Le minori quantità di emissioni tra i due scenari corrispondono rispettivamente nel 2020 e nel 2030 a 3,1 Gt e 15 Gt evitate.

Nello scenario alternativo, il contributo maggiore proviene dagli interventi di aumento dell'efficienza energetica, principalmente negli usi finali, e dalle fonti rinnovabili con un contributo al 2020 pari al 15% della diminuzione complessiva di CO<sub>2</sub> ed al 23% al 2035.

## 2.2 Lo scenario mondiale

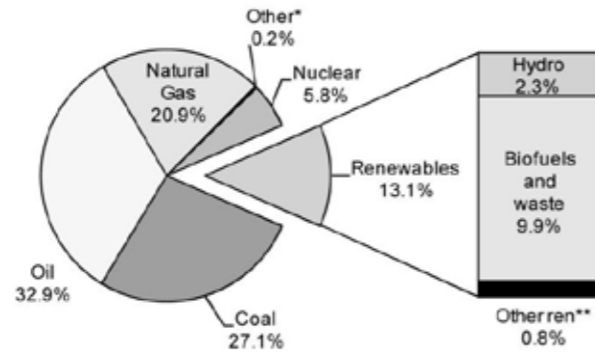
L'incidenza delle diverse fonti energetiche sull'offerta mondiale totale di energia primaria nel 2009, equivalente a 12.169 Mtep<sup>4</sup>, è stata del 32,9% per il petrolio, del 27,1% per il carbone, del 20,9% per il gas naturale, del 5,8% per l'energia nucleare e del 13,1% per le fonti energetiche rinnovabili (Figura 2-5). Queste ultime hanno consentito di produrre

<sup>3</sup> World Energy Outlook 2012. International Energy Agency.

<sup>4</sup> Renewables Informations 2011. International Energy Agency

complessivamente 1.589 Mtep di energia primaria, di cui la quota più grande derivante dall'uso di biomassa solida, pari al 9,9% dell'offerta mondiale ed al 70,2% del totale da rinnovabili (Figura 2-6).

Figura 2-5 Offerta di energia primaria totale mondiale nel 2009: quote per fonte

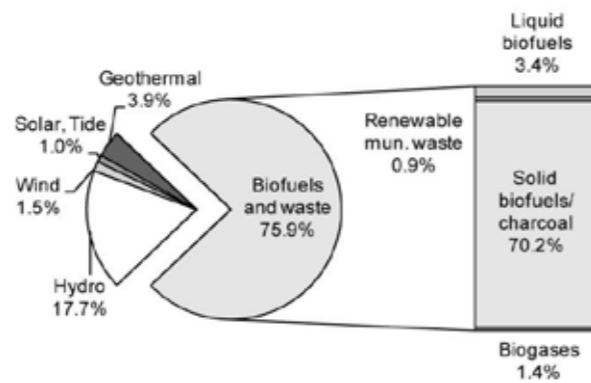


\*Include fonti non definite come rifiuti non-rinnovabili, torbe...

\*\*Include geotermia, eolico, solare e moto ondoso.

Fonte: IEA – Renewables Information 2011

Figura 2-6 Offerta mondiale di energia da fonti rinnovabili nel 2009: quote per fonte



Fonte: IEA – Renewables Information 2011

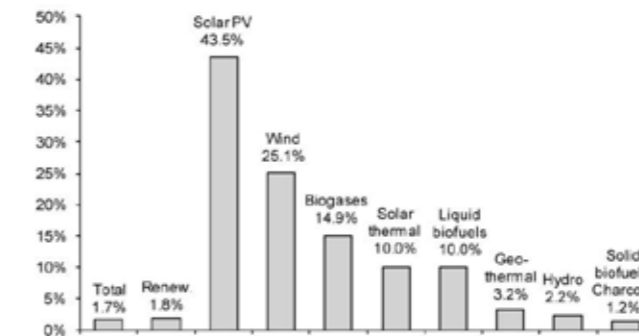
L'idroelettrico e la geotermia sono rispettivamente la seconda e la terza fonte energetica di tipo rinnovabile in termini di apporto energetico, con quote nel 2009 rispettivamente di 2,3% e 0,5% dell'offerta mondiale totale di energia primaria e di 17,7% e 3,9% dell'intera offerta da fonti rinnovabili. Il solare, l'eolico e l'energia mareomotrice incidono con una quota pari allo 0,3% sul totale dell'offerta di energia primaria globale ed una quota pari al 2,5% sull'energia da rinnovabili.

Il solare fotovoltaico, nonostante gli attuali livelli di produzione ancora ridotti, ha avuto dal 1990 al 2009 un tasso medio annuo di crescita dell'offerta pari al 43,5%, mostrando il più forte scostamento rispetto a quello di crescita media annua dell'offerta mondiale di energia primaria da fonti rinnovabili nello stesso periodo, che è invece pari all' 1,7% (Figura 2-7).

Seguono il segmento composto da eolico, biogas, biomassa liquida e solare termico, quest'ultimo con tassi di crescita media annua dal 1990 al 2008 pari al 10%.

Il settore geotermico e quello idroelettrico mostrano invece dei tassi di crescita media annua più ridotti ed equivalenti rispettivamente al 3,2% ed al 2,2%.

Figura 2-7 Tassi di crescita medi annui dell'offerta mondiale di energia da fonti energetiche rinnovabili dal 1990 al 2009 (valori percentuali)

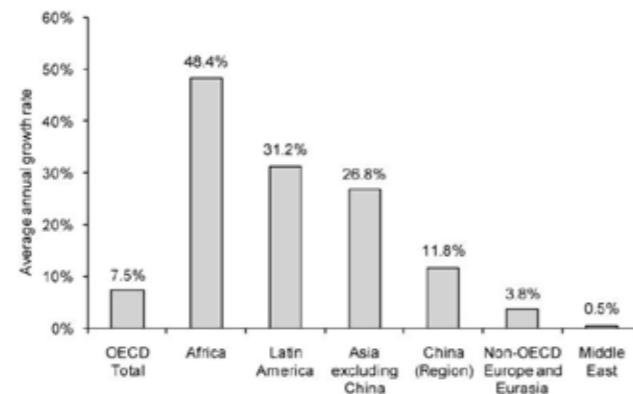


Fonte: IEA – Renewables Information 2011

La biomassa solida, finora la principale fonte di tipo rinnovabile per la produzione di energia primaria, mostra nel periodo considerato un tasso di crescita medio annuo pari ad 1,2%, inferiore sia rispetto al dato medio annuo di crescita dell'offerta di energia primaria da rinnovabili che tra tutte le fonti considerate. I principali Paesi produttori di biomassa solida sono quelli in via di sviluppo ed emergenti, con una quota pari all' 86% della produzione totale nei quali la biomassa rappresenta la principale fonte energetica per il riscaldamento domestico e la cottura dei cibi. L'Asia da sola, esclusa la Cina, contribuisce per il 30,4% e l'Africa per il 28% del totale, mentre i Paesi OECD (cioè quelli maggiormente industrializzati aderenti all'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) partecipano alla produzione mondiale da biomassa con una quota ben più inferiore, pari al 14%.

L'offerta di energia da FER dei Paesi OECD nel 2009 rappresenta il 7,5% della fornitura totale di energia, rispetto al 48,4% dell'Africa, al 31,2% dell'America Latina, al 26,8% dell'Asia e al 3,8% dei Paesi europei ed euroasiatici Non-OECD (Figura 2-8). Prendendo in considerazione la sola produzione energetica mondiale proveniente dall'eolico, dal solare e dalle tecnologie di sfruttamento delle maree, ecc., definite come le "nuove" energie rinnovabili, la quota dei Paesi OECD sale invece al 70,4%.

Figura 2-8 Offerta di energia da fonti energetiche rinnovabili nel 2009: quote per area



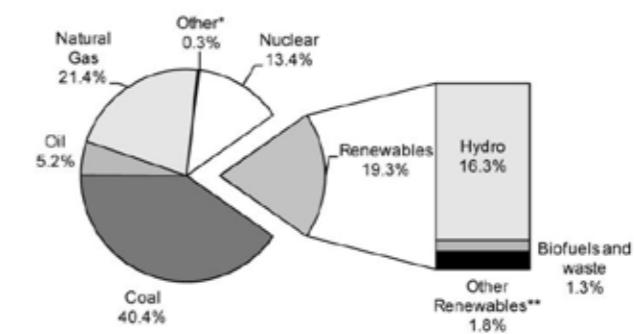
Fonte: IEA – Renewables Information 2011

Nel complesso, la crescita delle fonti energetiche rinnovabili dal 1990 al 2009 è avvenuta ad un tasso medio annuo dell'1,8%, pari a quello dell'offerta mondiale di energia primaria.

Per quanto riguarda i consumi per settore nel 2009 di energia da fonti rinnovabili, solamente il 25,6% nel mondo è destinato alla produzione di energia elettrica, mentre questa quota sale a circa il 50% se si considerano i soli Paesi OECD, visto l'elevato utilizzo delle biomasse da parte dei Paesi in via di sviluppo nel settore residenziale. Infatti, i settori residenziale, commerciale e pubblico sono i più grandi utilizzatori di energia generata da fonti rinnovabili nel mondo con una quota pari al 53,7% del totale rispetto l'11,3% del settore industriale. Con riferimento alla produzione mondiale di energia elettrica nel 2009 (Figura 2-9), la quota prodotta da fonti rinnovabili si attesta al 19,3% della produzione totale che è invece basata essenzialmente sul carbone per il 40,4%, sul gas per il 21,4%, sul nucleare per il 13,4% ed il petrolio con il 5,2%.

La quota di energia elettrica generata da fonti energetiche rinnovabili sul totale della produzione mondiale è diminuita rispetto al decennio precedente (1990-2000) essenzialmente a causa della limitata crescita dell'idroelettrico nei Paesi OECD. Questa quota nel 1990 era del 18,2%, contro il 16,3% del 2009.

Figura 2-9 Produzione di energia elettrica mondiale nel 2009: quote per fonte



\*Include fonti non definite come rifiuti non-rinnovabili, torbe...

\*\*Include geotermia, eolico, solare e moto ondoso.

Fonte: IEA – Renewables Information 2011

Complessivamente il tasso medio annuo di crescita della produzione mondiale di energia elettrica da fonti rinnovabili dal 1990 è del 2,8%, comparabile al tasso di crescita totale. L'energia elettrica generata da fonti rinnovabili viene essenzialmente prodotta attraverso il settore idroelettrico, con una quota pari all'84,2% del totale da rinnovabili e corrispondente al 16,3% della produzione mondiale di energia elettrica nel 2009. In tale anno, a livello mondiale, solo una ridotta parte di energia elettrica è stata prodotta attraverso le altre fonti rinnovabili, tra queste essenzialmente il solare, l'eolico ed il geotermico, con una quota complessiva dell'1,1% della produzione mondiale. Hanno inciso per un totale dell'1,3% rispetto alla produzione mondiale di energia elettrica nel 2009 le rinnovabili combustibili ed i rifiuti, tra cui anche la biomassa solida.

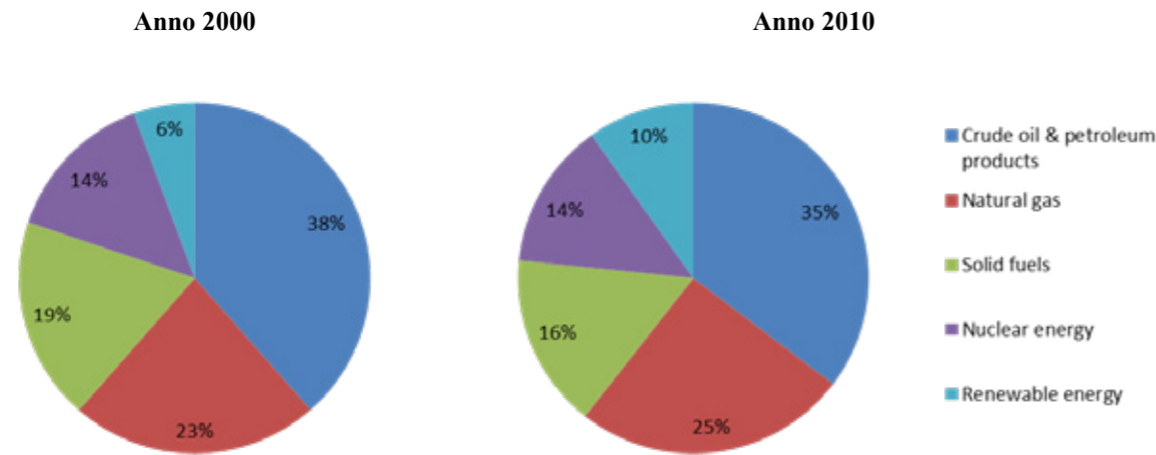
Dalla metà degli anni 90, si è assistito ad una maggiore crescita della produzione totale di energia elettrica nei Paesi non-OECD rispetto ai Paesi OECD, compresa quella generata da fonti rinnovabili, con tassi medi annui di crescita dal 1990 della produzione di energia elettrica "verde" rispettivamente pari a 4% ed a 1,7%. Nel futuro è possibile che questa differenza permanga, sia per i quantitativi complessivamente generati e sia per quelli provenienti dalle sole fonti energetiche rinnovabili.

### 2.3 Lo scenario europeo

Il consumo interno lordo di energia primaria nei Paesi dell'Unione Europea non ha subito grandi oscillazioni nell'ultimo decennio passando dai circa 1.203 Mtep del 2000 ai circa 1.238 Mtep del 2010 (Eurostat, 2013).

È in realtà variata l'incidenza delle diverse fonti nella produzione di energia: il petrolio perde il 2% nel 2010 rispetto al 2000, mentre aumenta l'uso del gas naturale e delle energie rinnovabili rispettivamente del 2 e 4% (Figure 2-1).

Figure 2-1 Consumo interno lordo di energia primaria in UE: quota per fonte (valori %)

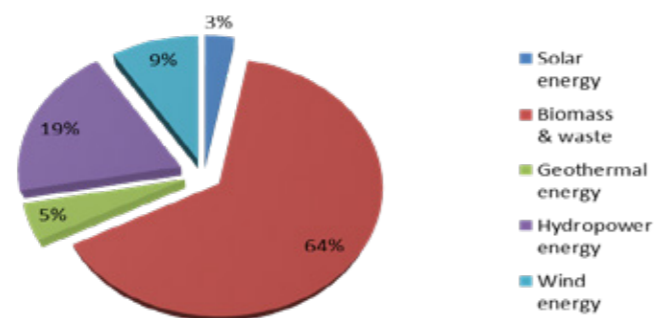


Fonte: Elaborazione su dati Eurostat, 2013

È interessante notare come le diverse politiche energetiche mirate a promuovere l'uso delle energie rinnovabili, abbiano portato ad un loro consistente aumento passando da 65 Mtep del 2000 a 119 Mtep nel 2010, con un incremento quasi del 50%.

Osservando l'incidenza in termini percentuali che le singole fonti hanno avuto sul totale dell'energia primaria rinnovabile consumata nel 2010 (Figura 2-10), si nota chiaramente la netta prevalenza della biomassa con una quota del 64%. La seconda fonte in termini di rilevanza sui consumi di energia rinnovabile è l'idroelettrico con una quota del 19%, seguita dall'eolico con il 9%, dal geotermico (5%) ed il solare (termico e fotovoltaico) con una quota pari a 3% dei consumi totali che, seppur in netta inferiorità rispetto alle altre fonti rinnovabili, risulta in costante crescita.

Figura 2-10 Consumi di energia primaria da fonti rinnovabili in UE nel 2010: quote per fonte (%)



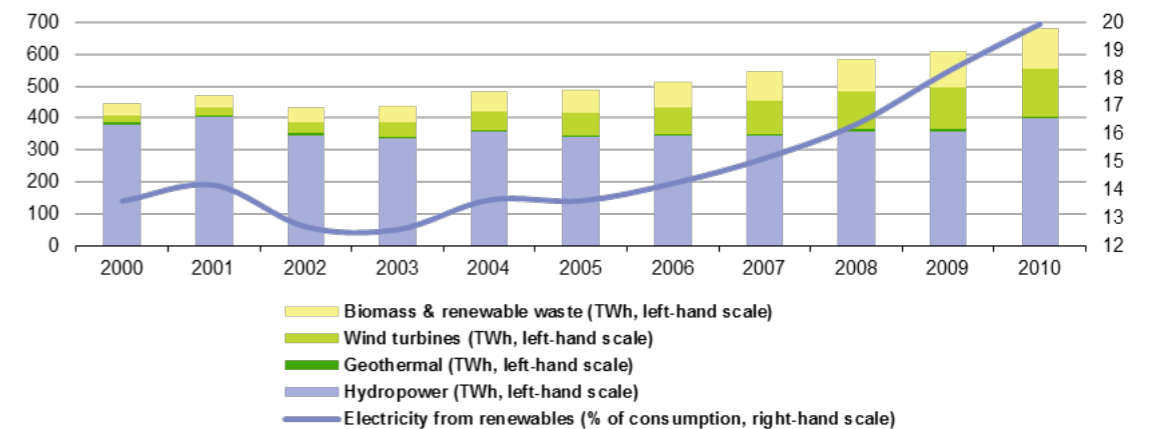
Fonte: Elaborazione su dati Eurostat, 2013

Con riferimento alla quantità di energia elettrica prodotta dai Paesi dell'Unione Europea durante il 2011 attraverso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, si evidenzia un incremento complessivo nel 2011 corrisponde a circa 6,8 TWh in più rispetto al 2010 con un totale di energia elettrica prodotta da fonti "verdi" pari a 676 TWh rispetto ai 669,2 TWh dell'anno prima.

L'aumento della produzione di elettricità da fonti rinnovabili potrebbe sembrare basso rispetto agli anni precedenti, ma considerando la riduzione del consumo totale di energia elettrica in tutta l'Unione europea (da 3.281,2 TWh nel 2010 a 3.350,3 TWh nel 2011) i valori consolidano la quota da fonti rinnovabili. Esse hanno mostrato un aumento dello 0,6% nel 2011 salendo al 20,6% del totale nonostante il forte calo registrato nella produzione di energia idroelettrica; tale produzione è infatti scesa del 15,2% (55,6 TWh) passando da 366,6 TWh a 311 TWh (produzione attuale) tra il 2010 e il 2011.

In conseguenza del calo registrato nella produzione di energia idroelettrica, nonostante le elevate produzioni registrate nel 2001 e nel 2010 (Figura 2-11), l'Unione Europea non è stata in grado di raggiungere l'obiettivo fissato del 21% di utilizzo di energia elettrica da fonte rinnovabile entro il 2010. Tale soglia infatti è stata conseguita nel 2011.

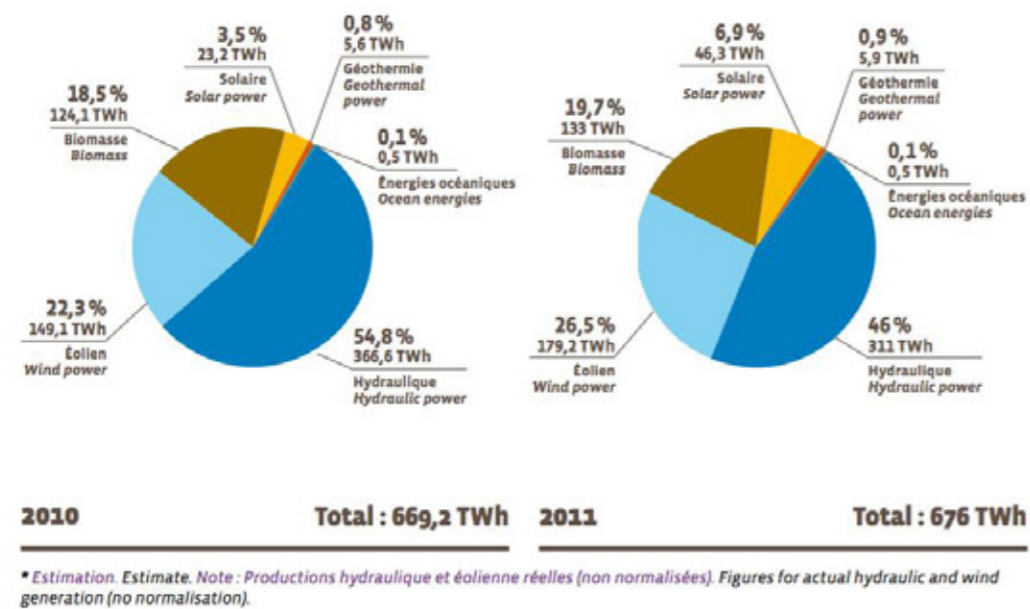
Figura 2-11 Energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili: decennio 2000-2010 (UE-27)



Fonte: Eurostat, 2013

I pesi in termini percentuali che le singole fonti rinnovabili hanno avuto nel 2010 e 2011, relativamente alla produzione totale di energia elettrica dei Paesi UE, variano notevolmente tra loro (Figura 2-12), con una produzione totale pari a 669,2 TWh e 676 TWh rispettivamente nel 2010 e nel 2011.

Figura 2-12 Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in UE: quote per fonte



Fonte: 12th EurObserv'ER Report - 2012

### 2.3.1 La politica energetica europea

Dalla sua nascita, con la stipulazione dei trattati CECA<sup>5</sup> e Euratom<sup>6</sup>, l'Unione Europea ha individuato in una politica comune, in grado di far convergere sinergicamente le diverse strategie degli stati membri, lo strumento più efficace per rispondere alle sfide energetiche che si sono presentate nel corso degli ultimi 50 anni.

L'articolo 194, comma 1 - Energia - del Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea<sup>7</sup>, conferma quest'impostazione ove disciplina: "...la politica dell'Unione nel settore dell'energia è intesa, in uno spirito di solidarietà tra Stati membri, a:

- garantire il funzionamento del mercato dell'energia;
- garantire la sicurezza dell'approvvigionamento energetico nell'Unione;
- promuovere il risparmio energetico, l'efficienza energetica e lo sviluppo di energie nuove e rinnovabili;
- promuovere l'interconnessione delle reti energetiche."

L'approccio comune nelle politiche energetiche da parte dell'Unione Europea, ha trovato una delle sue più importanti conferme nell'aprile del 1998, quando gli stati membri hanno

<sup>5</sup> Trattato che istituì nel 1951 la Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio.

<sup>6</sup> Il Trattato Euratom fu stipulato nel 1957.

<sup>7</sup> Versione consolidata del Trattato sull'Unione Europea e del Trattato sul Funzionamento dell'Unione Europea – C 115/134 IT Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea 9.5.2008.

congiuntamente firmato il **Protocollo di Kyoto**<sup>8</sup>, entrato in vigore solo a partire dal novembre 2005 con la firma della Federazione Russa, in accordo al criterio che ne vincolava l'attuazione alla ratifica di non meno di 55 nazioni firmatarie, che producessero almeno il 55% delle emissioni inquinanti a livello globale.

Il Protocollo di Kyoto rappresenta il primo strumento globale per reagire ai cambiamenti climatici causati dalle attività umane. L'importanza del Protocollo consiste nell'aver fissato dei limiti alle emissioni di gas ad effetto serra prodotte dai paesi industrializzati e firmandolo l'UE si è impegnata a ridurre, nel periodo 2008-2012, le emissioni dei gas ad effetto serra dell'8% rispetto ai livelli del 1990.

Il Protocollo ha anche introdotto tre nuovi meccanismi internazionali – i "meccanismi flessibili" - la cui *ratio* consiste nel rendere realizzabile e meno onerosa l'attuazione dell'obiettivo della riduzione dell'emissione di gas serra.

I meccanismi flessibili sono elementi essenziali della nuova politica comunitaria poiché consentono lo scambio di crediti di emissione tra diverse nazioni secondo i processi seguenti:

- **Clean Development Mechanism (CDM):** consente ai paesi industrializzati e ad economia in transizione di realizzare progetti nei paesi in via di sviluppo, che producano benefici ambientali in termini di riduzione delle emissioni di gas-serra e di sviluppo economico e sociale dei Paesi ospiti e nello stesso tempo generino crediti di emissione per i Paesi che promuovono gli interventi;
- **Joint Implementation (JI):** consente ai paesi industrializzati e ad economia in transizione di realizzare progetti per la riduzione delle emissioni di gas-serra in un altro paese dello stesso gruppo e di utilizzare i crediti derivanti, congiuntamente con il paese ospite;
- **Emissions Trading (ET):** consente lo scambio di crediti di emissione tra paesi industrializzati e ad economia in transizione; un paese che abbia conseguito una diminuzione delle proprie emissioni di gas serra superiore al proprio obiettivo può così cedere (ricorrendo all'ET) tali "crediti" a un paese che, al contrario, non sia stato in grado di rispettare i propri impegni di riduzione delle emissioni di gas-serra.

Dal Protocollo di Kyoto in avanti, le politiche dell'UE sono state indirizzate verso la promozione di un'economia a basso consumo energetico, più sicura, più competitiva e più sostenibile, nonché in grado di contemperare la duplice esigenza di contrastare gli effetti e le

<sup>8</sup> Il Protocollo di Kyoto è stato adottato nel dicembre 1997 dalla Terza Conferenza delle Parti aderenti alla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC).

cause umane dei cambiamenti climatici e di rendere quello comunitario un mercato altamente competitivo. Nelle intenzioni dei governi dei paesi membri, infatti, la nuova politica energetica doveva rappresentare un elemento centrale per consentire all' UE di: "diventare l'economia basata sulla conoscenza più competitiva e dinamica del mondo, in grado di realizzare una crescita economica sostenibile con nuovi e migliori posti di lavoro e una maggiore coesione sociale".<sup>9</sup>

Per concretizzare le intenzioni manifestate con la firma del Protocollo di Kyoto attraverso il consenso più ampio di tutti gli stati membri, la Commissione Europea ha deciso di suscitare un dibattito sullo scambio dei diritti di emissione di gas ad effetto serra all'interno dell'Unione Europea e sul rapporto tra tale meccanismo e le altre politiche e misure adottate per far fronte al problema del cambiamento climatico.

Dal primo passo di questo percorso rappresentato dal *Libro Verde – sullo scambio dei diritti di emissione di gas ad effetto serra all'interno dell'Unione Europea*<sup>10</sup> sono state molte le politiche mirate a garantire i raggiungimenti degli obiettivi fissati nel Protocollo di Kyoto.

Tra le più rilevanti ricordiamo il *Libro Verde - Una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura*<sup>11</sup>, pubblicato nel marzo del 2006 dalla Commissione Europea, che rappresenta il testo analitico propedeutico con cui la Commissione ha invitato il Consiglio Europeo ed il Parlamento Europeo ad avviare un dibattito pubblico di grande respiro, a cui far seguire le proposte di azione che rappresentano l'impianto principale della nuova politica energetica varata nel 2007.

Nel Libro Verde 2006 vengono riconosciuti **sei settori chiave** in cui è necessario intervenire per affrontare le sfide che si profilano nei prossimi 20/30 anni:

- 1) **completamento dei mercati interni europei dell'energia elettrica e del gas;**
- 2) **un mercato interno dell'energia che garantisca la sicurezza dell'approvvigionamento;**
- 3) **sicurezza e competitività dell'approvvigionamento energetico attraverso un mix energetico più sostenibile, efficiente e diversificato:** il riesame strategico della politica energetica dell'UE offrirebbe un chiaro quadro di riferimento europeo per le

<sup>9</sup> L'obiettivo dell'accrescimento della competitività nella UE si è andato concretizzando nella "Strategia di Lisbona", avviata con la sessione straordinaria del 23 e 24 marzo 2000 a Lisbona dal Consiglio Europeo. In quella occasione si è concordato un nuovo obiettivo strategico per l'Unione per il nuovo decennio al fine di sostenere l'occupazione, le riforme economiche e la coesione sociale nel contesto di un'economia basata sulla conoscenza.

<sup>10</sup> "Libro Verde – sullo scambio dei diritti di emissione di gas ad effetto serra all'interno dell'Unione Europea" - Bruxelles, 08.03.2000, COM 00 (87).

