

# UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Facoltà di Agraria  
Dipartimento TeSAF

Scuola di dottorato di ricerca in  
Territorio, Ambiente, Risorse e Salute – Indirizzo Economia

XXI Ciclo  
(Gennaio 2006 – Dicembre 2008)



Tesi di dottorato:

## **Produzione di energia da biomasse: un'analisi tramite la weighted goal programming**

Direttore della scuola:  
Ch.mo Prof. Vasco Boatto

Supervisore:  
Ch.mo Prof. Tiziano Tempesta

Dottorando: Andrea BALLARIN  
Matricola 964617 DR







*“Il problema energetico è uno specchio dell’umanità odierna e testimonia chiaramente come gli uomini mal si confrontino con il concetto di limite e danzino spericolatamente sull’orlo dell’abisso illudendosi che non toccherà mai a loro cadere giù, ma sempre a qualcun altro. Che, in ogni caso, sempre umano sarà”*

[M. Tozzi, 2006]

*“La verità è che le leggi che regolano il flusso dell’energia sono ferree e, se infrante, possono far crollare un sistema sociale. Le leggi della termodinamica stabiliscono, in ultima analisi, quali sono i limiti che l’uomo, nel tentativo di dominare l’ambiente, non potrà mai oltrepassare. Le società che tentano di superare i vincoli imposti dal loro stesso regime energetico rischiano la catastrofe. [...] La tendenza a far finta di niente è comprensibile. Raramente le società reagiscono a un previsto cambiamento della situazioni in cui prosperano. Ma quando il potenziale cambiamento può investire radicalmente la totalità del nostro stile di vita e l’assetto geopolitico del mondo in cui viviamo, tale noncuranza collettiva diventa la ricetta del disastro”.*

[J. Rifkin, 2002]

*Is this the world we created,  
we made it on our own  
Is this the world we devastated,  
right to the bone  
If there's a God in the sky looking down  
What can he think of what we've done  
To the world that He created?*

[F. Mercury, 1984]



*A chi sta per arrivare,  
affinché possa vivere in un mondo,  
in cui il pensare  
sia sistematicamente anteposto all'agire*







## Indice

Riassunto	1
Abstract	3
Premessa	5
CAPITOLO I	
1. Introduzione	9
1.1.Obiettivi della ricerca	10
1.2.Organizzazione dei contenuti del lavoro	10
CAPITOLO II	
2. Energia: cos'è e a cosa serve	13
2.1.Da cosa deriva	14
2.2.Unità di misura dell'energia	15
CAPITOLO III	
3. Le fonti di energia	17
3.1.Fonti non rinnovabili: il petrolio	17
3.1.1.Il gas	23
3.1.2.Il carbone	25
3.1.3.Il nucleare	27
3.2.Le fonti energetiche rinnovabili	31
3.2.1.Le biomasse	31
3.2.2.Biocombustibili	32
3.2.3.Biocarburanti	33
3.2.4.Biogas	35
3.2.5.Benefici e criticità legate all'impiego di biomasse	35
CAPITOLO IV	
4. Il sistema energetico mondiale	39
4.1.Le FER nell'offerta mondiale di energia	42
4.2.Energia ed economia	46
4.3.Energia e popolazione	48
4.4.Il sistema energetico Italiano	49
4.5.Il ruolo delle FER in Italia	55
4.6.Considerazioni generali e prospettive per il futuro	58

## CAPITOLO V

5. La ricerca operativa: facilitare le decisioni	61
5.1. Il problema dell'ottima soluzione: la programmazione lineare	61
5.2. Dalla PL alla programmazione ad obiettivi definiti e pesati	62
5.3. Il software What'sBest	65
5.4. Impostazione della matrice della tecnica	67

## CAPITOLO VI

6. Il caso studio	71
6.1. L'area in esame	71
6.2. I dati	72
6.2.1. I vincoli: la superficie	73
6.2.2. I vincoli: il lavoro	75
6.2.3. I vincoli: l'acqua	76
6.2.4. L'ottica temporale	79
6.3. Le funzioni obiettivo	79
6.3.1. Reddito degli agricoltori	79
6.3.2. Energia	82

## CAPITOLO VII

7. Risultati della ricerca	89
7.1. La massimizzazione della funzione reddito	89
7.2. La massimizzazione della funzione energia	100
7.3. L'analisi WGP	112
7.3.1. Frontiera "1500"	113
7.3.2. Trade-offs "1500"	116
7.3.3. Variazione manodopera "1500"	116
7.3.4. Frontiera "1000"	119
7.3.5. Trade-offs "1000"	121
7.3.6. Variazione manodopera "1000"	121
7.3.7. Frontiera "500"	124
7.3.8. Trade-offs "500"	126
7.3.9. Variazione manodopera "500"	126
7.3.10. Frontiera "0"	129
7.3.11. Trade-offs "0"	131
7.3.12. Variazione manodopera "0"	132

CAPITOLO VIII	
8. Conclusioni	135
8.1.Considerazioni circa gli esiti dello studio	135
8.2.Considerazioni conclusive generali	144
Bibliografia	149
Allegati	157



## Riassunto

La comparsa sulla scena economica mondiale di grandi e popolose nazioni quali Cina e India ha per la prima volta reso di dominio pubblico il problema della scarsità delle risorse energetiche. La loro crescita infatti, comporterà probabilmente un più rapido esaurimento delle fonti energetiche fossili che attualmente dominano lo scenario energetico globale e a cui non sembra possibile – per il momento – rinunciare.

A tale tendenza, si è contrapposta negli ultimi decenni una più conscia ricerca di nuove fonti energetiche alternative a quelle fossili che mira a mantenere nel tempo gli attuali livelli di benessere e produttività che le fonti fossili hanno finora permesso e sostenuto.

Negli ultimi anni in particolare, questa ricerca sembra essersi focalizzata sulle produzioni del settore primario, in grado di fornire infinite varietà di biomasse ad uso energetico, con lo scopo di integrare prima, e sostituire poi, i combustibili di origine fossile.

Tra le più importanti caratteristiche delle biomasse c'è sicuramente il loro stretto legame con il territorio in cui vengono prodotte: sono disponibili e diffuse praticamente ovunque nel globo, anche se in qualità e quantità diverse. Per questo motivo risultano praticamente accessibili a tutti: vengono considerate una fonte energetica locale, alla portata di tutti, sia nei paesi ricchi che in quelli in via di sviluppo.

Proprio per questa diversità, la biomassa rappresenta una fonte energetica altamente versatile che, a partire da una serie pressoché infinita di materie organiche, può essere trasformata in combustibili solidi, liquidi e gassosi, permettendone un'infinità di applicazioni energetiche.

La scelta delle colture da favorire e degli investimenti da effettuare nel settore primario per aumentare la produzione energetica, dovrà necessariamente tenere in considerazione il fatto che la diffusione di alcune di queste colture (tipicamente quelle legnose) potrà comportare una non trascurabile riduzione dei redditi ottenibili per unità di superficie e, di conseguenza, del numero di attivi in questo settore.

L'agricoltura, intesa come attività multidimensionale, incorpora difatti finalità economiche, sociali ed ambientali spesso in conflitto tra loro: qualsiasi decisione presa da un operatore del settore primario tende così ad avere effetti in tutte queste dimensioni.

Di qui la necessità di individuare regole e strumenti in grado di indirizzare le scelte dei singoli operatori ma anche e soprattutto delle politiche agro-ambientali in genere.

Diviene perciò prioritario vagliare attentamente la possibilità di sostituire il consumo di energie di origine fossile con biomasse e carburanti di origine vegetale, di modo da poterne adeguatamente prevedere i possibili effetti territoriali, sociali e ambientali.

Nel tentativo di fornire un primo inquadramento delle problematiche brevemente richiamate, con riferimento al territorio della provincia di Rovigo, posta nella parte meridionale del Veneto, è stata effettuata una simulazione riguardante i conflitti che potrebbero insorgere nella gestione del territorio a seconda che ci si proponga di massimizzare il reddito degli agricoltori, oppure la produzione di energia netta, all'interno di un arco temporale di 15 anni.

La metodologia adottata per analizzare le problematiche esposte è la programmazione ad obiettivi definiti e pesati (WGP), che costituisce una variante dell'analisi multi criteri (AMC), derivata a sua volta dalla programmazione lineare (PL). La WGP consente di massimizzare contemporaneamente più obiettivi, in funzione di determinati vincoli. In particolare, tra quest'ultimi sono stati considerati: la disponibilità di acqua irrigua, di manodopera e di superficie agricola.

A tal fine è stata quindi realizzata una matrice di programmazione lineare che fosse in grado di sintetizzare tutte le informazioni disponibili, allo scopo di individuare le migliori scelte atte a perseguire gli obiettivi nel rispetto dei vincoli.

Ognuna di queste scelte, associata ad uno specifico comparto colturale, determinerà dunque una modificazione del reddito degli agricoltori e l'instaurarsi di un peculiare assetto del territorio rurale.

Scopo della ricerca è dunque quello di analizzare la variazione del valore degli obiettivi considerati e di individuare e quantificare i costi opportunità che derivano dalla scelta di implementare politiche diversificate d'uso del territorio, in funzione di diversi livelli di disponibilità di acqua irrigua e di manodopera.

In generale, i risultati conseguiti, sottolineano un evidente conflitto tra i due obiettivi: reddito e resa energetica sembrano infatti destinati a rimanere finalità praticamente alternative tra loro. Mentre il primo incoraggia l'impiego di colture agrarie tradizionali caratterizzate da alto reddito e bassa resa energetica, il secondo spinge verso colture legnose, dall'alta resa energetica ma bassissimo reddito.

Con tali premesse, è evidente che nel prossimo futuro la politica agricola comunitaria è chiamata a svolgere un ruolo sempre più importante di mediazione alle diverse aspettative riposte nel settore primario, al fine di permettere e perpetuare una gestione sostenibile e lungimirante delle aree rurali.

## **Abstract**

Energy products crisis, foreseen by Hubbert theory in last century, begins to influence radically actual global energy system: the latest economical development of emerging countries like China and India, put the evidence on the quick depletion of fossil energies.

In Europe as in other continents, fervour that involved supporter of renewable energies encouraged energy companies to strongly sustain energy production from biomasses, seen as one of the most important and world wide spread renewable energy available on earth.

This consciousness leads to underline the potentiality of agricultural sector in providing raw material for bio energy production and thanks to that, biomass technologies grown up quickly in the last period, improving energy and production efficiency.

But it was already obvious that the solution offered by biomass couldn't be definitive. World's economy is sustained by a fossil-based economy in which non-renewable energies supply for almost 80% of global energy demand, for this reason it's unbelievable to think about biomass as the only substitute for this huge role.

In fact, actually biomasses supply roughly for 10% of global primary energy production, but it is still in discussion which kind of effect we will have to face with an unlimited expansion of biomass production in rural areas and its potential impact on food and agricultural markets.

Purpose of the study was to evaluate possible consequences of alternative use of agricultural land to fulfill bioenergy production, in relation to different scenarios and constraints.

In a multifunctional approach, research focused its attention on two different and adversarial targets to optimize: farmer's income from one side and energy production from the other one, considering at the same time three different constraints: water availability, labor availability and soil availability.

Collected data were processed with a Weigh Goal Programming model (WGP) which permitted to identify different land use combinations that maximize simultaneously two targets which were considered with different importance (or "weight").

What came out from the research is water availability plays a fundamental role in order to maximize energy production while it seems not so incisive on fulfilling farmer's income, and that only in case of low availability of water the reduction of labor seems to influence achievement of targets.

These first results puts the evidence on the next role of common agricultural policy, which will necessary be a sort of mediation among different expectations placed on primary sector, to permit a sustainable and far-seeing management of rural areas.



## **Premessa**

L'incredibile crescita del benessere della popolazione dei paesi occidentali che ha preso il via con la rivoluzione industriale, si è basata per molti versi sulla capacità di sfruttare l'energia contenuta nelle fonti energetiche fossili. Prima il carbone e, successivamente, gas e petrolio hanno consentito di utilizzare l'energia chimica immagazzinata nel corso di milioni di anni per aumentare enormemente la produttività del lavoro e del suolo.

E' stato quindi possibile scardinare i rigidi vincoli imposti alla crescita economica dalla mera disponibilità di fonti energetiche rinnovabili, sovvertendo le fosche previsioni sul futuro dell'umanità formulate da Malthus e Ricardo. Solo l'evoluzione della tecnologia ha consentito di impedire che l'aumento della popolazione erodesse progressivamente i benefici della crescita economica o che la fertilità dei suoli fosse inevitabilmente destinata a declinare a causa di un cocciuto sfruttamento dei terreni marginali che facesse fronte alla crescente pressione demografica.

La visione degli economisti classici è però divenuta di attualità in anni recenti quando ci si è progressivamente resi conto che le risorse energetiche e le materie prime sono destinate ad esaurirsi in un arco di tempo temporale oramai misurabile su scale temporali umane e non più geologiche. Tale tendenza si è poi accentuata negli ultimi decenni con l'impetuosa crescita economica di alcune tra le aree più popolate del pianeta. L'affacciarsi sulla scena mondiale dei fabbisogni energetici di miliardi di persone che vantano - giustamente - il loro diritto ad un maggiore benessere, ha reso di dominio pubblico l'insostenibilità di lungo periodo dei processi di sviluppo economico così perpetuati dai paesi occidentali negli ultimi due secoli.

L'impennata dei prezzi del petrolio (benché fortemente motivata da pressioni speculative) ha fatto toccare con mano quale potrebbe essere l'angoscioso futuro del pianeta, attanagliato da una crescente penuria di energia che ne spinge sempre più al rialzo i prezzi. Benché allo stato attuale nessuno possa dire con certezza quanto potranno durare fonti fossili di ampia diffusione quali il carbone, il petrolio ed il gas naturale, è certo che andranno esaurite secondo quanto sostenuto dalla teoria di Hubbert. E' quindi probabilmente giunto il momento di avviare una profonda riflessione sul futuro energetico del pianeta.

Un dato nuovo, rispetto alla riflessione degli economisti classici, è emerso in modo evidente negli ultimi due decenni: sussiste una strettissima relazione tra consumi energetici e degrado della qualità ambientale. L'uso massiccio dei combustibili fossili ha infatti determinato l'immissione nell'atmosfera di cospicue quantità di gas serra che in essi erano state accumulate, peggiorando la qualità dell'aria. I materiali di sintesi ottenuti dal petrolio sono spesso scarsamente degradabili, finiscono per accumularsi nell'ambiente o, in alternativa, devono essere bruciati per produrre calore, contribuendo in ogni caso a intensificare l'effetto serra.

Certo è - quindi - che una seria riflessione su quali possano essere le fonti di energia del futuro dovrà essere attuata quanto prima e in un'ottica programmatica di lungo periodo. Al riguardo bisognerà evitare che, cessato l'allarme causato dalla crescita dei costi dell'energia, si prosegua con le politiche del passato fortemente condizionate dalle esigenze di certi settori economici, così come lascia presagire il rientro della preoccupazione "caro petrolio" dell'estate 2008.

E' altresì evidente che la riflessione sul futuro energetico e ambientale dovrà coinvolgere inevitabilmente gli stili di vita e di consumo. Ad esempio, non potrà più proseguire l'attuale insensata gestione del territorio, incentrata sulla mobilità individuale e sulla dispersione insediativa che si presta con grande difficoltà ad essere riconvertita verso forme di mobilità collettiva a minor impatto ambientale. Uno dei primi passi

verso la sostenibilità dovrà inevitabilmente fluire attraverso percorsi di sviluppo basati sul risparmio e sull'efficienza energetica. Ma per far questo sarà necessario dotarsi di strumenti in grado di superare gli orientamenti del mercato ed i comportamenti individuali che da esso scaturiscono.

Lo stile di vita esasperatamente individualistico è tra le principale fonte di esternalità ambientali negative che gravano non solo sulla situazione attuale, ma anche e soprattutto sul benessere delle future generazioni. Per quanto possa sembrare paradossale, le ultime generazioni comparse sul pianeta sono, da un lato, quelle che hanno beneficiato del maggior flusso di beni e servizi e, dall'altro, quelle che si sono preoccupate meno delle generazioni future. L'uomo occidentale è così divenuto la prima "specie" comparsa sul pianeta che ha anteposto la sopravvivenza (o se si vuole il benessere) dei singoli individui a quello della specie (cioè delle generazioni future).

C'è da chiedersi quale possa essere l'origine di tanta insensatezza, ma la risposta pare debba essere ricondotta ad una visione miope innescata dal consumismo. Per molti versi infatti, le moderne società avanzate sono divenute "fabbriche di insoddisfazione". Come hanno osservato Kahneman e Krueger, l'uomo si adatta rapidamente allo "status quo": dopo qualche anno, il miliardario vincitore di una lotteria, non manifesterà una soddisfazione per la sua situazione superiore a quella di persone diversamente abili o che hanno subito una modesta disabilità. Consapevoli di tale meccanismo psicologico, le imprese hanno operato per accrescere costantemente il grado di insoddisfazione individuale. Il motore della crescita è così divenuto il consumo di beni e servizi spesso di scarsa utilità, il cui consumo può essere indotto creando costantemente dei bisogni fittizi e, quindi, una sostanziale perenne insoddisfazione nei confronti del proprio stato attuale. Per certi si può affermare che, paradossalmente, l'insoddisfazione fa crescere il prodotto interno lordo! Il capitalismo infatti, può sopravvivere se e solo se la domanda aumenta, altrimenti i profitti sono destinati ad annullarsi (a causa della concorrenza) e viene meno lo stimolo stesso ad investire dell'imprenditore.

Come potrà confrontarsi lo spirito "faustiano" delle economie di mercato con la necessità di guardare ad orizzonti temporali più lunghi e di avviare forme di risparmio energetico o, più in generale, di favorire stili di vita più austeri?

Come si potrà superare la mistica individualistica che pervade la nostra società per favorire modelli partecipativi in grado di valorizzare adeguatamente la componente cooperativa del comportamento umano?

Ciò nonostante, il quadro energetico, ambientale ed economico che va delineandosi per il futuro prossimo pare non lasciare altra possibilità. L'esistenza di un legame inscindibile tra strategie energetiche, qualità ambientale e sentieri di sviluppo economico, non lascia più spazio allo spontaneismo del mercato che genera esternalità negative sempre più pesanti e che non è in grado di tenere nel debito conto quello che potrà accadere di qui a pochi anni.





## CAPITOLO I

### 1. Introduzione

La comparsa sulla scena economica mondiale di grandi e popolose nazioni quali Cina e India ha per la prima volta reso di dominio pubblico il problema della scarsità delle risorse energetiche. La loro crescita infatti, comporterà probabilmente un più rapido esaurimento delle fonti energetiche fossili che attualmente dominano lo scenario energetico globale e a cui non sembra possibile – per il momento – rinunciare.

A tale tendenza, si è contrapposta negli ultimi decenni una più conscia ricerca di nuove fonti energetiche alternative a quelle fossili che mira a mantenere nel tempo gli attuali livelli di benessere e produttività che le fonti fossili hanno finora permesso e sostenuto. Negli ultimi anni in particolare, questa ricerca sembra essersi focalizzata sulle produzioni del settore primario, in grado di fornire infinite varietà di biomasse ad uso energetico<sup>1</sup>, con lo scopo di integrare prima, e sostituire poi, i combustibili di origine fossile.

Tra le più importanti caratteristiche delle biomasse c'è sicuramente il loro stretto legame con il territorio in cui vengono prodotte: sono disponibili e diffuse praticamente ovunque nel globo, anche se in qualità e quantità diverse. Per questo motivo risultano praticamente accessibili a tutti venendo considerate una fonte energetica locale, alla portata di tutti, dai paesi ricchi a quelli in via di sviluppo.

Proprio per questa diversità, la biomassa rappresenta una fonte energetica altamente versatile che, a partire da una serie pressoché infinita di materie organiche, può essere trasformata in combustibili solidi, liquidi e gassosi, permettendone un'infinità di applicazioni energetiche.

In particolare, le biomasse di origine agricola presentano alcuni vantaggi rispetto ad altre fonti: ad esempio, per la loro produzione non sono necessarie particolari tecnologie o investimenti poiché, molte delle normali colture da pieno campo (mais, soia, ecc.), possono essere impiegate a tale scopo, senza contare il fatto che il loro impiego potrebbe consentire di contrastare l'effetto serra, grazie alla loro attitudine ad assorbire parte dell'anidride carbonica presente in atmosfera.

Il loro impiego non è tuttavia privo di effetti considerati negativi: l'utilizzo dei terreni agricoli e dell'acqua irrigua infatti per produrre biomasse ad uso energetico, potrebbe generare rilevanti conflitti con la domanda di alimenti (cerali, foraggi e quindi latte e carne) e per l'uso del terreno. A loro volta tali conflitti potrebbero sfociare in aumenti del prezzo dei beni di prima necessità, aggravando la situazione economica dei paesi e dei ceti sociali meno abbienti<sup>2</sup>.

Si deve inoltre tener presente che l'implementazione di queste politiche agronomiche ed energetiche potrebbe generare trasformazioni rilevanti a carico del territorio, comportando l'attivazione di assetti produttivi a volte assai differenziati rispetto alla realtà agricola attuale.

L'elemento determinante nella scelta dovrà essere la quantità di energia netta<sup>3</sup> ricavabile per unità di superficie in funzione degli eventuali vincoli imposti dal territorio (superfici disponibili, manodopera, acqua ...). La scelta delle colture da favorire e degli

---

<sup>1</sup> Biomasse solide come legno e residui di lavorazione, ma anche liquide come biodiesel, bioetanolo e oli vegetali in genere.

<sup>2</sup> Nel 2007 in Messico il prezzo delle tortillas è lievitato a causa dell'aumento dei prezzi del mais usato nella loro produzione. L'alimento base della popolazione messicana è passato così da 6 a 18 pesos al chilo.

<sup>3</sup> Con energia netta si indica il quantitativo di energia ottenibile dallo sfruttamento di una risorsa, al netto dell'energia impiegata nel processo di produzione e uso della risorsa stessa.

investimenti da effettuare nel settore primario per aumentare la produzione energetica, dovrà necessariamente tenere in considerazione il fatto che la diffusione di alcune di queste colture (tipicamente quelle legnose) potrà comportare una non trascurabile riduzione dei redditi ottenibili per unità di superficie e, di conseguenza, del numero di attivi in questo settore.

L'agricoltura, intesa come attività multidimensionale, incorpora finalità economiche, sociali ed ambientali spesso in conflitto tra loro: qualsiasi decisione presa da un operatore del settore primario tende così ad avere effetti su tutte queste dimensioni. Di qui la necessità di individuare regole e strumenti in grado di indirizzare le scelte dei singoli operatori ma anche e soprattutto delle politiche agro-ambientali in genere.

Diviene perciò prioritario vagliare attentamente la possibilità di sostituire il consumo di energie di origine fossile con biomasse e carburanti di origine vegetale al fine di stimarne i possibili effetti territoriali, sociali e ambientali.

### **1.1. Obiettivi**

Nel tentativo di fornire un primo inquadramento delle problematiche brevemente richiamate, con riferimento al territorio della provincia di Rovigo, posta nella parte meridionale del Veneto, è stata effettuata una simulazione riguardante i conflitti che potrebbero insorgere nella gestione del territorio a seconda che ci si proponga di massimizzare il reddito degli agricoltori oppure la produzione di energia netta, all'interno di un arco temporale di 15 anni.

La metodologia adottata per analizzare in modo adeguato le problematiche esposte è la programmazione ad obiettivi definiti e pesati (WGP), che costituisce una variante dell'analisi multi criteri (AMC), derivata a sua volta dalla programmazione lineare (PL). La WGP consente infatti di massimizzare contemporaneamente più obiettivi, i cui valori vengono associati a specifici riparti colturali scelti in funzione di determinati vincoli. Tra quest'ultimi, con riferimento alle problematiche in esame, sono stati considerati: la disponibilità di acqua irrigua, di manodopera e di superficie agricola.

A tal fine è stata quindi realizzata una matrice di programmazione lineare che fosse in grado di sintetizzare tutte le informazioni disponibili, permettendo l'individuazione delle migliori scelte atte a perseguire gli obiettivi.

Ognuna di queste scelte, associata ad uno specifico comparto colturale, determinerà dunque una modificazione del reddito degli agricoltori e l'instaurarsi di un peculiare assetto del territorio agricolo.

Scopo della ricerca è dunque quello di analizzare la variazione degli obiettivi considerati e di individuare e quantificare i costi opportunità che derivano dalla scelta di implementare politiche diversificate d'uso del territorio, in funzione di diversi livelli di disponibilità di acqua irrigua e di manodopera.

In generale, i risultati conseguiti, sottolineano un evidente conflitto tra le due funzioni obiettivo in gioco. Reddito e resa energetica sembrano infatti destinati a rimanere obiettivi praticamente alternativi tra loro. Mentre il primo incoraggia l'impiego di colture agrarie tradizionali caratterizzate da alto reddito e bassa resa energetica, il secondo spinge verso colture legnose, dall'alta resa energetica ma bassissimo reddito.

### **1.2. Organizzazione dei contenuti**

Lo studio proposto è frutto del lavoro di ricerca svolto nel corso del dottorato, all'interno del quale si sono trattati diversi argomenti a partire da alcuni più generali quali la situazione energetica mondiale e nazionale, con le relative problematiche ad

esse correlate, passando per un'analisi più approfondita e specifica del ruolo e delle potenzialità legate all'impiego delle energie rinnovabili.

Tra queste, particolare attenzione è stata posta all'impiego per fini energetici delle biomasse del settore primario, esaminandone nel dettaglio le caratteristiche specifiche, i punti di forza e gli elementi di criticità che spesso sono associati al loro uso.

Da una prima fase di esame dello status quo, si è passati ad un'analisi applicata, con la quale si è dimostrato come la produzione di biomasse per scopi energetici sia in grado di influenzare la gestione degli spazi agricoli, interferendo in maniera evidente sulla redditività del settore primario.

Lo studio di seguito presentato, tende dunque a richiamare in parte la struttura originale del lavoro di ricerca svolto nel corso del triennio.

In particolare, ad un primo capitolo introduttivo sull'argomento energia in generale (capitolo II), fanno seguito due altri capitoli che contribuiscono ad inquadrare in maniera esaustiva il problema energetico. Mentre il capitolo III, descrive dettagliatamente le più importanti fonti di energia attualmente impiegate per far fronte ai crescenti consumi energetici, nel capitolo IV trova spazio un'ampia caratterizzazione del sistema energetico globale e nazionale.

Nel capitolo successivo (capitolo V), conclusa la parte generale di inquadramento del problema energetico, viene introdotta la metodologia d'analisi adottata nel caso studio. Saranno quindi descritte alcune problematiche relative alla ricerca operativa cioè a quella branca dell'economia che fornisce il necessario supporto teorico alla programmazione lineare e, di conseguenza, alla WGP.

Il capitolo successivo introduce il caso di studio vero e proprio (capitolo VI). Oltre a descrivere nel dettaglio l'area presa in esame nell'analisi, vengono illustrate le modalità di raccolta dei dati e descritti nello specifico vincoli e funzioni obiettivo adottati nello studio.

Il successivo capitolo VII, presenta i risultati ottenuti. Qui, l'analisi delle soluzioni proposte dal modello e l'analisi dei costi opportunità legati alla produzione di energia e di reddito, vengono esaminate alla luce delle variazioni di disponibilità di acqua irrigua e di manodopera ipotizzate.

Infine, nella parte conclusiva del lavoro (capitolo VIII), vengono riassunti alcuni dei risultati più rilevanti ottenuti nell'analisi, traendo alcune conclusioni circa le attuali prospettive della relazione tra la produzione di biomasse del settore primario ed il sistema energetico attualmente implementato dalle politiche nazionali e comunitarie.



## CAPITOLO II

### 2. Energia: cos'è e a cosa serve

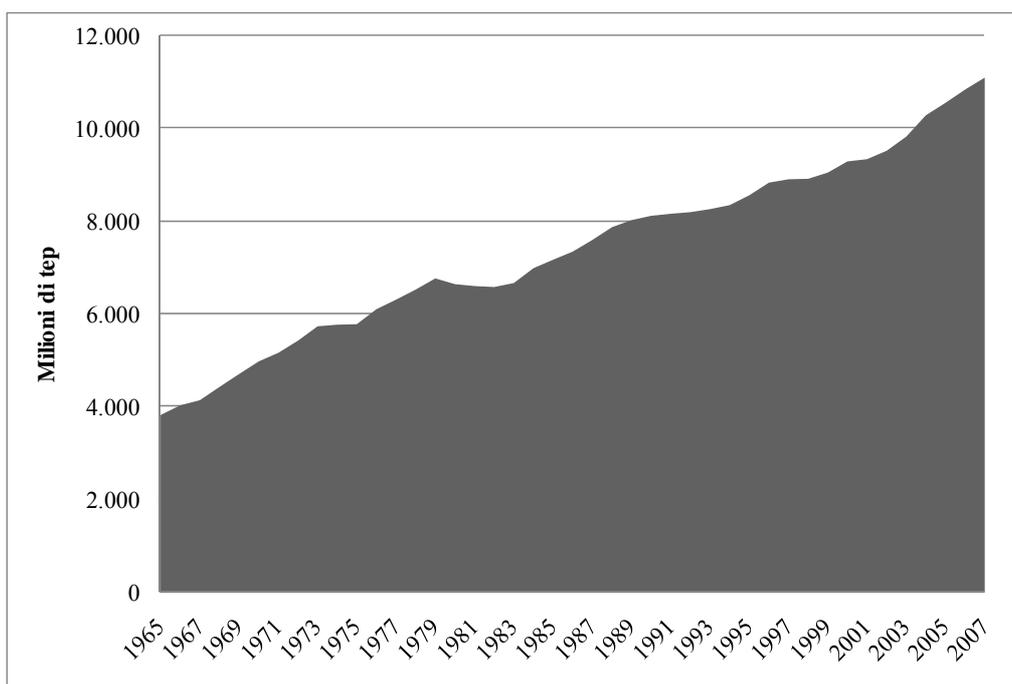
L'energia è, secondo la più classica delle definizioni, “la capacità di un corpo o di un sistema di compiere un lavoro”. Il termine “energia” deriva dal tardo latino “energīa”, che a sua volta deriva dal termine greco “energheia”, usato da Aristotele nel senso di “azione efficace”.

L'energia è caratteristica intrinseca di un qualsiasi sistema: da un oggetto inanimato, i cui atomi e molecole sono in movimento, al macchinario che si muove sfruttando le potenzialità energetiche del proprio carburante, sino agli esseri viventi, le cui azioni riflettono l'energia che sono stati in grado di immagazzinare.

Nell'immaginario comune l'energia è però più in generale quella generata dalle macchine, quella impiegata nella produzione industriale, quella che fa funzionare i computer e che - in generale - manda avanti l'economia e la società globale ormai in ogni sua più intima parte.

Dalla seconda metà dell'800 ad oggi infatti, i consumi di energia sono andati di pari passo con quelli da gigante fatti dall'economia e dalla società stessa, crescendo di anno in anno; in questo modo l'energia è potuta diventare una realtà tanto diffusa quanto scontata, anche grazie a costi piuttosto contenuti (Figura 1).

Figura 1 – L'andamento dei consumi di energia a livello globale (1965-2007).



Fonte: BP, 2008

Negli ultimi anni però, la situazione è cominciata a cambiare: l'aumento del prezzo delle fonti energetiche fossili, in primis del petrolio, ha fatto crescere i costi dell'energia con esse prodotta, riportando nei consumatori la consapevolezza del ruolo giocato dall'energia nelle nostre case.

L'energia è dunque tornata prepotentemente al centro dell'attenzione internazionale a causa dell'aumento dei suoi costi e degli impatti sulla moderna economia; in balia di decisioni politico-economiche spesso al di fuori di ogni logica, ancora estremamente

dipendente da fonti fossili e sempre più spesso assoggettata agli esiti dei conflitti internazionali.

## 2.1. Da cosa deriva

L'energia consumata ogni giorno deriva da più fonti - ossia vettori o materiali - da cui l'energia può essere direttamente o indirettamente ottenuta. La possibilità di ricavare energia in maniera diretta conferisce a quella fonte l'appellativo di "*fonte energetica primaria*"; mentre sono considerate "*fonti energetiche secondarie*" quelle fonti derivate dalla trasformazione delle primarie.

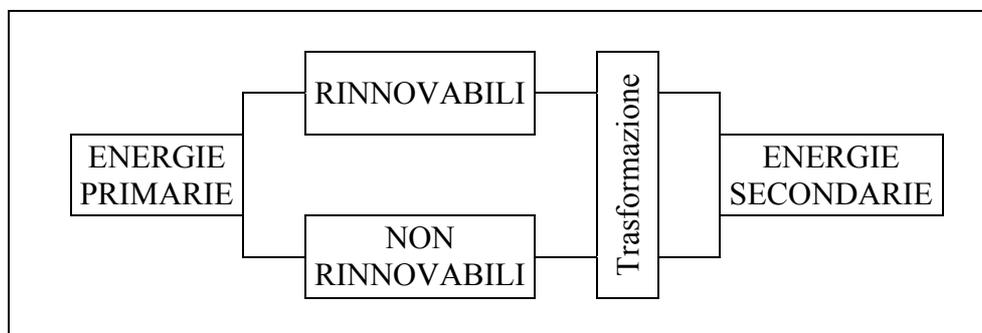
Sono fonti energetiche primarie quelle presenti in natura che non hanno subito alcuna trasformazione, dalle quali si può produrre energia senza alcuna particolare lavorazione intermedia. Esse si distinguono a loro volta in due grandi gruppi: fonti rinnovabili e fonti non rinnovabili.

Sono fonti rinnovabili quelle che per definizione possono rigenerarsi in tempi relativamente brevi e il cui oculato sfruttamento le rende praticamente inesauribili: è il caso dell'energia eolica, dell'energia contenuta nelle sostanze organiche prodotte dalla terra (biomasse), dell'energia solare.

Sono fonti non rinnovabili quelle che invece sono esauribili, il cui più lampante esempio è dato dai combustibili fossili.

Sono fonti energetiche secondarie poi quelle che, attraverso una qualunque trasformazione delle primarie, permettono la produzione di energia: lo sono per esempio la benzina (perché deriva dal trattamento del petrolio greggio) e l'energia elettrica (che deriva dalla trasformazione di energia meccanica o chimica) (Figura 2).

Figura 2 – Schema riassuntivo delle fonti energetiche.



Dall'impiego di una qualsiasi di queste fonti, primaria o secondaria che sia, è possibile ottenere diversi tipi di energia: può essere l'energia meccanica del movimento dell'automobile ottenuta bruciando l'energia chimica della benzina (fonte secondaria), oppure l'energia elettrica di una centrale idroelettrica che ha trasformato l'energia cinetica della turbina mossa dall'energia potenziale dell'acqua (fonte primaria), oppure ancora quella termica ottenuta da pannelli solari irraggiati dal sole (fonte primaria), o da una caldaia, tramite la combustione di gasolio (fonte secondaria)...

Come si può intuire dunque, l'energia passa da una forma ad un'altra varie volte prima di arrivare all'uso finale, perdendo in ognuno di questi passaggi parte dell'energia totale in genere sotto forma di calore, come suggerisce il ben noto principio di conservazione dell'energia<sup>4</sup>.

<sup>4</sup>Il principio di conservazione dell'energia, enunciato da Michael Faraday (1791-1867) sostiene che "nulla si crea e nulla si distrugge, ma tutto si trasforma".

## 2.2. Unità di misura dell'energia

La quantità di energia prodotta e consumata viene misurata attraverso l'uso di differenti unità di misura a seconda del tipo di energia considerata, dell'ordine di grandezza adottato e anche dell'area di riferimento.

L'unità di misura ufficiale adottata dal SI<sup>5</sup> per l'energia e il lavoro è però il Joule (J)<sup>6</sup>, mentre la potenza, ossia la quantità di energia nell'unità di tempo, viene espressa con i Watt (W)<sup>7</sup>. Più comunemente si parla del Wattora (Wh), ossia l'unità d'energia riferita in questo caso all'ora<sup>8</sup>. Ancor più familiare è invece il termine "chilowattora" (kWh), che esprime in genere l'unità di misura sulla base della quale si valutano e pagano i consumi di energia elettrica.

Con la caloria<sup>9</sup> (cal) invece, si misura la potenzialità energetica di una qualsiasi materia prima, ma molto più spesso viene usata nel valutare il contenuto energetico degli alimenti. Alla caloria, gli anglosassoni oppongono un'altra unità di misura chiamata Btu<sup>10</sup>, molto spesso utilizzata nelle statistiche energetiche d'oltre manica (Tabella 1).

Per parlare di energia in termini globali è però necessario lavorare con unità di misura più grandi poiché l'economia mondiale consuma quantità enormi di energia. Quest'energia, come vedremo, viene per la maggior parte prodotta da fonti di energia fossile, la più importante delle quali è il petrolio. Il petrolio a sua volta possiede un'elevata densità energetica<sup>11</sup> e viene in genere misurato in barili<sup>12</sup>. Per valutare produzione e consumo globale di energia si utilizzano quindi le Tonnellate Equivalenti di Petrolio (Tep) o, all'inglese Toe (Tonns of Oil Equivalent)<sup>13</sup>. Questa unità di misura, come vedremo, si rivela utilissima proprio per esprimere quantitativi energetici per i quali altrimenti servirebbero parecchi zeri.

Tabella 1 – Principali conversioni delle unità di misura dell'energia

	Joule	Kcal	Wh	Btu
Joule	1	0,00024	0,00028	0,00095
Kcal	4.187	1	1,163	3,968
Wh	3.600	0,861	1	3,413
Btu	1.055	0,252	0,293	1

<sup>5</sup> Sistema Internazionale (SI)

<sup>6</sup> Il nome Joule deriva da James Prescott Joule (1818-1889), fisico Inglese che enunciò il principio dell'equivalente meccanico del calore. Un Joule equivale a:  $1J = 1N \times 1m$

<sup>7</sup> Il nome Watt deriva da James Watt (1736-1819), matematico scozzese, ideatore della macchina a vapore. Un Watt equivale a 1J/1s

<sup>8</sup> Di conseguenza 1W vale 3.600 Joule.

<sup>9</sup> Una caloria è per definizione l'energia necessaria per innalzare di 1 °C (da 14,5 a 15,5 °C) la temperatura di 1 g di acqua distillata a livello del mare. Una cal corrisponde a 4,186 J, mentre un Wh corrisponde a 860 cal.

<sup>10</sup> Un Btu è pari a 252 cal o 1.055 J ed è definito come quella quantità di calore richiesta per alzare la temperatura di 454 grammi di acqua da 60 a 61 gradi Fahrenheit.

<sup>11</sup> La densità energetica è data dal valore del potere calorifico sull'unità di prodotto energetico, ossia la quantità di calore liberata al momento della combustione completa dell'unità di un combustibile.

<sup>12</sup> Il petrolio viene misurato in barili (bl, dall'inglese barrels) che hanno una capacità di circa 159 litri. Un barile di petrolio greggio, il cui potere calorifico è di circa 11600Wh/Kg e la cui densità è di 0,85 ha quindi un'energia di circa 1560 kWh.

<sup>13</sup> Un Tep o Toe, vale all'incirca 42 miliardi di J, ossia 11.300 kWh.



## CAPITOLO III

### 3. Le fonti di energia

Come già accennato le fonti energetiche, oltre che in primarie e secondarie, si suddividono principalmente in rinnovabili e non rinnovabili.

Le fonti energetiche non rinnovabili nel linguaggio comune vengono più spesso identificate con le fonti fossili, seppure tra queste debba essere annoverata anche l'energia nucleare che fossile non è. Per non rinnovabili s'intendono infatti tutte quelle fonti energetiche il cui tempo di rigenerazione è incompatibile con le scale temporali umane: il petrolio ad esempio, una volta esaurito, potrà in ogni caso rigenerarsi, ma solo nell'arco di milioni di anni.

Così come il petrolio, anche il gas, il carbone ed il nucleare, sono impiegati sfruttando i depositi di idrocarburi fossili o i giacimenti minerari, le cui riserve andranno inevitabilmente esaurendosi prima che gli stessi abbiano il tempo di riformarsi.

Queste fonti sono state scoperte relativamente tardi nella storia dell'uomo: il petrolio, che pure veniva saltuariamente utilizzato come medicinale nel Medioevo, e che invece attualmente rappresenta la fonte energetica più importante al mondo, ha iniziato ad essere prodotto industrialmente solo a partire dal 1850<sup>14</sup>, mentre il carbone, anch'esso usato sporadicamente sin dal Medioevo, è stato utilizzato un secolo prima come motore della rivoluzione industriale del 1750.

Al contrario, le fonti energetiche rinnovabili accompagnano l'uomo sin dalle origini: basti pensare alla legna utilizzata per scaldare le caverne degli uomini primitivi, o all'energia meccanica dei mulini ad acqua o a vento che hanno semplificato il lavoro nell'antichità.