<sup>11</sup> "Libro Verde – Una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura" - Bruxelles, 08.03.2006, COM(2006) 105 definitivo.

decisioni nazionali riguardanti il mix energetico. Dovrebbe analizzare i vantaggi e gli svantaggi delle varie fonti di energia, dalle fonti locali rinnovabili come l'energia eolica, la biomassa e i biocarburanti, le piccole centrali idroelettriche e l'efficienza energetica, il carbone e il nucleare, così come le conseguenze di questi cambiamenti per l'intera UE;

- 4) **un approccio integrato per affrontare i cambiamenti climatici;**
- 5) **promuovere l'innovazione attraverso un piano strategico europeo per le tecnologie energetiche;**
- 6) **promuovere una politica energetica esterna coerente.**

Le indicazioni del Libro Verde 2006 hanno trovato seguito nel *Pacchetto di Azioni in materia energetica* pubblicate dalla Commissione il 10 gennaio 2007, approvato nel Consiglio Europeo di primavera del 8 e 9 marzo 2007. Le conclusioni del Consiglio si sono quindi tradotte nel *Piano d'Azione del Consiglio Europeo 2007-2009 "Politica energetica per l'Europa"*.

Le misure varate nel Piano d'Azione sono finalizzate al completamento del mercato interno dell'energia e al passaggio a un'economia a basse emissioni di carbonio, rafforzandone allo stesso tempo la competitività a livello globale. Un fattore particolarmente innovativo è costituito dall'individuazione, per la prima volta, di obiettivi vincolanti, riconosciuti come "Principio del 20-20-20". Entro il 2020, con tale Principio l'Unione Europea si è impegnata a:

- **ridurre le proprie emissioni di gas serra del 20%;**
- **aumentare l'efficienza energetica del 20%;**
- **contare su un mix energetico proveniente per il 20% da fonti rinnovabili.** Tra queste l'8% dovrà essere generato da biomasse e biocarburanti, arrivando a fissare per questi carburanti "verdi" un utilizzo pari al 10% sul totale di consumo di benzina e gasolio per auto-trazione, promuovendo biocarburanti di "seconda generazione" a basso impatto ambientale, provenienti da materiale forestale e graminacee, attualmente in fase di studio.

Con il Piano d'Azione 2007-2009, la UE ha proposto un'economia ad elevata efficienza energetica e a basse emissioni di CO<sub>2</sub>. Per conseguire questi obiettivi generali, la UE, coerentemente con le indicazioni emerse dal Libro Verde 2006, intendeva far ricorso agli

strumenti di mercato, allo sviluppo delle tecnologie energetiche<sup>12</sup> e agli strumenti finanziari comunitari.

Fondamentalmente, la più recente linea politica e programmatica dell'Unione Europea, individua nel settore energetico il principale fattore delle emissioni di CO<sub>2</sub>, con un peso pari all'80% del totale e impegna gli stati membri a ridurre complessivamente di almeno il 20% le proprie emissioni entro il 2020. Tutti questi obiettivi rappresentano il cardine della strategia dell'UE volta a contenere i cambiamenti climatici.

Per conseguire la riduzione delle emissioni di gas serra, l'Unione Europea ha intenzione di concentrare le proprie politiche in particolare su un **minor consumo di energia** e un **maggiore ricorso a fonti energetiche rinnovabili**, ponendo al contempo attenzione a diminuire la dipendenza energetica degli stati membri da fornitori esteri.

Mentre l'UE registra buoni progressi verso il conseguimento degli obiettivi del 2020 (nel 2011 le riduzioni dei gas serra sono state poco inferiori del 16% mentre nel 2010 la quota delle energie rinnovabili è stata del 12,7%), creando il mercato interno dell'energia e conseguendo altri obiettivi di politica energetica, occorrerà riflettere su un nuovo quadro per il 2030 per le politiche sul clima e l'energia.

A tale proposito l'ultimo *Libro Verde - Un quadro per le politiche dell'energia e del clima all'orizzonte 2030*<sup>13</sup> tiene conto della prospettiva a più lungo termine che la Commissione ha definito nel 2011:

- nella tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050,
- nella tabella di marcia 2050 per l'energia,
- nel Libro bianco sui trasporti.

Il Parlamento europeo ha adottato risoluzioni su ciascuna di queste tabelle di marcia che sono state messe a punto in linea con l'obiettivo di ridurre, entro il 2050, i gas serra da 80 a 95% rispetto ai livelli del 1990, come impegno indispensabile del gruppo dei paesi sviluppati. Gli scenari illustrati in queste tabelle di marcia suggeriscono i seguenti elementi:

- Entro il 2030 le emissioni di gas serra dell'Unione dovranno essere ridotte del 40% per poter conseguire una riduzione dell'80-95% entro il 2050, in linea con l'obiettivo concordato a livello internazionale di limitare il riscaldamento globale a 2 °C.

<sup>12</sup> In particolare le tecnologie per l'efficienza energetica e le energie rinnovabili, o le tecnologie a basso contenuto di carbonio.

<sup>13</sup> "Libro Verde - Un quadro per le politiche dell'energia e del clima all'orizzonte 2030" - Bruxelles, 27.3.2013COM(2013) 169 final.

- L'aumento della quota di energie rinnovabili, il rafforzamento dell'efficienza energetica e lo sviluppo di infrastrutture energetiche migliori e più intelligenti costituiscono opzioni "senza rimpianti" per la trasformazione del sistema energetico dell'UE.
- Per le energie rinnovabili, gli scenari figuranti nella tabella di marcia all'orizzonte 2050 prevedono una quota di circa il 30%.
- Per ammodernare il sistema energetico, con o senza decarbonizzazione, sono necessari investimenti significativi che avranno un impatto sui prezzi dell'energia nel periodo fino al 2030.

### 2.3.2 Il risparmio energetico nella UE

La riduzione del consumo di energia e la prevenzione degli sprechi sono un obiettivo prioritario dell'Unione europea (UE) e rappresentano un pilastro delle politiche energetiche comunitarie.

Favorendo il miglioramento dell'efficienza energetica, la UE intende produrre un contributo decisivo a vantaggio della competitività, della sicurezza degli approvvigionamenti e del rispetto degli impegni assunti nel quadro del protocollo di Kyoto sui cambiamenti climatici. Rispetto alla situazione odierna, le possibilità di riduzione sono consistenti, in particolare nei settori ad elevato consumo di energia, quali il settore dell'edilizia, delle industrie manifatturiere, della conversione dell'energia e dei trasporti.

Già a partire dalla fine del 2006 la UE si è impegnata a ridurre del 20% il consumo annuo di energia primaria entro il 2020. Tale obiettivo è stato quindi confermato nel *Piano d'Azione del Consiglio Europeo 2007-2009 "Politica energetica per l'Europa"*, all'interno del Principio 20-20-20. Per conseguire questo obiettivo, la UE intende mobilitare i cittadini, i responsabili politici e gli operatori del mercato, e fissare, tra l'altro, le norme minime di rendimento energetico e le regole in materia di etichettatura, applicabili ai prodotti, ai servizi e alle infrastrutture.

Il citato *Piano d'Azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità*<sup>14</sup> del 2006, rappresenta il documento ufficiale nel quale vengono delineate le linee di intervento della UE nel periodo 2007-2012 e costituisce il *follow-up* della *Comunicazione 246/1998 - Efficienza Energetica, verso una strategia per l'uso razionale dell'energia*. Il Piano d'Azione propone una serie di misure e di azioni prioritarie per conseguire l'obiettivo della riduzione

<sup>14</sup> Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica 2007-2012 - Bruxelles, 19.10.2006 - COM(2006)545 definitivo.

del 20% dei consumi energetici entro il 2020. Il metodo proposto consiste nel mobilitare la società civile e i responsabili politici a tutti i livelli, oltre agli operatori di mercato, e trasformare il mercato interno dell'energia in modo da fornire ai cittadini della UE edifici, elettrodomestici, processi, veicoli e sistemi energetici che siano globalmente più efficienti sul piano energetico. Data l'importanza del fattore umano per la riduzione dei consumi di energia, il Piano d'Azione 2006 mira inoltre a incoraggiare i cittadini a utilizzare l'energia nel modo più razionale possibile.

La politica energetica varata con il Piano d'Azione verrà recepita nei Programmi Operativi finanziati dai *Fondi Strutturali e di Coesione*<sup>15</sup>, con l'obiettivo di collegare efficaci politiche energetiche, con particolare attenzione al settore edilizio, al sostegno alle regioni che ne hanno bisogno, in particolare nei nuovi Stati membri.

Completa il quadro degli strumenti attivati dalla Commissione a favore dell'efficienza energetica il *Programma Energia Intelligente - Europa*, che contribuisce ad accelerare la realizzazione degli obiettivi nel settore dell'energia sostenibile. Esso sostiene quindi il miglioramento dell'efficacia energetica, l'adozione di fonti di energia nuova e rinnovabile, una maggiore penetrazione sul mercato di tali fonti di energia, la diversificazione dell'energia e dei carburanti, l'aumento della quota di energia rinnovabile e la riduzione del consumo energetico finale.

### 2.3.3 Le energie rinnovabili nella UE

L'attenzione della nuova politica energetica rivolta dall'Unione Europea alle fonti energetiche rinnovabili, è strettamente connessa alla strategia di riduzione dei gas serra, nell'ambito della lotta ai cambiamenti climatici. Le fonti energetiche rinnovabili, inoltre, contribuiscono alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla crescita e all'aumento dell'occupazione in Europa, incrementando la produzione e il consumo di energia generata in loco.

In accordo con la definizione riportata nella *Direttiva 2001/77/CE* (aggiornata dalla *Direttiva 2009/28/CE*) sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, le principali Fonti Energetiche Rinnovabili, (FER) sono: **Eolica; Solare** (solare termico; solare fotovoltaico); **Geotermica; Moto ondoso e mareomotrice; Idraulica; Biomassa; Biogas**.

La *Direttiva 2009/28/CE* stabilisce un quadro comune per la promozione dell'energia da

<sup>15</sup> Regolamento (CE) n. 1260/1999 del Consiglio, del 21 giugno 1999, recante disposizioni generali sui Fondi strutturali e Regolamenti collegati.

fonti rinnovabili e fissa obiettivi nazionali obbligatori per la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia e per la quota di energia da fonti rinnovabili nei trasporti.

Secondo quanto previsto all'art. 4 della direttiva, ogni Stato membro adotta un Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili, il quale fissa gli obiettivi nazionali degli Stati membri per la quota di energia da fonti rinnovabili consumata nel settore dei trasporti, dell'elettricità e del riscaldamento e raffreddamento nel 2020, tenendo conto degli effetti di altre misure politiche relative all'efficienza energetica sul consumo finale di energia, e delle misure appropriate da adottare per raggiungere detti obiettivi nazionali generali.

Con la recente legge comunitaria 2009 il Parlamento ha conferito delega al Governo per il recepimento della direttiva 2009/28/CE, fissando specifici criteri per l'esercizio della delega. Tali criteri prevedono, tra l'altro, che sia garantito il conseguimento degli obiettivi mediante la promozione congiunta di efficienza energetica e un utilizzo equilibrato delle fonti rinnovabili per la produzione e il consumo di energia elettrica calore e biocarburanti. Inoltre, bisognerà favorire le cooperazioni internazionali, la semplificazione amministrativa, lo sviluppo delle reti, il sistema di monitoraggio e la cooperazione tra autorità locali, regionali e nazionali. Gli stessi criteri, comunque, indicano l'esigenza di perseguire gli obiettivi tenendo conto, come peraltro deve essere usuale nell'ordinaria attività amministrativa, del rapporto costi-benefici relativo al singolo strumento o misura introdotti.

In coerenza con le indicazioni del Parlamento, il Piano delinea una strategia e le relative misure di attuazione, aggiuntive e in alcuni casi correttive di quelle esistenti.

Per quanto riguarda l'obiettivo del 20% per le energie rinnovabili secondo il principio del "20-20-20", sarà perseguito anche attraverso l'utilizzo ottimale degli strumenti finanziari esistenti, quale i Fondi Strutturali e di Coesione e gli strumenti orientati verso il sostegno alla ricerca, alla diffusione delle tecnologie, quali il Piano Strategico per le Tecnologie Energetiche, il *Programma Quadro per la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico*<sup>16</sup> o il *Programma Energia Intelligente per l'Europa*<sup>17</sup>.

Gli Stati membri e le autorità locali e regionali sono invitati a utilizzare al meglio gli strumenti a loro disposizione e a promuovere lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili, tra l'altro alleggerendo gli oneri amministrativi e migliorando la pianificazione. Il Programma

<sup>16</sup> Decisione 1982/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006, concernente il settimo programma quadro della Comunità europea per le attività di ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione (2007-2013).

<sup>17</sup> Decisione 1230/2003 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2003 che adotta un programma pluriennale di azioni nel settore dell'energia: «Energia intelligente — Europa» (2003-2006).



Energia Intelligente si inquadra nell'ambito del *Programma Quadro per l'Innovazione e la Competitività (PIC) (2007-2013)*<sup>18</sup>. Il PIC propone un quadro coerente per migliorare la competitività e il potenziale d'innovazione all'interno della UE, attraverso azioni rivolte allo sviluppo della società della conoscenza e allo sviluppo sostenibile basato su una crescita economica equilibrata.

Il programma quadro favorisce specifici programmi di sostegno comunitario, nonché nuove azioni e sinergie con altri programmi. Esso risponde pertanto agli obiettivi della rinnovata strategia di Lisbona in favore di un'azione comunitaria più semplice, più visibile e più mirata.

Per tener conto della diversità dei suoi obiettivi e assicurarne la visibilità, il PIC sarà composto da tre sottoprogrammi specifici: a) il Programma per l'Innovazione e l'Imprenditorialità, che riunisce azioni volte a promuovere l'imprenditorialità, la competitività industriale e l'innovazione e che sostiene anche la promozione dell'eco-innovazione, incoraggiando il pieno sfruttamento del potenziale delle ecotecnologie; b) il Programma di Sostegno Strategico in Materia di TIC, che ha l'obiettivo di promuovere l'adozione e lo sfruttamento delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione e c) il *Programma Energia intelligente - Europa (EN)*.

Il Programma Energia intelligente - Europa (EN) contribuisce ad accelerare la realizzazione degli obiettivi nel settore dell'energia sostenibile. Esso sostiene quindi il miglioramento dell'efficacia energetica, l'adozione di fonti di energia nuova e rinnovabile, una maggiore penetrazione sul mercato di tali fonti di energia, la diversificazione dell'energia e dei carburanti, l'aumento della quota di energia rinnovabile e la riduzione del consumo energetico finale. Un'attenzione particolare viene rivolta in tale quadro al settore dei trasporti. Il programma garantisce la continuità del programma «Energia intelligente - Europa» (2003-2006).

#### **2.3.4 Le politiche di sostegno alle bioenergie**

Con le Direttive 77/2001 e 30/2003, l'Unione Europea conferiva dimensione giuridica alle biomasse, definite come “... *la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura, comprendente sostanze vegetali e animali, dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani*”.

Quello delle biomasse rappresenta un ambito strategico nel contesto delle FER e della

<sup>18</sup> Decisione 1639/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 ottobre 2006, che stabilisce un programma quadro per l'innovazione e la competitività (2007-2013).

politica energetica comunitaria, dal momento che le riserve di bioenergia sono costantemente immagazzinabili, che si tratta di una sorgente di energia affidabile e ampiamente disponibile in tutte le parti di Europa.

La biomassa è fornita dalle foreste (che forniscono circa la metà dell'energia rinnovabile nell'Unione Europea), dall'agricoltura e dai rifiuti organici. I combustibili liquidi correntemente provengono principalmente dalle colture agricole. Queste caratteristiche fanno sì che la bioenergia rappresenti i due terzi circa di tutta l'energia rinnovabile prodotta.

Gli agricoltori che coltivano colture da bioenergie possono beneficiare di alcuni contributi e sono liberi di decidere se e che cosa vogliono produrre per l'industria agroalimentare, per uso alimentare o per usi energetici.

Il settore delle biomasse, oltre ad essere interessato dalle politiche comunitarie rivolte alle FER, viene sostenuto direttamente anche dalle misure della nuova Politica Agricola Comune (PAC) e dai Piani di Sviluppo Rurale (PSR).

Infatti, da un lato, l'agricoltura consuma combustibili fossili per le operazioni aziendali ed emette nell'atmosfera metano e ossido d'azoto proveniente dalla zootecnia e dalle colture, risentendo al tempo stesso dei mutamenti climatici in atto, dall'altro, però, essa può giocare un ruolo attivo nel contenimento delle emissioni dei gas serra, in termini di fissazione temporanea di carbonio nei suoli, nelle produzioni vegetali e arboree, nell'accrescimento naturale dello *stock* di biomasse forestali e prodotti a base di fibre legnose e, soprattutto, nella produzione di biomasse agro-forestali da impiegare a fini energetici.

##### 2.3.4.1 La Politica Agricola Comune (PAC)

Il primo incentivo a favore delle agroenergie è insito nella riforma della PAC del 2003<sup>19</sup>. Con essa è stato introdotto il disaccoppiamento, pertanto il sostegno al reddito degli agricoltori non è più vincolato alla produzione agricola; gli agricoltori continuano a ricevere il sostegno e sono liberi di praticare qualunque coltivazione, quindi possono rispondere liberamente alla crescente domanda di colture energetiche.

La riforma del 2003 ha introdotto un regime speciale di aiuto alle colture energetiche di 45 euro ad ettaro per tutte le superfici agricole, a condizione che i prodotti ottenuti siano destinati alla produzione di energia termica, elettrica o meccanica e/o biocarburanti e biocombustibili.

<sup>19</sup> Reg. (CE) 29 settembre 2003 n. 1782/2003, Regolamento del Consiglio che stabilisce norme comuni relative ai regimi di sostegno diretto nell'ambito della politica agricola comune e istituisce taluni regimi di sostegno a favore degli agricoltori e che modifica i regolamenti (CEE) n. 2019/93, (CE) n. 1452/2001, (CE) n. 1453/2001, (CE) n. 1454/2001, (CE) n. 1868/94, (CE) n. 1251/1999, (CE) n. 1254/1999, (CE) n. 1673/2000, (CEE) n. 2358/71 e (CE) n. 2529/2001. Entrato in vigore il 28 ottobre 2003.

L'aiuto è limitato ad una superficie massima a livello comunitario di 2,0 milioni di ettari. L'agricoltore che intende beneficiare di tale aiuto è tenuto a sottoscrivere un apposito contratto di coltivazione con un'industria di trasformazione che attesti la destinazione agroenergetica.

Inoltre, la riforma del 2003 consentiva la possibilità di utilizzare i terreni soggetti ad obbligo di "ritiro dalla produzione" (*set aside*) per l'impianto di colture energetiche, comprese le colture a breve ciclo di rotazione (ad esempio *short rotation forestry*) e altre colture perenni. Anche in questo caso, l'agricoltore è obbligato a sottoscrivere un apposito contratto di coltivazione con un'industria di trasformazione.

Con la verifica dello stato di salute della PAC (*Healthcheck*), approvata il 20 novembre del 2008, sono stati introdotti alcuni cambiamenti nella politica di incentivazione alle colture energetiche. Il disaccoppiamento è stato confermato e rafforzato, consentendo all'agricoltore di orientarsi, senza vincoli, verso le produzioni maggiormente richieste dal mercato, quindi anche verso le colture energetiche, qualora le condizioni di mercato rendano conveniente la loro coltivazione.

Invece, il *set aside* obbligatorio è stato soppresso; è venuto quindi meno lo stimolo alla coltivazione di colture energetiche sui terreni obbligatoriamente ritirati dalla produzione. In coerenza con l'obiettivo del disaccoppiamento totale, anche l'aiuto alle colture energetiche di 45 euro ad ettaro è stato soppresso, a partire dal 2010<sup>20</sup>. A giustificazione di questa scelta, la Commissione Europea osserva che, alla luce dei recenti sviluppi nel settore delle bioenergie e in particolare della forte domanda di tali prodotti sui mercati internazionali e della fissazione di obiettivi vincolanti relativi alla quota della bioenergia sul totale dei carburanti entro il 2020, non appare più motivata l'erogazione di un aiuto specifico per le colture energetiche. L'abolizione dell'aiuto alle colture energetiche non deve essere interpretato come un arretramento di interesse della PAC verso le energie rinnovabili provenienti da biomassa agricola. Anzi, con l'*Healthcheck* della PAC, l'interesse verso le agroenergie è stato rafforzato, ma sono stati modificati gli strumenti di incentivazione. L'UE ritiene che l'incentivazione debba concentrarsi sulla domanda di energia rinnovabile e non sull'offerta di biomassa. In altre parole, l'incentivo alle biomasse agricole deve provenire dalla politica energetica, come ad esempio dal meccanismo dei Certificati Verdi e dall'obbligo di

<sup>20</sup> Regolamento (CE) n. 73/2009 del Consiglio del 19 gennaio 2009 che stabilisce norme comuni relative ai regimi di sostegno diretto agli agricoltori nell'ambito della politica agricola comune e istituisce taluni regimi di sostegno a favore degli agricoltori, e che modifica i regolamenti (CE) n. 1290/2005, (CE) n. 247/2006, (CE) 378/2007 e che abroga il regolamento (CE) n. 1782/2003.

miscelazione dei biocarburanti nei carburanti di origine fossile. L'aumento della domanda di energia rinnovabile, stimolata dalla politica energetica, produrrà inevitabilmente un'incentivazione alla produzione di biomasse.

Inoltre sono stati rafforzati gli strumenti della politica di sviluppo rurale per favorire la partecipazione degli agricoltori e degli operatori delle zone rurali ad iniziative economiche di sviluppo della produzione di energia rinnovabile.

#### 2.3.4.2 I Piani di Sviluppo Rurale (PSR)

Un altro mezzo di incentivazione delle agroenergie è rappresentato dalla politica di sviluppo rurale 2007-2013 (Reg. CE 1698/2005), che si attua attraverso i Programmi di Sviluppo Rurale (PSR). La programmazione per lo sviluppo rurale 2007-2013 prevede diverse misure finalizzate all'incentivazione delle agroenergie; tutte le Regioni italiane hanno colto questa opportunità ed hanno inserito misure prioritarie per stimolare gli investimenti nel settore delle agroenergie. In particolare ci si riferisce a:

- a) *misura 121* (ammodernamento delle aziende agricole), in cui sono previsti aiuti agli investimenti aziendali nel settore della produzione di biomasse (es. macchine agricole) e loro trasformazione aziendale in energia (es. impianti di biogas);
- b) *misura 123* (accrescimento del valore aggiunto dei prodotti agricoli e forestali), in cui i PSR possono concedere contributi per investimenti per la trasformazione di biomasse in energia, da parte di imprese agroindustriali o cooperative di agricoltori;
- c) *misura 311* (diversificazione in attività non agricole), in cui sono previsti incentivi alla creazione di microimprese nel settore agroenergetico;
- d) *misura 321* (servizi essenziali per l'economia e la popolazione rurale), in cui i PSR possono concedere contributi per la realizzazione di infrastrutture nelle zone rurali nel settore agroenergetico (es. reti di distribuzione dell'energia).

Con l'*Healthcheck* della PAC, la politica di sviluppo rurale a favore delle energie rinnovabili è stata ulteriormente potenziata, sia tramite maggiori risorse finanziarie provenienti dalla modulazione, sia tramite una strategia più mirata.

Infatti, le risorse finanziarie aggiuntive che provengono dalla modulazione saranno indirizzate ai PSR solo ed esclusivamente alla realizzazione di operazioni compatibili con cinque "nuove sfide" della politica di sviluppo rurale:

1. mitigazione dei cambiamenti climatici;
2. sviluppo delle energie rinnovabili;

3. maggiore attenzione alla gestione delle risorse idriche;
4. arrestare il declino della biodiversità;
5. sostenere la ristrutturazione del settore lattiero-caseario.

Lo sviluppo delle energie rinnovabili rappresenta quindi una nuova sfida per la politica di sviluppo rurale. L'UE ribadisce che l'incremento della produzione di energia rinnovabile da biomasse agricole e forestali dovrebbe contribuire al raggiungimento dei nuovi traguardi dell'UE per il consumo totale di combustibili e di energia entro il 2020. Dal punto di vista normativo, a livello comunitario, questa evoluzione si è concretizzata con il Reg. CE 74/2009 che ha modificato il regolamento di base sullo sviluppo rurale (Reg. CE 1698/2005), e con la Decisione del Consiglio del 19.01.2009 che ha modificato gli Orientamenti Strategici Comunitari (OSC).

Entro il 30 giugno 2009, gli Stati membri devono modificare i Piani Strategici Nazionale (PSN) e le Regioni devono rivedere i PSR per includere gli incentivi previsti dalle nuove sfide e, quindi, anche lo sviluppo delle energie rinnovabili. A tal fine, sono previsti una serie di nuovi interventi che potranno essere inseriti nei PSR. Gli aiuti agli investimenti nell'ambito dell'asse 1 possono, in particolare, essere mirati all'acquisto di macchinari e attrezzature per il risparmio energetico e di altri fattori di produzione nonché alla produzione di energia rinnovabile per uso aziendale. Nei settori agroalimentare e forestale, gli aiuti agli investimenti dovrebbero favorire lo sviluppo di metodi innovativi e più sostenibili di trasformazione dei biocarburanti. Nell'ambito degli assi 3 e 4 è possibile sostenere progetti su scala locale e progetti di cooperazione nel campo dell'energia rinnovabile, come pure la diversificazione dell'attività agricola verso la produzione di bioenergia.

Inoltre le problematiche dei cambiamenti climatici e dell'energia rinnovabile sono comuni a tutte le zone rurali; gli Stati membri possono quindi incoraggiare i gruppi di azione locale previsti nell'ambito dell'asse 4 a inserirle trasversalmente nelle loro strategie di sviluppo locale.

### 3 LE BIOMASSE ENERGETICHE

#### 3.1 Definizione

Le criticità legate alla riduzione della disponibilità delle fonti energetiche di origine fossile, nonché alla loro distribuzione geografica in aree politicamente instabili, unitamente alle ingenti problematiche ambientali a scala globale, hanno indotto una crescente attenzione verso la ricerca di fonti energetiche alternative: eolica, solare, geotermica, idraulica, biomasse e moto ondoso. Il nostro studio si focalizza sull'energia derivante dalle biomasse (in particolare quelle di origine vegetale), ricavata tramite la trasformazione di prodotti di natura organica classificati come tali.

L'art.2, lettera e), del D.lgs. 387/2003, ampliato dal recente D.lgs. 28/2011 recante "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE", definisce la **biomassa** come:

*"la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani"*.

Con il termine "biomassa", quindi, ci si riferisce ad una gran quantità di materiali di natura estremamente eterogenea. Con alcune eccezioni, si può dire che è biomassa tutto ciò che ha matrice organica, vegetale o animale, destinata a fini energetici o alla produzione di ammendante agricolo. Sono da escludere le plastiche e i materiali fossili, che, pur rientrando nella *chimica del carbonio*, non hanno nulla a che vedere con la caratterizzazione, che qui interessa, dei materiali organici.

La biomassa rappresenta la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare. Questa, infatti, consente alle piante di convertire la CO<sub>2</sub> atmosferica in materia organica, attraverso il processo di fotosintesi, durante la crescita. In questo modo, vengono fissate complessivamente circa 2·10<sup>11</sup> tonnellate di carbonio l'anno, con un contenuto energetico dell'ordine di 70·10<sup>3</sup> Mtep, circa 10 volte l'attuale fabbisogno energetico mondiale.

La brevità del periodo di ripristino, inoltre, fa sì che le biomasse rientrino tra le fonti energetiche rinnovabili, in quanto il tempo di sfruttamento della sostanza, se opportunamente utilizzata, è paragonabile a quello di rigenerazione. Poiché nel concetto di

rinnovabilità di una fonte energetica è insita anche la sostenibilità ambientale, è necessario che le biomasse, con particolare riferimento a quelle di origine forestale, provengano da pratiche aventi impatto ambientale trascurabile o nullo (es. le operazioni di manutenzione boschiva, colture energetiche dedicate, ecc.). La valutazione della sostenibilità ambientale, inoltre, deve tener conto non solo della provenienza della materia prima, ma anche delle implicazioni del suo utilizzo a fini energetici. Ad esempio, la rimozione di residui agricoli dovrebbe essere soppesata valutando, oltre ai benefici della bioenergia, anche le pratiche agricole (ad esempio, la combustione a bordo campo) e la rimozione di nutrienti dal suolo (che poi devono essere reintegrati con l'applicazione di fertilizzanti).