Tutte queste fonti energetiche rinnovabili fanno parte di un bagaglio culturale che l'uomo ha saputo far crescere col tempo. All'energia derivata dalle fonti rinnovabili più "tradizionali", si sono aggiunte le "nuove fonti rinnovabili", tra cui si annoverano ad esempio l'energia fotovoltaica e quella del mare (correnti, onde e maree).

Fonti rinnovabili e non, contribuiscono alla produzione globale di energia risultando entrambe indispensabili: le prime perché rappresentano l'unica alternativa a quelle non rinnovabili una volta che quest'ultime saranno esaurite, le seconde perché rappresentano attualmente le fonti energetiche più utilizzate al mondo.

#### 3.1. Le fonti non rinnovabili: il petrolio

Attualmente, le più importanti fonti energetiche al mondo sono rappresentate da combustibili fossili: petrolio, carbone e gas, contribuiscono infatti a produrre oltre l'80% del fabbisogno mondiale di energia.

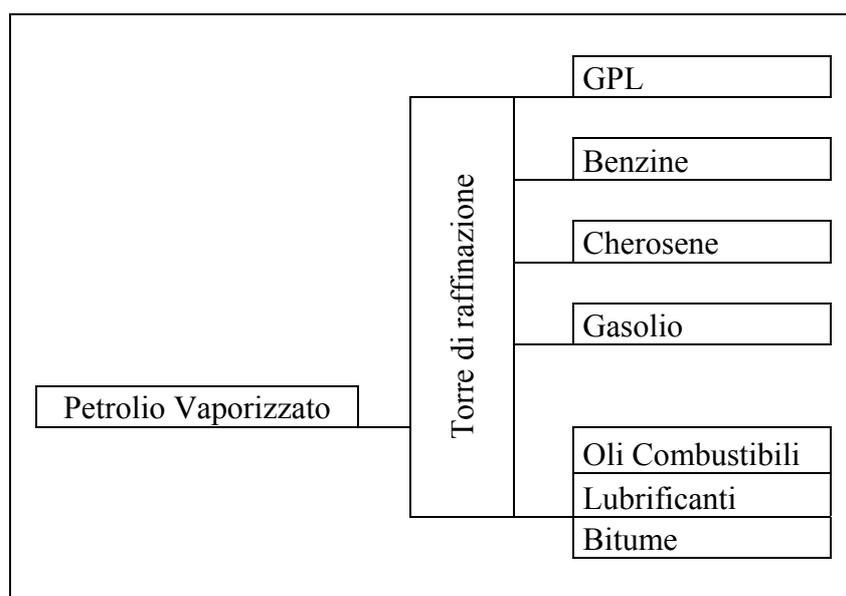
In particolare, la più importante di queste fonti è certamente il petrolio: liquido denso ed infiammabile costituito essenzialmente da idrocarburi formati per la maggior parte da idrogeno e carbonio, deriva dalla decomposizione in assenza di ossigeno di sostanza organica che, con il tempo e grazie ad elevate pressioni e temperature, si trasforma in idrocarburi. Questi, nel corso di milioni di anni, spostandosi verso "rocce serbatoio", hanno dato origine ai giacimenti petroliferi attualmente conosciuti e sfruttati.

Questa fonte è considerata importantissima a livello internazionale poiché permette, tramite raffinazione, di estrarre una lunga serie di sottoprodotti ad alto contenuto energetico come benzina, gasolio e gas, nonché altri composti più pesanti. Dallo stesso procedimento hanno luogo infine anche prodotti non energetici come oli pesanti, cere ed asfalti, a dimostrazione dell'estrema versatilità di questa fonte (Figura 3).

---

<sup>14</sup> Il primo pozzo petrolifero economicamente redditizio fu aperto nel 1850 negli Stati Uniti.

Figura 3 – Rappresentazione schematica della raffinazione del petrolio



Il petrolio è conosciuto in realtà da tempi remoti: l'asfalto veniva ad esempio impiegato nella costruzione di città in Mesopotamia già nel 3000 a.C. e per molti secoli, componenti del petrolio trovarono impiego come leganti, impermeabilizzanti e medicinali. La vera scoperta del petrolio come prodotto energetico risale invece alla metà dell'800 circa, con l'apertura dei primi pozzi petroliferi.

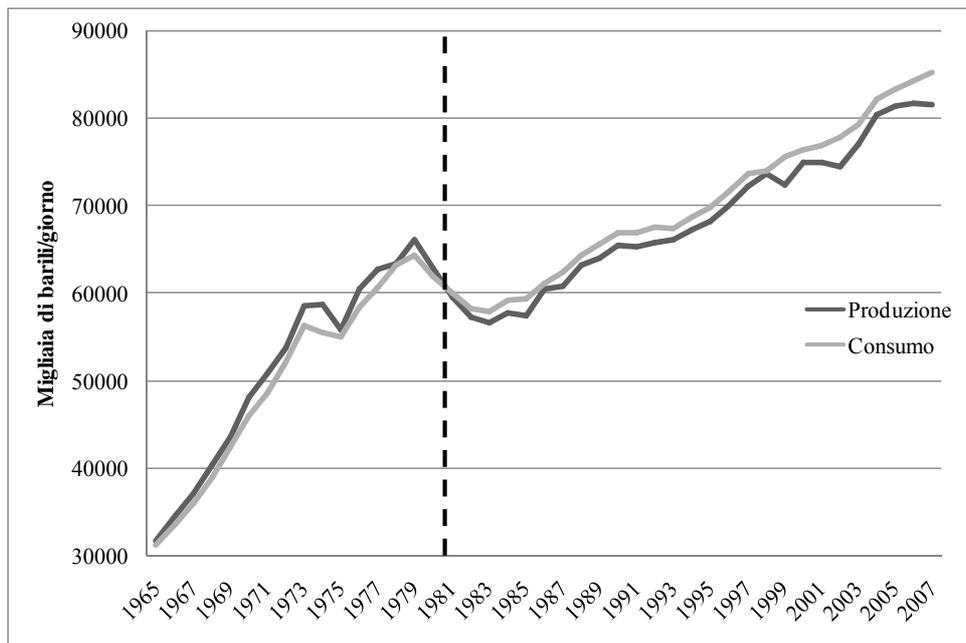
Questa fonte, in appena un secolo e mezzo di storia, è diventata di fondamentale importanza nella produzione mondiale di energia, soddisfacendo da sola oltre un terzo della domanda energetica globale (Enerdata, 2008).

Una dipendenza così marcata da una sola fonte energetica però, pone non pochi interrogativi sugli approvvigionamenti energetici futuri: se si analizzano la produzione ed il consumo mondiale di greggio degli ultimi 40 anni ci si accorge di essere passati da una produzione di 31,8 milioni di barili di petrolio al giorno del 1965 a 81,5 milioni di barili del 2007, a fronte di un consumo che è passato dai 31,2 milioni di barili agli attuali 85,2 milioni (BP, 2008) (Figura 4).

Secondo quanto registrato dai mercati internazionali dunque, a partire dal 1981 si è cominciato a consumare più petrolio di quanto ne venisse prodotto, concretizzando il problema teorizzato da Hubbert<sup>15</sup>, secondo il quale la produzione di una qualsiasi risorsa non rinnovabile sarebbe destinata a diminuire e ad esaurirsi con il tempo (Figura 5). L'unica incognita resta l'orizzonte temporale di riferimento, ossia quanti anni di autonomia rimangono ancora prima di esaurire le riserve mondiali di petrolio.

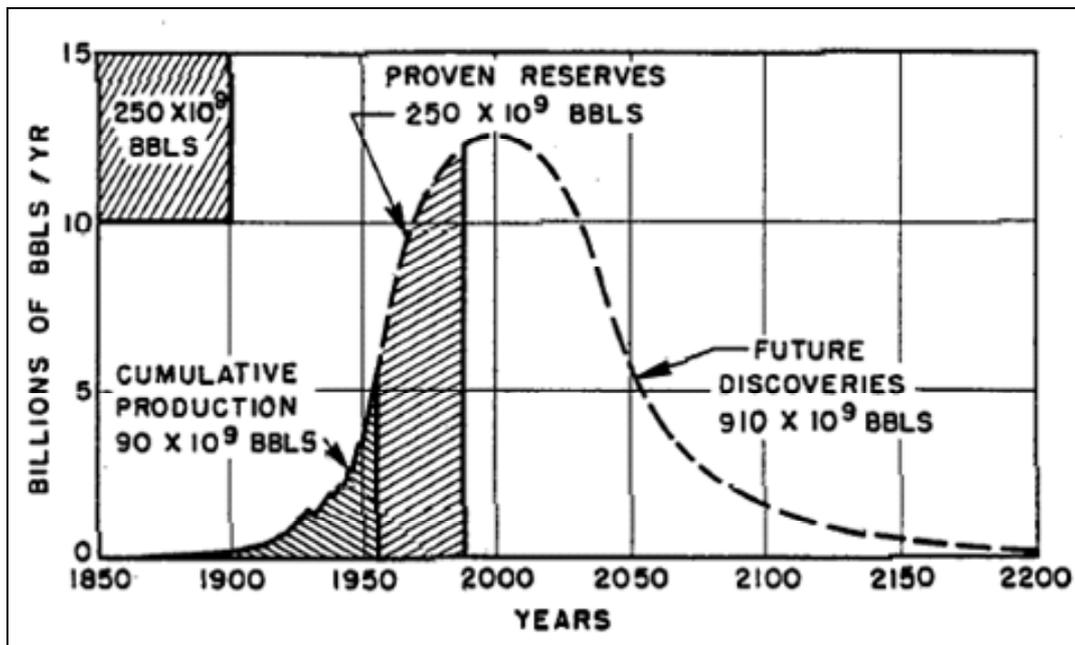
<sup>15</sup> Marion King Hubbert, geofisico americano che sviluppò l'omonima teoria secondo la quale "la produzione di una risorsa non rinnovabile passa necessariamente per un picco di produzione per poi esaurirsi inevitabilmente".

Figura 4 – La produzione ed il consumo globale di petrolio negli anni 1965-2007.



Fonte: BP, 2008.

Figura 5 – La curva di Hubbert, inizialmente proposta nel 1956.



Fonte: AspoItalia, 2008.

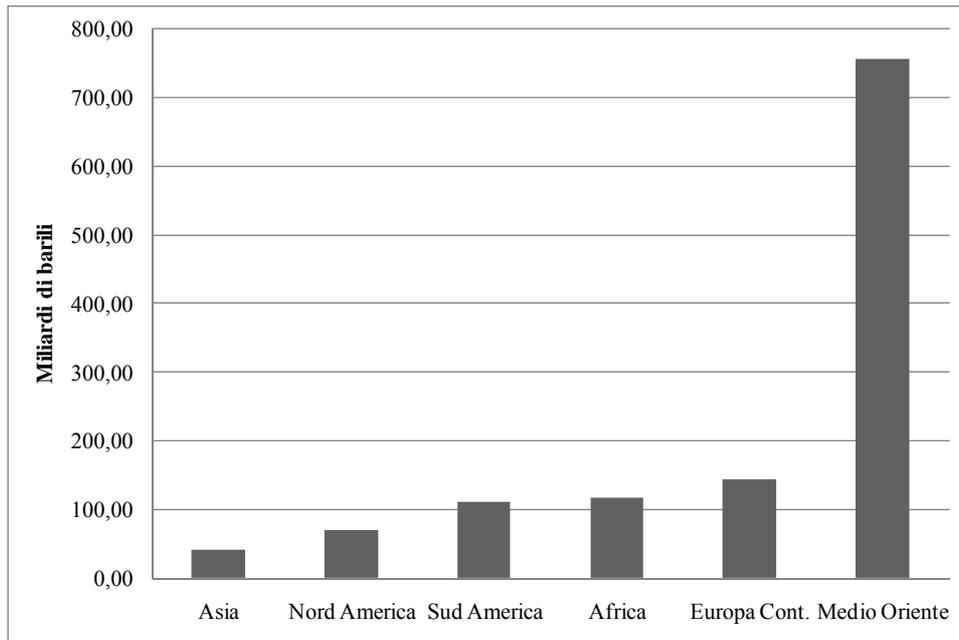
A tale interrogativo, sono state date numerose risposte (Aspo, 2007; BP 2008; Cia, 2008; Enerdata 2007). Secondo le stime della British Petroleum esposte nell'annuale "World Energy review 2008", le riserve di petrolio mondiali ammonterebbero a circa 1.200-1.300 miliardi di barili che potrebbero permettere, ai ritmi di consumo attuali<sup>16</sup>,

<sup>16</sup> Nel solo 2007 il mondo ha consumato circa 31 miliardi di barili di petrolio, contro i 26,8 registrati nel 1997 (+15%) (BP, 2008).

altri 40 anni di consumi. Il problema più grande è però rappresentato non dalle effettive riserve disponibili, ma dai costi d'estrazione che tendono ad aumentare in maniera esponenziale, contribuendo inevitabilmente al rialzo i prezzi del greggio sul mercato internazionale (Aspo, 2007).

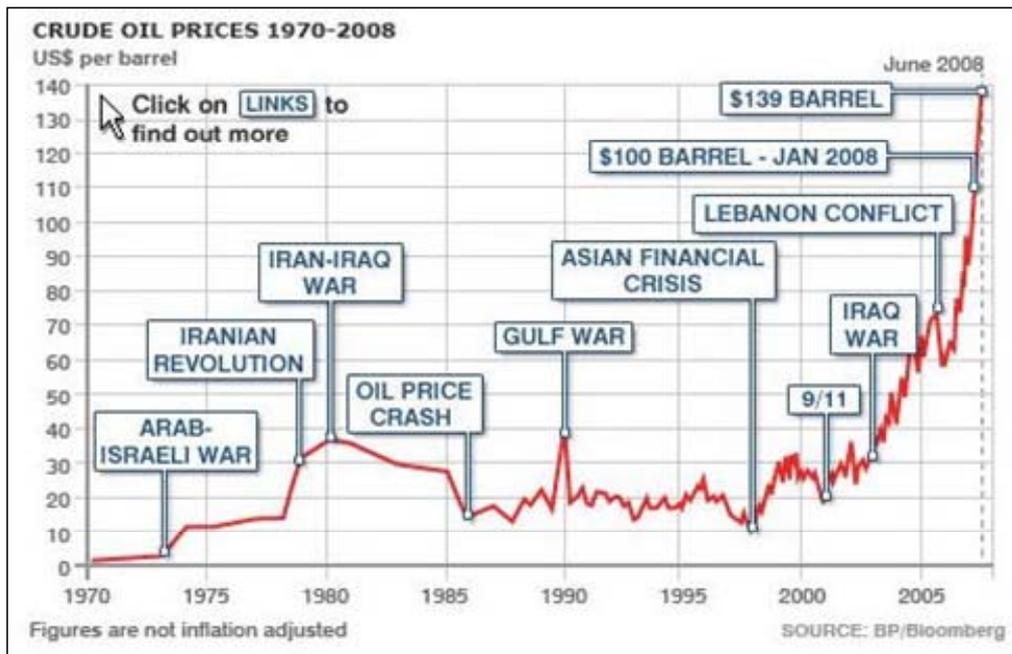
Un ulteriore elemento di instabilità del prezzo di questa risorsa è legato alla relativa precarietà politica dei paesi in cui sono concentrati la maggior parte dei giacimenti conosciuti, teatro di numerosi conflitti di rilevanza mondiale (Figure 6 e 7).

Figura 6 – Distribuzione delle riserve mondiali di petrolio (2007).



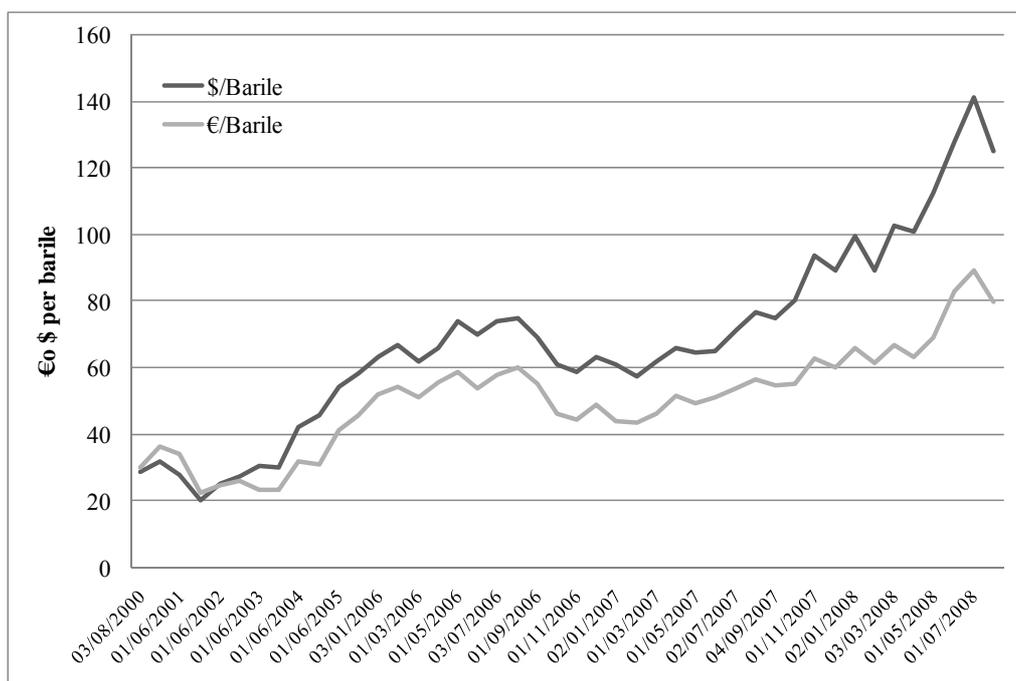
Fonte: BP, 2008.

Figura 7 – Il prezzo del greggio sui mercati internazionali (1970-2008).



Fonte: BP, Bloomberg, 2008.

Figura 8 – Analisi storica del prezzo del barile di petrolio in \$ ed € correnti (2000-2008).



Fonte: Elaborazione su dati EIA e Ilsole24ore, 2008.

Le recenti tensioni in Medio Oriente ad esempio<sup>17</sup>, avrebbero avuto un ruolo importante nell'impennata dei prezzi dell'oro nero dai 60 dollari al barile del marzo 2007 agli oltre 140 dollari del giugno 2008 (Figura 8) (EIA, 2008).

Ad alimentare questa crescita smisurata dei prezzi hanno però contribuito anche fenomeni speculativi di portata internazionale legati all'apprezzamento dell'euro sul dollaro<sup>18</sup>, ma anche la crescente domanda energetica di paesi emergenti (Cina e India), che non sembrano disposti a rinunciare al proprio sviluppo<sup>19</sup>.

Estratto per la maggior parte da Medio Oriente, Africa e Sud America, il petrolio viene consumato in prevalenza nel continente asiatico (in particolare Cina ed India), in Europa e in Nord America (Figura 9).

Secondo quanto riportano le statistiche del 2006, un ruolo sempre più importante nel consumo di greggio è rivestito dagli impieghi non energetici<sup>20</sup> (13%), che superano addirittura i consumi del settore domestico e terziario (12% nel 2006). Più importante è invece il ruolo del settore industriale che utilizza circa il 20% dell'oro nero, mentre l'impiego diretto in centrali termoelettriche raggiunge appena il 6% del totale (Figura 10).

Il greggio viene però prevalentemente impiegato per produrre carburanti (benzina e diesel) per l'autotrazione: nel 2007 una quota pari al 49% era utilizzata a tale scopo, salita poi al 53% nel 2007 (Enerdata, 2007).

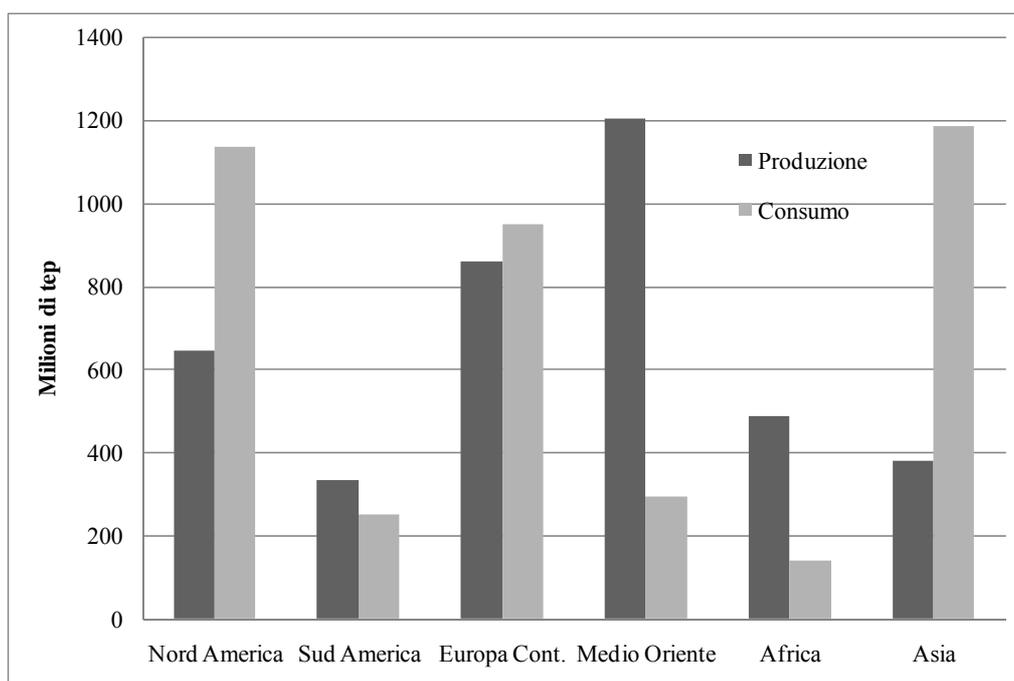
<sup>17</sup> Le statistiche della BP assegnano ad Iraq, Iran, Arabia Saudita e Kuwait circa il 51% delle riserve mondiali di greggio (BP, 2008).

<sup>18</sup> L'Euro si è apprezzato notevolmente negli ultimi anni, passando da un valore di appena 0,90 \$ nel 2000 agli oltre 1,5 \$ dei primi mesi del 2008.

<sup>19</sup> I consumi della sola Cina negli ultimi 5 anni sono praticamente raddoppiati, passando dall'11 al 17% della domanda mondiale di energia (Enerdata, 2008).

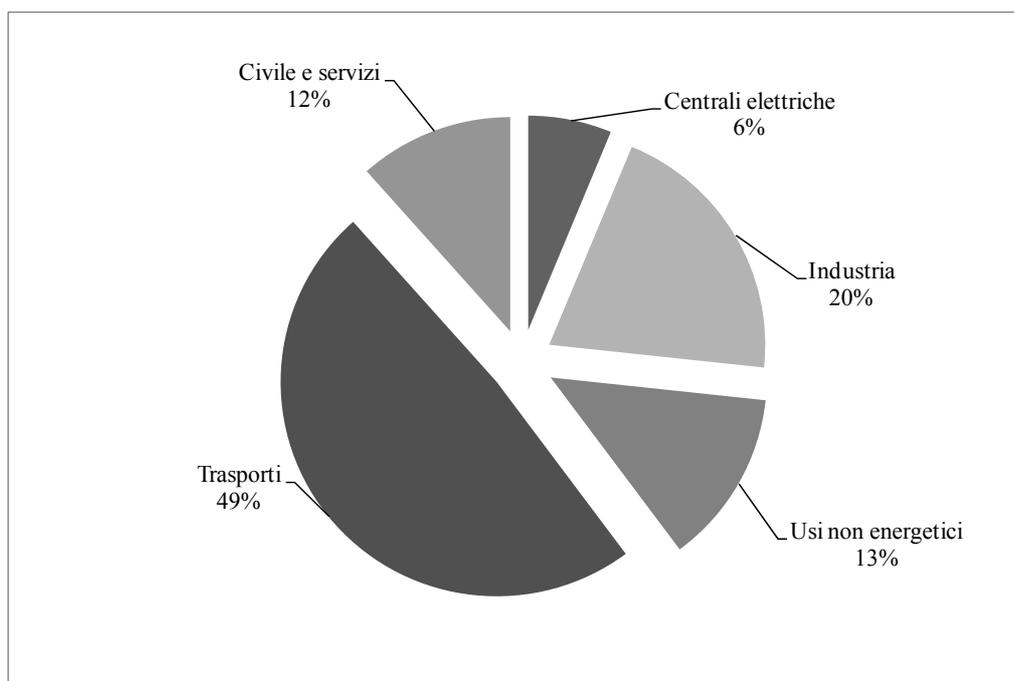
<sup>20</sup> Per "impieghi non energetici" si intende l'utilizzo del greggio come materia prima per la produzione di plastiche o altri materiali di largo consumo.

Figura 9 – Produzione e consumo di petrolio per area geopolitica (2007).



Fonte: BP, 2008.

Figura 10 – Impieghi finali del petrolio per settore produttivo (2006).



Fonte: BP, 2007.

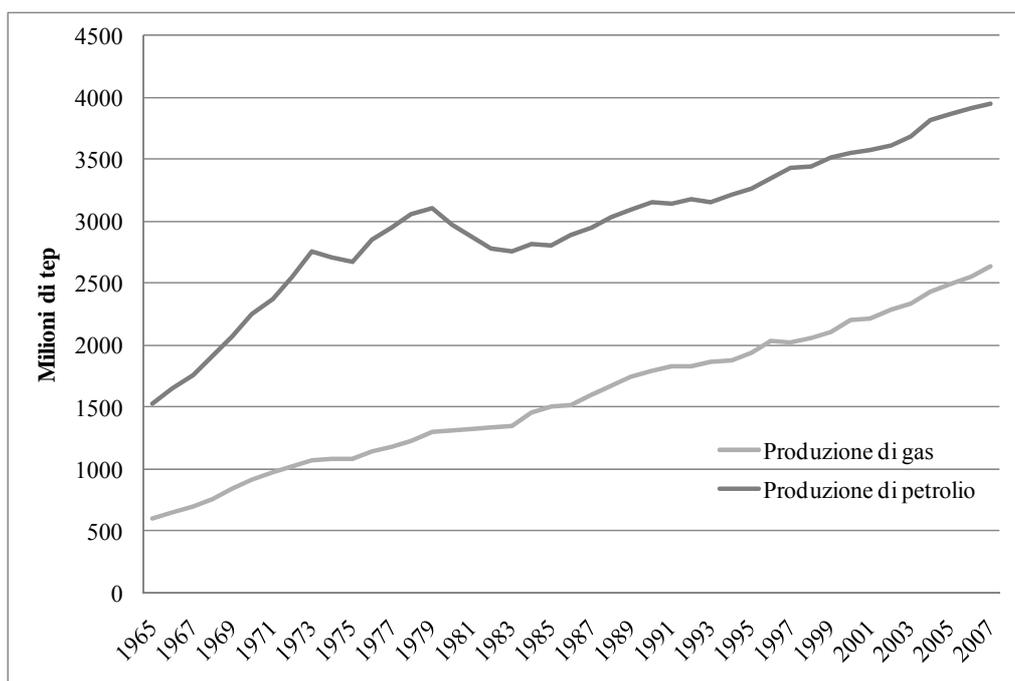
### 3.1.1. Il gas

Il gas naturale è una miscela di gas ad alto contenuto energetico, prodotta dalla decomposizione anaerobica di sostanze organiche. Esso viene per la maggior parte estratto dai giacimenti petroliferi assieme al petrolio o - in alternativa - può venire estratto tal quale da altri giacimenti detti “metaniferi”. Il gas naturale, che è composto per lo più da metano, può però essere anche rinnovabile: può essere infatti prodotto anche attraverso processi di digestione animale e di fermentazione di sostanza organica. Da questi processi si ottiene quello che viene definito “biogas”, ossia gas derivato da processi biotici.

L’impiego del gas ha avuto un notevole impulso a partire dai primi decenni del secolo scorso quando, intorno agli anni ’30, fu inventata la tecnica di liquefazione<sup>21</sup> che permise lo stoccaggio ed il trasporto in maniera più agevole e compatta del gas naturale. Le caratteristiche chimico-fisiche di questa fonte ne permettono l’impiego in svariati campi: dalla generazione di energia elettrica al riscaldamento domestico fino all’utilizzo per l’autotrazione.

Il gas naturale o metano, come viene commercialmente denominato, svolge attualmente un ruolo importantissimo nello scenario energetico globale: nel 2007 è stato infatti in grado di soddisfare oltre un quinto della domanda di energia primaria globale (Figura 11) (Enerdata, 2007).

Figura 11 – Le produzioni di gas e petrolio a confronto (1965-2007).

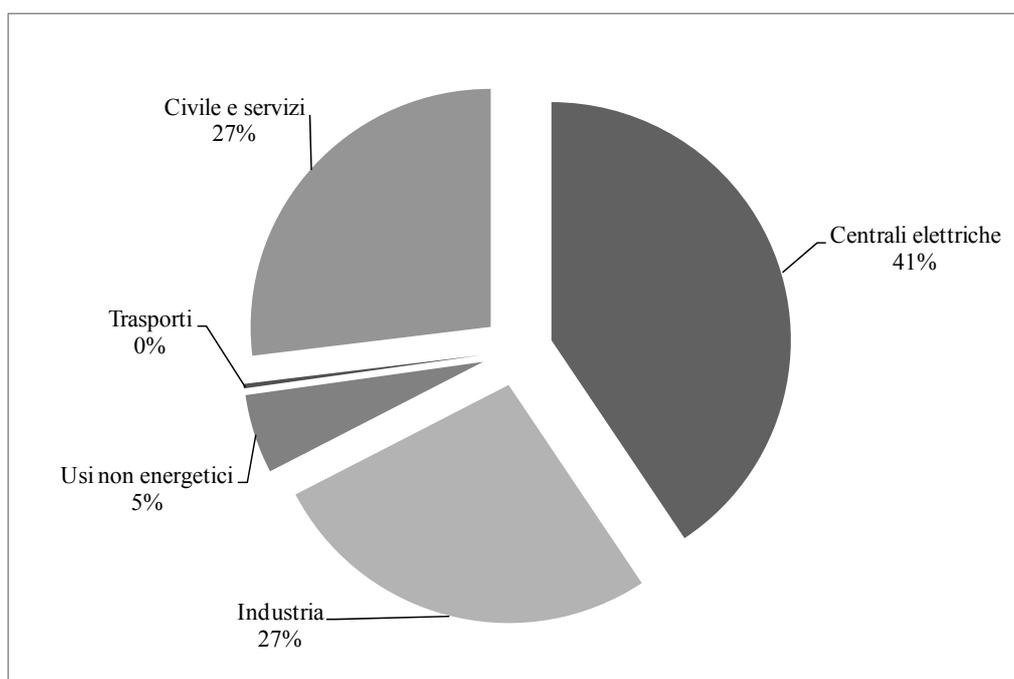


Fonte: BP, 2008.

Il gas, a differenza del petrolio, è invece sempre di più usato per la produzione di energia elettrica (41% del totale nel 2006), mentre il rimanente viene spartito equamente negli impieghi domestici e per gli usi industriali (Enerdata, 2006) (Figura 12).

<sup>21</sup> La liquefazione è un processo in grado di ridurre il volume del gas di quasi 600 volte, permettendo così di ridurre lo spazio necessario allo stoccaggio ed i costi di trasporto. Prodotto della liquefazione è il GNL (Gas Naturale Liquefatto)

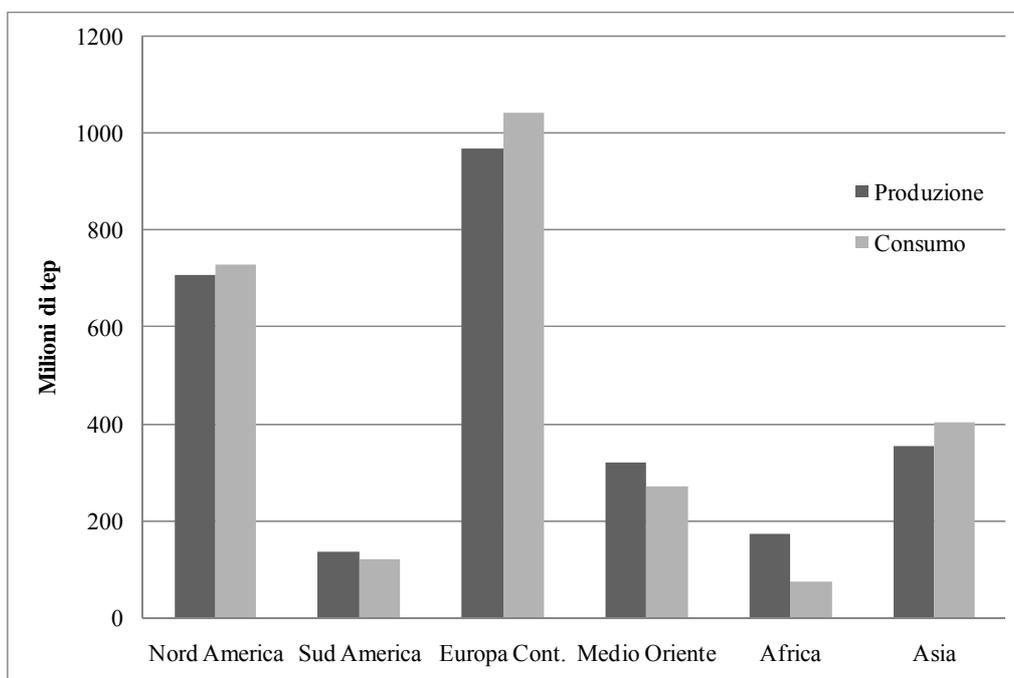
Figura 12 – Impieghi finali del gas naturale per settore produttivo (2006).



Fonte: BP, 2007

Dagli anni '70 ad oggi la produzione mondiale di gas naturale è cresciuta da poco più di 1.000 miliardi di metri cubi agli oltre 2.900 miliardi del 2007.

Figura 13 – Produzione e consumo di gas naturale per area geopolitica (2007).



Fonte: BP, 2008.

Così come per il petrolio, anche le riserve di gas naturale risultano però tecnicamente esauribili: le stime più attendibili parlano di riserve accertate per 160-170 mila miliardi

di metri cubi, sufficienti a garantire, ai livelli di consumo attuali<sup>22</sup>, all'incirca 60 anni d'autonomia.

La maggior parte del gas naturale estratto proviene dai territori CIS<sup>23</sup> dell'ex-Unione Sovietica, che assieme a quello del Nord America, rappresenta oltre il 50% del totale estratto a livello globale. Tra i maggiori importatori e consumatori di gas c'è invece l'Europa, che attinge prevalentemente dall'immenso bacino dell'ex-Urss (Figura 13) (BP, 2008).

### 3.1.2. Il carbone

Il carbone, come gas e petrolio, è un combustibile fossile, che si presenta sotto forma di roccia sedimentaria composta per più del 50% da materiali carboniosi. Si ritiene che questa, si sia formata in seguito alla compressione, alterazione e indurimento di residui vegetali.

In funzione dell'epoca di formazione e del contenuto in carbonio si possono quindi distinguere diverse tipologie di carbone: la più antica forma di carbone, con la più alta percentuale di carbonio, è l'antracite, seguita dalla litantrace, dalla lignite ed infine dalla torba, in cui il contenuto energetico è nettamente inferiore (Tabella 2).

*Tabella 2 – I diversi tipi di carbone e relative caratteristiche.*

	Contenuto in Carbonio (%)	Potere Calorifico (Kcal/Kg)	Epoca di formazione
Torba	50-60	3000-4500	Quaternario
Lignite	60-75	4000-6200	Terziario
Lintracite	75-90	7600-9000	Carbonifero
Antracite	92-95	8300-9000	Carbonifero

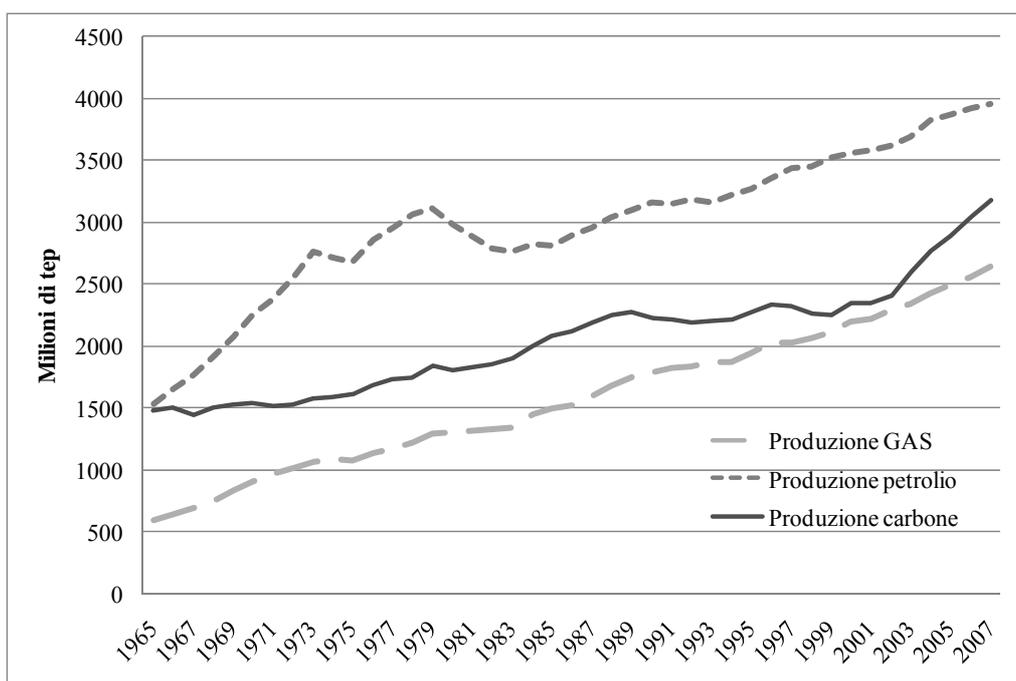
Dalla distillazione della lintracite si ottiene inoltre un residuo solido divenuto particolarmente importante dal punto di vista energetico: il carbon Coke. Quest'ultimo infatti, grazie alle sue caratteristiche chimiche, è impiegato in grandi quantità nell'industria siderurgica.

Come per il petrolio, nonostante fosse conosciuto ed estratto sin dal tardo medioevo, le sue applicazioni in campo energetico sono state propulsive e fondamentali nel corso della prima rivoluzione industriale verso la fine del XVII secolo. Attualmente, nonostante abbia numerosi oppositori che lo considerano tra le fonti energetiche più inquinanti, il carbone ricopre un ruolo fondamentale nella produzione di energia a livello globale. Nel 2007 esso ha contribuito alla produzione del 26,5% dell'energia primaria consumata sulla terra ed al 41% della produzione di energia elettrica. La sua produzione, nonostante l'opposizione degli ambientalisti di tutto il mondo, è andata sempre crescendo, passando dai 3,8 miliardi di tonnellate del 1981 ai 6,4 del 2007 (Figura 14) (Enerdata, 2008).

<sup>22</sup> Nel 2007 sono stati prodotti e consumati all'incirca 8 miliardi di metri cubi di gas al giorno (BP, 2008).

<sup>23</sup> Commonwealth of Independent States (CIS), sono 12 dei 15 stati dell'ex-Urss.

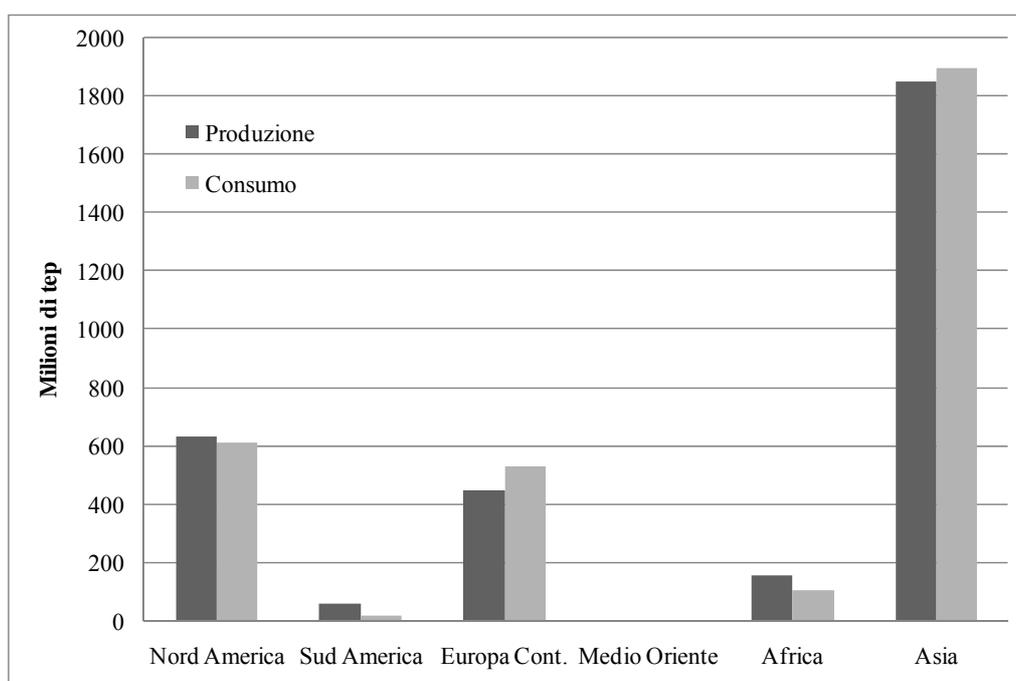
Figura 14 – Le produzioni di gas, petrolio e carbone a confronto (1965-2007).