### 3.2 Caratteristiche e processi di conversione

Alle biomasse energetiche fanno dunque parte tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili, ovvero trasformati in combustibili solidi, liquidi o gassosi, così classificati:

- sottoprodotti di origina agricola e delle industrie connesse;
- sottoprodotti delle utilizzazioni forestali e delle industrie di prima e seconda trasformazione del legno;
- colture energetiche dedicate (arboree ed erbacee) destinate specificatamente alla produzione di biocombustibili e biocarburanti;
- reflui zootecnici destinati alla produzione di biogas;
- parte organica dei rifiuti urbani;
- residui delle operazioni di manutenzione del verde urbano.

A causa della grande varietà delle biomasse, a cui corrisponde una varietà di caratteristiche chimico-fisiche (nonché energetiche), non esiste un'unica tecnologia per trasformare l'energia contenuta in energia utilizzabile.

Per poter scegliere dunque il processo più idoneo è opportuno conoscere le caratteristiche tecnologiche ed energetiche delle differenti tipologie di biomassa.

#### 3.2.1 Caratteristiche tecnologiche ed energetiche

##### 3.2.1.1 Le caratteristiche chimiche

Dal punto di vista energetico, le biomasse possono essere considerate come energia radiante, trasformata dalle piante in energia chimica e stoccata sotto forma di molecole complesse (polimeri) ad alto contenuto energetico, grazie al processo di fotosintesi.

I principali polimeri delle biomasse sono la cellulosa, l'emicellulosa e la lignina (che differenzia il legno dagli altri materiali vegetali).

Oltre ai tre componenti principali, sono presenti numerosi altri composti organici, localizzati nel lume e nella parete cellulare: olii, terpeni, resine, grassi, gomme, zuccheri non-strutturali, tannini, alcaloidi, cere, ecc.. Alcune di queste sostanze possono essere separate, attraverso l'impiego di mezzi chimici e fisici, e vanno sotto il nome di estrattivi (Hakkila, 1989).

Una frazione importante delle biomasse è costituita dai composti inorganici (sali di calcio, magnesio, sodio, potassio, silicio, ecc.), che solitamente si ritrovano, in seguito alla combustione, nelle ceneri. La percentuale dei composti inorganici varia in funzione di diversi fattori (terreno, specie, organo della pianta, ecc.). Riguardo alla sua composizione elementare, la biomassa – anche se vi sono variazioni tra i diversi tipi – è composta quasi interamente da tre elementi: carbonio (44-51%), ossigeno (41-50%), idrogeno (5-7%) (Quaak *et al.*, 1999). A differenza di altri combustibili (quali, ad esempio, il carbone), esso contiene relativamente basse quantità d'azoto, tracce di zolfo e altri elementi minerali che, in seguito ai processi di conversione della biomassa, vanno a formare un residuo (ceneri nei processi termochimici; frazione non biodegradabile in quelli biochimici).

Il rapporto percentuale tra i principali elementi (in particolare, i rapporti H/C e O/C) influiscono in maniera determinante sul valore della biomassa come combustibile: un alto contenuto di carbonio e idrogeno determina un più alto potere calorifico, mentre elevate presenze di ossigeno, azoto e ceneri hanno un effetto opposto.

Un altro parametro di interesse per il valore combustibile della biomassa, direttamente correlato alla composizione chimica e alle modalità dei legami tra atomi e molecole, è la volatilità, data dalla quantità di materiale volatile presente nella biomassa, espressa in percentuale sul peso secco. Per esempio, rispetto agli altri combustibili, la volatilità del legno è molto elevata (dal 75% all'87%),

##### 3.2.1.2 Le caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche della biomassa che svolgono una certa influenza sui processi di conversione energetica sono l'umidità (per le biomasse sia erbacee che legnose), la densità e il peso specifico (specialmente per quelle legnose).

L'umidità esprime la quantità di acqua (libera e legata) presente nella biomassa, espressa come percentuale sia sul peso secco sia sul peso fresco; nel primo caso si guarda al tenore in acqua in valore assoluto e in rapporto alla massa anidra della biomassa:

$$\text{H}(\%) = (M_i - M_a) / M_a \times 100;$$

nel secondo caso, invece, si valuta il tenore in acqua in rapporto al peso tal quale:

$$\text{h}(\%) = (M_i - M_a) / M_i \times 100;$$

dove:

$M_i$  = massa della biomassa tal quale,

$M_a$  = massa della biomassa allo stato secco.

La densità rappresenta il più comune indicatore di qualità del combustibile legnoso, infatti il potere calorifico del legno è direttamente proporzionale ad essa. La densità è la massa per unità di volume e si misura in  $\text{kg/m}^3$ ; la densità basale si esprime in tonnellate al metro cubo e indica il rapporto tra la massa del legno secco e il volume del legno con umidità (esclusa la corteccia) e si distingue dalla densità di massa che indica il rapporto tra massa del legno con umidità e volume del legno con umidità.

Il peso specifico si definisce invece, come il rapporto tra la densità basale del legno e la densità dell'acqua a 4°C. Di conseguenza esso è indipendente dal sistema di misura.

### 3.2.1.3 Le caratteristiche energetiche

Un indicatore efficace del valore combustibile di un vettore energetico è rappresentato dal potere calorifico (in particolare il Potere Calorifico Inferiore, PCI), che si definisce come la quantità di calore prodotta dalla combustione completa di un'unità di peso di un materiale energetico. In genere si usa esprimere tale valore in kcal/kg oppure in kJ/kg.

Nel caso dei combustibili liquidi e solidi, il contenuto energetico può essere espresso in relazione al volume (kcal/l oppure  $\text{kcal/m}^3$ ).

Il potere calorifico delle biomasse varia notevolmente in funzione delle caratteristiche fisiche e della composizione chimica del materiale. A parità di peso, per esempio il legno di conifere ha un potere calorifico maggiore rispetto a quello delle latifoglie: ciò è dovuto alla presenza di resine e a più elevate quantità di lignina.

Nella Tabella 3-1 sono indicati valori approssimativi del potere calorifico di alcune tipologie di biomassa in rapporto alla loro umidità, nonché il loro contenuto di ceneri in valore percentuale.

Tabella 3-1 Proprietà di alcuni tipi di biomassa

Tipo di biomassa	PCI (kJ/kg)	Umidità (%)	Ceneri (%)
Mais	13.000÷15.000	10÷20	2÷7
Paglia	12.000	10	4,4
Legno	8.400÷17.000	10÷60	0,25÷1,7
Torba	9.000÷15.000	13÷15	1÷20
Lolla di riso	14.000	9	19
Carbone	25.000÷32.000	1÷10	0,5÷6

Fonte: Quaak *et al.*, 1999

Ovviamente, una comparazione tra il valore di riscaldamento delle biomasse e quello di altri combustibili (se si pensa che il potere calorifico del gas naturale è pari circa 35.000 kJ/kg) non può basarsi solo sul potere calorifico, ma deve tener conto anche dell'efficienza di bruciatura, la quale è una misura della quantità di energia prodotta rispetto a quella consumata.

Va tenuto anche in considerazione, tra le differenti tipologie di biomassa, del loro contenuto in ceneri. Queste ceneri, che vanno a costituire un residuo del processo di conversione della biomassa, oltre a diminuire l'energia disponibile, possono creare anche dei problemi di funzionamento alle macchine, soprattutto nei processi termochimici. È quindi importante conoscere la composizione della biomassa per sapere quali elementi potenzialmente pericolosi contiene. In particolare, si pone attenzione sulla quantità di metalli alcalini e alcalino-terrosi: sodio, potassio, magnesio e calcio. Ad alte temperature, questi metalli possono reagire con il silicio e formare un liquido denso e appiccicoso che può bloccare le tubazioni delle macchine. Anche se il contenuto di silicio nella biomassa è basso, questo problema può presentarsi perché il terreno attaccato alla biomassa quasi sempre ne contiene.

### 3.2.2 **Processi di conversione**

Le biomasse sono una fonte energetica il cui contenuto calorico può essere sfruttato attraverso molteplici processi basati su diverse tecnologie. Il modo più semplice (e il più antico) per convertire le biomasse in energia termica, ed eventualmente elettrica, è la combustione diretta. Esistono tuttavia altri processi di natura biochimica o termochimica atti a trasformare le biomasse in vettori energetici differenti, che possono essere liquidi, solidi o gassosi. Il vantaggio di questi combustibili derivati è che hanno una più elevata densità energetica che ne abbatta i costi di trasporto; inoltre possono adattarsi all'impiego in svariate applicazioni, come per esempio in motori endotermici. Il tipo di processo a cui sottoporre la biomassa dipende in primo luogo da

alcune caratteristiche fisiche (umidità) e chimiche (rapporto carbonio/azoto). In particolare i trattamenti si dividono in due tipologie di processi: biochimici e termochimici (McKendry, 2002; Klass, 1998).

Per le conversioni di tipo termochimico (combustione e gassificazione), risultano essere adatte le biomasse che hanno le seguenti caratteristiche:

- elevato rapporto carbonio/azoto ( $C/N > 30$ );
- un ridotto contenuto di umidità ( $u < 30-50\%$  sul peso tal quale);
- un sufficiente potere calorifico inferiore ( $PCI > 2400$  kcal/kg ss).

Per le conversioni di tipo termochimico risultano quindi idonee la legna e i suoi derivati (segatura, trucioli, etc.), i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligneo-cellulosico (paglia di cereali, residui di potature, etc.) e alcuni scarti di lavorazione (lolla, gusci, noccioli, etc.).

Per le conversioni di tipo biochimico, sono adatte le biomasse che presentano le seguenti caratteristiche:

- un ridotto rapporto carbonio/azoto ( $C/N < 30$ );
- un elevato contenuto di umidità ( $u > 30-50\%$  sul peso tal quale).

Queste biomasse, con una frazione umida preponderante rispetto a quella secca, sono utilizzabili in processi come la digestione anaerobica per la produzione di biogas. Sono quindi adatte a tale processo le colture acquatiche, alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, patata, ortaggi, ecc.), i reflui zootecnici e alcuni scarti di lavorazione (acqua di lavorazione dei frantoi, ecc.), oltre alla biomassa organica eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate.

Tutti i processi di conversione delle biomasse in energia si basano quindi sull'estrazione del contenuto calorico della sostanza usata o nell'immagazzinamento di questo in un vettore energetico differente, usato in un secondo momento. Attualmente sono disponibili diversi processi di conversione, basati su tecnologie affidabili e sperimentate. L'opportunità del singolo processo è da valutare in funzione del tipo di prodotto di partenza e dell'utilizzo energetico finale, sia esso volto alla produzione diretta di energia termica e/o elettrica oppure alla produzione di un combustibile in forma diversa da utilizzare in appositi impianti di combustione.

Si sottolinea che quando si parla di energia da biomasse, l'aspetto della conversione è solo una parte di un processo esteso, definito come filiera energetica, che comprende, a livello generale, l'approvvigionamento, la raccolta e il trasporto, la conversione e l'utilizzo finale dell'energia.

### 3.3 Le filiere energetiche

Abbiamo visto che alle biomasse appartengono una vasta gamma di materiali organici il cui contenuto energetico può essere utilizzato, attraverso diversi processi, per il riscaldamento (domestico e industriale), per la produzione di elettricità, come combustibile per autotrazione (biodiesel e bioetanolo).

È stato anche detto che l'utilizzazione finale di energia derivante dalle biomasse non è altro che una parte di un processo, che va sotto il nome di "filiera energetica"; tali filiere possono essere così classificate:

- filiera dei biocombustibili solidi da colture energetiche dedicate;
- filiera del biogas da reflui zootecnici e residui vegetali;
- filiera degli olii vegetali puri derivanti da colture oleaginose;
- filiera del biodiesel;
- filiera del bioetanolo.

Di ciascuna filiera verrà fatto un sunto di quello che è il materiale di partenza, fino all'utilizzazione finale, passando per i processi più utilizzati per la conversione dell'energia.

#### 3.3.1 Filiera dei biocombustibili solidi

Come abbiamo visto le proprietà dei biocombustibili solidi, ma in generale di tutte le biomasse, dipendono dalle loro caratteristiche chimico-fisiche e, in ultima analisi, dalla loro origine (vegetale da colture dedicate e dai residui agro-forestali, animale dalle deiezioni zootecniche).

Le colture dedicate alla produzione di biocombustibili solidi possono essere distinte in:

- legnose poliennali a breve turno di ceduzione (SRF – *Short Rotation Forestry* o SRC – *Short Rotation Coppice*), alle quali appartengono per esempio il pioppo, l'eucalipto, la robinia ed il salice;
- erbacee poliennali, quali la canna comune, il miscanto ed il cardo;
- erbacee annuali, tra cui il sorgo da fibra o la canapa.

Queste colture sono accomunate da alcune caratteristiche, tra cui l'elevata resa agronomica, coltivazione e raccolta semplificate e altamente meccanizzate, modesti *input* colturali e basso tenore di umidità al momento della raccolta.

Nel ponderare le scelte tra le colture annuali e quelle poliennali, per alcuni aspetti la valutazione preferisce le prime, poiché consentono una pronta riconversione produttiva dei terreni, per altri le seconde, per i minori costi colturali e per il ruolo ecologico che assicurano (sequestro del carbonio e protezione del terreno dall'erosione).

I biocombustibili solidi possono essere avviati alla conversione energetica in forma tal quale, previa essiccazione, oppure in forma densificata (chips, pellets, balle, ecc.). quest'ultima soluzione consente di ridurre i volumi di stoccaggio e di facilitare il trasporto, ma eleva i costi di produzione.

Per quanto riguarda la conversione energetica essa può avvenire mediante:

- combustione diretta: a seconda che si voglia produrre energia termica, elettrica o entrambe mediante cogenerazione (CHP – Combined Heat and Power production), nonché in relazione al tipo di combustibile (tronchetti, chips, pellets, ecc.), esistono in commercio caldaie con molteplici soluzioni tecniche (caldaie a fiamma inversa, caldaie a griglia fissa o mobile, ecc.), alti rendimenti (anche superiori al 90%) e altamente automatizzate;
- gassificazione: consente la conversione termochimica dei biocombustibili solidi in *biosyngas* (composto da monossido di carbonio, idrogeno e in misura minore da azoto e CO<sub>2</sub>), che viene successivamente convertito in energia elettrica e/o termica mediante la combustione diretta in un bruciatore accoppiato a una turbina o in un motore endotermico.

### 3.3.2 Filiera del biogas

Il biogas è un combustibile gassoso ricavato dalle biomasse vegetali (colture dedicate e residui agricoli), animali (deiezioni zootecniche) e/o dalla parte biodegradabile dei rifiuti, e può essere utilizzato in sostituzione del gas naturale.

Le colture dedicate maggiormente utilizzate nella produzione del biogas sono erbacee annuali ricche in carboidrati, tra cui il sorgo zuccherino, il triticale e il mais. In questo caso, la biomassa è conservata mediante tecnica dell'insilamento, che ha l'ulteriore effetto di incrementare il tenore delle sostanze fermentescibili (zuccheri semplici, amminoacidi, acidi organici) e quindi la concentrazione di metano nel biogas prodotto.

La gestione del processo di digestione anaerobica varia in funzione dei substrati utilizzati. Sul mercato sono disponibili molteplici soluzioni tecniche per la realizzazione dei digestori anaerobici, passando dagli impianti semplificati, in cui le vasche di stoccaggio sono chiuse da

coperture gasometriche per l'accumulo del biogas, a reattori verticali in cemento armato o acciaio, dotati di sistema di coibentazione e miscelazione.

La conversione energetica del biogas prevede la combustione in una caldaia o in un motore endotermico (motori a ciclo Diesel, convertiti per il funzionamento secondo il ciclo *Otto* analogamente a quanto avviene per l'impiego del metano); quest'ultima opzione è quella che risulta più attraente, soprattutto se inserita in un sistema di recupero dell'energia termica (cogenerazione).

Il principale beneficio ambientale legato alla filiera del biogas è collegato ad una gestione più sostenibile delle deiezioni zootecniche (riducendo gli apporti di azoto per lisciviazione), ricordando che, in termini di emissioni di gas serra, il metano fornisce un contributo 24 volte superiore a quello dell'anidride carbonica, mentre a seguito della digestione anaerobica esso è captato e destinato al recupero energetico (il risparmio medio nelle emissioni è del 80-96% per la CO<sub>2</sub> e del 50% per il metano).

### 3.3.3 Filiera degli oli vegetali puri

Con il termine oli vegetali puri si fa riferimento agli oli prodotti dai semi oleosi mediante pressione o estrazione, greggi o raffinati, ma non modificati dal punto di vista chimico.

Le loro proprietà come biocombustibili liquidi, destinati alla combustione diretta in sostituzione del gasolio, dipendono dalla coltura dedicata utilizzata. Nelle condizioni pedoclimatiche italiane le principali colture oleaginose utilizzate sono il girasole, la colza e la soia. A livello mondiale invece la maggior parte della produzione di olio deriva dalla palma.

Nell'ambito delle filiere agroenergetiche corte, gli oli vegetali puri sono ottenuti da semi oleosi mediante spremitura meccanica a freddo in pressa a coclea, che possono essere di tipo a cilindro forato o a colatoio. La resa di estrazione è del 75-85% del contenuto di olio dei semi (resa effettiva del 30% in peso) mentre la frazione importante (10-15% in peso) rimane nel sottoprodotto che viene utilizzato come mangime ad elevato profilo nutrizionale.

La conversione energetica degli oli puri può avvenire in caldaie o in motori a ciclo Diesel. Questa seconda opzione risulta oggi più promettente per le elevate efficienze conseguibili nell'ambito della cogenerazione con rendimenti elettrici del 38-42% e termici del 50%.

Da un punto di vista ambientale, considerando le emissioni rilasciate nel corso della produzione agronomica dei semi oleosi (830-1.160 kgCO<sub>2</sub>/ha per il girasole) e dell'estrazione meccanica degli oli (circa 200 kgCO<sub>2</sub>/ha), il risparmio netto nelle emissioni di CO<sub>2</sub> è superiore al 60%; senza considerare che le emissioni nel corso della combustione degli oli

vegetali puri, in termini di polveri totali, hanno una qualità generalmente migliore rispetto a quelle rilasciate dalla combustione del gasolio.

### 3.3.4 Filiera del biodiesel

Il biodiesel è un biocombustibile liquido, costituito da una miscela di esteri metilici (o metilesteri) ottenuti attraverso una reazione chimica, detta transesterificazione, dagli oli vegetali (anche usati per la cottura o la conservazione degli alimenti) e dai grassi animali. È adatto a sostituire il gasolio nei motori a ciclo Diesel e trova principalmente applicazione nel settore dei trasporti.

La filiera contempla, quindi, l'impiego delle stesse colture a servizio di quella degli oli vegetali puri o la coltivazione di alghe monocellulari eucariotiche e/o cianobatteri procariotici, che presentano un alto contenuto in lipidi (80% in sostanza secca). Questa ipotesi, attualmente in corso di approfondimento da parte della comunità scientifica, consente delle rese per unità di superficie di 100 volte superiori rispetto a quella delle colture oleaginose dedicate, anche in considerazione dell'elevato ritmo di crescita delle alghe (duplicazione della biomassa in 24 ore).

Nell'ipotesi di utilizzare i semi oleosi, gli oli vegetali sono ottenuti per spremitura meccanica a freddo nell'ambito delle filiere corte, analogamente a quanto descritto per gli oli vegetali puri e, in alternativa, mediante l'estrazione chimica o mista, meccanica-chimica, nell'ambito delle filiere lunghe, poiché sono gravate da un più elevato contenuto tecnologico.

I semi macinati (spremuti nell'ipotesi dell'estrazione mista) sono miscelati ad un solvente organico (etano, propano, esano) in cui gli oli si dissolvono. Gli oli sono successivamente separati dal solvente, che può essere riutilizzato.

Il sottoprodotto solido dell'estrazione chimica o mista prende il nome di farina di estrazione; presenta un contenuto residuo in olio del 1-2% in peso e trova applicazione in zootecnia per la formulazione dei mangimi.

La reazione di sintesi del biodiesel richiede un'elevata qualità degli oli, che è raggiunta con il processo di raffinazione, diretto a ridurre l'acidità e a rimuovere le impurità grossolane, i pigmenti e le cere.

La reazione di transesterificazione avviene in presenza di metanolo e di un catalizzatore (potassio o sodio idrossido o acido fosforico); dal punto di vista tecnico, esistono diverse soluzioni, caratterizzate da livelli tecnologici crescenti in funzione della taglia dell'impianto.

Al termine della reazione di sintesi il metanolo in eccesso è rimosso per distillazione sottovuoto, mentre il glicerolo, sottoprodotto destinato alle applicazioni farmaceutiche e cosmetiche previa purificazione, è separato per via gravimetrica.

Il biodiesel prodotto deve rispondere ai requisiti di qualità imposti dalla norma DIN 51606. Il suo utilizzo nei motori a ciclo Diesel in miscela con il gasolio fino a valori del 30% in volume non richiede interventi di modifica. L'impiego in purezza necessita, invece, della sostituzione dei materiali delle guarnizioni con altri compatibili (rame, acciaio al carbonio, ottone, gomme fluorurate, gomma alto nitrilico, polietilene).

Il principale vantaggio ambientale legato all'impiego del biodiesel nel settore dell'autotrazione in sostituzione del gasolio è il suo minore impatto sulla qualità dell'aria, con un risparmio in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> del 40-60% (considerando anche il processo produttivo).

Allo stato attuale, gli elevati costi di investimento per l'acquisizione degli impianti implicano che la partecipazione degli agricoltori in qualità di produttori di biodiesel non possa svincolarsi da un approccio cooperativo.

### 3.3.5 Filiera del bioetanolo

Il bioetanolo è un biocombustibile liquido, ottenuto mediante la fermentazione alcolica dalle biomasse vegetali (colture dedicate e residui agro-forestali), animali (deiezioni zootecniche) e/o della parte degradabile dei rifiuti, ed è adatto a sostituire la benzina nei motori a ciclo Otto nel settore dei trasporti.

L'ampia gamma di materie prime che possono essere utilizzate e la conseguente diversa complessità dei processi produttivi hanno richiesto una distinzione tra il bioetanolo *di prima generazione*, ottenuto dal processamento degli zuccheri e dell'amido, e il bioetanolo *di seconda generazione*, prodotto attraverso il processamento della cellulosa e dell'emicellulosa.

Nelle condizioni pedoclimatiche italiane, le colture alcoligene impiegabili per la produzione del bioetanolo *di prima generazione* sono la barbabietola e il sorgo zuccherino (in virtù dell'elevato contenuto di zuccheri semplici nelle radici e nei culmi), oltre al mais e al frumento, grazie all'abbondante presenza di amido nella granella. A livello mondiale, invece, la maggior parte della produzione di bioetanolo *di prima generazione* deriva dalla canna da zucchero.

Le colture più promettenti per la produzione del bioetanolo *di seconda generazione* sono le erbacee annuali e poliennali, quali il sorgo da fibra, la canna comune e il miscanto.



A fronte dell'eterogeneità delle materie prime di partenza, i diversi processi produttivi sono accomunati solo dalla fase di fermentazione alcolica, generalmente condotta con *Saccharomyces cerevisiae* (20-32 °C, pH 4-5, condizioni anaerobiche), cui seguono le sezioni di distillazione e disidratazione (in impianti a setacci molecolari di zeolite per l'adsorbimento dell'acqua residua, per raggiungere una purezza del 99,8- 99,9% nel cosiddetto "bioetanolo anidro").

I segmenti tecnologici precedenti la fermentazione, invece, si differenziano in base al tipo di materia prima (zuccherina, amidacea, lignocellulosica) e godono di diversi gradi di maturità tecnologica.

Il bioetanolo prodotto deve rispondere ai requisiti di qualità stabiliti dalla norma ASTM D-4806. L'impiego nei motori *Otto* in miscela con la benzina fino al 20% in volume non richiede degli interventi di predisposizione, mentre l'utilizzo in purezza esige la regolazione delle valvole e la sostituzione di alcuni componenti, che possono essere corrose dal bioetanolo.

L'utilizzo del bioetanolo consente una riduzione delle emissioni di inquinanti rispetto all'impiego della benzina con un risparmio complessivo di CO<sub>2</sub> del 15-25% impiegando il mais, del 50-60% usando la barbabietola, del 70% utilizzando il sorgo zuccherino.

I bilanci ambientali sono attesi migliorare significativamente in seguito alla disponibilità di bioetanolo "di seconda generazione".

A causa degli elevati investimenti iniziali, la possibilità di impostare delle filiere corte per la produzione del bioetanolo è subordinata all'avvio di iniziative gestite da cooperative agricole o consorzi agrari. Con queste assunzioni si ritiene che gli agricoltori possano beneficiare dell'accresciuto valore aggiunto ottenuto dalla produzione di bioetanolo da prodotti agricoli.

### 3.4 Le colture energetiche

Una coltura energetica non è altro che la coltivazione di specie erbacee (annuali o poliennali) o legnose, le cui caratteristiche (chimico-fisiche ed energetiche) fanno sì che esse si prestino bene per la produzione di energia. Alle prime, appartengono colture agrarie utilizzate principalmente per l'alimentazione dell'uomo, ma che hanno riscontrato un certo interesse nel comparto energetico. Le specie utilizzate per esempio sono il mais, il girasole, barbabietole da zucchero ecc., dalle quali si ricavano, attraverso i diversi processi precedentemente descritti, biocombustibili solidi (balle compresse), liquidi (biodiesel e

bioetanolo) o gassosi (biogas), destinati alla produzione di energia termica e/o elettrica o al settore dei trasporti, insieme o in sostituzione dei carburanti tradizionali. Ciò che ha attratto gli agricoltori verso questo tipo di coltivazioni energetiche è la possibilità di diversificare le produzioni, così da aumentare il reddito, senza la necessità di costi aggiuntivi inerenti il processo colturale (fatta eccezione per le colture poliennali quali canna comune o miscanto). Anzi, il più delle volte le colture energetiche necessitano di *input* colturali inferiori rispetto a quelle "tradizionali", in quanto è stata dimostrata la possibilità di ottenere elevati livelli qualitativi e quantitativi di biomassa senza effettuare irrigazioni o eccessive concimazioni.

Per quanto riguarda le colture energetiche lignocellulosiche, definite SRF (*Short Rotation Forestry*) o SRC (*Short Rotation Coppice*), esse sono impianti di arboricoltura caratterizzati da cicli colturali molto brevi (da 2 a 7 anni), da un'elevata densità d'impianto (da 5.000 20.000 piante/ha) e da un'elevata meccanizzazione dell'intero ciclo produttivo. In Svezia, ad esempio, le piantagioni per scopi energetici, realizzate fin dai primi anni '90, coprono una superficie di circa 15.000 ha; tali impianti presentano elevate densità (fino a 25.000 piante/ha), sulle quali viene effettuata una prima ceduzione alla fine del primo anno, allo scopo di produrre materiale (talee) per altri impianti e favorire lo sviluppo della ceppaia, e successivamente ceduzioni che vengono ripetute ogni due, tre o più anni a seconda dell'accrescimento dei polloni. In Italia invece vengono generalmente realizzati impianti più contenuti in funzione dei turni, della fertilità della stazione e degli assortimenti che si vogliono ottenere; si passa dunque da densità che variano tra le 8.000-10.000 piante/ha e le 1.300-1600 piante/ha con turni rispettivamente di 2 e 5 anni (specialmente per pioppo e salice) (Facciotto *et al*, 2006). Le specie maggiormente utilizzate in questo tipo di impianti sono quelle a rapido accrescimento (pioppo, salice, robinia, eucalipto), che permettono di ottenere nel giro di pochi anni biocombustibili solidi (*chips* o *pellets*) utilizzati per la produzione di energia termica e/o elettrica. È importante ricordare che, affinché una piantagione a ciclo breve sia sostenibile, essa deve rispettare almeno due requisiti: una sostenibilità di lungo periodo, che riguarda la sostituzione della biomassa utilizzata con nuova biomassa; una di breve periodo, ovvero il rispetto dell'ecosistema e delle condizioni naturali presenti.

Nel ponderare quindi le scelte tra le colture annuali e quelle poliennali, per alcuni aspetti la valutazione preferisce le prime, poiché consentono una pronta riconversione produttiva dei terreni, per altri le seconde, per i minori costi colturali e per il ruolo ecologico che assicurano (sequestro del carbonio e protezione del terreno dall'erosione).