Fonte: BP, 2008.

Anche in questo caso, studi geologici hanno permesso di formulare delle ipotesi circa la consistenza dei giacimenti carboniferi mondiali, permettendo così di stimare le attuali riserve di carbone in 1 miliardo di milioni di tonnellate. Un quantitativo che, in base ai consumi attuali, risulterebbe sufficiente per altri 150 anni di consumi (Enerdata, 2008).

Figura 15 – Produzione e consumo di carbone per area geopolitica (2007).

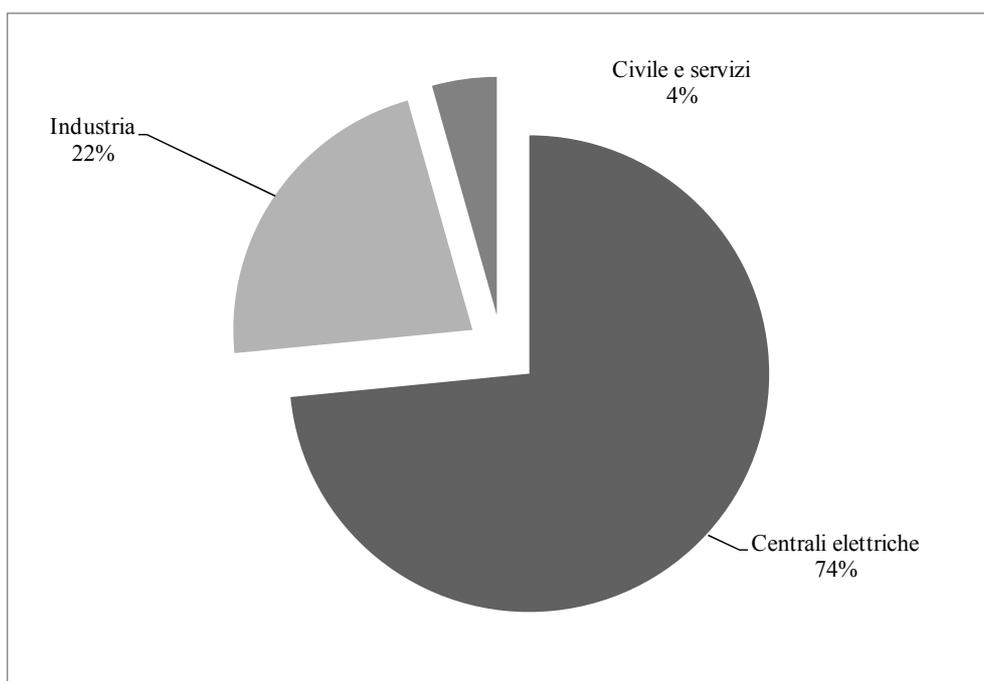


Fonte: BP, 2008.

Attualmente circa il 50% del carbone prodotto a livello globale deriva dai giacimenti asiatici di Cina e India, paesi che allo stesso tempo risultano responsabili del consumo di oltre la metà della produzione globale di carbone, rispettivamente davanti a Stati Uniti ed Europa. Questi ultimi in particolare, hanno ripreso ad impiegarne parecchio in risposta all'aumento dei prezzi degli altri combustibili fossili (Figura 15).

Il carbone viene dunque utilizzato principalmente per alimentare le centrali di produzione di energia elettrica (circa il 74% del totale), mentre circa un quinto (il 21%) del totale viene impiegato dal settore industriale. Di poco conto è infine il quantitativo di carbone impiegato nel settore residenziale e dei servizi, appena il 4% (BP, 2007) (Figura 16).

Figura 16 – Impieghi finali del carbone per settore produttivo (2006)



Fonte: BP, 2007.

### 3.1.3. Il nucleare

Tra le citate fonti energetiche rinnovabili, va annoverata anche l'energia nucleare: pur non avendo le medesime origini delle precedenti, è da considerarsi comunque non rinnovabile sulla scale dei tempi umani.

Da oltre mezzo secolo<sup>24</sup> il nucleare affianca le altre fonti energetiche nella produzione di energia. L'energia nucleare deriva da una reazione denominata di "fissione nucleare" che consiste nella rottura forzata di atomi di materiale radioattivo ad alto peso atomico (Uranio), la cui divisione (fissione appunto) sprigiona una quantità notevole di energia sotto forma di calore, il quale a sua volta riscalda una soluzione che, vaporizzando ed entrando in pressione, permette la produzione di energia.

La reazione esattamente contraria a quella di fissione è detta "fusione" nucleare dove, più atomi dal basso peso atomico (Idrogeno), vengono fusi insieme (da qui appunto il termine fusione) al fine di sprigionare una ancor più grande quantità di energia. La fusione però, è di fatto la reazione nucleare che avviene nelle stelle e - per il momento -

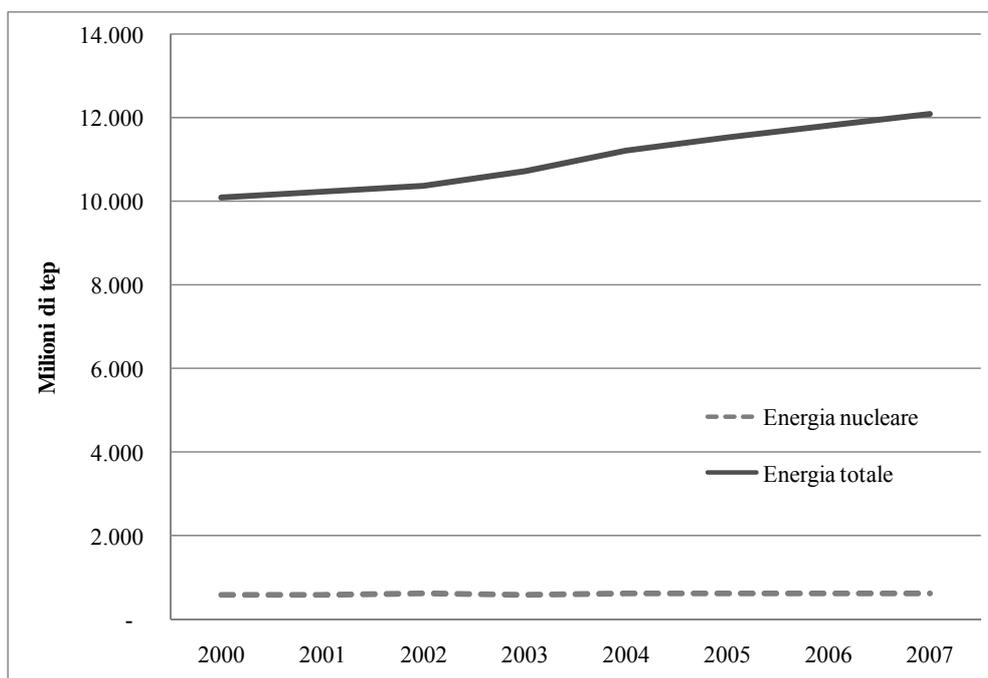
<sup>24</sup> Fu Enrico Fermi a creare a Chicago nel 1942 il primo prototipo di reattore nucleare, mentre il primo reattore utilizzato per generare energia elettrica fu attivato in URSS nel 1954.

l'uomo non è riuscito ancora a replicarne l'effetto in modo da poter utilizzare l'energia sprigionata. Ad oggi l'unica applicazione simile viene adottata nella bomba ad idrogeno (la bomba H), in cui la reazione di fusione non è controllata e non permette la produzione di energia.

Al mondo, secondo l'agenzia nucleare internazionale, alla fine del 2007 erano in funzione 439 centrali nucleari, mentre altre 34 (di cui 19 in Asia) sarebbero in costruzione.

Nel complesso, le centrali in funzione sarebbero state in grado di produrre, nel corso del 2007, poco meno del 6% dell'energia primaria a livello mondiale ed il 15% circa della produzione di energia elettrica (Figura 17) (IEAE, 2007).

*Figura 17 – Contributo dell'energia nucleare alla produzione di energia elettrica e primaria (200-2007).*



*Fonte: Elaborazione su dati BP, 2008; Enerdata, 2007*

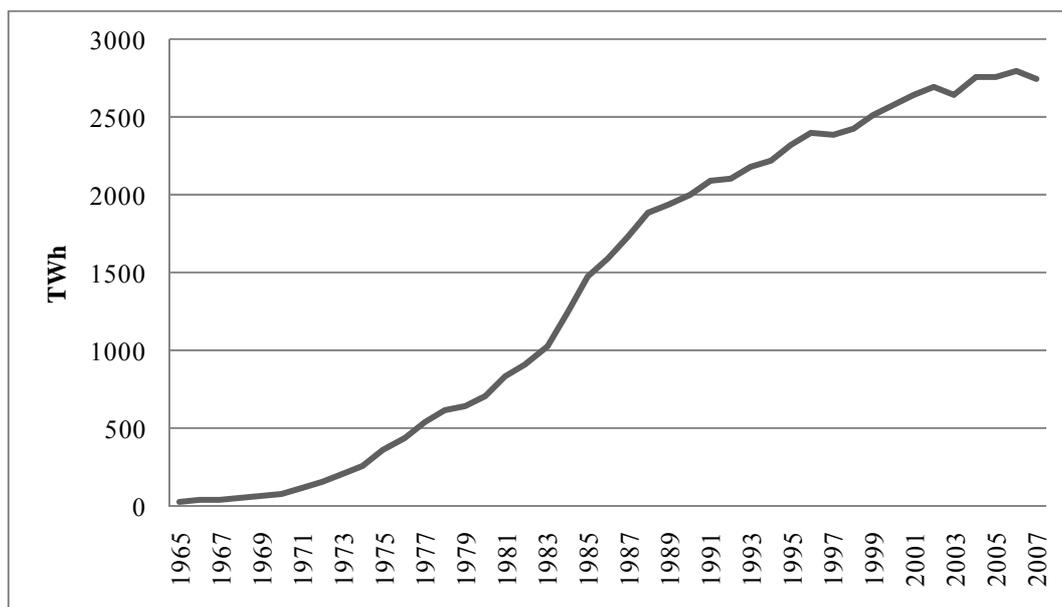
Analizzando invece la produzione di energia nucleare dal punto di vista storico, non si può fare a meno di notare la crescita esponenziale della produzione di energia elettrica, più che raddoppiata nel giro di 20 anni. Nonostante questo notevole progresso, il peso relativo nella produzione di energia elettrica è calato leggermente, passando dal 17% del 1990 all'attuale 15%, soprattutto anche a causa di un contemporaneo aumento dei consumi energetici (Figura 18).

Si può comunque notare che, dopo il notevole balzo degli anni '80, sollecitato dalle due crisi petrolifere degli anni '70, l'interesse per il nucleare si è progressivamente ridotto, tanto che dopo il 2000 la produzione si è sostanzialmente stabilizzata.

Nonostante la fissione nucleare sia stata più volte considerata come unica soluzione al problema energetico, essa porta con sé due problematiche di difficile soluzione.

La prima riguarda la materia prima impiegata e la seconda riguarda invece più da vicino l'impatto ambientale di questa fonte energetica.

Figura 18 – La produzione di energia elettrica da nucleare (1965-2007).



Fonte: BP, 2008.

Il materiale fissile più utilizzato nelle centrali nucleari è infatti l'uranio, un minerale presente in natura come miscela di tre diversi isotopi<sup>25</sup> il più abbondante dei quali è <sup>238</sup>U. Perché la reazione nucleare avvenga in maniera ottimale però, questo deve essere trattato ("arricchito") per far aumentare la concentrazione di uno degli altri suoi isotopi (l'<sup>235</sup>U)<sup>26</sup>. Il problema risiede nel fatto che l'uranio è sì presente sulla terra in maniera diffusa, ma in basse concentrazioni.

Si stima che al mondo siano presenti in totale circa 5,5 milioni di tonnellate di ossido di uranio, che andranno prima o poi certamente esaurite. Si pensi infatti che, allo stato attuale, la produzione mondiale annua di uranio metallico si aggira intorno alle 40.000 tonnellate (oltre la metà delle quali provenienti da Canada, Australia e Kazakistan), contro una richiesta del mercato che supera le 67.000 (WNA, 2006). Di conseguenza, nonostante non possa essere considerata una fonte fossile, rimane comunque una fonte esauribile, per lo meno fin tanto che non verrà scoperta la possibilità di realizzare impianti di produzione d'energia in grado di sfruttare la fusione nucleare.

A conti fatti, le scorte certe di uranio, dovrebbero essere in grado di assicurare la produzione di energia nucleare per lo meno per altri 85 anni (WEC, 2007; IEAA, 2007). La seconda delle problematiche, di natura maggiormente ecologica, riguarda invece lo smaltimento delle scorie derivate dall'esaurimento dei materiali usati nella fissione. Per questi residui altamente radioattivi<sup>27</sup> non è stato tutt'ora trovato un ricovero adatto<sup>28</sup> a prevenire del tutto i rischi di eventuali contaminazioni, senza contare il fatto che i costi di smaltimento (potenzialmente enormi) non vengono sempre considerati tra le voci di costo nel calcolo della convenienza di questa fonte energetica.

<sup>25</sup> Un isotopo è un atomo di uno stesso elemento chimico che ha stesso numero atomico, ma differente numero di massa. In altre parole contiene lo stesso numero di protoni ma un diverso numero di neutroni.

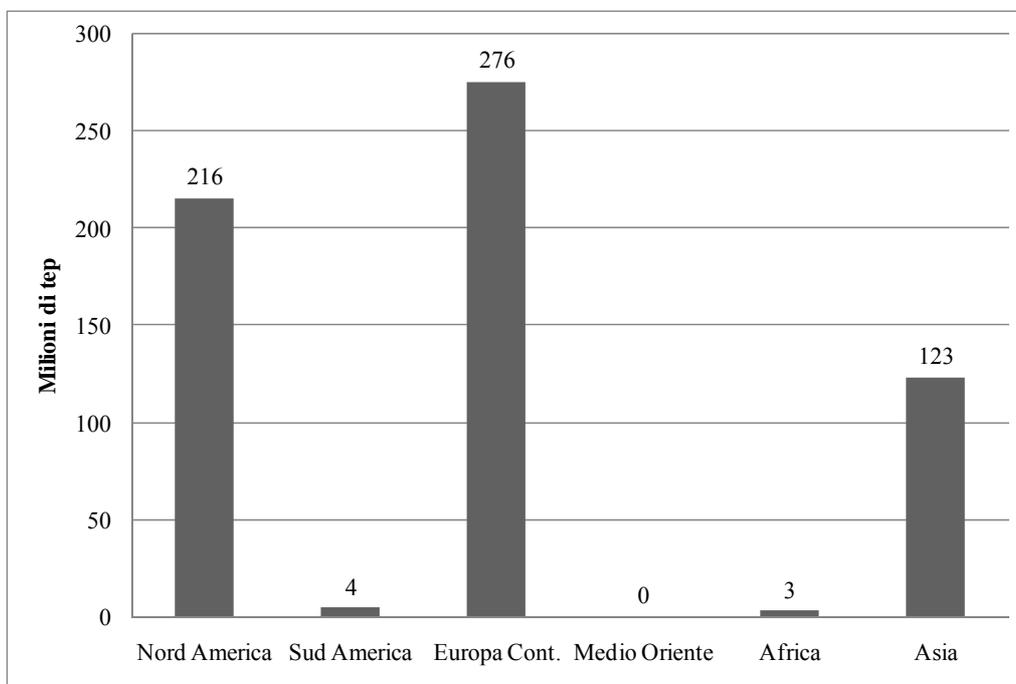
<sup>26</sup> Si viene a creare così l'uranio impoverito usato spesso in campo militare.

<sup>27</sup> L'utilizzo di <sup>235</sup>U produce ad esempio plutonio, elemento base delle bombe atomiche, il cui tempo medio di decadimento è stimato in 24.000 anni.

<sup>28</sup> I ricoveri attualmente considerati tra i migliori risultano quelli ricavati in miniere di sale abbandonate, o in cave di granito, luoghi in cui le infiltrazioni di acqua dovrebbero essere praticamente nulle.

La maggior parte della produzione di energia atomica mondiale (44%) si concentra nell'Europa continentale, soprattutto in Francia e in Russia, mentre l'America del Nord produce e consuma circa un terzo dell'energia nucleare a livello globale. Giappone e Corea del Sud infine rappresentano il restante 20% (BP, 2008) (Figura 19).

Figura 19 – Produzione di energia nucleare per area geopolitica (2007).



Fonte: BP, 2008.

### **3.2. Le fonti energetiche rinnovabili**

Sono energie rinnovabili quelle forme di energia generate da fonti il cui utilizzo non pregiudica le risorse naturali per le generazioni future o che, per loro caratteristica, sono in grado di rigenerarsi nella scala dei tempi umani: inesauribili nel lungo periodo. Nonostante al mondo esistano numerose fonti energetiche di tipo rinnovabile, nel 2007 esse hanno rappresentato solamente il 12% circa dell'energia primaria e il 18,7% dell'energia elettrica prodotta a livello globale (Enerdata, 2008).

Le fonti energetiche rinnovabili (d'ora in avanti FER), sono d'altro canto tra le più antiche e comuni fonti energetiche utilizzate dall'uomo: il loro sfruttamento, grazie all'innovazione tecnologica, si è evoluto di pari passo con l'evoluzione della società.

Le FER possono derivare da una serie numerosissima di fonti naturali: tra le più conosciute ci sono l'energia eolica, quella solare, quella idroelettrica, quella geotermica e quella derivata dalle biomasse. Tutte queste fonti, fanno parte del bagaglio culturale e sociale che l'uomo ha avuto da molti secoli al proprio fianco: basti ricordare che il legname è da sempre stato al centro degli utilizzi per il focolare domestico prima ancora che si affermasse l'idea di civiltà; l'energia solare (termica) veniva utilizzata anche nell'antico Egitto, mentre l'energia eolica e dell'acqua è stata impiegata per far mettere in funzione mulini nei tempi più remoti.

Oltre a queste però, l'evoluzione ha permesso di adottare nuove tecnologie che sono state in grado di utilizzare altre fonti (l'energia del moto ondoso o delle correnti marine), ma anche di reinventare l'utilizzo di altre già conosciute (il fotovoltaico, i pellets di legno ...).

#### **3.2.1. Le biomasse**

L'incertezza circa la disponibilità futura delle fonti energetiche fossili, unita ad una loro preponderante presenza in aree politicamente instabili e le sempre più attuali preoccupazioni riguardanti lo stato di salute del globo, hanno stimolato una crescente attenzione verso la ricerca di fonti energetiche alternative.

Tra tutte le FER, le biomasse risultano in assoluto la fonte energetica rinnovabile più importante: hanno permesso di produrre nel 2007 il 9,9% dell'energia primaria consumata a livello mondiale e, nel 2004, i dati dell'IEA hanno dimostrato che tale percentuale rappresentava ben l'81% del complessivo contributo delle rinnovabili sull'offerta mondiale di energia.

A livello internazionale esse sono definite come "...la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani (Direttiva UE 18/2001)".

Con il termine "biomassa" ci si può però riferire 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. Essa rappresenta infatti la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare. E' da questa energia che le piante convertono la CO<sub>2</sub> atmosferica in materia organica, attraverso il processo di fotosintesi che trasforma la radiazione solare in energia chimica.

Sono infatti considerati utilizzabili ai fini energetici tutti quei materiali organici che possono essere impiegati direttamente o indirettamente come combustibili: i sottoprodotti delle produzioni erbacee, arboree e delle prime lavorazioni agroindustriali; i sottoprodotti delle operazioni forestali, per il governo dei boschi e per la produzione di legname da opera, e delle prime lavorazioni del legno o altro (residui dei tagli dell'erba, delle foglie, etc.); le colture (arboree ed erbacee) destinate specificatamente alla

produzione di biocarburanti e biocombustibili; i reflui zootecnici destinati alla produzione di biogas; la parte organica dei rifiuti urbani; i residui inutilizzabili di produzioni destinate all'alimentazione umana o animale (pule dei cereali, canna da zucchero ecc).