### 3.5 Benefici e criticità

#### 3.5.1 Benefici

Un'importante caratteristica delle biomasse è lo stretto legame con il territorio: si trovano pressappoco ovunque, anche se in qualità e quantità diverse, sono accessibili a tutti e possono essere utilizzate con una vasta gamma di tecnologie, dalle più antiche alle più moderne ed efficienti. In effetti, la biomassa ha rappresentato e rappresenta tuttora la fonte di energia più utilizzata dall'uomo. Globalmente sola la legna grezza costituisce una fonte primaria di energia di grande rilevanza (7% del bilancio complessivo secondo la Food and Agriculture Organization, 3% secondo l'International Energy Agency), specialmente nei paesi più poveri dove non solo le biomasse legnose costituiscono la prima fonte energetica, ma rappresentano l'unica sorgente di energia per lo sviluppo rurale, nonché sociale, in quanto la legna assume un ruolo essenziale per la copertura dei fabbisogni di base, quali l'alimentazione (cottura dei cibi), l'illuminazione e il riscaldamento. Tutte le civiltà hanno, in misura maggiore o minore, dimesticato nell'utilizzo delle biomasse a scopo energetico, e i benefici che esse possono ottenere da un loro utilizzo sono di tipo ambientale, economico e sociale.

Sull'aspetto ambientale la bioenergia potrebbe contribuire in modo decisivo alla riduzione delle emissioni di gas serra nell'atmosfera poiché il bilancio emissivo di CO<sub>2</sub> è all'incirca nullo. Infatti se si considera il solo processo di conversione energetica, l'anidride carbonica immessa in atmosfera è esattamente pari a quella fissata nella materia vegetale durante il processo di fotosintesi e di accrescimento della biomassa. Nella produzione di energia da biomasse, la quantità di CO<sub>2</sub> immessa in atmosfera è rappresentata dai processi di raccolta e trasporto della materia prima o di trasformazione della stessa in altra forma di biocombustibile. Inoltre, la creazione e lo sviluppo di aree agricole destinate a colture energetiche dedicate, laddove si trovavano terreni abbandonati e incolti, contribuisce al controllo dell'erosione e alla riduzione del dissesto idrogeologico delle zone collinari e montane.

Per quanto riguarda il contesto economico, il settore agricolo sta subendo da tempo una notevole contrazione, si è infatti passati dai 18 milioni di ettari coltivati nel 1966 ai 13,2 milioni del 2000 (Istat, 2001). Questo fenomeno, oltre a indebolire ulteriormente un settore già provato e comunque fragile, ha comportato l'avvio di un processo di abbandono delle aree rurali. Le conseguenze di questo spopolamento sono svariate e comportano scompensi di natura economica e sociale, nonché problematiche relative alla gestione del territorio e del suo

assetto idrogeologico. Una possibile opzione per invertire questa tendenza è quella di un utilizzo alternativo dei terreni attualmente destinati a produzioni agricole eccedentarie e/o terreni abbandonati (in particolare quelli *set-aside*) con colture energetiche. Tutto il sistema di produzione della bioenergia, partendo dalle filiere di produzione agli impianti di trattamento e conversione, diventerebbe quindi uno strumento di diversificazione e stabilizzazione delle economie rurali, contribuendo anche alla creazione di nuovi posti di lavoro e opportunità di sviluppo.

Dunque, per quanto riguarda l'aspetto sociale, lo sviluppo del settore delle bioenergie e l'inversione dell'attuale tendenza all'abbandono delle campagne apporterebbero un beneficio in tutte quelle zone marginali afflitte da un alto tasso di disoccupazione. L'apertura del mercato dell'energia agli operatori agricoli permetterebbe di diversificare e integrare le fonti di reddito delle loro attività, conferendo una maggiore stabilità economica alle aziende agricole che contribuiscono alla fornitura energetica. Si stima che, in Europa, l'utilizzo energetico delle biomasse potrebbe determinare l'occupazione diretta di 250-300.000 addetti, principalmente nelle aree rurali, supponendo che il 70-90% delle biomasse sia prodotto nell'UE.

#### 3.5.2 Criticità

Il settore delle bioenergie riscuote un interesse sempre crescente e i vantaggi a esso collegati sono ormai riconosciuti. Tuttavia, nello scenario economico nazionale non si riscontra uno sviluppo di questo settore tale da rappresentare un vero e proprio mercato. Questo deriva dalla presenza congiunta di criticità di diversa natura che si oppongono o rallentano lo sviluppo del settore. Per un'analisi sintetica possiamo ricondurre queste criticità a tre diversi ambiti: tecnologico, economico e politico-istituzionale.

La maggior parte delle tecnologie disponibili per le bioenergie hanno raggiunto un buon livello di sviluppo, nonostante ciò, alcune di queste non sono ancora inserite in un mercato vero e proprio: lo sviluppo tecnologico non è stato tale da consentire l'innescare di meccanismi di economie di scala. Inoltre, non si è ancora diffuso un grado di conoscenza delle tecnologie disponibili sufficientemente ampio.

Un altro limite alla diffusione delle bioenergie deriva da fattori di natura economica. In passato, il costo contenuto dei combustibili fossili rendeva poco competitiva ogni fonte alternativa. Tuttavia, con l'attuale trend di crescita inarrestabile dei prezzi dei combustibili fossili, il divario tra questi e le bioenergie è destinato a colmarsi. È comunque importante

sottolineare che la non competitività delle bioenergie deriva in parte dal sistema dei prezzi che non va a considerare le esternalità (costi ambientali e sociali) connesse all'utilizzo delle risorse rinnovabili. Un altro freno alla diffusione deriva dai costi di investimento iniziali, piuttosto elevati per le tecnologie più innovative e meno diffuse. In alcuni casi, i costi elevati di produzione delle bioenergie derivano dai costi di manodopera collegati al processo di produzione, raccolta e trasporto della biomassa. Il costo di investimento elevato è quindi connesso alla creazione di posti di lavoro per il processo di produzione.

Infine, esistono criticità legate ad aspetti politici, per cui è necessario considerare la situazione del mercato dell'energia in Italia. Questo è stato a lungo dominato da due grandi enti (ENI ed ENEL), il che ha ostacolato l'iniziativa privata nonché l'interazione tra il settore energetico e quello agricolo-forestale. Di conseguenza, il settore delle bioenergie è sempre stato inficiato da una carente diffusione di informazione a livello di classe politica e di opinione pubblica. Tuttavia, negli ultimi anni, si è vista una crescente presa di coscienza dell'importanza del settore delle bioenergie, che va gradualmente a inserirsi nel quadro della politica energetica nazionale, anche attraverso strumenti legislativi appositi e misure attuative.

Alcune criticità sono legate anche agli impatti ambientali. I problemi potenzialmente maggiori, derivanti dall'utilizzo delle biomasse su vasta scala, derivano dalla raccolta dei residui colturali e forestali. I residui lasciati sui campi hanno, infatti, un valore commerciale quasi nullo, ma hanno una funzione di mantenimento del suolo. Il suolo è lo strato superficiale della crosta terrestre ed è utilizzato dalla vegetazione come supporto e fonte di sostanze nutritive. Il materiale organico lasciato sui campi ha diverse funzioni: mantiene elevato il contenuto di nutrienti, protegge la superficie del suolo dall'erosione, ne stabilizza la struttura e la tessitura, ne riduce la densità, procura energia ai microrganismi che vi vivono. Dunque l'utilizzo delle biomasse deve sempre tener conto della sostenibilità ambientale, con valutazioni che devono essere fatte caso per caso.

## **4 POTENZIALITÀ DELLE COLTURE ENERGETICHE**

### **4.1 Introduzione**

Nell'ambito delle energie rinnovabili grande interesse è rivolto al settore delle bioenergie. Abbiamo visto come le biomasse, oltre ad essere una fonte energetica rinnovabile e alternativa a quelle di origine fossile, svolgono ben più altre funzioni che vanno oltre la sola produzione di energia: si passa da quelle ambientali (riduzione delle emissioni, protezione del suolo dall'erosione), a quelle di tipo economico e sociale (occupazione, aumento del reddito degli agricoltori, sviluppo delle economie rurali). Ovviamente le biomasse non rappresentano la soluzione finale della questione energetica (per quanto riguarda la sicurezza dell'approvvigionamento e la differenziazione delle fonti), né della politica di mitigazione dei cambiamenti climatici (Righelato e Spracklen, 2007). Possono tuttavia contribuire ad ampliare il portafoglio energetico, e al contempo favorire la diffusione di sistemi energetici distribuiti, l'uso di sottoprodotti e residui, altrimenti non utilizzati, per la produzione di energia e per la conversione di terreno agricolo inutilizzato a colture energetiche.

In questo modo, senza sottrarre spazio alle colture alimentari o convenzionali si possono creare filiere a scala locale di coltivazione, raccolta e di utilizzo energetico. È evidente comunque che tali riconversioni necessitano di grandi quantità di risorse idriche per cui il "conflitto" si sposterebbe sull'uso dell'acqua; si riscontrerebbero grosse difficoltà nel sostenere l'impiego a fini energetici rispetto a quello agricolo o potabile per uso umano.

Un'interessante prospettiva è invece costituita dalle acque reflue ed in particolare da quelle di origine urbana. Per queste, se utilizzate in larga parte nelle aree costiere o dei grandi sistemi fluviali, non si ha alcuna interferenza con i normali cicli e bilanci idrologici essendo destinate allo scarico a mare o nei tratti terminali dei fiumi.

La proposta trae spunto dalle ricerche condotte presso l'Università degli Studi della Basilicata che ha messo a punto un sistema per il trattamento delle acque reflue urbane in grado di operare una rimozione selettiva della frazione organica rapidamente biodegradabile (dannosa per le colture).

Lo schema impiantistico proposto, derivato dal sistema a "fanghi attivi convenzionale", consente di produrre acque a carico variabile di carbonio organico, azoto e fosforo, in modo da adeguare le stesse alle esigenze delle colture irrigate.

Lo schema proposto è stato testato per oltre 10 anni in un campo sperimentale della Regione Basilicata su colture olivicole dando i seguenti risultati:

- assenza di accumuli significativi di inquinanti nel suolo e nelle masse vegetali;
- incremento (raddoppio) delle produzioni agricole;
- incremento di circa il 2% del contenuto di carbonio organico nei terreni trattati con acque reflue;
- Riduzione delle emissioni equivalenti di CO<sub>2</sub> stimate in oltre 2 ton/anno per ogni ettaro di suolo adibito a colture e trattato con acque reflue.

L'applicazione sistematica di acque ricche di sostanza organica in terreni iper-sfruttati agronomicamente contribuisce a riequilibrare il contenuto di sostanza organica operando un significativo sequestro di carbonio. Nella sperimentazione condotta in Basilicata si è valutato un incremento del carbonio organico di circa il 2% corrispondente ad oltre 100 ton/ha di "sequestro di carbonio".

La minore (e selettiva) rimozione di sostanza organica dalle acque si traduce in un risparmio economico sui costi di trattamento e sui costi di smaltimento dei fanghi prodotti dai cicli depurativi. Si può stimare una riduzione dei costi operativi di trattamento dell'ordine del 20-30%.

Secondo quanto detto nasce l'idea di individuare i possibili terreni idonei alle SRF che possono essere irrigati con acque reflue urbane.

La maggior parte della letteratura scientifica attuale è dedicata: alla identificazione tramite via sperimentale o teorica della specie migliore da coltivare (Di Virgilio *et al.*, 2007; Facciotto *et al.*, 2006; Karačić e Weih, 2006; Bazzani *et al.*, 2005; Ercoli *et al.*, 1999); alle valutazioni economiche e ambientali di una determinata coltura (Monti *et al.*, 2007; Heller *et al.*, 2003); all'analisi del bilancio energetico di un singolo impianto di trasformazione in energia (Goor *et al.*, 2000). Un approccio di pianificazione a scala regionale o nazionale è stato usato in pochi studi. Schneider *et al.* (2001) utilizzano i GIS per valutare la disponibilità di suolo in Brasile per le coltivazioni energetiche. Fischer *et al.* (2005) definiscono un metodo, con tecniche GIS, per identificare alcuni requisiti ambientali di specie arboree ed erbacee come ad esempio il clima, il suolo, in termini di pedologia e morfologia. Salvati *et al.* (2007) hanno utilizzato un modello in GIS per la valutazione dell'attitudine fisica del territorio per SRF in Italia.

Anche la pianificazione, quindi, a livello regionale, come nel nostro caso di studio, può essere svolta soltanto utilizzando lo strumento dei GIS, che permette di valutare nell'insieme:

le caratteristiche del territorio (morfologia, pedologia, clima), le esigenze ecologiche e colturali delle specie, la distribuzione e i caratteri (superfici, uso del suolo, valore economico) dei terreni oggetto di studio.

L'integrazione di tecniche MCE con i GIS può essere utile per risolvere situazioni conflittuali in contesti spaziali (Janssen et Rietved, 1990; Malczewski, 1996) anche come approccio efficace nell'analisi di idoneità d'uso del suolo (Carver 1991; Eastman, 1997; Thill, 1999; Malczewski, 2004). Tale integrazione può essere pensata come un processo che combina e trasforma dati spaziali e dati non spaziali (input) in un risultato decisionale (output), definendo una relazione tra le mappe di ingresso e la mappa di uscita in relazione ai dati geografici e le preferenze decisionali, manipolati in base a regole decisionali specificate (Malczewski, 2004).

I metodi di analisi multicriterio più utilizzati per l'analisi d'idoneità d'uso del suolo in ambiente GIS sono le operazioni booleane di overlay (regole di combinazione non compensatorie) e i metodi di combinazione lineare pesata (WLC, regole di combinazione compensatorie) (Heywood et al., 1995; Jankowski, 1995; Barredo, 1996; Beedasy e Whyatt, 1999; Malczewski, 2004, Romano S. and Cozzi M., 2006).

Vi sono, tuttavia, alcuni limiti fondamentali associati all'uso di tali procedure in un processo decisionale (Malczewski, 2004). Jiang e Eastman (2000) danno una trattazione completa di tali limitazioni e suggeriscono che la *Ordered Weighted Averaging* (OWA) fornisce un'estensione e una generalizzazione dei metodi convenzionali di combinazione delle mappe in GIS.

OWA è una famiglia di procedure di combinazione multicriterio (Yager, 1988), che utilizza due serie di pesi: i pesi d'importanza relativa tra i criteri e i pesi ordinati (o OWA). Specificando un opportuno insieme dei pesi OWA, si può generare una vasta gamma di mappe di idoneità d'uso del suolo.

Anche se questo è un approccio relativamente nuovo (Yager, 1988), è possibile riscontrare in letteratura molteplici applicazioni della OWA convenzionale (quantitativa) in ambiente GIS (Asproth et al., 1999; Jiang e Eastman, 2000; Mendes e Motizuki, 2001; Rasmussen et al., 2001; Araùjo e Macedo, 2002; Rinner e Malczewski, 2002; Makropoulos et al., 2003; Malczewski et al., 2003; Rashed e Weeks, 2003; Calijuri et al., 2004; Makropoulos e Butler, 2005). In questo ambito è da rilevare come le applicazioni GIS-OWA si sono finora concentrate sulle procedure che richiedono di specificare quantitativamente i parametri associati con gli operatori. Tuttavia, vi sono alcune evidenze che suggeriscono che gli

operatori tradizionali OWA sono di limitata applicabilità in situazioni che coinvolgono una vasta serie di criteri di valutazione (Yager, 1996). Ci si potrebbe aspettare che in una situazione decisionale spaziale complessa, i decisori potrebbero trovare difficile (o addirittura impossibile, soprattutto per i problemi che coinvolgono proprio un gran numero di criteri) formulare informazioni numeriche precise rispetto ai parametri OWA (Malczewski, 2006). Per un grande insieme di criteri di valutazione, infatti, si affronta il difficile problema di combinare le mappe criterio in modo che i risultati corrispondono alle preferenze dei decisori. In tali situazioni, gli aspetti chiave del problema decisionale potrebbero essere specificati in termini di alcuni quantificatori linguistici fuzzy quali ad esempio “*la maggior parte dei criteri devono essere soddisfatti*” o “*almeno l'80% dei criteri devono essere soddisfatti*”, ecc. (Malczewski, 2006). Ciò richiede una estensione della OWA convenzionale in modo che possa accogliere situazioni che coinvolgono affermazioni qualitative in forma di quantificatori linguistici fuzzy (Yager, 1988, 1996).

## 4.2 Materiali e metodi

### 4.2.1 Quantifier-guided Ordered Weighted Averaging (OWA)

Le procedure di analisi multicriterio in ambiente GIS richiedono una serie di alternative geograficamente definite (ad esempio particelle di suolo) e una serie di criteri di valutazione rappresentati da dati spazializzati. Il problema è quello di combinare le mappe criterio secondo i valori criterio (attributo) e le preferenze dei decisori utilizzando una regola decisionale (regola di combinazione).

Assumendo che una alternativa sia rappresentata come una cella (raster) o un poligono, ogni alternativa ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) è descritta da un insieme di valori criterio standardizzati:  $a_{ij} \in [0, 1]$  per  $j = 1, 2, \dots, n$  (standardizzazione che può avvenire mediante metodi di logica sfocata *fuzzy*, Zadeh, 1965), e da preferenze che sono tipicamente indicate come i pesi criterio,  $w_j \in [0, 1]$  per  $j = 1, 2, \dots, n$ , e  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$  (calcolati ad esempio mediante la AHP, *Analytical Hierarchy Process*, Saaty, 1980). Definiti i dati di input (un insieme di mappe criterio e pesi criterio), l'operatore di combinazione OWA associa con l' $i$ -esimo posto (per esempio, raster o punto) un insieme di pesi ordinati  $v = v_1, v_2, \dots, v_n$  tale che  $v_j \in [0, 1]$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ,  $\sum_{j=1}^n v_j = 1$ , ed è definito come segue (Yager, 1988; Malczewski et al., 2003; Malczewski, 2006):

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left( \frac{u_i v_i}{\sum_{j=1}^n u_i v_i} \right) z_{ij} \quad (\text{Eq. 1})$$

dove  $z_{i1} \geq z_{i2} \geq \dots \geq z_{in}$  è la sequenza ottenuta riordinando i valori attributo  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$ , e  $u_j$  è il peso criterio riordinato in base al valore dell'attributo,  $z_{ij}$ . È importante sottolineare la differenza tra i due tipi di pesi (i pesi criterio e i pesi ordine). I pesi criterio vengono assegnati ai criteri di valutazione per indicare la loro importanza relativa. Tutte le posizioni sulla  $j$ -esima mappa criterio è assegnato lo stesso peso di  $w_j$ . I pesi ordine sono associati con i valori criterio *pixel-by-pixel*. Essi sono attribuiti al valore attributo dell' $i$ -esima posizione in ordine decrescente senza considerare da quale mappa criterio il valore deriva.

Con diversi set di pesi ordine è così possibile generare una vasta gamma di operatori OWA comprese le più comuni procedure di combinazione di mappa in ambiente GIS: la combinazione lineare pesata (WLC) e le operazioni booleane di sovrapposizione, come l'intersezione (AND) e l'unione (OR) (Yager, 1988; Malczewski et al., 2003; Malczewski, 2006).

Gli operatori AND e OR rappresentano i casi estremi della OWA e corrispondono rispettivamente agli operatori MIN e MAX. I pesi ordine associati con l'operatore MIN sono:  $v_n = 1$ , e  $v_j = 0$  per tutti gli altri pesi; dati i pesi ordine,  $OWA_{i(MIN)} = \min_j(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ . I pesi successivi sono associati con l'operatore MAX:  $v_1 = 1$ , e  $v_j = 0$  per tutti gli altri pesi, e di conseguenza  $OWA_{i(MAX)} = \max_j(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ . Assegnando uguali pesi ordine (tale che,  $v_j = 1/n$  per  $j = 1, 2, \dots, n$ ), si ottiene la convenzionale WLC, la quale è situata nel punto centrale nel continuum fra gli operatori MIN e MAX (Yager, 1988), tale che  $OWA_{i(WLC)} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}$ .

### 4.2.2 I pesi ordine: l'uso dei quantificatori linguistici fuzzy

Come detto precedentemente, le procedure di combinazione OWA coinvolgono l'uso di due serie di pesi, i pesi criterio e i pesi ordine. I primi possono essere calcolati mediante diversi metodi (Malczewski, 1999, 2006), quale ad esempio il metodo AHP; per i pesi ordine può essere d'aiuto l'uso dei quantificatori linguistici, come espressione del linguaggio umano nell'interazione computer-human (Malczewski, 2006).

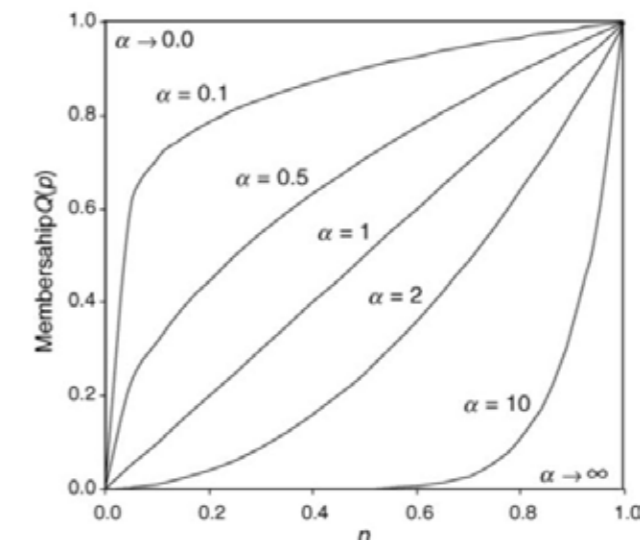
Dato un insieme di mappe criterio e un quantificatore linguistico fuzzy  $Q$ , si può eseguire una procedura per combinare i criteri sulla base di una dichiarazione per quanto riguarda la relazione tra i criteri di valutazione (Malczewski, 2006). Ad esempio, la procedura di

combinazione può essere guidata da un'istruzione del tipo: “la maggior parte dei criteri devono essere soddisfatti”, oppure “almeno la metà dei criteri devono essere soddisfatti”, ovvero “tutti i criteri devono essere soddisfatti”, ecc. Questo tipo di procedura viene indicato come “quantifier-guided multicriteria evaluation” (Yager, 1996).

In base al tipo di quantificatore linguistico si possono distinguere: i quantificatori linguistici assoluti e quantificatori linguistici relativi (o proporzionali) (Zadeh, 1983). Affermazioni come “almeno circa 4”, “circa 5”, “quasi 10”, “non più di 10”, “più di 5”, ecc. forniscono esempi di quantificatori assoluti. I quantificatori relativi indicano una quantità proporzionale, come “la maggior parte”, “molti”, “pochi”, “quasi tutto”, “circa la metà”, “circa il 60%”, ecc. Possono essere rappresentati come insiemi fuzzy nell'intervallo unitario [0,1], dove 0 significa 0% e 1 significa 100%. Quindi se  $Q$  è un quantificatore linguistico, allora può essere rappresentato come un insieme fuzzy  $Q$  dell'intervallo [0,1] dove per ogni  $p \in [0,1]$ ,  $Q(p)$  indica il grado di compatibilità di  $p$  con il concetto indicato con  $Q$ . Ad esempio, se  $Q$  è “most” e se  $Q(0,95) = 1$ , allora sarebbe come dire che il 95% è completamente compatibile con l'idea trasmessa dal quantificatore linguistico “most”, mentre  $Q(0,60) = 0,75$  indicherebbe che il 60% è solo 0,75 compatibile con il concetto di “most”.

Non ci sono prove empiriche per dimostrare quale delle due classi di quantificatori linguistici è più adatto per la valutazione multicriteriale. Malczewski propone una classe di quantificatori proporzionali conosciuti come quantificatori RIM (*Regular Increasing Monotone*) (Yager, 1996; Malczewski, 2006). Per identificare il quantificatore s'impiega uno dei più semplici e dei più utilizzati metodi per definire un sottoinsieme parametrizzato nell'intervallo unitario (Yager, 1996), così che  $Q(p) = p^\alpha$ ,  $\alpha > 0$ , dove  $Q(p)$  è rappresentato come un insieme fuzzy nell'intervallo [0,1]. Si può così generare un'intera famiglia di quantificatori RIM (Figura 4-1).

Figura 4-1 Una famiglia di quantificatori RIM



Fonte: Malczewski, 2006

La Tabella 4-1 mostra una selezione dei quantificatori RIM e le loro caratteristiche. Modificando il parametro  $\alpha$ , si possono generare differenti tipi di quantificatori e operatori associati ai due casi estremi “All” e “At least one”. Per  $\alpha = 1$ ,  $Q(p)$  è proporzionale a  $\alpha$  e pertanto è indicato come quantificatore “Half” (identity). Come tende a zero, il quantificatore  $Q(p)$  si avvicina al caso estremo di “At least one”, che corrisponde alla operatore MAX. Come tende all'infinito, il quantificatore  $Q(p)$  si avvicina al caso estremo di “All”, che corrisponde all'operatore MIN.

Tabella 4-1 Alcune proprietà dei RIM per selezionare il valore del parametro  $\alpha$

$\alpha$	Quantificatore (Q)	Pesi OWA ( $v_i$ )	ORness	Tradeoff	Procedure di combinazione GIS
$\alpha \rightarrow 0$	At least one	$v_1 = 1; v_j = 0$ , per tutti gli altri pesi	1,0	0,0	OWA (OR, MAX)
$\alpha = 0,1$	At least a few	*	*	*	OWA
$\alpha = 0,5$	A few	*	*	*	OWA
$\alpha = 1$	Half (identity)	$v_j = 1/n$ , per tutti i j	0,5	1,0	OWA (WLC)
$\alpha = 2$	Most	*	*	*	OWA
$\alpha = 10$	Almost all	*	*	*	OWA
$\alpha \rightarrow \infty$	All	$v_n = 1; v_j = 0$ , per tutti gli altri pesi	0,0	0,0	OWA (AND, MIN)

\*Tali misure sono un problema specifico

Fonte: Malczewski, 2006

Il concetto di quantificatori fuzzy fornisce dunque un metodo per generare i pesi ordine (Malczewski, 2006). I pesi sono basati sul quantificatore RIM. Essi sono definiti come segue (Yager, 1996):

$$v_j = \left( \frac{\sum_{k=1}^j u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^\alpha - \left( \frac{\sum_{k=1}^{j-1} u_k}{\sum_{k=1}^n u_k} \right)^\alpha \quad (\text{Eq. 2})$$

È importante notare che nelle procedure di valutazione multicriteriale in ambiente GIS, i pesi criterio hanno tipicamente la seguente proprietà:  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ . Di conseguenza,  $\sum_{j=1}^n u_j = 1$  e l'equazione precedente può essere semplificata a:

$$v_j = \left(\sum_{k=1}^j u_k\right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k\right)^\alpha \quad (\text{Eq. 3})$$

Così, i pesi ordine  $v_j$  derivano dai pesi criterio,  $w_j$ . Dati dunque i pesi criterio,  $w_j$ , e pesi ordine,  $v_j$ , l'OWA quantificato-guidata è definito come segue (Malczewski, 2006):

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left( \left(\sum_{k=1}^j u_k\right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k\right)^\alpha \right) z_{ij} \quad (\text{Eq. 4})$$

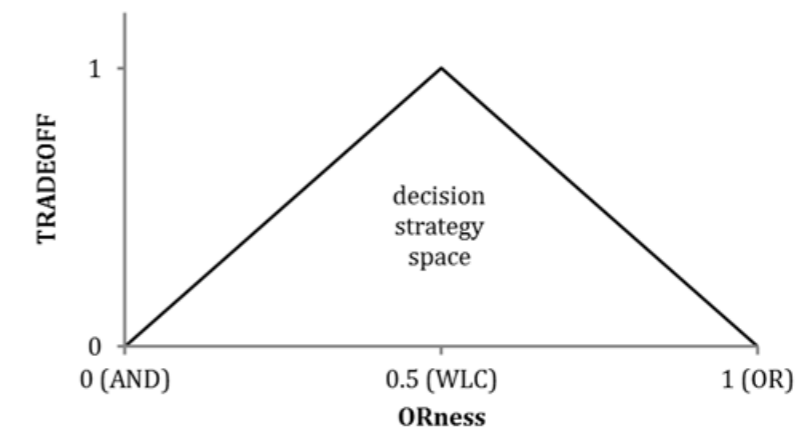
L'OWA così calcolata in ambiente GIS fornisce uno strumento per la generazione di una vasta gamma di strategie decisionali (modelli alternativi di idoneità d'uso del suolo), specificando un quantificatore linguistico adeguato (il parametro) e l'insieme dei pesi associati all'OWA. Le posizioni degli operatori OWA possono essere identificati nel continuum che va dal quantificatore "All" al quantificatore "At least one". Ci sono due misure comunemente usate per identificare la posizione dell'operatore OWA: la misura di tradeoff e ORness (Yager, 1988, 1996, Jiang e Eastman, 2000; Malczewski, 2006).

Il tradeoff è una misura di compensazione (sostituibilità criterio). Esso indica il grado in cui uno scarso rendimento su un criterio può essere compensato da una buona performance su altri criteri presi in considerazione (Jiang e Eastman, 2000; Malczewski, 2006). La misura del tradeoff assume dunque valori nell'intervallo 0,1 tale che il valore 0 indica l'assenza di compromesso tra i criteri, mentre il valore uguale a 1 indica un compromesso pieno (Tabella 4-1). La misura può essere interpretata come il grado di dispersione dei pesi OWA. In particolare, il grado in cui i pesi sono distribuiti uniformemente tra tutti i criteri controlla il livello di compromesso globale tra i criteri (Malczewski, 2006).

La posizione della OWA nel continuum tra il quantificatore "All" e "At least one" può anche essere identificata specificando il grado di ORness (o grado di rischio) (Yager, 1988, 1996; Malczewski, 2006). Anche in questo caso il grado di ORness varia da 0 (*risk-averse*, operatore MIN, AND) a 1 (*risk-taking*, operatore MAX, OR). Come è possibile notare dalla Tabella 4-1, il grado di ORness è anche legato al quantificatore RIM. In particolare, si possono ottenere diversi gradi di ORness modificando il parametro  $\alpha$  (Yager, 1988, 1996): il rischio passa da 0 a 1 per  $\alpha$  che passa da infinito a zero (da "All" a "At least one").

Risulta dunque ovvio come lo spazio di strategia decisionale sia definito anche dalle due misure OWA: tradeoff e ORness (Figura 4-2).

Figura 4-2 Spazio di strategia decisionale: relazione tra le misure di tradeoff e ORness.



### 4.3 Caso di studio

#### 4.3.1 Area di studio

Inserita tra le grandi regioni meridionali (Campania, Puglia, Calabria), la regione Basilicata ha una superficie territoriale pari a 999.224 ettari con una popolazione di 578.036 abitanti (ISTAT, 2011), un territorio prettamente rurale con la popolazione concentrata per i due terzi nei pochi grandi centri urbani. Da qui deriva la bassa densità abitativa regionale (58.7 abitanti per km<sup>2</sup>) nettamente al disotto della media nazionale (circa 201 abitanti per km<sup>2</sup>).

Il territorio lucano presenta notevoli differenze da un punto di vista morfologico: si passa dal basamento calcareo delle Murge e della fossa Bradanica a nordest, alle aree montuose e collinari della Catena Appenninica, distribuita in dorsali con allineamento NW-SE, alle pianure del litoraneo ionico (AA.VV., 2006).

Da un punto di vista climatico ci sono differenze dovute proprio alla complessità orografica del territorio, caratterizzata da dislivelli molto forti, che dal livello del mare si spingono a oltre i 2.200 m, e dalla posizione geografica, a cavallo di tre mari: Adriatico a nord-est, Tirreno a sud-ovest, Ionio a sud-est. Come evidenziato da Cantore et al. (1987), gran parte del territorio presenta caratteristiche tipicamente mediterranee (litorale Ionico, fossa Bradanica e Murge materane), con zone oltre gli 800 m s.l.m. che si caratterizzano per un clima temperato-freddo con estati più o meno siccitose.

Le precipitazioni medie annue variano dai 529 mm fino ai circa 2.000 mm, concentrate nell'area sud-occidentale della regione poiché la catena appenninica intercetta buona parte delle perturbazioni atlantiche presenti nel Mediterraneo. I mesi con maggiore piovosità sono

novembre e dicembre, quelli meno piovosi luglio ed agosto durante i quali si manifestano soventi periodi di siccità accentuata.

L'andamento delle temperature è caratterizzato da forti escursioni, con estati molto calde e inverni rigidi. Il mese più freddo è in genere gennaio (con temperature media tra i -4 e i 7 °C).

La superficie agricola totale è di 489.229,22 ha (il 48,96% della superficie regionale) e la superficie agricola utilizzata è di 368.726,53 ha, di cui il 57,72% a seminativi (per lo più in asciutto) e il 10,77% a frutteti, localizzati principalmente in aree collinari; la restante superficie (31,28%) è destinata a prati permanenti e pascoli localizzati principalmente in montagna, con soli 2008,85 ha destinati all'arboricoltura da legno e solo 30,74 ha a coltivazioni energetiche (ISTAT, 2010). La componente forestale si caratterizza per l'elevata naturalità, con mosaici di paesaggi costituiti da molte specie e consociazioni endemiche. La superficie forestale ammonta a 354.895 ha, con un indice di boscosità pari al 35,6% (INEA, 2006). In termini di distribuzione delle specie, le categorie fisionomiche più rappresentative sono i querceti mesofili e meso-termofili che rappresentano il 51,8% della superficie forestale complessiva. Seguono i boschi di faggio con l'8,4%, la macchia mediterranea con il 7,9%, gli arbusteti termofili con il 6,9% e altri boschi di latifoglie con il 5,5%.

#### 4.3.1.1 Caratterizzazione dell'area di studio

Il lavoro di caratterizzazione dell'area è stato condotto interamente in ambiente GIS, realizzando per ognuno dei fattori ambientali considerati uno strato informativo georeferenziato in formato *raster* con risoluzione di 100 m, utilizzando come sistema geografico di riferimento il sistema Gauss Boaga Est, su datum Monte Mario - Roma 1940.

I fattori ambientali (criteri) utilizzati nel modello d'informatizzazione geografica (Tabella 4-2) sono strettamente connessi alle esigenze ecologiche e colturali delle specie prese in esame, con particolare riguardo alla distribuzione altimetrica, alle esigenze idriche, termiche, edafiche e colturali (meccanizzazione della coltura).

Tabella 4-2 Fattori ambientali presi in considerazione

Fattore	Unità di misura
Precipitazione media annua	mm
Precipitazione media mesi estivi	mm
Temperatura media annua	°C
Temperatura media mese più freddo	°C
Altitudine	m slm
Pendenza	%
Profondità del suolo*	cm
Carbonati*	% di CaCO <sub>3</sub>
Reazione*	pH
Tessitura*	classi tessiturali

\*Valori raggruppati in classi (Tabelle 4-1)

Tabella 4-1 Valore rappresentativo per ogni classe di appartenenza

CARBONATI			REAZIONE		
CLASSE	CaCO <sub>3</sub> (%)	VALORE	CLASSE	pH	VALORE
non calcareo	< 0,5	1	molto acida	< 4,5	1
molto scarsamente calcareo	0,5 - 1,0	2	acida	4,5 - 5,5	2
scarsamente calcareo	1,0 - 5	3	subacida	5,6 - 6,5	3
moderatamente calcareo	5 - 10	4	neutra	6,6 - 7,3	4
molto calcareo	10 - 25	5	subalcalina	7,4 - 7,8	5
fortemente calcareo	25 - 40	6	alcalina	7,9 - 8,4	6
estremamente calcareo	> 40	7	molto alcalina	8,5 - 9,0	7

PROFONDITÀ			TESSITURA		
CLASSE	PROFONDITÀ (cm)	VALORE	CLASSE	NATURA DEL SUOLO*	VALORE
molto sottile	< 25	1	grossolana	S, SF	1
sottile	25 - 50	2	moderatamente grossolana	FS	2
moderatamente profondo	50 - 100	3	media	F, FL, L	3
profondo	100 - 150	4	moderatamente fine	FSA, FA, FLA	4
molto profondo	> 150	5	fine	A, AS, AL	5

\*S=sabbiosa; F=franca; L=limosa; A=argillosa

Dato l'elevato numero di specie che possono essere utilizzate nelle energy crops (El Bassman, 2010), sono state individuate le specie legnose che, a seguito di varie esperienze, sono risultate maggiormente idonee per impianti a ciclo breve (SRF) in Italia (Minotta et al., 2000; Bonari et al., 2004; Bergante S. e Facciotto G., 2006; Facciotto et al., 2006), quali: *Eucalyptus camaldulensis* Dehn, *Populus x euroamericana* Guinier, *Robinia pseudoacacia* L., *Salix alba* L..

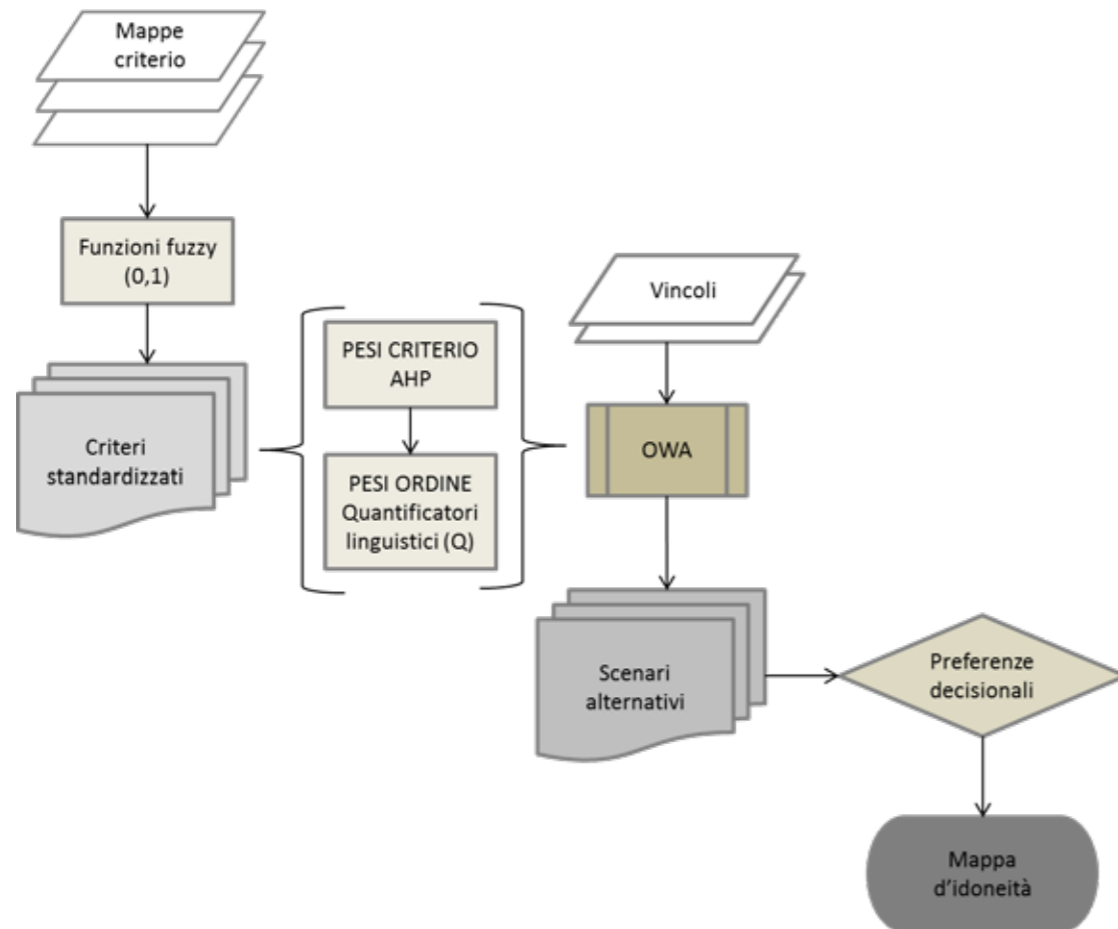
In aggiunta a tali fattori sono state realizzate e considerate nell'analisi la carta forestale e la carta d'uso del suolo regionale (vincoli) al fine di individuare i soli territori potenzialmente destinabili alle SRF. Sono stati esclusi infatti i terreni la cui destinazione d'uso era tale da non poter essere disponibili per le SRF, quali superfici artificiali, colture permanenti, territori boscati, zone umide e corpi idrici.



4.3.2 Analisi d' idoneità d'uso del suolo

L'analisi di idoneità d'uso del suolo per la messa a dimora di SRF è stata condotta mediante un *modello di analisi geografica*, in cui le valutazioni ambientali vengono svolte attraverso l'uso congiunto di tecniche MCE con i sistemi informativi georeferenziati (GIS). Il metodo precedentemente descritto fa sì che in un contesto decisionale complesso, dato un certo numero di alternative, si giunga ad un risultato conforme alle preferenze decisionali specificate attraverso una sequenza ben definita di processi (Figura 4-3).

Figura 4-3 Schematizzazione del modello di analisi.



Individuati i criteri necessari per l'analisi specifica, si è passato alla loro standardizzazione impiegando funzioni spaziali sfocate (*fuzzy*), scelte in funzione del tipo di dato trattato e dell'incertezza associata ad esso. Grazie ad esse è stato possibile ottenere nuove immagini raster con valori di idoneità [0,1] della specie al territorio in relazione a ciascun fattore ambientale considerato.

In seguito alla standardizzazione dei criteri il metodo d'analisi precedentemente descritto richiede il calcolo di due serie di pesi: i pesi criterio e i pesi ordine. I primi sono stati calcolati mediante metodo AHP, effettuando una comparazione a coppie mediante matrice di Saaty. I

pesi ordine, il cui calcolo dipende anche dai pesi criterio, sono stati calcolati ricorrendo ai quantificatori linguistici RIM mediante il metodo proposto da Malczewski (2006).

Il procedimento richiede che siano ordinati i criteri in base al loro valore (valore criterio) in ordine decrescente al fine di ordinare i pesi criterio.

Tabella 4-3 Funzioni di appartenenza fuzzy rappresentative delle condizioni di idoneità territoriale alla coltivazione delle specie target in relazione ai fattori ambientali considerati.

	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Populus x euroamericana</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Salix alba</i>
Precipitazione medie annua				
Precipitazione media mesi estivi				
Temperatura media annua				
Temperatura media del mese più freddo				
Altitudine				
Pendenza				
Carbonati				
Profondità				

Reazione				
Tessitura				

Dato che i criteri sono rappresentati da immagini raster costituite dallo stesso numero di pixel ma di valori differenti, si può assumere che il valore rappresentativo per ogni singola immagine raster sia costituito dalla media dei valori di tutti pixel. Calcolata dunque per ogni criterio, sono stati ordinati i valori e in relazione ad essi i pesi criterio.

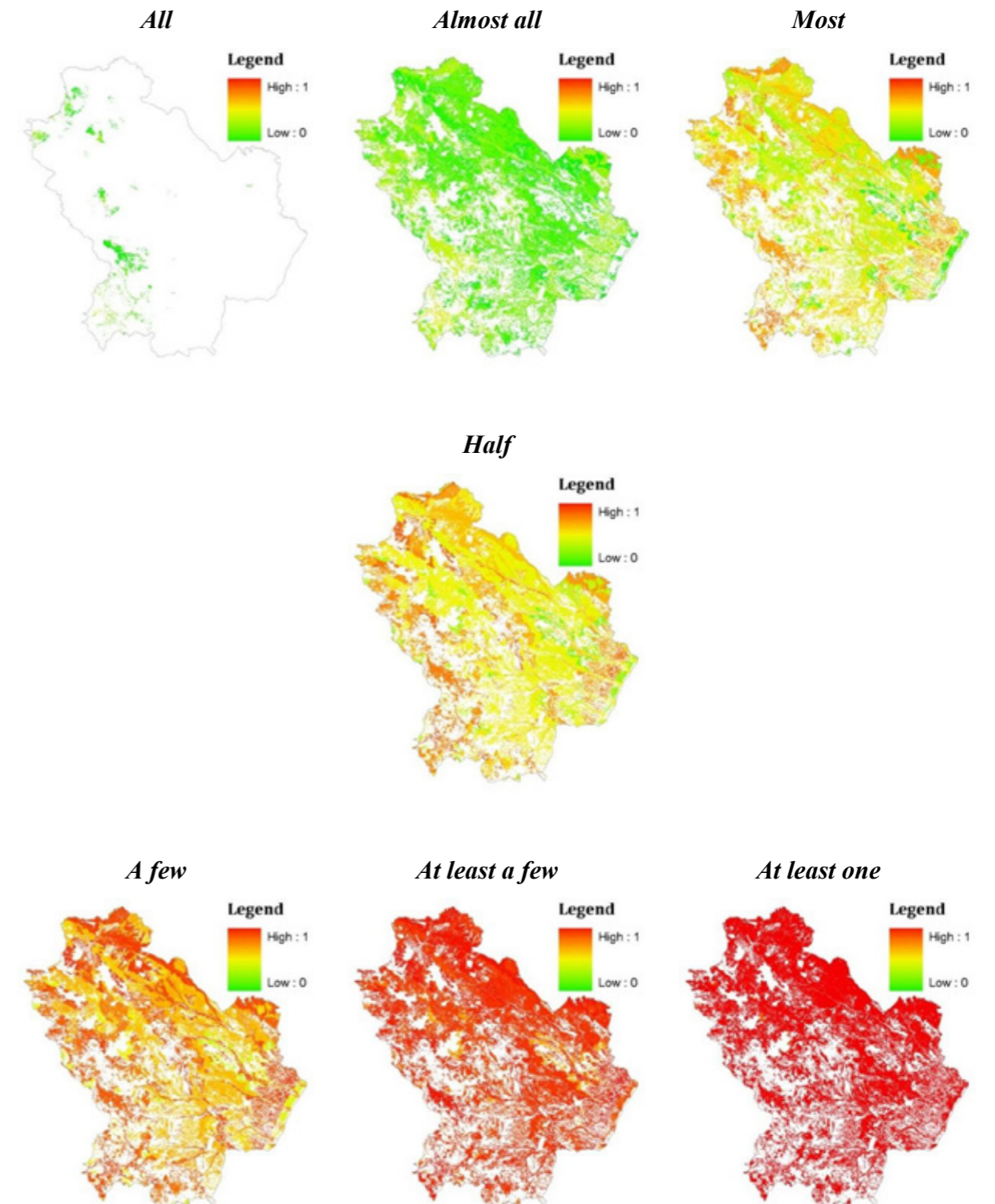
Il passo successivo ha riguardato il calcolo dei pesi ordine (Eq.4) sulla base dei pesi criterio e del valore  $\alpha$  rappresentativo per ogni quantificatore linguistico  $Q$  (vedi Tabella 4-1), ottenendo così un set di pesi ordine (vedi allegato).

Implementando il modello e inserendo in esso i vincoli presi in considerazione, è stato possibile ottenere sette mappe di idoneità per ogni singola specie afferenti a diversi operatori OWA, compresi gli operatori AND, OR e la convenzionale WLC.

Le Figure 4-1 mostrano un esempio delle sette mappe alternative di idoneità d'uso del suolo per lo sviluppo delle specie legnose prese in esame. Ogni mappa è associata ad un quantificatore linguistico, ad un parametro  $\alpha$ , e a diverse misure di tradeoff e ORness. La figura associata al quantificatore linguistico fuzzy "All" (operatore MIN) rappresenta lo scenario peggiore di idoneità nel quale sono assegnati i valori più bassi ad ogni pixel. Riducendo il valore del parametro  $\alpha$  da  $\alpha \rightarrow \infty$  a  $\alpha=1$  aumenta il grado di ORness da 0 a 0.5 e di tradeoff da 0 a 1. Ciò implica un aumento dei valori di idoneità per ogni pixel (scenario sempre più ottimistico). La mappa di idoneità associata al quantificatore linguistico "Half" ( $\alpha=1$ ) rappresenta la strategia corrispondente alla convenzionale WLC. Tale strategia è caratterizzata da un ORness=0.5 e un pieno tradeoff. Riducendo il valore di  $\alpha$  da 1 a 0 si assiste ad un aumento del grado di ORness e ad una riduzione del grado di tradeoff; la figura associata al quantificatore linguistico fuzzy "At least one" (operatore MAX) rappresenta lo scenario più ottimistico per l'idoneità d'uso del suolo a colture energetiche. Tale scenario corrisponde all'operatore OR con un grado di Orness pari a 1 e un grado di tradeoff pari a 0.

Considerando dunque i quantificatori linguistici e i diversi gradi di Orness e tradeoff il decisore potrà individuare la migliore soluzione in relazione alle esigenze decisionali specificate.

Figure 4-1 Mappe di idoneità d'uso del suolo per la messa a dimora di Populus x euroamericana.



4.3.2.1 Scelta delle Mappa d'idoneità

Data la mancanza di campi sperimentali di colture energetiche in regione, risulta difficile testare il modello e vagliare quale delle mappe ottenute meglio si presta a rappresentare la realtà, come invece è stato fatto per un'analisi d'idoneità d'uso del suolo per SRF a livello nazionale (Salvati et al., 2007).

La scelta dunque della mappa più rappresentativa di ogni singola specie si è basata considerando le esigenze ecologiche e colturali, il grado di ORness e la distribuzione dei valori di idoneità corrispondenti, nonché le esigenze del pianificatore.

La riuscita di un impianto SRF deriva dal fatto che la specie trovi le condizioni climatiche ed edafiche migliori (tipo di terreno e siccità estiva in particolare) e che l'impianto possa essere gestito al meglio considerando dunque anche le esigenze colturali (meccanizzazione, irrigazioni). Risulta evidente dunque che più criteri vengono considerati nell'analisi e più attendibile sarà il risultato. I quantificatori linguistici che meglio esprimono questo concetto e che hanno contribuito al calcolo dei pesi ordine sono: "tutti criteri devono essere soddisfatti" (quantificatore "All"), "quasi tutti" ("Almost all") e "la maggior parte" ("Most"). A tali quantificatori corrisponde inoltre un basso grado di ORness (basso rischio).

Se ciò è vero nella gestione classica delle SRF, dove non sono previste irrigazioni se non di soccorso, nel caso specifico, contribuendo alla riuscita della coltura irrigando con acque reflue trattate in maniera semplificata, non solo ricche in sostanza organica ed elementi nutritivi ma disponibili l'intero anno, potremmo permetterci un maggior rischio connesso all'analisi, scegliendo la mappa che per prima si discosta dalla classica WLC e connessa al quantificatore "A few". Per poter avere comunque una maggiore idea dei risultati ottenuti è stata fatta un'analisi per valutare la distribuzione dei valori di idoneità delle diverse mappe.

Come è possibile notare osservando i diversi Box-plot (Figure 4-2), la scelta finale della mappa connessa al quantificatore "A few" è giustificata anche dal fatto che essa presenta un ampio range di valori di idoneità con una distribuzione piuttosto uniforme, anche se verso una analisi più ottimistica rispetto ai quantificatori "All, Almost all, Most".

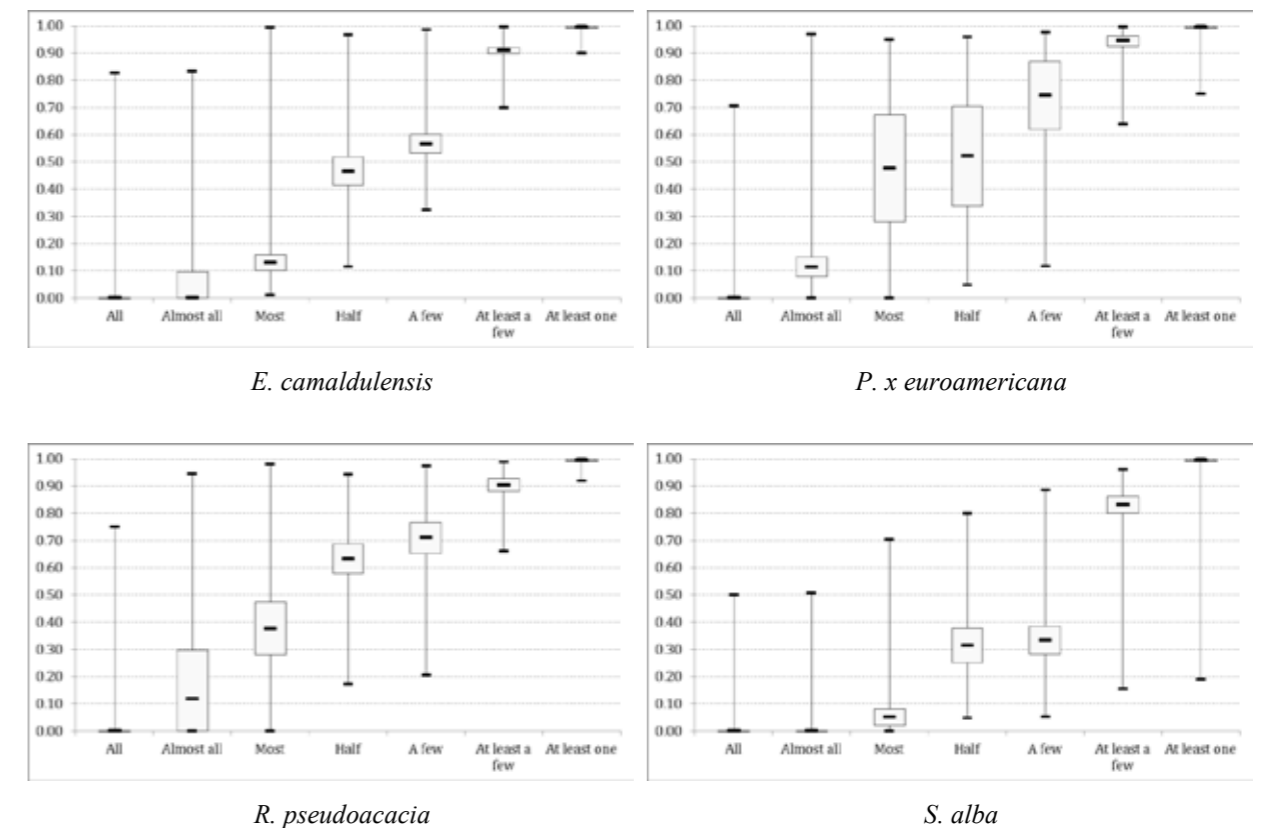
Onde avere una più chiara lettura dei risultati, ottenuti attraverso il modello OWA, sono stati discretizzati i valori attraverso l'ausilio di un'altra tipologia di quantificatori linguistici (Chen et al, 1992). Essi rappresentano un valido e consolidato strumento per la conversione di valori cardinali in attributi qualitativi. Tramite il loro impiego, infatti, risulta possibile fornire

una rappresentazione matematica di un termine linguistico. È stato possibile così considerare *non idonei* i territori con valori nell'intervallo 0-0,77 e *idonei* quelli nell'intervallo 0,77-1.

Attraverso una riclassificazione delle mappe è stato possibile così individuare i soli terreni idonei con una superficie pari 35.532 ha, 258.512 ha, 148.770 ha e 394 ha rispettivamente per eucalipto, pioppo, robinia e salice a fronte di 562.932 ha disponibili per SRF in regione.