Proprio per questa diversità, le biomasse rappresentano una fonte energetica altamente versatile che, a partire da una serie pressoché infinita di materie organiche, possono essere trasformate in combustibili solidi, liquidi o gassosi, le cui caratteristiche principali sono di seguito descritte.

### **3.2.2. Biocombustibili**

Con il termine biocombustibili si indicano in genere diverse tipologie di sostanze organiche impiegabili al fine di produrre energia. In questo contesto vengono considerati biocombustibili le sostanze organiche di tipo solido generalmente identificate come biomasse legnose e residui di lavorazioni o coltivazioni agricole. L'impiego di biocombustibili delle più disparate origini ha permesso la creazione di filiere alternative per i sottoprodotti di altre lavorazioni che, se prima rappresentavano materiale di scarto, ora possono essere invece utilizzati. Si pensi ad esempio agli scarti delle aziende alimentari, ai residui delle lavorazioni dei raccolti, agli avanzi delle produzioni di falegnameria o ancora alle enormi quantità di "black liquor"<sup>29</sup> prodotte a livello mondiale nel processo di produzione della carta (WEC, 2007).

Non solo gli scarti o gli esuberi vengono impiegati come biocombustibili, ma possono esserlo anche coltivazioni "ad hoc": un tempo infatti le siepi ed i filari a contorno delle proprietà si piantavano anche con la finalità di produrre legna da ardere, mentre in tempi più recenti tale ruolo è stato affidato a coltivazioni energetiche dedicate come le SRF<sup>30</sup>.

Le centrali impiegate nello sfruttamento di tali risorse sono in genere in grado di produrre due tipi di energia: da un lato quella termica derivata dalla combustione diretta delle biomasse, trasformata e trasferita alle eventuali utenze esterne tramite teleriscaldamento; dall'altro quella elettrica generata da apposite turbine che sfruttano l'energia immagazzinata nel vapore generatosi dalla combustione.

Dal punto di vista statistico appare però assai arduo stimare la produttività in termini energetici di tali combustibili. Il loro utilizzo infatti, seppur concentrato in grossi quantitativi presso grandi impianti, è peculiare anche e soprattutto negli usi domestici privati che di solito sfuggono in gran parte alle indagini di questo settore.

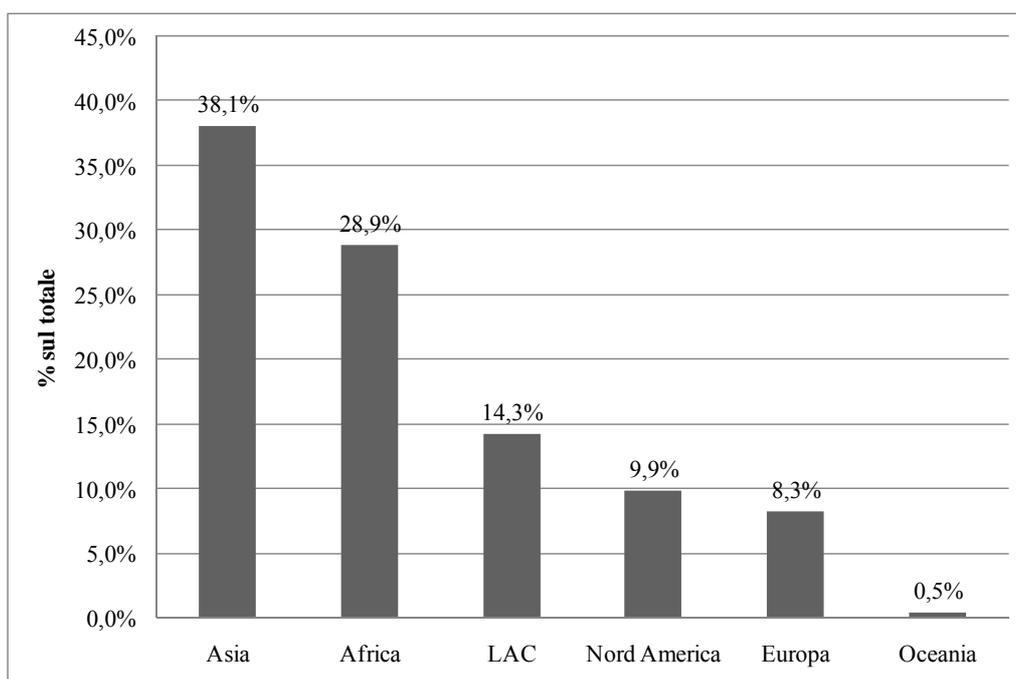
Sulla base di alcune stime, nel 2005 sarebbero stati prodotti all'incirca 526 Mtep di energia primaria da biomasse solide, il 70% delle quali provenienti da Asia, America Latina ed Africa (Figura 20). Il contributo delle biomasse solide alla produzione di energia elettrica invece rimane più limitato anche a causa delle sopracitate difficoltà di stima: nel 2007 a livello globale avrebbero contribuito a produrre circa 259 TWh, una produzione che, anche se cresciuta del 60% in dieci anni, ha permesso di coprire appena l'1,3% della domanda globale di energia elettrica (WEC, 2007).

---

<sup>29</sup> Il "black liquor" è una soluzione acquosa derivata dalla lavorazione del legno nella produzione della carta, contiene un'alta percentuale di lignina ed emicellulosa, non gradite nella carta. Nel 2005 sono stati impiegati a fini energetici circa 114 milioni di tonnellate di black liquor (WEC, 2007).

<sup>30</sup> Le Short Rotation Forestry (SRF) sono impianti artificiali di talee a veloce accrescimento (in genere pioppi o salici) gestite con turni di 2-5 anni con l'unico scopo di produrre biomassa legnosa da poter bruciare.

Figura 20 – Produzione di energia da biomasse solide per area geopolitica (2006).



Fonte: WEC, 2007.

### 3.2.3. Biocarburanti

Si definisce biocarburante “un carburante liquido o gassoso per i trasporti ricavato dalla biomassa”, definita a sua volta come quella “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”<sup>31</sup>.

I biocarburanti rappresentano quindi la controparte liquida delle biomasse, impiegabili in sostituzione dei combustibili fossili nell'autotrazione. Vengono generalmente distinti due principali tipi di biocombustibili: gli oli vegetali da un lato e gli alcoli dall'altro.

I primi sono impiegati per realizzare un sostituto del carburante diesel e vengono catalogati come “biodiesel”, i secondi invece tendono ad essere miscelati alle benzine tradizionali in diverse quantità e sono rappresentati dal bioetanolo.

Queste tipologie di biocombustibili, sono da lungo tempo<sup>32</sup> indicate come alternative all'inevitabile esaurimento dei combustibili di origine fossile che tuttora dominano lo scenario energetico globale.

Il biodiesel è frutto della raffinazione dell'olio grezzo ottenuto mediante spremitura e raffinazione dei semi di piante oleaginose (soia, colza, girasole ...), contenenti alte quantità di grassi vegetali. Il prodotto di questa lavorazione può essere impiegato puro o in percentuali variabili al posto del gasolio tradizionale: si ottengono così consumi leggermente superiori e prestazioni leggermente inferiori (Peterson C., 1997).

<sup>31</sup> Sono le definizioni riportate nella direttiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell' 8 maggio 2003 “sulla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti”, Articolo 2.

<sup>32</sup> Già Henry Ford (1863-1843), fondatore dell'omonima casa automobilistica, quando nel 1908 lanciò il primo modello di automobile (la “Ford T”) pensò all'etanolo, derivato da materiale biologico e quindi rinnovabile, come carburante per il futuro.

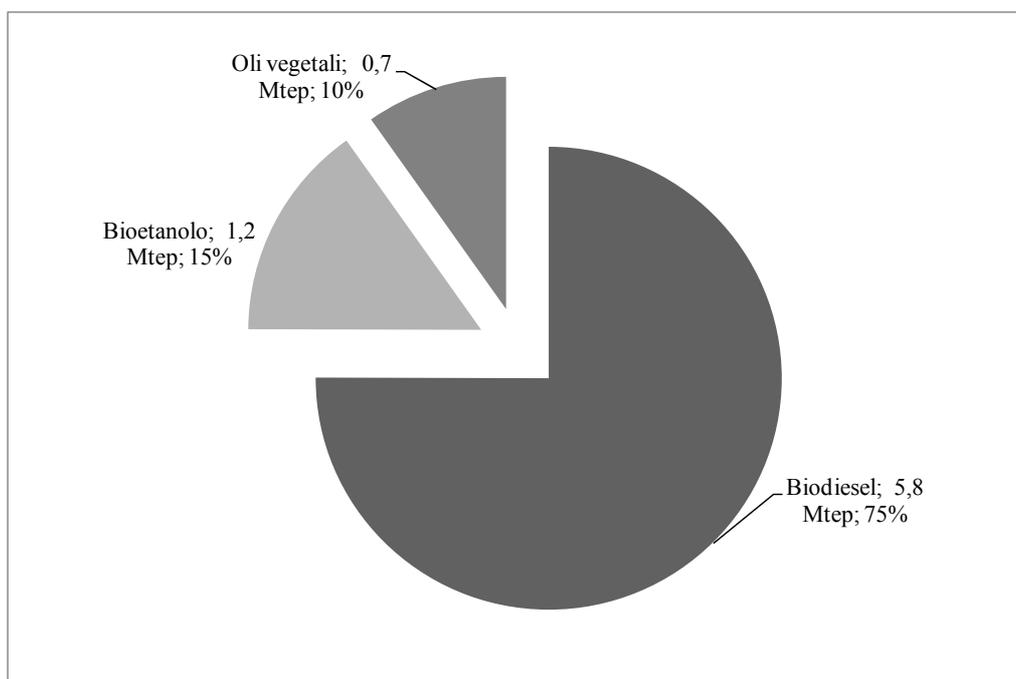
Il bioetanolo è invece un alcol ottenuto dalla fermentazione alcolica dei glucidi contenuti in diversi prodotti agricoli ricchi di carboidrati e zuccheri (cereali, barbabietole, canna da zucchero, ecc.). Il carburante così ottenuto può essere aggiunto nelle benzine a percentuali variabili fino al 10% (E10) senza dover modificare il motore, mentre per utilizzare concentrazioni maggiori (E85 o E100) sono necessari motori appositamente progettati (è il caso dei motori “Flex fuel”). Al contrario del biodiesel però, il suo utilizzo contribuisce ad aumentare sensibilmente le prestazioni dell’automobile, a fronte di un lieve peggioramento dei consumi (Strassoldo, 2006)

Esiste poi un terzo tipo di biocombustibili rappresentato dagli oli grezzi, frutto della prima raffinazione e trasformazione del biodiesel, impiegati soprattutto in grandi motori diesel per la produzione di energia elettrica.

L’entusiasmo suscitato dai biocarburanti negli ultimi anni ha fatto sì che la loro produzione sia cresciuta in maniera sostenuta in tutto il mondo. Stando a quanto riportano gli studi di settore, nel 2006 sono stati consumati 38 miliardi di litri di bioetanolo, e 6 miliardi di litri di biodiesel: insieme, le due produzioni hanno rappresentato appena il 3% degli oltre 1.500 miliardi di litri di carburante consumati nel 2006 a livello globale (Bezzo, 2006; IEA, 2005).

A livello Europeo invece, dove è maggiore l’attenzione verso queste produzioni, nel 2007 i biocombustibili hanno rappresentato circa il 2,6% del mercato dei carburanti. In Europa è però il biodiesel a rappresentare la maggior parte della produzione con 6,7 milioni di tonnellate, contro 1,8 milioni di bioetanolo (EurObserver, 2008) (Figura 21).

*Figura 21 – La produzione di biocarburanti in Europa (EU27) (2007).*



*Fonte: EurObserver, 2008.*

Nonostante la notevole produzione, appare ancora lontano l’obiettivo di raggiungere una quota di mercato dei biocombustibili pari al 5,75% entro il 2010<sup>33</sup>.

<sup>33</sup> Direttiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, dell’8 maggio 2003, “sulla promozione dell’uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti”, integrata dalla comunicazione del Consiglio “Strategia Europea per i biocarburanti 2006”.

Questo obiettivo appare inoltre tanto più lontano quanto più andranno delineandosi le reali problematiche legate alla produzione di questi prodotti energetici: la loro produzione infatti comporta l'impiego di estese aree agricole che vengono convertite alla produzione di prodotti non alimentari creando non poche conseguenze sui mercati internazionali.

Secondo un rapporto della Banca Mondiale, i biocarburanti avrebbero contribuito alla crescita del 75% del prezzo dei beni agroalimentari. Si tratta dunque di un problema che va affrontato attentamente da diversi punti di vista e che certamente non risulta di facile e immediata soluzione.

### **3.2.4. Biogas**

Con il termine biogas si intende una miscela di gas prodotti dalla fermentazione in assenza di ossigeno di residui organici di diversa provenienza: dai liquami zootecnici o di fognatura, agli scarti delle industrie alimentari, dalle discariche al compost etc.

L'intero processo ha origine dalla decomposizione del materiale organico da parte di alcuni tipi di batteri che producono principalmente metano, anidride carbonica ed idrogeno molecolare. Il primo di questi gas, il metano, è il più importante sia dal punto di vista quantitativo (è pari in genere a più della metà del volume della miscela di gas prodotto) che qualitativo: è il gas che meglio può essere sfruttato per il suo elevato contenuto energetico (11.600 Kcal/Kg).

Attualmente, la maggior parte del biogas viene prodotto grazie allo sfruttamento delle discariche esaurite, dove la decomposizione in assenza di ossigeno ad opera degli organismi decompositori, permette la produzione di metano e anidride carbonica. L'altra importante fonte di biogas è invece rappresentata dallo sfruttamento dei liquami e letami prodotti dalla zootecnia.

I dati relativi alla produzione globale di biogas sono però difficili da trovare, anche in relazione alle numerose applicazioni su piccola scala che ne rendono arduo il censimento. I dati più attendibili riguardano esclusivamente il mercato europeo, secondo il quale nel 2007 sarebbero stati prodotti circa 5,9 Mtep di energia primaria da biogas, in crescita del 10% rispetto al 2006, e derivanti per oltre il 50% dallo sfruttamento delle discariche (2,9 Mtep nel 2007) (EurObserver, 2007).

### **3.2.5. Benefici e criticità legate all'impiego di biomasse**

Tra le più importanti caratteristiche della biomassa c'è sicuramente lo stretto legame con il territorio in cui viene prodotta. Le biomasse sono disponibili e diffuse praticamente ovunque nel globo, anche se in qualità e quantità diverse. Per questo motivo risultano praticamente accessibili a tutti venendo considerate una fonte energetica locale, alla portata di tutti, dai paesi ricchi a quelli in via di sviluppo.

In effetti, le biomasse sono state la prima fonte di energia utilizzata dall'uomo e sono tuttora quella più utilizzata. Nei paesi in via di sviluppo le biomasse alimentano il fuoco in camini e stufe, mentre nei paesi sviluppati (prima di tutto Finlandia, Svezia e Austria), parlando sempre di usi domestici, alimentano caldaie che possono avere rendimenti elevati (superiori all'80%) e che possiedono ottimi meccanismi di controllo sulle emissioni inquinanti (Fiorese, 2007).

Tutte le civiltà hanno dimestichezza - in misura maggiore o minore - nell'utilizzo delle biomasse a scopo energetico. Questo costituisce un secondo vantaggio per questa fonte rinnovabile: quando le tecnologie più efficienti saranno ampiamente usate nei paesi industrializzati, sarà più semplice esportare le tecnologie nei paesi in via di sviluppo per

favorire la produzione locale e sostenibile di energia, in luoghi in cui questa è estremamente rara o costosa (Fiorese, 2007).

Le biomasse risultano poi molto importanti nel controllo delle emissioni di anidride carbonica, tanto da spingere l'UE ad indicare nella produzione di bioenergie uno degli strumenti più adatti a ridurre le emissioni di gas serra in atmosfera.

A livello globale infatti, il bilancio della CO<sub>2</sub> relativo alla conversione delle biomasse in energia è considerato neutro poiché le emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte dalla biomassa combusta sono compensate dalla quantità di CO<sub>2</sub> assorbita (attraverso la fotosintesi), durante la crescita. Grazie a questo processo, vengono infatti annualmente fissate circa  $2 \times 10^{11}$  tonnellate di carbonio, con un contenuto energetico dell'ordine di  $70 \times 10^3$  Mtep (Fiorese, 2007).

Oltre all'abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub>, si deve considerare che l'impiego di biomasse a fini energetici sostituisce in parte quello dei combustibili fossili, evitando così le emissioni inquinanti derivati dal loro uso (SO<sub>2</sub>, il CO, benzene ...).

Nella produzione di energia da biomasse dunque, la quantità di CO<sub>2</sub> immessa in atmosfera è esclusivamente quella derivante dai processi di raccolta e trasporto della materia prima o di trasformazione della stessa in altra forma di biocombustibile.

Un altro aspetto positivo dell'impiego di biomasse a fini energetici è rappresentato dal fatto che l'utilizzo degli scarti e dei residui di lavorazioni agro-industriali, nonché della frazione organica dei rifiuti, contribuirebbe ad alleviare il problema ambientale dello smaltimento di queste sostanze, recuperando una parte del loro contenuto energetico.

Ancora, la creazione e lo sviluppo di aree agricole destinate a colture energetiche dedicate, può contribuire al controllo dell'erosione e alla riduzione del dissesto idrogeologico di zone collinari e montane, oltre che permettere il recupero di terreni abbandonati ed incolti. Una riconversione di questo tipo inoltre, potrebbe risollevare in parte le sorti del comparto agricolo, dando nuovo stimolo alle economie rurali collegate. Tutto il sistema di produzione della bioenergia, partendo dalle filiere di produzione agli impianti di trattamento e conversione, andrebbe quindi a formare un settore economico in espansione, contribuendo anche alla creazione di nuovi posti di lavoro e opportunità di sviluppo. Questa tendenza a sua volta potrebbe invertire l'attuale tendenza all'abbandono delle campagne<sup>34</sup>, apportando un beneficio in tutte quelle zone marginali afflitte da un alto tasso di disoccupazione.

Sotto l'aspetto economico infine, l'utilizzo della biomassa, in qualità di fonte autoctona di energia, potrebbe contribuire a ridurre la dipendenza energetica dagli altri paesi e, più in generale dalle fonti di energia fossili.

A questo aspetto si aggiunge poi il fatto che, la recente liberalizzazione del mercato dell'energia, può essere vista come una apertura anche nei confronti degli operatori agricoli che vedrebbero così diversificata ed in parte integrata la propria fonte di reddito, oltre che incrementare il numero degli addetti<sup>35</sup>.

D'altro canto, è necessario però sottolineare che l'impiego di biomasse a fini energetici può mostrare anche alcuni punti di debolezza.

Ad esempio, nonostante l'interesse verso questa fonte energetica sia cresciuto notevolmente negli ultimi anni, nello scenario economico nazionale non si riscontra ad oggi una crescita così sostenuta del mercato. Tale situazione è in parte legata alla

---

<sup>34</sup> Nel 1982 la superficie agricola utilizzata (SAU) in Italia ammontava a circa 15,8 milioni di ettari; nel 2000 tale valore si è ridotto a circa 13,2 milioni, una diminuzione complessiva di oltre il 16% in poco meno di 20 anni (Istat, 2005).

<sup>35</sup> Si stima infine che, in Europa, l'utilizzo energetico delle biomasse possa portare all'occupazione diretta di 250-300.000 addetti, principalmente nelle aree rurali (Fiorese, 2007).

presenza congiunta di criticità di diversa natura che si oppongono o rallentano l'ulteriore sviluppo del settore.

Sintetizzando gli aspetti di criticità infatti, esse possono essere ricondotte a tre diversi ambiti: tecnologico, economico e politico-istituzionale.

Nel primo caso, è da sottolineare il fatto che, nonostante le tecnologie impiegate per le bioenergie abbiano raggiunto un buon livello di sviluppo, alcune di queste non sono ancora inserite in un mercato vero e proprio: il mero sviluppo tecnologico non è dunque stato in grado di consentire l'innescò di meccanismi di economie di scala, forse anche in virtù del fatto che 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, l'attuale trend di crescita inarrestabile dei prezzi, tende via via ad appianare la differenza di costi che separa le energie fossili dalle bioenergie. È comunque importante sottolineare che la non competitività delle bioenergie deriva in parte anche dal sistema dei prezzi che non va a considerare le esternalità (costi ambientali e sociali) connesse all'utilizzo delle diverse risorse, mentre un altro freno alla diffusione deriva dai costi di investimento iniziali, piuttosto elevati quando le tecnologie sono innovative e quindi meno diffuse.