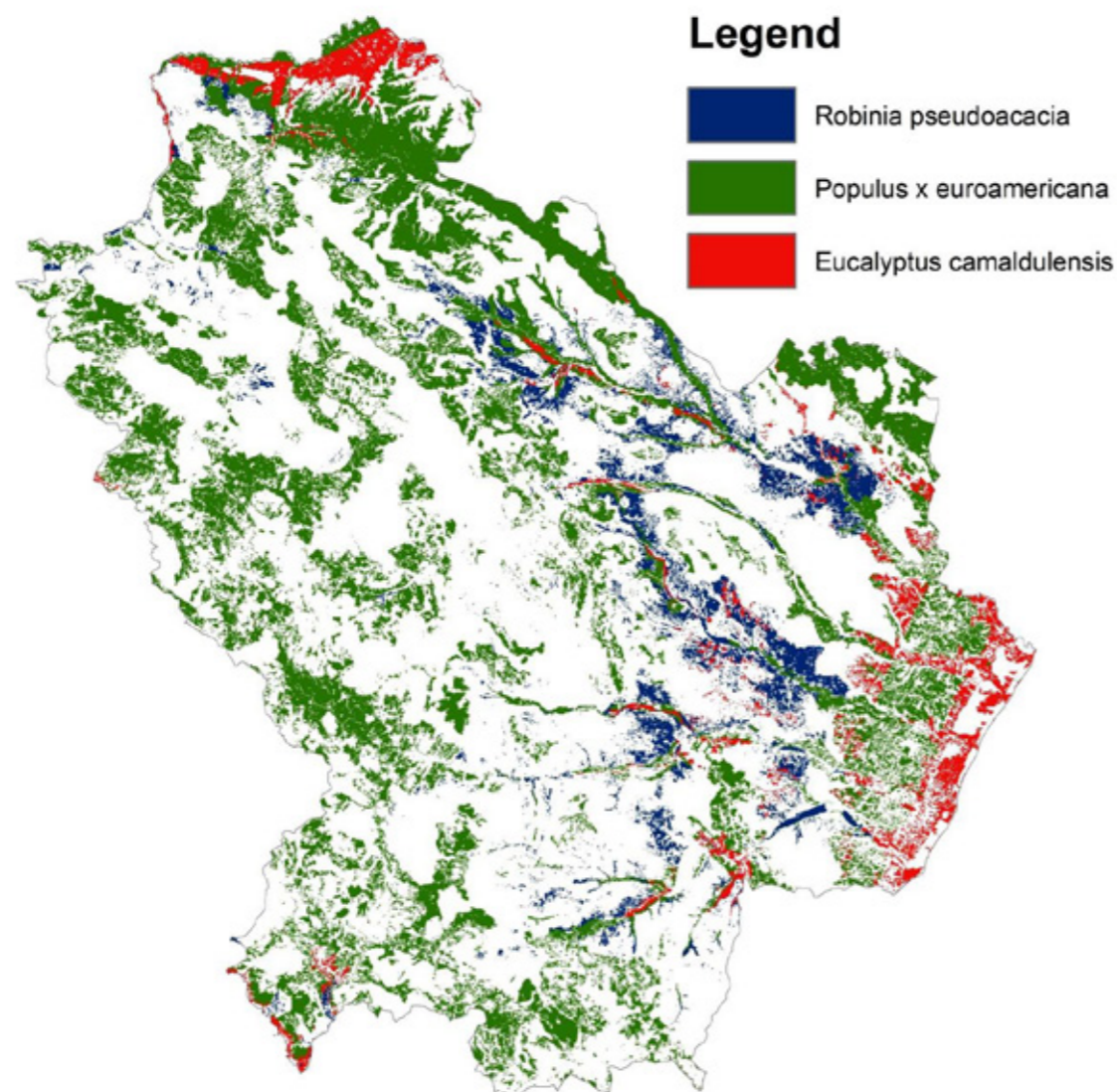
Successivamente è stata fatta una sovrapposizione di mappe per individuare tra le specie, quelle più adatte in regione per le SRF dando, in quei territori che potevano essere idonei per più specie, priorità all'eucalipto per la maggiore rusticità in ambiente mediterraneo e per la maggiore resistenza a patologie rispetto al pioppo, e poi con priorità decrescente al pioppo, salice e robinia.

Figure 4-2 Box-plot: distribuzione dei valori di idoneità nei diversi scenari per la quattro specie considerate.



I risultati hanno messo in evidenza una superficie invariata per l'eucalipto (35.532 ha), una perdita di superficie per il pioppo e la robinia che si attesta rispettivamente sui 236.721 ha e 47.681 ha (avendo priorità inferiori in quei territori idonei per più specie), e una perdita di superficie per il salice a discapito di eucalipto e pioppo (Figura 4-4).

Figura 4-4 Livello di idoneità del territorio provinciale di Potenza per colture SRF



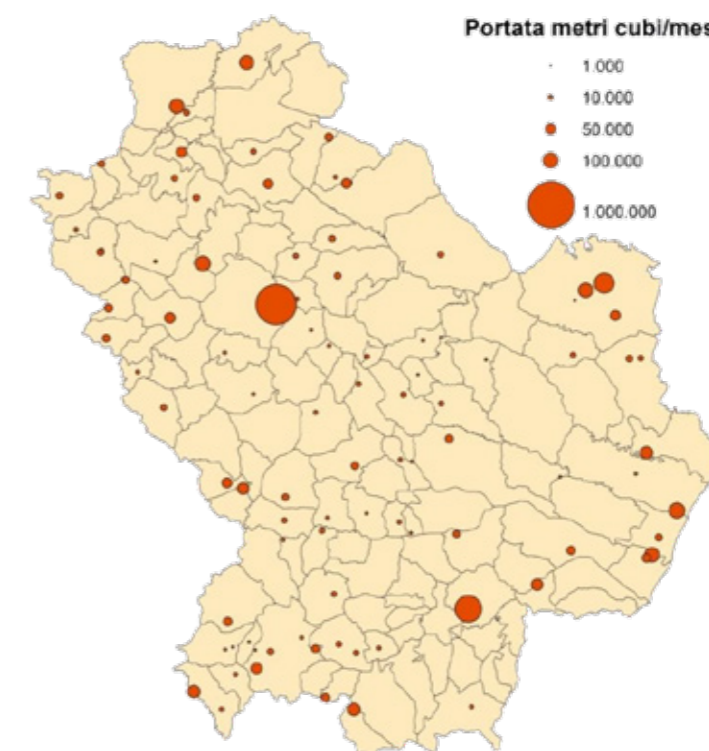
#### 4.3.3 Individuazione dei terreni fertirrigabili

L'individuazione dei potenziali terreni fertirrigabili con acque reflue è stata condotta interamente in ambiente GIS, richiedendo come prima analisi l'individuazione spaziale dei depuratori presenti in regione.

Partendo da un database contenente le informazioni circa le coordinate spaziali, il funzionamento e le portate di tutti i depuratori presenti, è stato possibile realizzare una mappa al fine di conoscere l'esatta ubicazione di essi, necessaria per le elaborazioni successive. Dei 241 depuratori censiti dall'ARPAB Basilicata risultano funzionanti solo 173, di cui solo 165 posseggono le informazioni circa le portate, quest'ultime necessarie per dimensionare gli impianti e calcolare la superficie di SRF che ogni depuratore può servire.

I dati relativi alle portate espressi in  $m^3/s$  o  $m^3/gg$  sono stati convertiti in  $m^3/mese$  in modo da determinare gli ettari di SRF irrigabili mensilmente prendendo in considerazione una soglia mensile di fertirrigazione di  $350 m^3/ha$ . Dal dimensionamento degli impianti sono stati eliminati i depuratori troppo piccoli (con portate  $<3.500 m^3/mese$ ), individuando solo 94 di essi potenzialmente utilizzabili per fertirrigare SRF (Figura 4-5).

Figura 4-5 Distribuzione spaziale dei depuratori e relative portate



Avendo a disposizione la mappa d'idoneità delle SRF e la mappa con i depuratori utilizzabili con la relativa superficie irrigabile, si è passati ad individuare i terreni potenzialmente irrigabili; l'analisi per l'individuazione dei terreni ha preso in considerazione una serie di aspetti:

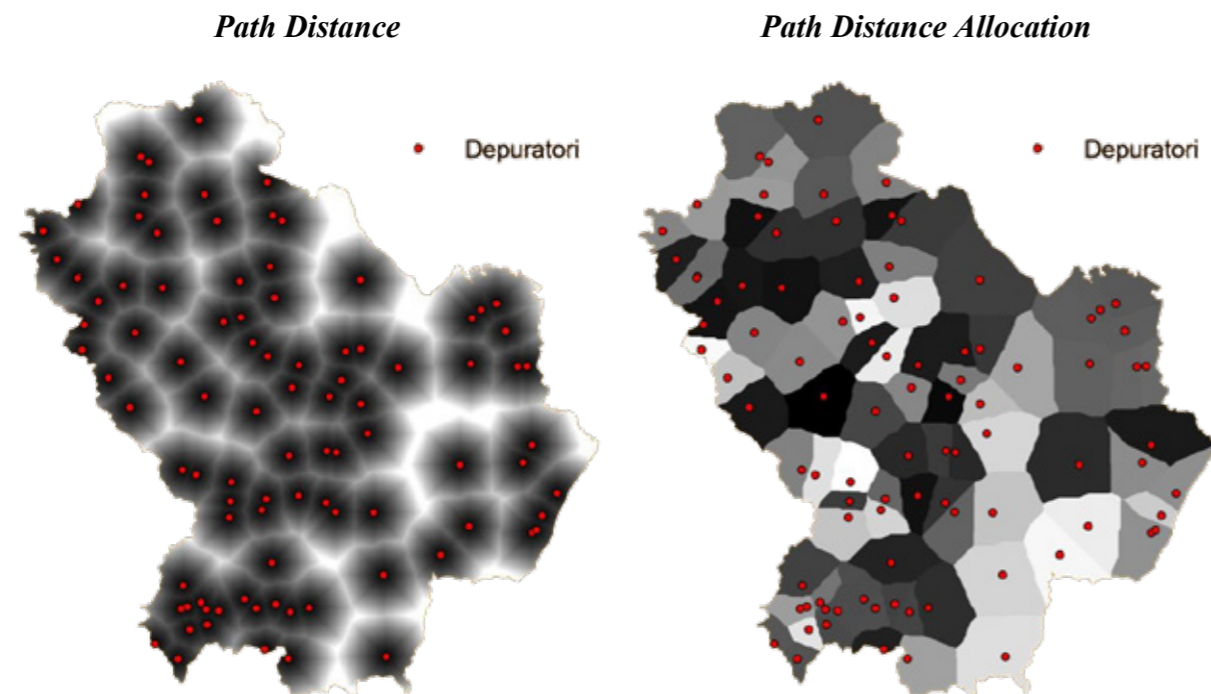
1. Le superfici da fertirrigare devono essere il più vicino possibile al depuratore (per ridurre i costi della condotta di adduzione);
2. I terreni da fertirrigare devono trovarsi a valle del depuratore (per ridurre i costi di pompaggio dell'acqua a monte).

Avvalendoci di operazioni logiche di "analisi spaziale" (Spatial Analyst) in ambiente GIS, partendo dalla mappa dei depuratori, è stato possibile realizzare:

- a) una mappa relativa alle distanze da ogni depuratore,
- b) una mappa relativa alle aree di influenza di ciascun depuratore in relazione alle distanze stesse (poiché le distanze derivano da un'esplosione concentrica, il cui centro è

il depuratore stesso, i confini di ciascuna area derivano dall'incontro delle distanze massime di ciascuna esplosione),  
rispettivamente mediante funzioni di *Path Distance* e *Path Distance Allocation* (Figure 4-3).  
Ad ogni area di influenza è stato assegnato il numero identificativo del depuratore presente.

Figure 4-3 Operazioni logiche di Spatial Analyst:



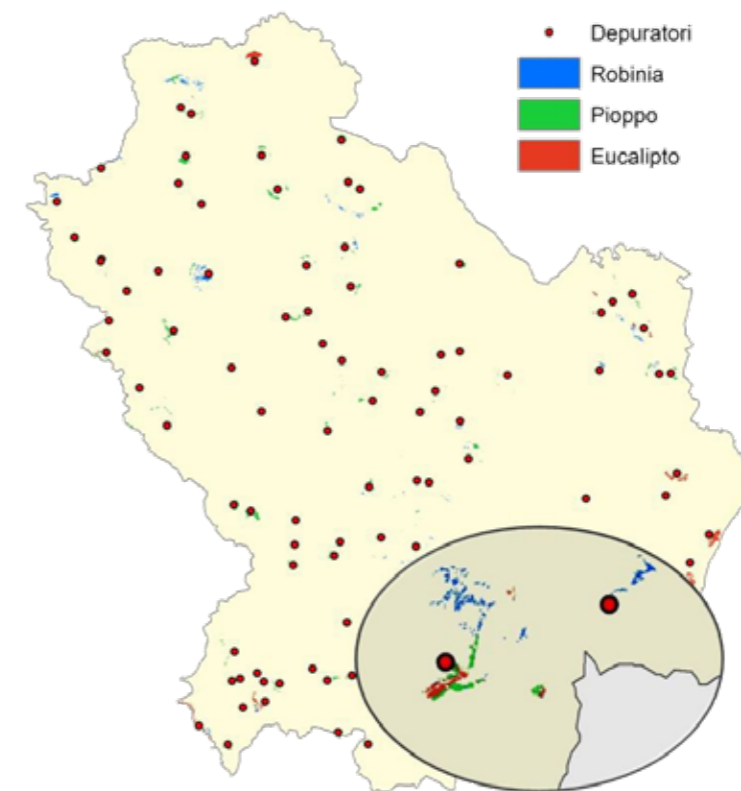
Conoscendo le aree di influenza di ciascuna depuratore e le relative distanze, tali dati sono stati implementati con la mappa dei depuratori, la mappa d' idoneità delle SRF e con il DEM (Digital Elevation Model) nella funzione *Sample*, ottenendo così un foglio di calcolo contenente:

- numero identificativo del depuratore e relativa altitudine;
- e per ciascun ettaro di SRF idoneo:
  - numero identificativo area influenza del depuratore;
  - distanza dal depuratore di pertinenza;
  - altitudine.

Con le informazioni sopra elencate, è stato possibile individuare gli ettari di SRF afferenti a ciascun depuratore.

Dei 319.934 ha di territorio regionale idonei per l'impianto di SRF, solo 6.664 ha risultano potenzialmente fertirrigabili di cui 1.851 ha di Eucalipto, 3.269 ha di Pioppo e 1.544 ha di Robinia.

Figura 4-6 Terreni di SRF potenzialmente fertirrigabili dai depuratori presenti in regione



Se in una prima fase l'attribuzione delle distanze dai depuratori di ogni ettaro di SRF è servito per individuare quelli più vicini, nella fase successiva è stato necessario individuare delle macroaree di ettari contigui per calcolare la distanza di queste ultime dagli impianti di depurazione. Una condotta di adduzione infatti può irrigare superfici molto ampie, e poiché il loro costo dipende dalla distanza, questa fase è stata utile per la successiva analisi economica; ogni macroarea sarà servita da una condotta la cui lunghezza dipenderà dalla distanza che intercorre tra il depuratore più vicino e la macroarea stessa.

Per un totale di 94 depuratori sono state individuate così 233 macroaree potenzialmente fertirrigabili (a cui è stato attribuito un numero identificativo) con una superficie totale di 6.664 ettari.

La mappa così ottenuta è stata inserita nella funzione *Sample* con le mappe necessarie (Tabella 4-4) per ottenere un foglio di calcolo contenente per ciascun ettaro di SRF:

- numero identificativo della particella e relative coordinate;
- numero identificativo dell'area di influenza del depuratore;
- numero identificativo della macroarea di appartenenza;

- distanza dal depuratore.

Avendo a disposizione una database così articolato è stato possibile effettuare un'analisi economica di notevole dettaglio.

Tabella 4-4 Dati di Input/Output nella funzione di Sample

Funzione	Input	Output
Sample	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ mappa area d'influenza di ciascun depuratore;</li> <li>➤ mappa macroaree;</li> <li>➤ mappa distanza dai depuratori;</li> <li>➤ mappa degli ettari di SRF potenzialmente fertirrigabili.</li> </ul>	Foglio di calcolo

## 5 ANALISI ECONOMICA

### 5.1 Gli indicatori di convenienza

La valutazione della convenienza dell'investimento è stata condotta attraverso la determinazione di alcuni classici parametri economici come il VAN e il payback period mediante un criterio Discounted Cash Flow (DCF) basato sull'attualizzazione dei flussi di cassa. Una volta infatti che l'impianto è operativo, realizzerà annualmente dei ricavi  $R_k$  a fronte di determinati costi  $C_k$  e originando così un flusso di cassa annuo  $FC_k$ :

$$FC_k = R_k - C_k$$

I flussi di cassa annui si riportano utilizzando le regole della matematica finanziaria, all'anno di riferimento calcolandone il valore attuale attraverso il tasso di sconto  $r$ :

$$VA_k = \frac{FC_k}{(1+r)^k}$$

La somma dei valori attuali dei flussi di cassa fornisce il valore attuale netto (VAN) che è definito come il valore che si ottiene scontando al presente tutti i benefici netti futuri a un saggio predeterminato:

$$VAN = \sum_{k=0}^n \frac{FC_k}{(1+r)^k}$$

Dove  $FC_k$  è il flusso finanziario (positivo o negativo) al tempo  $K$ ,  $r$  il saggio di interesse e di conseguenza  $1/(1+r)^k$  rappresenta il tasso di attualizzazione.

Un investimento fondiario come quello oggetto di analisi presenta forti costi iniziali e costi annui di gestione pressoché fissi, mentre i benefici, una volta completate le opere, si realizzano con cadenza regolare e per un periodo limitato.

In ogni caso, a parte le modalità di computo del VAN, affinché un investimento risulti conveniente devono essere soddisfatte due condizioni:

- il VAN nella situazione "con investimento" al tasso di sconto prestabilito, deve essere superiore al VAN nella situazione esistente "senza investimento";
- il VAN dell'investimento deve essere superiore o almeno uguale al VAN di altri investimenti alternativi che abbiano le stesse finalità pur impiegando tecniche diverse.

Il calcolo del VAN richiede la scelta di un appropriato saggio di sconto dei benefici e dei costi. Tale scelta influenza fortemente i risultati dell'analisi dato che più elevato è il saggio

più contenuto risulta il VAN e viceversa. Inoltre il VAN risulta fortemente influenzato dalla cadenza dei benefici e dei costi, nonché dalla durata dell'investimento. Tanto più un valore è dilazionato nel tempo, tanto minore, al limite irrilevante, risulta il suo peso nella formazione del VAN. Da ciò si deduce che il criterio del VAN privilegia gli investimenti che più velocemente danno una risposta in termini di beneficio; questo aspetto penalizza, indubbiamente, gli investimenti come quelli fondiari che danno luogo a benefici molto protratti nel tempo.

Il saggio di sconto dev'essere un saggio reale e la sua determinazione segue sostanzialmente due criteri: quello delle alternative d'investimento (saggio d'interesse alternativo SA) e quello delle preferenze temporali (saggio di preferenza temporale SPT); l'uno e l'altro sono ovviamente influenzati dal saggio d'interesse dei mercati finanziari, ovvero il costo del denaro vigente o previsto nei mercati finanziari; il saggio di interesse alternativo in pratica corrisponde al saggio ritraibile da investimenti alternativi alla portata dell'imprenditore di analogo rischio e durata; il saggio di preferenza temporale corrisponde invece al saggio ritenuto soddisfacente per rinunciare ai consumi presenti in favore di quelli futuri.

La possibilità di scegliere saggi diversi può creare notevoli problemi dal punto di vista sia analitico che decisionale: un basso saggio rende ad esempio convenienti investimenti che non lo sono con saggi più elevati, inoltre può succedere che una graduatoria di convenienza fra investimenti alternativi con diversa cadenza temporale dei benefici e dei costi possa modificarsi impiegando saggi diversi.

Per le ragioni enunciate, nel caso di studio il saggio di sconto scelto è quello del 5,5%, in quanto ritenuto congruo se rapportato a forme di investimento alternative, di lunghezza simile e di pari rischio.

Il calcolo del periodo di ritorno dell'investimento (payback period) tende invece a valutare il grado di rischiosità di un investimento, in quanto misura il lasso di tempo entro cui gli incassi ottenibili riescono a reintegrare il capitale impiegato. Infatti l'impossibilità di un rapido reintegro del capitale investito può indurre, anche in presenza di confortanti previsioni di reddito nel tempo lungo, a desistere dall'attuazione del progetto. È chiaro che il payback period non misura l'altezza del rischio di un certo investimento, ma unicamente la durata di esposizione al rischio del capitale.

Il periodo di ritorno è espresso in anni e si ottiene dalla formula:

$$\text{Tempo di ritorno} = \frac{\text{Investimento iniziale}}{\text{Benefici netti}}$$

Nei paragrafi seguenti, al fine di calcolare il VAN e il payback period, si è provveduto ad effettuare in dettaglio:

- Valutazioni economiche sulle SRF,
- Valutazioni economiche sull'impianto di fertirrigazione.

## 5.2 Valutazioni economiche sulle SRF

### 5.2.1 Voci di costo

Il percorso seguito per effettuare l'analisi economica delle differenti colture energetiche prevede, per prima cosa, la stesura di tutte le fasi del processo produttivo, dall'impianto alla raccolta, nonché del ripristino del terreno a fine ciclo. Le varie operazioni colturali sono un riferimento tecnico su cui sono stati stimati i costi di coltivazione e raccolta della biomassa. Essendo un'analisi di carattere generale, chiunque voglia intraprendere questo tipo di percorso, deve adattare il modello alle proprie esigenze, nonché ai propri mezzi a disposizione, per poter determinare con maggiore accuratezza i costi di produzione della biomassa e quindi valutare la sostenibilità dell'iniziativa. È possibile infatti che un imprenditore abbia già dei fattori della produzione che gli consentono di contenere i costi.

Essendo la coltivazione di SRF una vera e propria pratica agronomica, considerando un ciclo di vita dell'impianto di 12 anni con una densità pari a 1.600 piante/ha e ceduzioni biennali, le operazioni colturali risultano essere:

- Aratura e affinatura del terreno;
- Acquisto talee;
- Trapianto;
- Diserbo chimico pre-impianto per il controllo della vegetazione spontanea;
- Erpicatura interfila una sola volta l'anno, condotta solo negli anni in cui non si esegue la cippatura al fine di limitare fenomeni di competizione;
- Cippatura biennale;
- Diciocatura a fine ciclo produttivo (dodicesimo anno).

Per quanto riguarda le concimazioni della coltura esse non vengono considerate tra le voci di costo in quanto è prevista la fertirrigazione con acque reflue trattate in maniera semplificata

già ricche di sostanze nutritive e sostanza organica necessarie per una buona riuscita dell'impianto e per aumentarne le produttività.

L'utilizzo dei reflui pretrattati per l'irrigazione di impianti di SRF implica la realizzazione di un impianto di irrigazione capace di garantire la dispersione delle acque su tutta la superficie interessata. Nei casi in cui l'acqua fosse abbondante può essere utilizzato il metodo per scorrimento superficiale, mentre nei casi in cui si volesse concentrare tale risorsa si può utilizzare un semplice impianto di irrigazione a goccia. L'utilizzo del primo metodo è consigliato in terreni pianeggianti, mentre il secondo è utilizzabile anche in terreni acclivi. Impianti di irrigazione per aspersione sopra chioma sono sconsigliati sia per l'eccessivo costo che per i risvolti negativi sulla salute delle piante; sarebbe alto, infatti, il rischio di malattie fogliari (ruggini). L'impianto comunque più efficace risulta essere quello a goccia sia per evitare sprechi eccessivi essendo l'acqua subito disponibili all'apparato radicale sia per ridurre il quantitativo di acqua persa per evaporazione soprattutto in climi caldi come quelli tipici della regione Basilicata.

Tenendo conto anche del beneficio fondiario, le voci di costo delle varie operazioni colturali, ricavate da indagini condotte precedentemente sulle realtà locali (Di Santo, 2012) e confronti bibliografici (Bergante S. e Facciotto G, 2006), sono riportati in Tabella 5-1.

Tabella 5-1 Costi di un impianto di SRF con densità di 1600 piante/ha, ceduzioni biennali e ciclo di 12 anni (€/ha)

Anno	Aratura	Affinatura	Acquisto talee	Trapianto	Diserbo chimico	Erpicatura interfila	Cippatura	Diciocatura	Beneficio fondiario	Impianto irrigazione	Totale costi
1	140	70	688	688	100	150	-	-	300	2000	4.136
2	-	-	-	-	-	-	400	-	300	-	700
3	-	-	-	-	100	150	-	-	300	-	550
4	-	-	-	-	-	-	400	-	300	-	700
5	-	-	-	-	100	150	-	-	300	-	550
6	-	-	-	-	-	-	400	-	300	-	700
7	-	-	-	-	100	150	-	-	300	-	550
8	-	-	-	-	-	-	400	-	300	-	700
9	-	-	-	-	100	150	-	-	300	-	550
10	-	-	-	-	-	-	400	-	300	-	700
11	-	-	-	-	100	150	-	-	300	-	550
12	-	-	-	-	-	-	400	300	300	-	1.000



### 5.2.2 Ricavi

Nel paragrafo precedente il trasporto del prodotto ottenuto ai siti di stoccaggio e utilizzo, non è stato considerato nelle voci di costo del processo produttivo; per un'analisi dettagliata bisognerebbe identificare sul territorio tali siti e valutare le distanze tra questi ultimi e i terreni di produzione della biomassa.

Si prevede dunque che la fase finale del processo produttivo sia la vendita della biomassa tal quale (alla raccolta) a bordo campo.

Per calcolare dunque i ricavi derivanti dalla vendita del prodotto è necessario conoscere le produzioni per ettaro di SRF. In questo caso di studio le produttività non si sono desunte facendo ricorso ad indagini bibliografiche ma sono state stimate considerando le necessità idriche delle specie per produrre un chilogrammo di sostanza secca, attraverso la formula:

$$kg\ s.s./ha = \frac{\text{disponibilità idrica (litri/ha)}}{\text{necessità idrica specie (litri/kg s.s.)}} \quad (\text{Eq. 5})$$

La disponibilità idrica è data da:

$$\text{disponibilità idrica} = \text{piogge utili (Pu)} + \text{irrigazione} \quad (\text{Eq. 6})$$

dove per piogge utili si intende il quantitativo di pioggia realmente disponibile per una coltura al netto delle perdite di evaporazione e di ruscellamento. Per poterle calcolare si è fatto ricorso alla Metodo USDA del Dipartimento Agricoltura degli Stati Uniti dove:

$$Pu = fc [1,253 \times P^{0,824} - 2,935] \times 10^{(0,001 ET)} \quad (\text{Eq. 7})$$

Con:

- fc: fattore di correzione dipendente dalla riserva idrica utilizzabile (valore 1 per la condizione pedologica standard)
- P: valore delle precipitazioni totali mensili (mm)
- ET: rappresenta l'evapotraspirazione totale mensile (mm)

Avendo a disposizione le mappe delle precipitazioni (P) e dell'evapotraspirazione (ET) mensili, è stato dunque possibile attraverso l'equazione realizzare delle nuove mappe relative alla Pu mensile, così da avere per ognuno dei 6.664 ettari di SRF sul territorio regionale l'esatto quantitativo di pioggia utile che la coltura potrà utilizzare per la crescita.

Sommando tale dato al quantitativo di acqua dato mensilmente attraverso l'irrigazione pari a 350 m<sup>3</sup>/ha, e considerando l'intero periodo vegetativo delle diverse specie pari a:

- 9 mesi per l'eucalipto (marzo-novembre),
- 7 mesi per il pioppo (aprile-ottobre),
- 8 mesi per la robinia (aprile-novembre),

è stato possibile calcolare la disponibilità idrica puntuale per ogni ettaro di SRF idoneo.

Considerando poi le necessità idriche per le specie di:

- 300 l/kg s.s. per Eucalipto,
- 350 l/kg s.s. per Pioppo,
- 430 l/kg s.s. per Robinia,

attraverso l'equazione 6 sono state stimate le produttività annue ad ettaro per le diverse specie che sono risultate differenti, essendo differenti sul territorio le precipitazioni, il periodo vegetativo di ogni specie per l'irrigazione e le necessità idriche di ogni specie.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori minimi, medi e massimi delle produttività annue stimate in tonnellate di sostanza secca e in tonnellate di sostanza fresca, considerando la vendita del cippato a bordo campo (assumendo un contenuto di umidità pari al 50%).

**Tabella 5-2 Produttività ettaro annue stimate per l'eucalipto**

Produttività	Tonnellate di sostanza secca	Tonnellate di sostanza fresca
Minima	8,4	16,8
Media	19,4	38,8
Massima	30,1	60,2

**Tabella 5-3 Produttività ettaro annue stimate per il pioppo**

Produttività	Tonnellate di sostanza secca	Tonnellate di sostanza fresca
Minima	5,6	11,2
Media	13,48	26,96
Massima	19,38	38,76

**Tabella 5-4 Produttività ettaro annue stimate per la robinia**

Produttività	Tonnellate di sostanza secca	Tonnellate di sostanza fresca
Minima	5,2	10,4
Media	12,8	25,6
Massima	18,3	36,6

Risulta evidente come, essendo differenti le produttività ad ettaro, differente sarà il ricavo della vendita del cippato considerando un prezzo di mercato di 55 € per tonnellata di sostanza fresca.

I ricavi ad ettaro al momento del taglio (ogni due anni) oscilleranno dunque da un minimo di 572 € nella peggiore delle ipotesi (produzioni annue di 5,2 tonnellate di sostanza fresca), ad un massimo di 6.622 € considerando una produzione di 60,2 tonnellate di sostanza secca ad ettaro all'anno.

### 5.3 Valutazioni economiche sull'impianto di fertirrigazione

Il mercato per la biomassa da energia è attualmente in crescita in Europa e anche in altri parti del mondo, ma esistono differenze significative tra i vari mercati locali. Perciò, è importante per gli operatori delle SRF stabilire dei buoni contatti con il mercato della biomassa ed anche stabilire dei contratti a lungo termine con gli acquirenti della biomassa prodotta.

Un'ulteriore opportunità di guadagno dagli impianti di SRF potrebbero derivare dall'utilizzazione delle acque reflue e l'utilizzo di fanghi. Infatti, così facendo i costi verrebbero ridotti e la produzione di biomassa aumentata, con rese per ettaro maggiori. Si andrebbe a risparmiare sui concimi chimici tradizionali e sui costi a carico degli enti gestori dell'impianto per il trattamento delle acque. Infatti costi per il trattamento tradizionale delle acque reflue sono molto variabili, ma nella maggior parte dei casi sono circa 10 volte superiori per chilogrammo di N rispetto al costo che l'agricoltore pagherebbe per comprare una quantità simile di concimi inorganici (BIOPROS Project – SRP Guidelines, 2008). Di conseguenza, è importante per l'agricoltore negoziare con le autorità preposte al trattamento delle acque reflue il ruolo esatto che egli giocherà nel processo di trattamento e il livello di remunerazione che riceverà per il servizio erogato. Inoltre una distanza ridotta tra la piantagione e l'impianto di trattamento ridurrà i costi in termini di realizzazione della condotta di adduzione. Di seguito sono riportati i costi di un impianto di depurazione tipo (Tabella 5-5) e gli eventuali costi (Tabella 5-6) e benefici (Tabella 5-7) derivanti dalla realizzazione di un impianto di fertirrigazione per SRF.

**Tabella 5-5 Costi di trattamento acque reflue di un impianto di depurazione tipo (Abitanti equivalenti = 10.000)**

	Unità di misura.	Valore
Acqua trattata in un anno	m <sup>3</sup> /anno	700.000
Totale costi di trattamento convenzionale	(€/anno)	250.000

**Tabella 5-6 Costi di realizzazione di impianto di fertirrigazione**

Apparecchiature ed opere	Unità di misura	Valore
Condotta di adduzione	€/km	200.000
Vasca di raccolta	€	50.000
Pompe e filtri	€	50.000

**Tabella 5-7 Benefici derivanti dall'adozione di un sistema di depurazione parziale**

	Unità di misura	Valore
Costi recuperati (rimozione della sostanza organica al 50%)	€/anno	100.000
Valore commerciale della sostanza organica utilizzata per la fertilizzazione	€/anno	30.000

Se da un lato la realizzazione di una condotta di adduzione e di vasche di raccolta, con l'installazione di pompe e filtri, sono un investimento iniziale oneroso, giustificato solo da una buona riuscita di un impianto di SRF il più vicino possibile al depuratore, dall'altro ci sono benefici derivanti dall'adozione di un sistema parziale di depurazione (Tabella 5-7) che si traducono in un risparmio economico di 0,19 €/m<sup>3</sup> di acqua reflua utilizzata per la fertirrigazione che potrebbe andare a favore dell'imprenditore.

Contratti vantaggiosi per l'imprenditore in SRF andrebbero stipulati dunque con i fornitori delle acque reflue, ed è importante che egli conosca le alternative che il produttore di reflui ha per smaltire questo residuo. Se le alternative sono più costose dell'applicazione in SRF, esiste la possibilità di ottenere buoni profitti con l'utilizzo dei fanghi in campo, con benefici sia per il produttore di fanghi sia per l'agricoltore. Tali altri contratti dovrebbero assicurare l'agricoltore contro i rischi, come la morte di una parte della piantagione, la chiusura dell'impianto per il trattamento dei reflui, la riduzione del periodo contrattuale e così via; è importante anche che il contratto stabilisca quale partner è responsabile per i diversi costi, come per esempio le analisi di costo, i costi di investimento e di mantenimento. Sarà anche utile che il contratto chiarisca che cosa succederà nel caso in cui dovesse cambiare la qualità e la quantità delle acque reflue.

Oltre ai benefici economici, un impianto di biomassa potrebbe apportare benefici ambientali e sociali a vantaggio dell'intera comunità locale: riduzione delle spese per il trattamento delle acque reflue che gravano sulla comunità, mitigazione dell'impatto visivo ed

ecologico degli impianti di depurazione mascherati dagli impianti di SRF, nuovi posti di lavoro, presidio territoriale rurale, recupero di aree abbandonate, ecc.

#### 5.4 Valutazioni economiche su SRF fertirrigate

Da quanto emerso nel paragrafo precedente, la realizzazione di una condotta di adduzione, di una vasca di raccolta e l'installazione di pompe e filtri comporta delle spese enormi. La presenza di tali soluzioni tecniche sarebbe giustificata dal punto di vista economico da brevi distanze e da ottime produttività.

Vanno dunque analizzati nell'insieme tutte le voci di costo e ricavo inerenti ad un impianto di SRF fertirrigato finora descritte nei paragrafi precedenti, schematizzate in:

COSTI		RICAVI
FISSI	VARIABILI	VARIABILI
Impianto SRF	Condotta di adduzione Vasca di raccolta Pompe e filtri	Vendita cippato Costi recuperati da depurazione parziale Costi recuperati dall'utilizzo di sostanza organica per la fertilizzazione

L'analisi economica è stata condotta con enorme dettaglio rapportando tutte le voci di costo e di ricavo ad ettaro di superficie.

Avendo infatti un database contenente le informazioni per ciascuno dei 6.664 ettari di SRF relativi alla area d'influenza del depuratore e alla macroarea di pertinenza con le relative distanze di quest'ultime dai depuratori stessi, abbiamo così calcolato:

- il costo ad ettaro della condotta relativo alle 233 macroaree, ottenuto moltiplicando il costo unitario di 200 €/m per la distanza tra il depuratore e la macroarea e dividendo poi tale valore per la superficie racchiusa da quest'ultima;
- il costo rapportato all'ettaro della vasca di raccolta (compresi pompe e filtri) necessario a ciascuna condotta, è stato ottenuto dividendo il costo totale della struttura (100.000 €) per la superficie di ciascuna macroarea;
- il costo ad ettaro per un impianto di SRF con 1.600 piante/ha (vedi Tabella 5-1);
- il ricavo ad ettaro ottenuto dalla vendita del cippato, calcolato moltiplicando le produttività di ogni singolo ettaro per il prezzo (55€/tonnellata di sostanza fresca);

- gli introiti ad ettaro derivanti dall'utilizzo delle acque reflue ottenuti moltiplicando il beneficio economico dell'utilizzo (0,19 €/m<sup>3</sup>) per i metri cubi di acqua utilizzati per l'irrigazione.

Considerando tutte le voci annuali così ottenute, per l'intero ciclo di vita dell'impianto, è stata valutata la convenienza economica di ciascun ettaro di SRF attraverso il VAN (utilizzando un saggio di sconto del 5,5 %); per ciascun ettaro di SRF è stato inoltre calcolato il Pay Bach Period che risulta essere in media di 5 anni. I risultati mostrano:

- 5.421 ha su 6.664 ha totali investiti a SRF a VAN positivo potenzialmente fertirrigabili, con:

VAN	€/ha
Min	192,25
Medio	7.822,76
Max	23.032,29

- 78 macroaree su 233 individuate a VAN positivo, con:

VAN	€	Superficie (ha)
Min	7.807,00	5,0
Medio	543.146,45	69,5
Max	4.696.225,02	509,0

- 69 aree di influenza dei depuratori a VAN positivo rispetto alle 94 unità individuate, con:

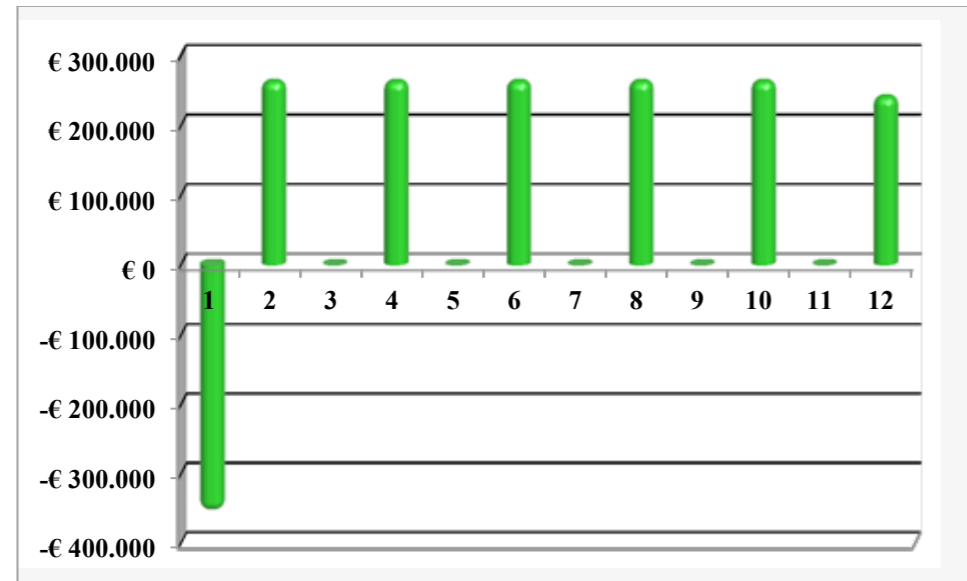
VAN	€	Ettari serviti
Min	19.420,57	5,0
Medio	613.991,60	78,5
Max	5.433.102,00	757,0

A titolo di esempio si riporta il grafico del Cash Flow di un impianto tipo di SRF caratterizzato da:

- un ciclo di 12 anni a ceduzione biennale,
- densità d'impianto pari a 1.600 piante/ha,

- estensione totale dell'area pari a 74 ha posta a 300 m dal depuratore,
- produttività media di 33,85 tonnellate di sostanza fresca ettaro all'anno,
- un VAN di 758.093 euro,
- un tempo di ritorno dell'investimento di 3,5 anni.

Figura 5-1 Cash-flow di un impianto di SRF fertirrigato di 74 ha di superficie

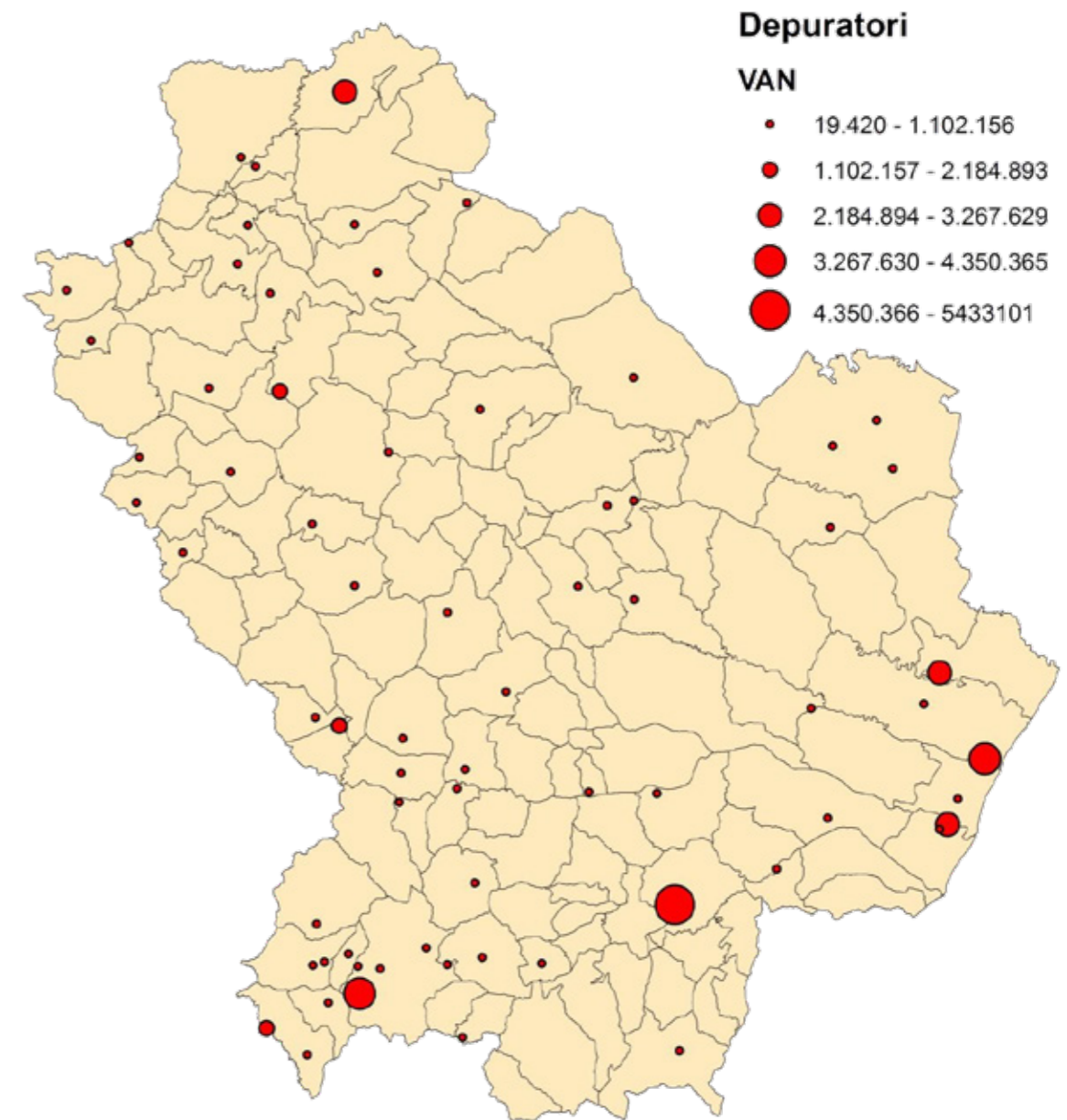


Gli elevati costi iniziali, come è possibile notare dal grafico, sono rappresentati principalmente dalla realizzazione dell'impianto di fertirrigazione e dalla realizzazione della condotta di adduzione che risulta dipendente dalla distanza dei terreni da irrigare dal depuratore. Ciò incide notevolmente sul valore del VAN nonché sul calcolo del tempo di ritorno dell'investimento che è risultato essere mediamente di 5 anni ma con oscillazioni variabili proprio in funzione dei costi iniziali, ed in particolare del costo della condotta.

Dall'analisi effettuata è emerso che risultano utilizzabili 69 depuratori per una superficie irrigabile totale pari a 5.421 ha di SRF (corrispondenti a 78 aree) con un VAN complessivo stimato (calcolato su un periodo di 12 anni) pari a 42.365.423 euro.

La localizzazione degli impianti di SRF e dei depuratori è riportata nell'allegato cartografico; di seguito invece si riporta una mappa degli impianti di depurazione e relativo VAN derivante dal loro utilizzo.

Figura 5-2 Mappa dei depuratori e relativo VAN delle superfici servibili



## 6 CONCLUSIONI

La garanzia di poter assicurare la disponibilità di acqua sia per uso potabile sia per impieghi agricoli rappresenta un obiettivo strategico di grande rilevanza.

E questo è tanto più vero per quelle aree del pianeta, come il bacino del Mediterraneo, che si presentano maggiormente suscettibili alle influenze determinate dai cambiamenti climatici in atto. In tale ambito si rende necessario, più che mai, attivare iniziative innovative capaci di garantire sicurezza negli approvvigionamenti idrici, nonché percorsi di sviluppo sostenibile.

Il tema del reimpiego delle acque reflue rappresenta pienamente un percorso virtuoso per quelle aree con limitata disponibilità idrica, in quanto risulta possibile coniugare una maggiore efficienza nei processi produttivi agricoli e/o agro-industriali con azioni di tutela ambientale nel consumo di una risorsa primaria come l'acqua.

Nel bacino del Mediterraneo il principale uso delle acque reflue trattate è rivolto verso l'irrigazione di colture agricole e agro-industriali ed attualmente il fenomeno è in rapida espansione poiché determinato da crescenti necessità di acqua: per il settore agricolo, ad esempio, nel Mediterraneo, il consumo di acqua disponibile si attesta al 65 % e arriva a superare l'80% per le aree meridionali ed orientali.

Risulta quindi necessario prodigarsi (a tutti i livelli) affinché possano essere percorse nuove strade di crescita e di sviluppo, capaci di garantire ed aumentare l'efficienza delle produzioni di beni e servizi, anche attraverso la capacità di "riciclare" risorse già utilizzate.

Oltre che per produzioni agricole, le acque reflue trattate possono essere impiegate anche per la produzione di piante destinate alla filiera agro-energetica. Nel panorama delle fonti energetiche rinnovabili, le biomasse rappresentano forse l'esempio più eclatante di fattore di sviluppo legato alla green economy, che tende a coniugare la redditività dell'investimento con positive ricadute in termini di presidio territoriale, gestione sostenibile delle risorse agro-forestali, attivazione di nuova imprenditoria sul territorio, ecc.

Infatti, al contrario della produzione di energia da fotovoltaico ed eolico, che sono tipici investimenti capital intensive a forte redditività e a scarso impiego di manodopera, le biomasse, grazie alla loro estrema diversificazione per comparto di provenienza e prodotti ottenibili oltre che per il loro forte legame con il territorio, permettono l'istaurarsi di fattori positivi a livello locale in termini sia di occupazione che di cura e manutenzione del territorio e di utilizzo ottimale delle risorse agro-forestali.

In Basilicata si sta assistendo a un vero e proprio fenomeno di abbandono delle aree agricole marginali, ascrivibile essenzialmente sia alla bassa redditività di queste, come anche alle grandi trasformazioni in atto nella PAC.

È per questo motivo che l'impiego di acque reflue nella produzione di biomassa per fini energetici potrebbe rappresentare la chiave di volta per poter garantire un incremento considerevole di produttività ad ettaro per gli impianti specializzati e di conseguenza un aumento della loro redditività economica.

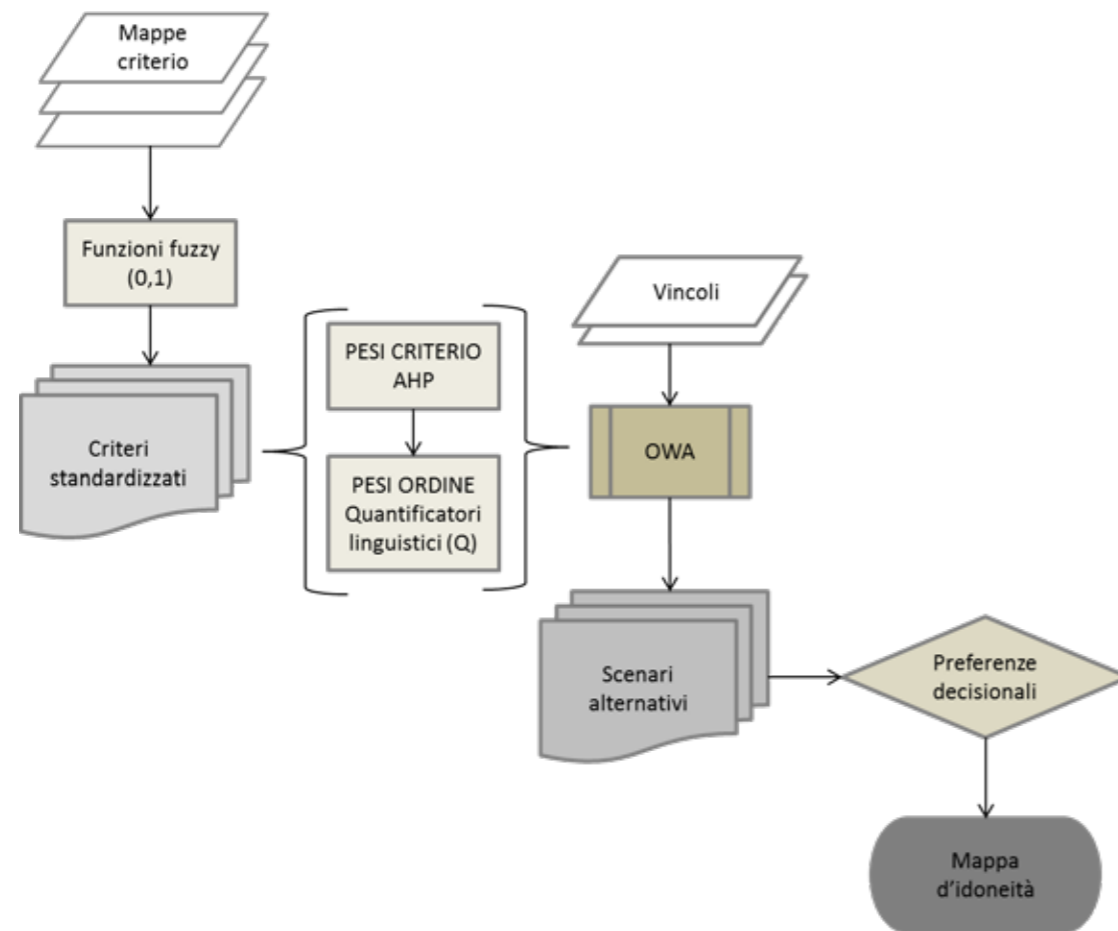
Infatti la produzione di biomassa da colture specializzate trova la sua convenienza economica oltre una certa soglia di produzione annua di biomassa per ettaro investito dalla coltura, produzioni che i nostri terreni marginali in asciutto non possono garantire.

L'impiego di acque reflue in processi produttivi controllati porterebbe a due grandi vantaggi: incrementare la produttività degli impianti e contenere i costi di depurazione per le Amministrazioni locali. È da evidenziare come proprio in caso di realizzazione di tali impianti si potrebbe giungere all'attivazione di filiere che vedrebbero il coinvolgimento di un numero elevato di attori locali (gli agricoltori, gli intermediari della raccolta, i vivaisti per la produzione del materiale forestale, ecc.) favorendo lo sviluppo dei territori e dell'occupazione.

Lo scopo del lavoro è stato quindi quello di analizzare la possibilità di creare dei mini-distretti agro-energetici individuando puntualmente i territori più adatti alla loro realizzazione (i bacini di approvvigionamento della biomassa). È fuori dubbio che la sostenibilità sia economica che ambientale degli investimenti sono i due obiettivi cardine su cui si è basato tutto il modello di analisi e di supporto alle decisioni che, per tale motivo, presenta numerosi vincoli (ecologici, economici, logistici e territoriali più in generale) ed un vero e proprio processo decisionale al suo interno.

L'analisi condotta ha seguito una serie di fasi propedeutiche (Figura 6-1), quali un'analisi multicriteriale geografica con Metodo OWA (Ordered Weighted Averaged) con l'uso di quantificatori linguistici fuzzy e successiva riclassificazione delle mappe mediante l'uso di quantificatori linguistici (Metodo Chen) finalizzata ad individuare le aree più idonee ad essere coltivate.

Figura 6-1 Schematizzazione del modello di analisi.



I risultati mostrano che vi sono in regione Basilicata, estese disponibilità di superfici idonee alle produzioni di materiale vegetale derivato da coltivazioni di specie arboree a ciclo breve (pioppo, eucalipto e robinia), pari a circa 320 mila ettari. Di queste, solo 6.664 ettari risultano valide per l'uso congiunto con le acque reflue trattate, distribuite nelle aree contermini a 94 impianti di depurazione. La fattibilità economica degli investimenti ipotizzati riduce tali superfici a 5.421 ettari, dislocati nelle vicinanze di 69 impianti di trattamento con un ammontare totale dell'investimento al netto dei costi pari a circa 42,5 milioni di euro, con la capacità di generare un fabbisogno di 4.700 giornate lavorative in media all'anno nei dodici anni di durata economica dell'investimento.

A queste ultime sarebbero poi da aggiungere il fabbisogno occupazionale per la realizzazione degli impianti di trattamento semplificato e l'indotto economico e occupazionale della fase di trasformazione della biomassa.

## 7 BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 2006. I suoli della Basilicata. Regione Basilicata; Dipartimento Agricoltura, Sviluppo Rurale, Economia Montana; Ufficio risorse naturali in agricoltura.

APAT, 2003. Le biomasse legnose. Un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia. Rapporti 30/2003 APAT, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Roma.

Asproth V., Holmberg S.C., Håkansson A., 1999. Decision Support for spatial planning and management of human settlements. In: International Institute for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics. In: Lasker, G.E. (Ed.), Advances in Support Systems Research, vol. 5. Windsor, Ont., Canada, pp. 30-39.

ARSIA, 2004. Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm. Quaderno ARSIA 6/2004

Barredo J.I., 1996. Sistemas de Informacion Geografica y Evaluacion Multicriterio en la Ordenacion del Territorio. Ra-Ma, Madrid.

Beedasy J., Whyatt D., 1999. Diverting the tourists: aspatial decisionsupport system for tourism planning on a developing island. J. Appl. Earth Observ. Geoinform. 3/4, 163-174.

Bergante S, Facciotto G., 2006. Impianti annuali, biennali, quinquennali: Produttività e costi in alcune realtà del Nord Italia. Sherwood n°128, 25-30.

Bernetti G, 1995. Selvicoltura speciale. UTET, Torino.

Bernetti I., Romano S., 2007. Economia delle risorse forestali (vol. 1 e 2). Liguori Editore, Napoli.

Berndes G., Hoogwijk M., van den Broek R., 2003. The contribution of biomass in the future global energy system: a review of 17 studies. Biomass and Bioenergy; 25(1):1-28.

Bonari E., Jodice R., Masini S., 2009. L'impresa agroenergetica. Ruolo e prospettive nello scenario "2 volte 20 per il 2020". Edizioni Tellus.

Calijuri M.L., Marques E.T., Lorentz J.F., Azevedo R.F., Carvalho C.A.B., 2004. Multi-criteria analysis for the identification of waste disposal areas. Geotech. Geol. Eng. 22 (2), 299-312.

Cantore V., Iovino F., Pontecorvo G., 1987. Aspetti climatici e zone fitoclimatiche della Basilicata. Istituti di Ecologia e Idrologia Forestale.

Carver S.J., 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems* 5 (3), 321-339.

Chen S.J., Hwang C.L., 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin.

Commissione Europea, 2008. Commission welcomes final adoption of Europe's climate and energy package, COM (2008) 722 final. Bruxelles.

Consiglio regionale di Basilicata, 2009. PIEAR – Piano di Indirizzo Energetico Ambientale Regionale. Regione Basilicata, Potenza.

Decreto legislativo 4 aprile 2006, n. 216 "Attuazione delle direttive 2003/87 e 2004/101/CE in materia di scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità, con riferimento ai meccanismi di progetto del Protocollo di Kyoto".

De Vries, B., Hoogwijk M.M. and van Vuuren D., 2007. Renewable energy sources: Their global potential for the first half of the 21st century at a global level: An integrated approach. *Energy Policy*, 35(4), pp. 2590-2610.

Direttiva 2001/77/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 settembre 2001, sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità (GU L 283 del 27.10.2001, pagg. 33–40) La presente direttiva mira a promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato interno e a creare le basi per un futuro quadro comunitario in materia.

Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.

Di Santo F., 2012. Valutazione tecnico-economica di un impianto di Short Rotation Forestry e strategie di sviluppo per il futuro. Tesi di laurea sperimentale, anno accademico 2011-2012, Università degli Studi della Basilicata.

Dornburg, V., A. Faaij, P. Verweij, H. Langeveld, G. van de Ven, F. Wester, H. van Keulen, K. van Diepen, M. Meeusen, M. Banse, J. Ros, D. van Vuuren, G.J. van den Born, M.

van Oorschot, F. Smout, J. van Vliet, H. Aiking, M. Londo, H. Mozaffarian, K. Smekens, E. Lysen, and S. van Egmond (2008). *Assessment of Global Biomass Potentials and their Links to Food, Water, Biodiversity, Energy Demand and Economy*. WAB 500102 012, The Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven, The Netherlands, 108 pp.

Dornburg, V., D. van Vuuren, G. van de Ven, H. Langeveld, M. Meeusen, M. Banse, M. van Oorschot, J. Ros, G.J. van den Born, H. Aiking, M. Londo, H. Mozaffarian, P. Verweij, E. Lysen, and A. Faaij (2010). *Bioenergy revisited: Key factors in global potentials of bioenergy*. *Energy & Environmental Science*, 3, pp. 258-267.

El Bassam N., 2010. *Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications*. ed. Earthscan LLC, 1616 P Street, NW, Washington, DC 20036, USA.

Eastman J.R., 1997. *Idrisi for Windows, Version 2.0: Tutorial Exercises*, Graduate School of Geography-Clark University, Worcester, MA.