Infine, esistono criticità legate ad aspetti politici, per cui è necessario considerare la situazione del mercato dell'energia. In Italia ad esempio, il mercato energetico 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 (Fiorese, 2007).

Tuttavia, negli ultimi anni, si è vista una crescente presa di coscienza dell'importanza del settore delle bioenergie, che va gradualmente ad inserirsi nel quadro della politica energetica nazionale, anche attraverso strumenti legislativi appositi e misure attuative. A livello internazionale e nazionale il panorama sta progressivamente mutando, conseguentemente all'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, alla Conferenza Nazionale Energia e Ambiente e alla redazione del PNERB (Piano Nazionale Energie Rinnovabili da Biomasse) e del Libro Bianco per le Rinnovabili. Alcune criticità sono legate anche agli impatti ambientali.

In generale però, i problemi maggiori legati all'impiego delle biomasse su vasta scala, derivano da una visione ecologica del problema: lo sfruttamento continuo dei terreni e dei residui colturali o forestali tendono alla lunga a stressare i suoli che potrebbero manifestare una perdita di nutrienti ed erosioni di vario genere.



## CAPITOLO IV

### 4. Il sistema energetico mondiale

L'analisi storica del consumo di energia primaria a livello globale dimostra che, negli ultimi anni, i consumi energetici sono cresciuti in maniera costante. Tra il 2006 e il 2007 tale crescita è stata del 2,8%, ed ha permesso di giungere una produzione complessiva di oltre 12,1 miliardi di tep

Oltre l'81% di questa energia deriva dall'impiego di fonti fossili.

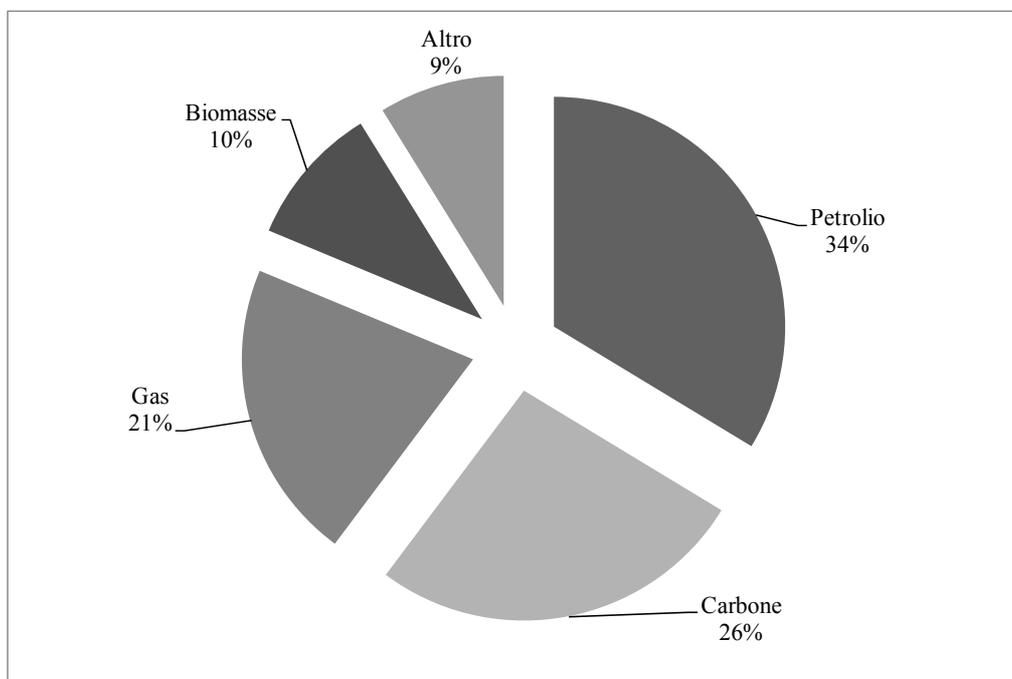
Tra queste il ruolo più importante è sicuramente giocato dal petrolio che, nel 2007, ha permesso di soddisfare il 33,7% della domanda energetica globale. Il secondo posto per importanza spetta al carbone da cui si è prodotto il 26,5% dell'energia, contro il 21,1% derivato invece dal gas naturale.

Quest'ultimo, in particolare, ha visto ultimamente incrementare la sua importanza nello scenario energetico mondiale. I recenti rincari dei prodotti petroliferi hanno infatti fatto segnare un calo dei consumi di greggio rispetto al 2006 (-0,7%), favorendo l'aumento dei consumi di gas (+1,6%) e, in misura minore, di carbone (+0,7%).

L'esigua fetta dei consumi non rappresentati dalle fonti fossili è stata coperta invece principalmente dalle biomasse, fonte che si è confermata in assoluto come la più importante delle FER, coprendo nel 2007 il 9,9% del consumo di energia primaria a livello mondiale.

Il rimanente 8,8% infine, è stato coperto invece da un mix di altre fonti, le più importanti delle quali risultano l'idroelettrico ed il nucleare. Altre fonti rinnovabili come eolico, solare e geotermico, nonostante il forte impulso ricevuto, hanno permesso di coprire ancora solo frazioni infinitesimali della domanda energetica globale (Figura 22) (Enerdata, 2008).

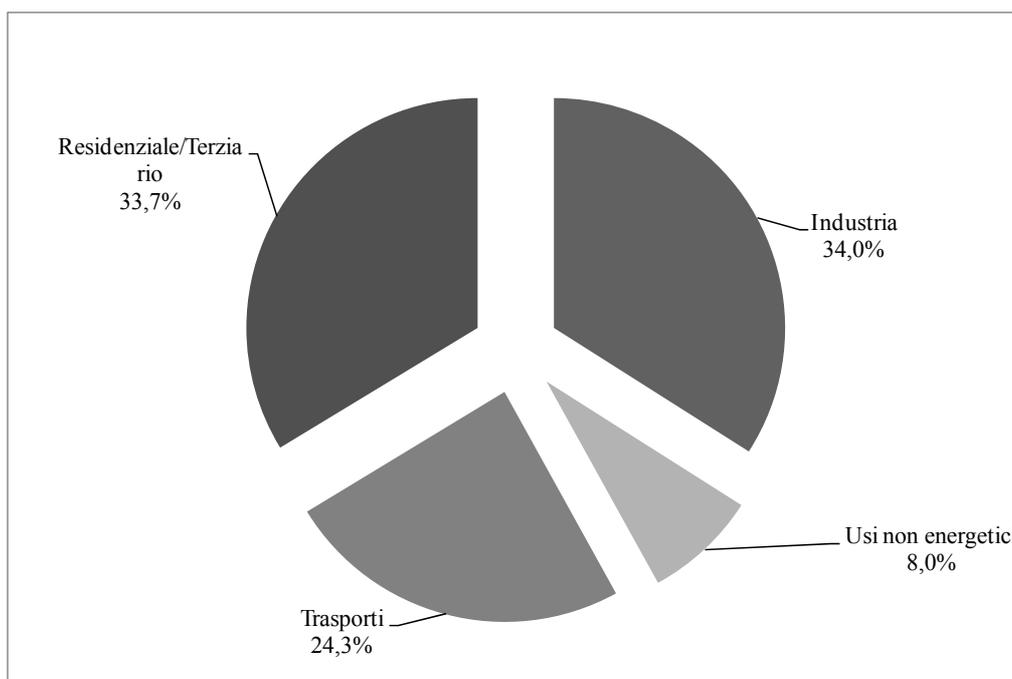
Figura 22 – Le fonti di energia primaria (2007).



Fonte: Enerdata, 2008.

La maggior parte dell'energia primaria (38%) è consumata dal settore residenziale e terziario, mentre il settore industriale e quello dei trasporti assorbono una quantità più o meno simile di energia primaria con quote del 28 e 26% rispettivamente. A questi vanno aggiunti infine gli impieghi non energetici delle fonti primarie (derivati principalmente dalla raffinazione dei prodotti petroliferi) che costituiscono circa l'8% del totale (Figura 23).

*Figura 23 – Impieghi finali per settore produttivo (2006).*



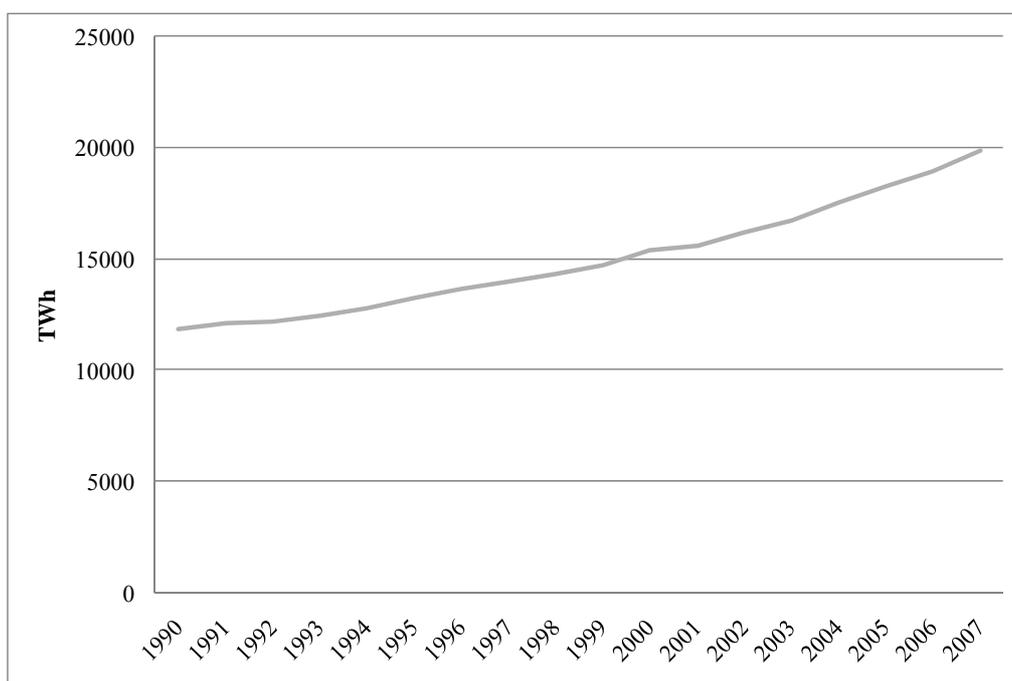
*Fonte: Enerdata, 2007.*

Nel corso del 2007 sono stati prodotti nel complesso 19.887 TWh<sup>36</sup> di energia elettrica, il 4,7% in più rispetto al 2006 (Figura 24). Tale crescita, come nel caso dell'energia primaria, è stata trascinata dall'oriente che ha rappresentato il 63% dell'aumento. Non a caso, l'Asia rappresenta nel complesso oltre il 35% della produzione di energia elettrica del globo, sostenuta in larga parte dalla sola Cina che vale il 16% di tale produzione. Ancora una volta però sono gli Stati Uniti in testa alla classifica dei produttori con il 22% del totale (Figura 25) (Enerdata, 2008).

Diverso invece il mix di fonti energetiche che ha permesso la produzione mondiale di energia elettrica: in questo caso è infatti il carbone a soddisfare la maggior parte della domanda (41%). In ordine di importanza seguono poi il gas con il 21%, l'idroelettrico con il 16% ed il nucleare con il 14%. Il petrolio mantiene questa volta un ruolo solo marginale (6%), mentre ancor più marginale - seppure in crescita - è stato l'apporto delle biomasse che, nel 2007, era pari all'1,3% della produzione globale di energia elettrica. Eolico ed altre fonti hanno infine rappresentato poco meno del 2% della produzione complessiva (Figura 26).

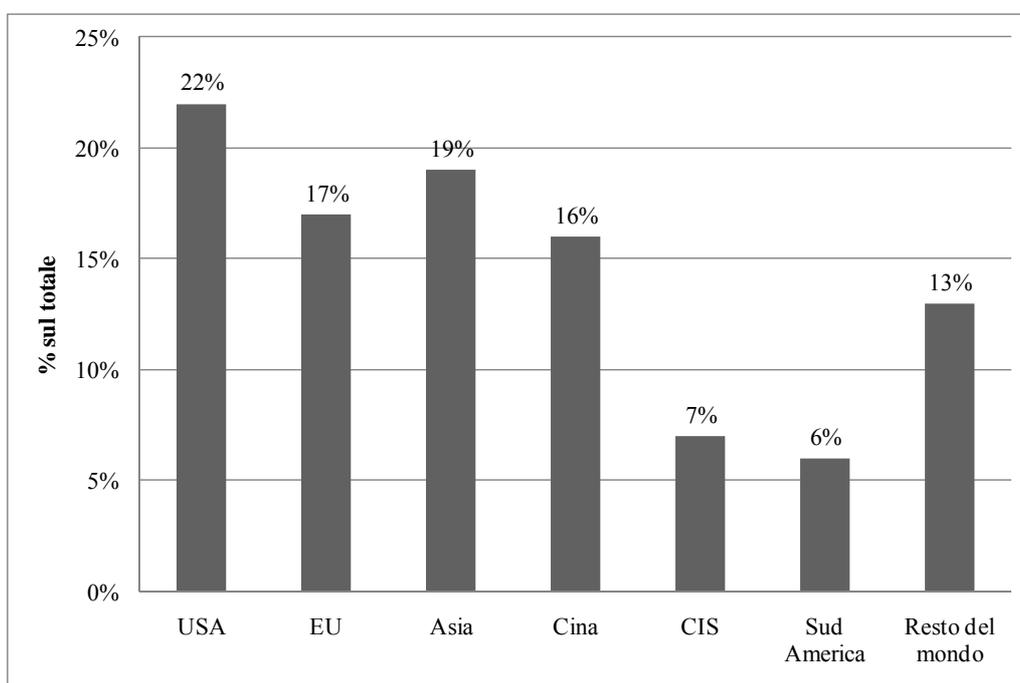
<sup>36</sup> Tera Watt Ora ( $10^{12}$  Wh)

Figura 24 – La produzione globale di energia elettrica (2007).



Fonte: BP, 2008.

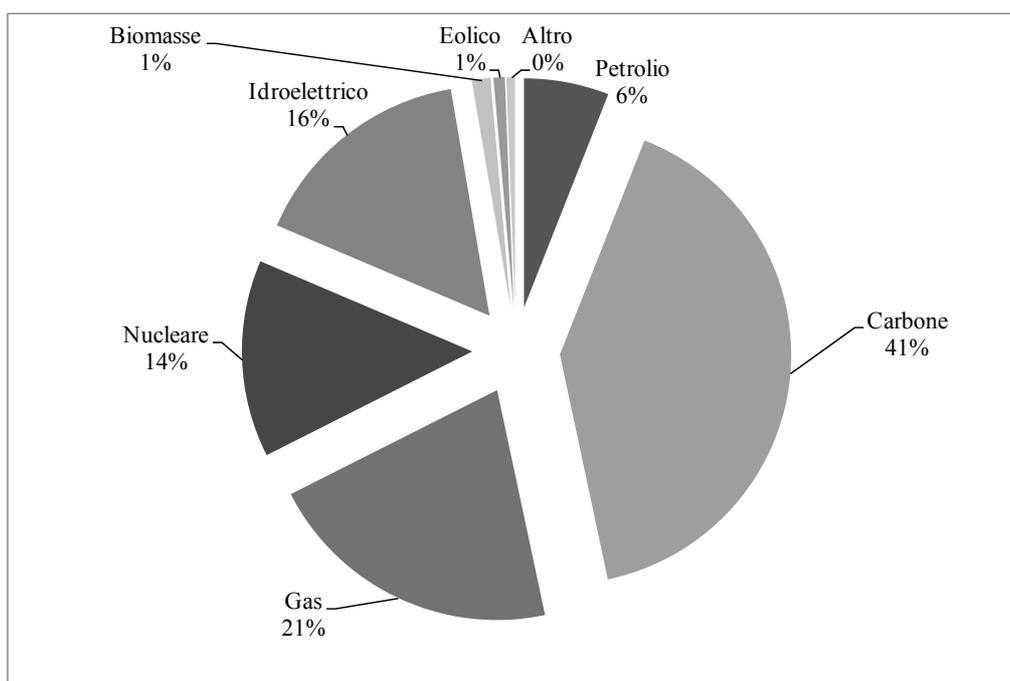
Figura 25 – La produzione di energia elettrica per area geopolitica (2007).



Fonte: Enerdata, 2008.

Anche in questo settore, nonostante le FER rappresentino una fetta considerevole dell'offerta di energia elettrica (quasi il 20%), le fonti fossili continuano a dominare la scena, coprendo anche in questo caso oltre l'80% del fabbisogno energetico mondiale.

Figura 26 – Produzione di energia elettrica nel mondo per fonte (2007).



Fonte: Enerdata, 2008.

#### 4.1. Le FER nell'offerta mondiale di energia

Come accennato, nel gruppo delle FER, sono comprese oltre alle biomasse e all'idroelettrico, anche l'eolico, il geotermico, il solare e gli RSU<sup>37</sup>, nonché l'energia derivata dal moto ondoso, dalle maree e correnti marine.

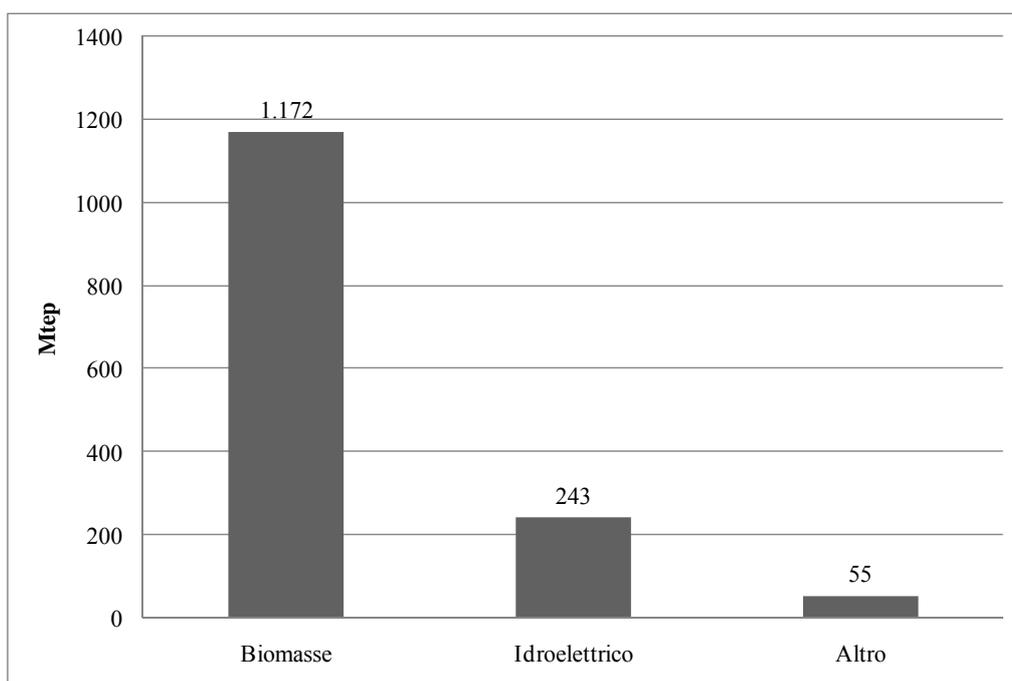
Le ultime dettagliate statistiche disponibili su queste fonti (IEA, 2007), affermano che le FER sono state in grado di coprire (nel 2004) circa il 13,1% della domanda mondiale di energia primaria. In particolare, le biomasse solide hanno rappresentato l'81% di tale contributo mentre, in ordine di importanza seguono l'idroelettrico (16% circa), l'energia geotermica (3% circa), ed infine solare, eolico ed energia dal mare che insieme rappresentavano appena lo 0,8% della produzione totale da FER (Figure 27 e 28).

Come si può notare nella figura successiva (Figura 29), il contributo delle FER alla produzione di energia primaria è cresciuto in media del 2,3% all'anno nel periodo 1970-2004, una crescita leggermente più forte di quella fatta registrare dalla domanda di energia nello stesso periodo (pari al 2,2% medio annuo). Le cosiddette "nuove FER" però, rappresentate per la maggior parte da solare, eolico e geotermico, hanno fatto registrare un aumento medio nettamente superiore, pari all' 8,2%, ma con punte del 48%.

La maggior parte di questa energia rinnovabile viene prodotta dai paesi non-OECD, in virtù del fatto che essi producono e consumano quasi il 90% delle biomasse a livello globale. La biomassa infatti è largamente utilizzata in questi paesi come fonte di energia a basso costo e di facile reperibilità per gli usi domestici di riscaldamento, e permette di coprire il 21,2% del loro consumo energetico (Figura 30).