ENEA, 2010. *Le fonti rinnovabili 2010. Ricerca e innovazione per un futuro low-carbon*. ENEA, Roma.

ENEA, 2010. *Normativa sul risparmio energetico e le energie rinnovabili in agricoltura*. ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica, Servizio Agricoltura; Università degli studi di Palermo.

ENEA, 2010. *Rapporto Energia e Ambiente. Analisi e scenari 2009*. ENEA, Roma.

Facciotto G., Bergante S., Lioia C., Rosso L., Mughini G., Zenone T., Nervo G., 2006. *Produttività di cloni di pioppo e salice in piantagioni a turno breve*. *Forest@3* (2): 238-252.

Fiorese G., 2007. *Biomasse per l'energia: aspetti ecologici, energetici ed economici*. Dottorato in ecologia, XX ciclo (2005-2007), Università degli Studi di Parma.

Gruppo di Coordinamento Italiano, 1999. *Le coltivazioni da biomassa per un'energia alternativa*. Progetto ALTENER-BIOGUIDE. Agricoltura n.293

Heywood I., Oliver J., Tomlinson S., 1995. *Building an exploratory multi-criteria modelling environment for spatial decision support*. In: Fisher, P. (Ed.), *Innovations in GIS*, vol. 2. Taylor & Francis, London, pp. 127-136.

Hoogwijk M., Faaij A., Eickhout B., de Vries B., and Turkenburg W., 2005. Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy*, 29(4), pp. 225-257.

Hoogwijk, M., Faaij, A., de Vries, B., Turkenburg, W., 2009. Exploration of regional and global cost-supply curves of biomass energy from short-rotation crops at abandoned cropland and rest land under four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass Bioenergy* 33: 26–43.

INEA, 2006. Carta forestale della Basilicata: Atlante. INEA, Potenza.

IEA, 2011. Renewables Information 2011. International Energy Agency (IEA), Paris.

IEA, 2012. Energy Technology Perspectives 2012. Pathways to a Clean Energy System. International Energy Agency (IEA), Paris.

IEA, 2012. World Energy Outlook 2012. International Energy Agency (IEA), Paris.

International Panel of Climate Change, 2011. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University press. United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. International Panel on Climate Change (IPCC), Spagna.

IPCC, 2012. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Support Unit Working Group III Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Cambridge University Press, 32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA.

ISTAT, 2000. 5° Censimento generale dell'agricoltura 2000. Available from: <http://www.istat.it/it/censimento-agricoltura>

ISTAT, 2010. 6° Censimento generale dell'agricoltura 2010. Available from: <http://www.istat.it/it/censimento-agricoltura>

ISTAT, 2011. 15° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011. Available from: <http://www.istat.it/it/censimento-popolazione-e-abitazioni>

Jankowski P., 1995. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods. *International J. Geogr. Inform. Syst.* 9 (3), 251-273.

Janssen R., Rietveld P., 1990. Multicriteria analysis and geographical information systems: an application to agricultural land use in the Netherlands. In: Scholten, H.J., Stillwell, J.C.H. (Eds.), *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 129-139.

Jiang H., Eastman J.R., 2000. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Systems* 14, 173-184

Makropoulos C., Butler D., 2005. Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making. *Environ. Modell. Software* 21 (1), 69-84.

Makropoulos C., Butler D., Maksimovic C., 2003. A fuzzy logic spatial decision support system for urban water management. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 129 (1), 69-77.

Malczewski J., 1996. A GIS-based approach to multiple criteria group decision making. *International Journal of Geographical Information Systems* 10 (8), 955-971.

Malczewski J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons Inc., New York.

Malczewski J., 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progr. Plann.* 62 (1), 3-65.

Malczewski J., 2006. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8 (2006) 270-277.

Malczewski J., Chapman T., Flegel C., Walters D., Shrubsole D., Healy M.A., 2003. GIS-multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): case study of developing watershed management strategies. *Environ. Plann. A* 35 (10), 1769-1784.

Mendes J.F.G., Motizuki W.S., 2001. Urban quality of life evaluation scenarios: The case of São Carlos in Brazil. *CTBUH Rev.* 1 (2), 1-10.

Mercurio R., Minotta G., 2000. *Arboricoltura da legno*. CLUEB, Bologna. Pp.111- 178.

Minotta G., Facciotto G., Bergante S., Frenguelli L., Giovanardi R., Gras M., Maggiore T., Mughini G., Muzzi E., Bonari E., Seufert G., Zenone T., 2007. Ongoing researches on the productivity of SRF plantations in Italy. 15° European Biomass Conference & Exhibition,



From research to market deployment. Proceedings of the international conference held in Berlin, Germany 7-11 May 2007. :15-18.

NOAA (2010). Trends in Carbon Dioxide. National Oceanic and Atmospheric Administration Earth Systems Research Laboratory, Washington, D.C, USA.

Observ'ER, 2012. 12th EurObserv'ER Report: The state of renewable energies in Europe. Edition 2012. Observ'ER, Paris.

Pavari, 1916. Classificazione fitoclimatica.

Pellerano A, Pantaleo A, Tenerelli P., Carone M, 2007. Studio per la valorizzazione energetica di biomasse agro forestali nella Regione Puglia. Dipartimento PROGESA, Università di Bari.

Progetto BIOCOLT, 2010. Colture energetiche per il disinquinamento della laguna di Venezia. Veneto Agricoltura, Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-alimentare.

Progetto PRO AERE, 2006. La filiera legno-energia. CIPA.AT Toscana, Agenzia formativa della CIA Toscana.

Quaak P., Knoef H., Stassen H., 1999. Energy from Biomass – A review of combustion and gasification technologies. World Bank Technical, Energy series, Paper n. 422.

Rashed T., Weeks J., 2003. Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *Int. J. Geogr. Inform. Sci.* 17 (6), 547-576.

Rasmussen B.M., Melgaard B., Kristensen B., 2001. GIS for decision support-designation of potential wetlands. In: *The Third International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry*, Denver, USA.

Regolamento (CE) n. 1698/2005 del Consiglio, del 20 settembre 2005, sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR).

Rinner C., Malczewski J., 2002. Web-enabled spatial decision analysis using ordered weighted averaging. *J. Geogr. Syst.* 4 (4), 385-403.

Romano S. and Cozzi M., 2008. Valutazione delle trasformazioni del suolo e delle dinamiche in atto mediante analisi territoriale e metriche statistiche: il caso dell'hinterland potentino, Basilicata. *Agribusiness Paesaggio&Ambiente*, vol. XI n.2.

Romano S. and Cozzi M., 2006. Il governo del territorio e la conservazione delle risorse: l'uso dei modelli geografici multicriteriali per la valutazione del rischio socio economico e ambientale degli incendi boschivi. *Rivista di Economia Agraria* n. 3, p. 365-400.

Saaty T.L., 1980. *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.

Salvati R., Chirici G., Corona P., 2007. Modello di valutazione dell'attitudine fisica del territorio per la realizzazione di impianti cedui da biomassa in Italia. *I.F.M.* n. 5/6, 399-410.

Sperandio G., 2004. Redditività delle colture forestali energetiche a ciclo breve. Progetto fuoco 2004, Verona.

Spinelli R., Magagnotti N., Nati C., Pretolani R., Peri M., 2006. Raccogliamo l'energia. N.54 – marzo 2006, Regione Lombardia.

Thill J.C., 1999. *Multicriteria Decision-making and Analysis: A Geographic Information Sciences Approach*, Ashgate, New York.

UNEP, 2011. *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. [http:// www.unep.org/greeneconomy](http://www.unep.org/greeneconomy)

World Bank 2012. *Turn Down the Heat: Why a 4°C Warmer World Must Be Avoided*. © Washington, DC: World Bank.

Yager R.R., 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet.* 18 (1), 183-190.

Yager R.R., 1996. Quantifier guided aggregation using OWA operators. *Int. J. Intell. Syst.* 11, 49-73.

Zadeh L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control* 8, 338-353.

Zadeh L.A., 1983. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. *Comput. Math. Applic.* 9, 149-184.

## 8 ALLEGATI

- In allegato sono riportate per ogni specie le tabelle con i set dei pesi ordine calcolati per ogni quantificatore linguistico in relazione ai pesi criterio ordinati sui valori attributo di ogni mappa criterio.
- Segue l'allegato cartografico della localizzazione degli impianti di SRF fertirrigabili con i relativi depuratori che li servono.

<i>Eucalyptus camaldulensis</i>					
Quantificatore (Q)	j	Valori criterio ordinati z <sub>ij</sub>	Pesi criterio riordinati u <sub>j</sub>	( $\sum_{k=1}^j u_k$ ) <sup>α</sup>	( $\sum_{k=1}^j u_k$ ) <sup>α</sup> - ( $\sum_{k=1}^{j-1} u_k$ ) <sup>α</sup>
All, α→∞	Precipitazioni medie annue	0.9960	0.1242	0.0000	0.0000
	Profondità	0.9340	0.0518	0.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1242	0.0000	0.0000
	Reazione	0.7820	0.0353	0.0000	0.0000
	Tessitura	0.7520	0.0790	0.0000	0.0000
	Altitudine	0.6600	0.0249	0.0000	0.0000
	Carbonati	0.6030	0.0790	0.0000	0.0000
	Pendenza	0.3300	0.0184	0.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.1430	0.1898	0.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.1250	0.2735	1.0035	1.0035
	Σ			1.00	1.00
Almost all, α=10	Precipitazioni medie annue	0.9960	0.1242	0.0000	0.0000
	Profondità	0.9340	0.0518	0.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1242	0.0000	0.0000
	Reazione	0.7820	0.0353	0.0000	0.0000
	Tessitura	0.7520	0.0790	0.0001	0.0001
	Altitudine	0.6600	0.0249	0.0003	0.0001
	Carbonati	0.6030	0.0790	0.0014	0.0011
	Pendenza	0.3300	0.0184	0.0020	0.0006
	Temperatura media annua	0.1430	0.1898	0.0410	0.0390
	Temperatura media mese gennaio	0.1250	0.2735	1.0010	0.9600
	Σ			1.00	1.00
Most, α=2	Precipitazioni medie annue	0.9960	0.1242	0.0154	0.0154
	Profondità	0.9340	0.0518	0.0310	0.0156
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1242	0.0901	0.0591
	Reazione	0.7820	0.0353	0.1126	0.0224
	Tessitura	0.7520	0.0790	0.1718	0.0593
	Altitudine	0.6600	0.0249	0.1931	0.0213
	Carbonati	0.6030	0.0790	0.2687	0.0757
	Pendenza	0.3300	0.0184	0.2882	0.0194
	Temperatura media annua	0.1430	0.1898	0.5279	0.2398
	Temperatura media mese gennaio	0.1250	0.2735	1.0002	0.4723
	Σ			1.00	1.00
Half, α=1	Precipitazioni medie annue	0.9960	0.1242	0.1242	0.1242
	Profondità	0.9340	0.0518	0.1760	0.0518
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1242	0.3002	0.1242
	Reazione	0.7820	0.0353	0.3355	0.0353
	Tessitura	0.7520	0.0790	0.4145	0.0790
	Altitudine	0.6600	0.0249	0.4394	0.0249
	Carbonati	0.6030	0.0790	0.5184	0.0790
	Pendenza	0.3300	0.0184	0.5368	0.0184
	Temperatura media annua	0.1430	0.1898	0.7266	0.1898
	Temperatura media mese gennaio	0.1250	0.2735	1.0001	0.2735
	Σ			1.00	1.00
A few, α=0,5	Precipitazioni medie annue	0.9960	0.1242	0.3524	0.3524
	Profondità	0.9340	0.0518	0.4195	0.0671
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1242	0.5479	0.1284
	Reazione	0.7820	0.0353	0.5792	0.0313
	Tessitura	0.7520	0.0790	0.6438	0.0646
	Altitudine	0.6600	0.0249	0.6629	0.0191
	Carbonati	0.6030	0.0790	0.7200	0.0571
	Pendenza	0.3300	0.0184	0.7327	0.0127
	Temperatura media annua	0.1430	0.1898	0.8524	0.1197
	Temperatura media mese gennaio	0.1250	0.2735	1.0000	0.1476
	Σ			1.00	1.00
At least a few, α=0,1	Precipitazioni medie annue	0.9960	0.1242	0.8117	0.8117
	Profondità	0.9340	0.0518	0.8405	0.0288
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1242	0.8866	0.0461
	Reazione	0.7820	0.0353	0.8965	0.0099
	Tessitura	0.7520	0.0790	0.9157	0.0192
	Altitudine	0.6600	0.0249	0.9211	0.0054
	Carbonati	0.6030	0.0790	0.9364	0.0154
	Pendenza	0.3300	0.0184	0.9397	0.0033
	Temperatura media annua	0.1430	0.1898	0.9686	0.0289
	Temperatura media mese gennaio	0.1250	0.2735	1.0000	0.0314
	Σ			1.00	1.00
At least one, α→0	Precipitazioni medie annue	0.9960	0.1242	1.0000	1.0000
	Profondità	0.9340	0.0518	1.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1242	1.0000	0.0000
	Reazione	0.7820	0.0353	1.0000	0.0000
	Tessitura	0.7520	0.0790	1.0000	0.0000
	Altitudine	0.6600	0.0249	1.0000	0.0000
	Carbonati	0.6030	0.0790	1.0000	0.0000
	Pendenza	0.3300	0.0184	1.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.1430	0.1898	1.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.1250	0.2735	1.0000	0.0000
	Σ			1.00	1.00

<i>Populus x euroamericana</i>					
Quantificatore (Q)	j	Valori criterio ordinati zij	Pesi criterio riordinati uj	$(\sum_{k=1}^j u_k)^\alpha$	$(\sum_{k=1}^j u_k)^\alpha - (\sum_{k=1}^{j-1} u_k)^\alpha$
All, $\alpha \rightarrow \infty$	Altitudine	0.9430	0.0242	0.0000	0.0000
	Profondità	0.9340	0.1646	0.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.8390	0.0354	0.0000	0.0000
	Reazione	0.7820	0.1143	0.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.7780	0.0354	0.0000	0.0000
	Carbonati	0.4990	0.2381	0.0000	0.0000
	Tessitura	0.4550	0.2381	0.0000	0.0000
	Precipitazioni medie annue	0.4490	0.0534	0.0000	0.0000
	Pendenza	0.3300	0.0178	0.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.0787	1.0000	1.0000
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
Almost all, $\alpha=10$	Altitudine	0.9430	0.0242	0.0000	0.0000
	Profondità	0.9340	0.1646	0.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.8390	0.0354	0.0000	0.0000
	Reazione	0.7820	0.1143	0.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.7780	0.0354	0.0001	0.0000
	Carbonati	0.4990	0.2381	0.0074	0.0073
	Tessitura	0.4550	0.2381	0.1971	0.1897
	Precipitazioni medie annue	0.4490	0.0534	0.3625	0.1654
	Pendenza	0.3300	0.0178	0.4406	0.0781
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.0787	1.0000	0.5594
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
Most, $\alpha=2$	Altitudine	0.9430	0.0242	0.0006	0.0006
	Profondità	0.9340	0.1646	0.0356	0.0356
	Temperatura media mese gennaio	0.8390	0.0354	0.0503	0.0146
	Reazione	0.7820	0.1143	0.1146	0.0643
	Temperatura media annua	0.7780	0.0354	0.1398	0.0252
	Carbonati	0.4990	0.2381	0.3745	0.2347
	Tessitura	0.4550	0.2381	0.7227	0.3481
	Precipitazioni medie annue	0.4490	0.0534	0.8163	0.0936
	Pendenza	0.3300	0.0178	0.8488	0.0325
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.0787	1.0000	0.1512
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
Half, $\alpha=1$	Altitudine	0.9430	0.0242	0.0242	0.0242
	Profondità	0.9340	0.1646	0.1888	0.1646
	Temperatura media mese gennaio	0.8390	0.0354	0.2242	0.0354
	Reazione	0.7820	0.1143	0.3385	0.1143
	Temperatura media annua	0.7780	0.0354	0.3739	0.0354
	Carbonati	0.4990	0.2381	0.6120	0.2381
	Tessitura	0.4550	0.2381	0.8501	0.2381
	Precipitazioni medie annue	0.4490	0.0534	0.9035	0.0534
	Pendenza	0.3300	0.0178	0.9213	0.0178
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.0787	1.0000	0.0787
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
A few, $\alpha=0,5$	Altitudine	0.9430	0.0242	0.1556	0.1556
	Profondità	0.9340	0.1646	0.4345	0.2789
	Temperatura media mese gennaio	0.8390	0.0354	0.4735	0.0390
	Reazione	0.7820	0.1143	0.5818	0.1083
	Temperatura media annua	0.7780	0.0354	0.6115	0.0297
	Carbonati	0.4990	0.2381	0.7823	0.1708
	Tessitura	0.4550	0.2381	0.9220	0.1397
	Precipitazioni medie annue	0.4490	0.0534	0.9505	0.0285
	Pendenza	0.3300	0.0178	0.9598	0.0093
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.0787	1.0000	0.0402
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
At least a few, $\alpha=0,1$	Altitudine	0.9430	0.0242	0.6893	0.6893
	Profondità	0.9340	0.1646	0.8464	0.1572
	Temperatura media mese gennaio	0.8390	0.0354	0.8611	0.0147
	Reazione	0.7820	0.1143	0.8973	0.0362
	Temperatura media annua	0.7780	0.0354	0.9063	0.0090
	Carbonati	0.4990	0.2381	0.9521	0.0458
	Tessitura	0.4550	0.2381	0.9839	0.0318
	Precipitazioni medie annue	0.4490	0.0534	0.9899	0.0060
	Pendenza	0.3300	0.0178	0.9918	0.0019
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.0787	1.0000	0.0082
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
At least one, $\alpha \rightarrow 0$	Altitudine	0.9430	0.0242	1.0000	1.0000
	Profondità	0.9340	0.1646	1.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.8390	0.0354	1.0000	0.0000
	Reazione	0.7820	0.1143	1.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.7780	0.0354	1.0000	0.0000
	Carbonati	0.4990	0.2381	1.0000	0.0000
	Tessitura	0.4550	0.2381	1.0000	0.0000
	Precipitazioni medie annue	0.4490	0.0534	1.0000	0.0000
	Pendenza	0.3300	0.0178	1.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.0787	1.0000	0.0000
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00

<i>Robinia pseudoacacia</i>					
Quantificatore (Q)	j	Valori criterio ordinati zij	Pesi criterio riordinati uj	$(\sum_{k=1}^j u_k)^\alpha$	$(\sum_{k=1}^j u_k)^\alpha - (\sum_{k=1}^{j-1} u_k)^\alpha$
All, $\alpha \rightarrow \infty$	Altitudine	0.9430	0.0253	0.0000	0.0000
	Profondità	0.9340	0.0546	0.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1282	0.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.7950	0.1934	0.0000	0.0000
	Reazione	0.6340	0.0362	0.0000	0.0000
	Precipitazioni medie annue	0.5550	0.1282	0.0000	0.0000
	Tessitura	0.4950	0.0546	0.0000	0.0000
	Carbonati	0.4180	0.0840	0.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.4080	0.2768	0.0000	0.0000
	Pendenza	0.3300	0.0186	1.0000	1.0000
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
Almost all, $\alpha=10$	Altitudine	0.9430	0.0253	0.0000	0.0000
	Profondità	0.9340	0.0546	0.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1282	0.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.7950	0.1934	0.0001	0.0001
	Reazione	0.6340	0.0362	0.0003	0.0001
	Precipitazioni medie annue	0.5550	0.1282	0.0034	0.0031
	Tessitura	0.4950	0.0546	0.0085	0.0051
	Carbonati	0.4180	0.0840	0.0301	0.0217
	Temperatura media mese gennaio	0.4080	0.2768	0.8280	0.7979
	Pendenza	0.3300	0.0186	0.9990	0.1710
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
Most, $\alpha=2$	Altitudine	0.9430	0.0253	0.0006	0.0006
	Profondità	0.9340	0.0546	0.0064	0.0057
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1282	0.0433	0.0369
	Temperatura media annua	0.7950	0.1934	0.1612	0.1179
	Reazione	0.6340	0.0362	0.1916	0.0304
	Precipitazioni medie annue	0.5550	0.1282	0.3202	0.1287
	Tessitura	0.4950	0.0546	0.3850	0.0648
	Carbonati	0.4180	0.0840	0.4963	0.1113
	Temperatura media mese gennaio	0.4080	0.2768	0.9629	0.4666
	Pendenza	0.3300	0.0186	0.9998	0.0369
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
Half, $\alpha=1$	Altitudine	0.9430	0.0253	0.0253	0.0253
	Profondità	0.9340	0.0546	0.0799	0.0546
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1282	0.2081	0.1282
	Temperatura media annua	0.7950	0.1934	0.4015	0.1934
	Reazione	0.6340	0.0362	0.4377	0.0362
	Precipitazioni medie annue	0.5550	0.1282	0.5659	0.1282
	Tessitura	0.4950	0.0546	0.6205	0.0546
	Carbonati	0.4180	0.0840	0.7045	0.0840
	Temperatura media mese gennaio	0.4080	0.2768	0.9813	0.2768
	Pendenza	0.3300	0.0186	0.9999	0.0186
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
A few, $\alpha=0,5$	Altitudine	0.9430	0.0253	0.1591	0.1591
	Profondità	0.9340	0.0546	0.2827	0.1236
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1282	0.4562	0.1735
	Temperatura media annua	0.7950	0.1934	0.6336	0.1775
	Reazione	0.6340	0.0362	0.6616	0.0279
	Precipitazioni medie annue	0.5550	0.1282	0.7523	0.0907
	Tessitura	0.4950	0.0546	0.7877	0.0355
	Carbonati	0.4180	0.0840	0.8393	0.0516
	Temperatura media mese gennaio	0.4080	0.2768	0.9906	0.1513
	Pendenza	0.3300	0.0186	0.9999	0.0093
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
At least a few, $\alpha=0,1$	Altitudine	0.9430	0.0253	0.6923	0.6923
	Profondità	0.9340	0.0546	0.7767	0.0844
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1282	0.8547	0.0780
	Temperatura media annua	0.7950	0.1934	0.9128	0.0581
	Reazione	0.6340	0.0362	0.9207	0.0079
	Precipitazioni medie annue	0.5550	0.1282	0.9447	0.0240
	Tessitura	0.4950	0.0546	0.9534	0.0087
	Carbonati	0.4180	0.0840	0.9656	0.0122
	Temperatura media mese gennaio	0.4080	0.2768	0.9981	0.0325
	Pendenza	0.3300	0.0186	1.0000	0.0019
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00
At least one, $\alpha \rightarrow 0$	Altitudine	0.9430	0.0253	1.0000	1.0000
	Profondità	0.9340	0.0546	1.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.8270	0.1282	1.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.7950	0.1934	1.0000	0.0000
	Reazione	0.6340	0.0362	1.0000	0.0000
	Precipitazioni medie annue	0.5550	0.1282	1.0000	0.0000
	Tessitura	0.4950	0.0546	1.0000	0.0000
	Carbonati	0.4180	0.0840	1.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.4080	0.2768	1.0000	0.0000
	Pendenza	0.3300	0.0186	1.0000	0.0000
	$\Sigma$		1.00	1.00	1.00

<i>Salix alba</i>					
Quantificatore (Q)	j	Valori criterio ordinati z <sub>ij</sub>	Pesi criterio riordinati u <sub>j</sub>	$(\sum_{k=1}^j u_k)^\alpha$	$(\sum_{k=1}^j u_k)^\alpha - (\sum_{k=1}^{j-1} u_k)^\alpha$
All, $\alpha \rightarrow \infty$	Altitudine	0.9630	0.0221	0.0000	0.0000
	Profondità	0.9340	0.0449	0.0000	0.0000
	Tessitura	0.6570	0.0671	0.0000	0.0000
	Carbonati	0.4990	0.0311	0.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.4830	0.1476	0.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.4490	0.1013	0.0000	0.0000
	Pendenza	0.3300	0.0166	0.0000	0.0000
	Reazione	0.2960	0.0671	0.0000	0.0000
	Precipitazioni medie annue	0.1650	0.2101	0.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.2921	1.0000	1.0000
	$\Sigma$		1.00		1.00
Almost all, $\alpha=10$	Altitudine	0.9630	0.0221	0.0000	0.0000
	Profondità	0.9340	0.0449	0.0000	0.0000
	Tessitura	0.6570	0.0671	0.0000	0.0000
	Carbonati	0.4990	0.0311	0.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.4830	0.1476	0.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.4490	0.1013	0.0001	0.0001
	Pendenza	0.3300	0.0166	0.0002	0.0001
	Reazione	0.2960	0.0671	0.0009	0.0007
	Precipitazioni medie annue	0.1650	0.2101	0.0316	0.0307
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.2921	1.0000	0.9684
	$\Sigma$		1.00		1.00
Most, $\alpha=2$	Altitudine	0.9630	0.0221	0.0005	0.0005
	Profondità	0.9340	0.0449	0.0045	0.0040
	Tessitura	0.6570	0.0671	0.0180	0.0135
	Carbonati	0.4990	0.0311	0.0273	0.0093
	Temperatura media mese gennaio	0.4830	0.1476	0.0978	0.0706
	Temperatura media annua	0.4490	0.1013	0.1715	0.0736
	Pendenza	0.3300	0.0166	0.1855	0.0140
	Reazione	0.2960	0.0671	0.2478	0.0623
	Precipitazioni medie annue	0.1650	0.2101	0.5011	0.2533
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.2921	1.0000	0.4989
	$\Sigma$		1.00		1.00
Half, $\alpha=1$	Altitudine	0.9630	0.0221	0.0221	0.0221
	Profondità	0.9340	0.0449	0.0670	0.0449
	Tessitura	0.6570	0.0671	0.1341	0.0671
	Carbonati	0.4990	0.0311	0.1652	0.0311
	Temperatura media mese gennaio	0.4830	0.1476	0.3128	0.1476
	Temperatura media annua	0.4490	0.1013	0.4141	0.1013
	Pendenza	0.3300	0.0166	0.4307	0.0166
	Reazione	0.2960	0.0671	0.4978	0.0671
	Precipitazioni medie annue	0.1650	0.2101	0.7079	0.2101
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.2921	1.0000	0.2921
	$\Sigma$		1.00		1.00
A few, $\alpha=0,5$	Altitudine	0.9630	0.0221	0.1487	0.1487
	Profondità	0.9340	0.0449	0.2588	0.1102
	Tessitura	0.6570	0.0671	0.3662	0.1074
	Carbonati	0.4990	0.0311	0.4064	0.0403
	Temperatura media mese gennaio	0.4830	0.1476	0.5593	0.1528
	Temperatura media annua	0.4490	0.1013	0.6435	0.0842
	Pendenza	0.3300	0.0166	0.6563	0.0128
	Reazione	0.2960	0.0671	0.7055	0.0493
	Precipitazioni medie annue	0.1650	0.2101	0.8414	0.1358
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.2921	1.0000	0.1586
	$\Sigma$		1.00		1.00
At least a few, $\alpha=0,1$	Altitudine	0.9630	0.0221	0.6830	0.6830
	Profondità	0.9340	0.0449	0.7631	0.0801
	Tessitura	0.6570	0.0671	0.8180	0.0548
	Carbonati	0.4990	0.0311	0.8352	0.0172
	Temperatura media mese gennaio	0.4830	0.1476	0.8903	0.0551
	Temperatura media annua	0.4490	0.1013	0.9156	0.0253
	Pendenza	0.3300	0.0166	0.9192	0.0036
	Reazione	0.2960	0.0671	0.9326	0.0134
	Precipitazioni medie annue	0.1650	0.2101	0.9660	0.0334
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.2921	1.0000	0.0340
	$\Sigma$		1.00		1.00
At least one, $\alpha \rightarrow 0$	Altitudine	0.9630	0.0221	1.0000	1.0000
	Profondità	0.9340	0.0449	1.0000	0.0000
	Tessitura	0.6570	0.0671	1.0000	0.0000
	Carbonati	0.4990	0.0311	1.0000	0.0000
	Temperatura media mese gennaio	0.4830	0.1476	1.0000	0.0000
	Temperatura media annua	0.4490	0.1013	1.0000	0.0000
	Pendenza	0.3300	0.0166	1.0000	0.0000
	Reazione	0.2960	0.0671	1.0000	0.0000
	Precipitazioni medie annue	0.1650	0.2101	1.0000	0.0000
	Precipitazioni medie estive	0.0200	0.2921	1.0000	0.0000
	$\Sigma$		1.00		1.00