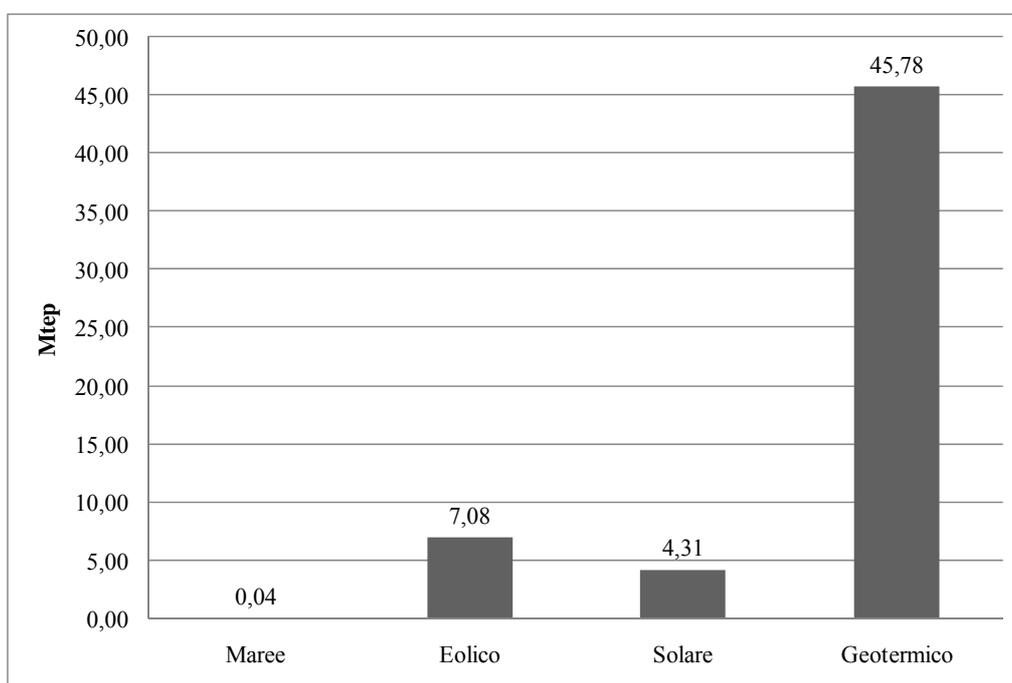
<sup>37</sup> Rifiuti Solidi Urbani (RSU), in questo caso si fa riferimento alla loro parte organica.

Figura 27 – Contributo delle FER alla produzione di energia primaria (2004).



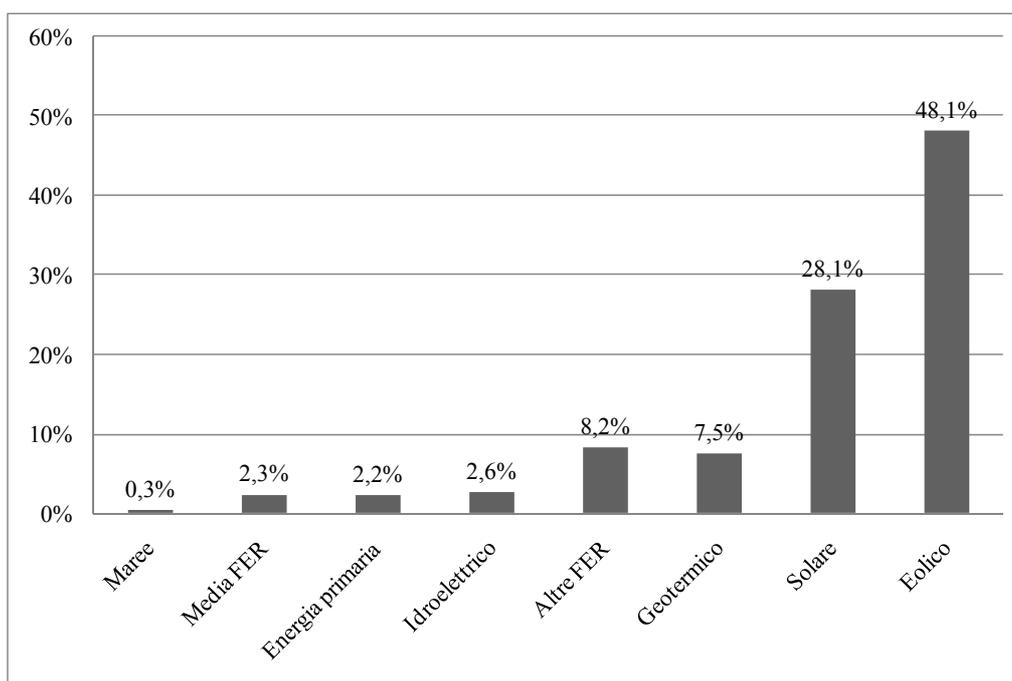
Fonte: IEA, 2007.

Figura 28 – Contributo delle altre FER alla produzione di energia primaria (2004).



Fonte: IEA, 2007.

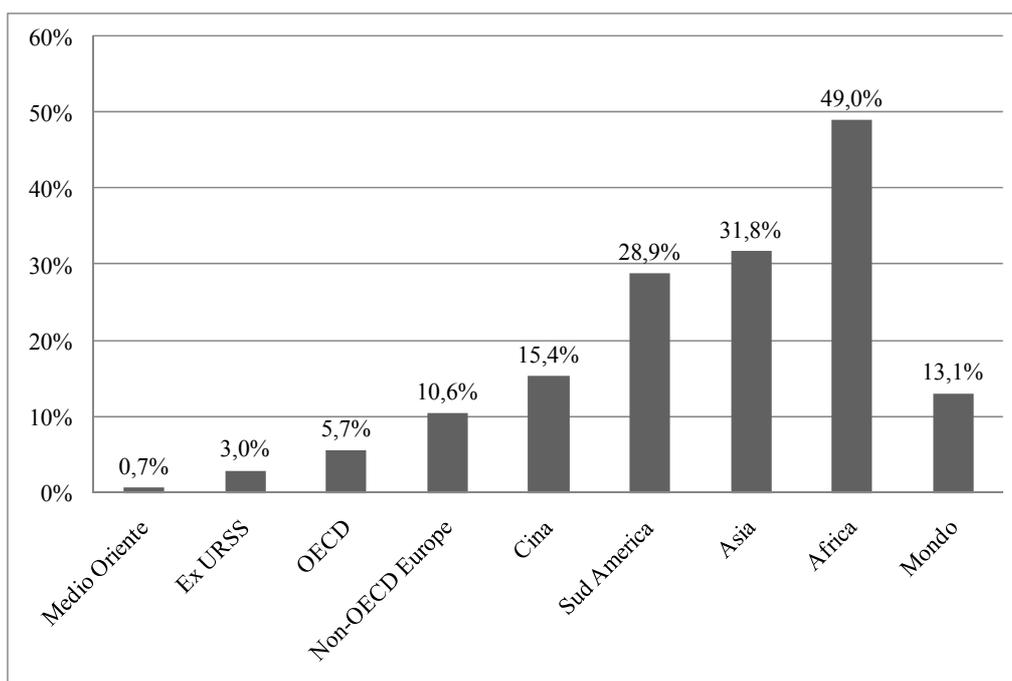
Figura 29 – Crescita media in % della produzione di energia da FER (1970-2004).



Fonte: IEA, 2007.

Al contrario, la maggior produzione di energia da “nuove fonti rinnovabili” come eolico, geotermico e fotovoltaico, deriva invece da paesi OECD, gli unici in grado di sostenerne gli sforzi finanziari di investimento richiesti da queste nuove tecnologie. I paesi OECD hanno infatti contribuito a produrre oltre il 66% di questa energia, ma anche il 45% dell’energia idroelettrica.

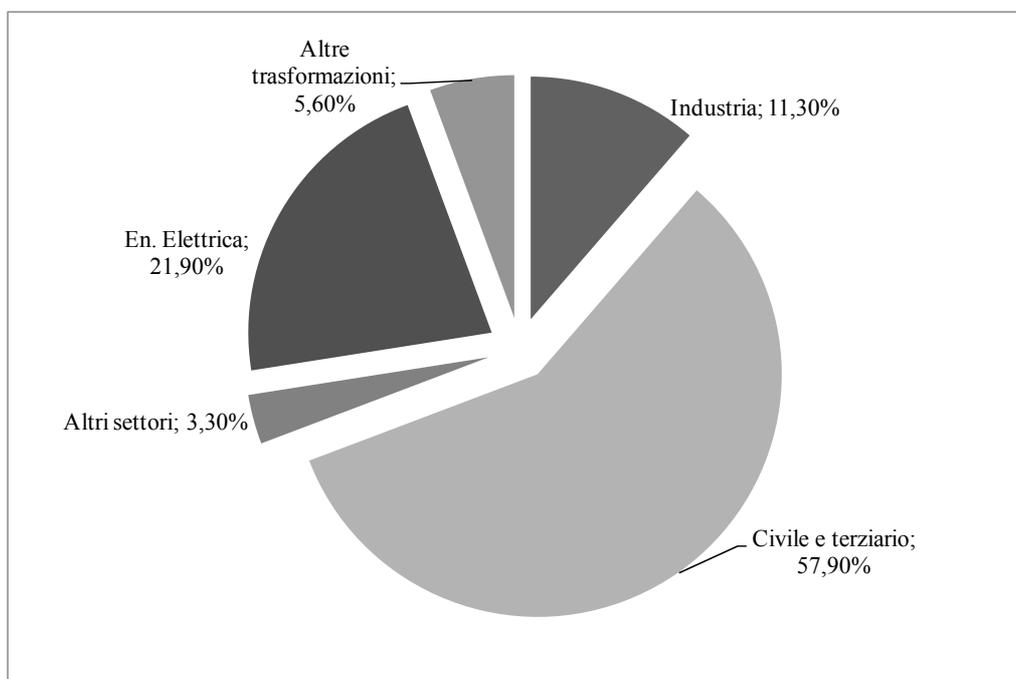
Figura 30 – La produzione di energia da FER per area geopolitica (2004).



Fonte: IEA, 2007.

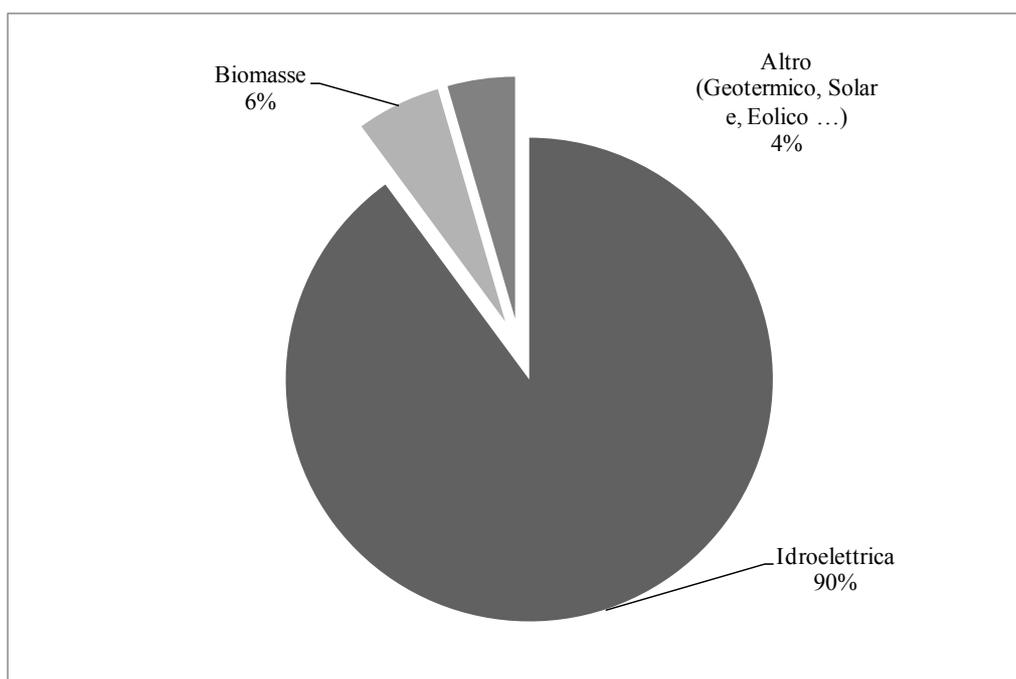
Si noti come, a livello globale, il 58% circa della produzione da FER sia destinato ai settori residenziale e terziario, in relazione a quanto sopra esposto circa l'impiego nei paesi in via di sviluppo, mentre solo il 22% è impiegato per produrre elettricità. Tra gli impieghi più importanti c'è poi l'industria che invece assorbe circa l'11% della produzione globale da FER (Figura 31).

Figura 31 – Impieghi finali delle FER per settore produttivo (2004).



Fonte: IEA, 2007.

Figura 33 – Il ruolo delle FER nella produzione di energia elettrica (2004).



Fonte: IEA, 2007.

Un ruolo più importante è giocato infine dalle FER nella produzione di energia elettrica. Nel 2004 esse hanno coperto il 18% della domanda totale, risultando così la terza più importante fonte a livello globale dopo carbone e gas. Il 90% circa di questo notevole contributo è rappresentato dalla sola produzione idroelettrica mentre il rimanente contributo è suddiviso più o meno equamente tra biomasse da un lato e geotermico, solare ed eolico dall'altro (Figura 33).

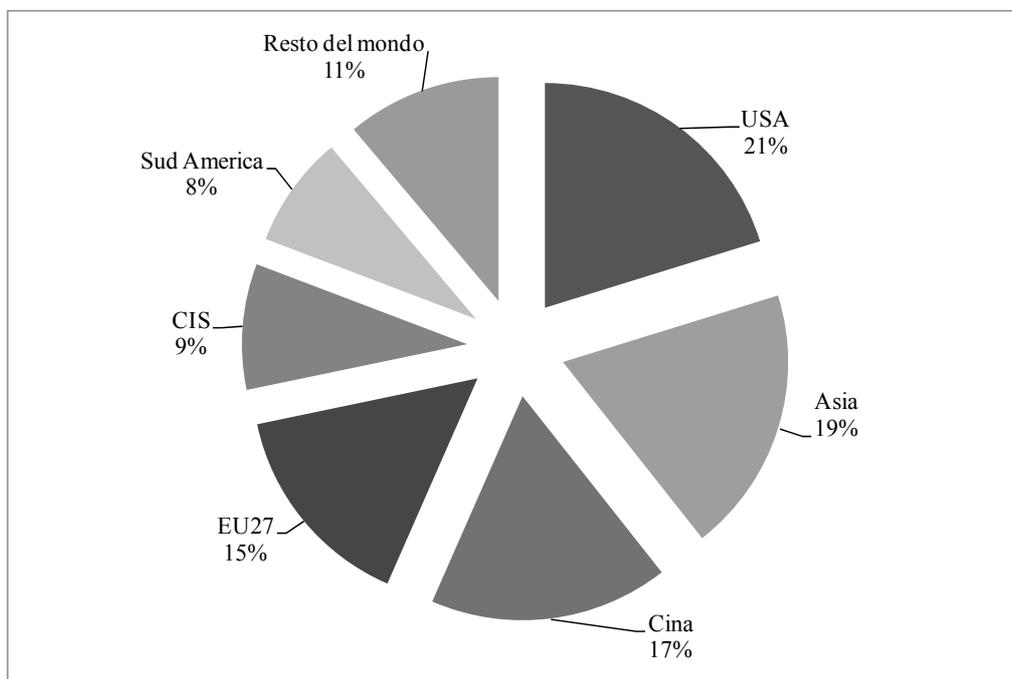
#### 4.2. Energia ed economia

La crescita costante e continua dei consumi energetici è chiaramente collegata alla variazione di due importanti variabili: l'andamento dell'economia e quello demografico.

A tal proposito, Jeremy Rifkin nel suo "Economia all'idrogeno", sottolinea che "(...) la quantità di energia consumata pro capite è, storicamente, una sorta di cartina di tornasole della capacità dell'uomo di progredire oltre la pura sopravvivenza" (Rifkin, 2006).

Per quanto riguarda il legame tra consumi energetici ed economica, in particolare, si può notare che, tra i paesi che più hanno influenzato la crescita della domanda di energia globale, c'è sicuramente la Cina che nel 2007 ha rappresentato il 17% dei consumi mondiali e che, insieme all'Asia, ha consumato oltre il 36% dell'energia globalmente prodotta. A guidare la classifica dei paesi che consumano di più rimangono però gli Stati Uniti con il 20%, mentre l'Europa si ferma a quota 15% (Figura 34) (Enerdata, 2008).

Figura 34 – Consumi di energia primaria per area geopolitica (2007).



Fonte: Enerdata, 2008.

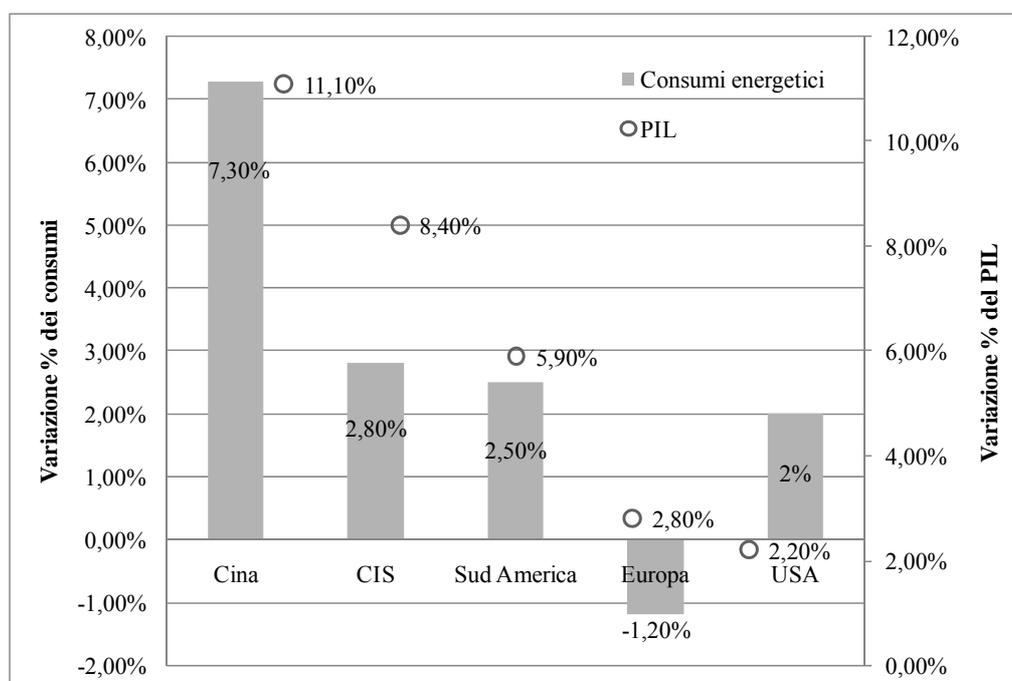
Il boom economico fatto registrare dai paesi asiatici ha dato un forte impulso all'aumento dei consumi energetici mondiali che tra il 2002 e il 2007 sono cresciuti del 17%, passando da 10,7 a 12,1 miliardi di tep. Secondo le stime Enerdata, la sola Cina

sarebbe responsabile di quasi il 50% di questo aumento, avendo incrementato i propri consumi energetici del 66,5% nel medesimo periodo.

La relazione andamento economico tra consumi energetici e è abbastanza evidente se si confrontano questi ultimi con le crescite dei PIL delle varie aree geopolitiche: in Cina ad esempio, tra il 2006 e il 2007, i consumi energetici sono cresciuti di oltre 7 punti percentuali a fronte di una crescita del Pil del 11,1%. D'altro canto, i paesi del CIS hanno visto crescere il proprio Pil dell'8,4% nel 2007, incrementando nel contempo i propri consumi energetici del 2,8%. Anche il Sud America infine, ha consumato il 2,5% di energia in più rispetto al 2006, trascinato da una crescita del Pil del 5,9%.

Paesi economicamente più avanzati hanno invece fatto segnare crescite economiche più modeste influenzate da consumi energetici in calo: l'Europa nel complesso ha fatto segnare una decrescita dei consumi energetici dell'1,2%, accompagnata da una stentata crescita del Pil (+2,8%). Allo stesso modo l'economia degli Stati Uniti è cresciuta nel 2007 del 2,2% aumentando i propri consumi energetici di circa il 2% rispetto all'anno precedente (Figura 35) (Eurostat, 2008; Enerdata, 2008; Ilsole24ore, 2007).

Figura 35 – PIL e consumi di energia primaria (2006-2007).



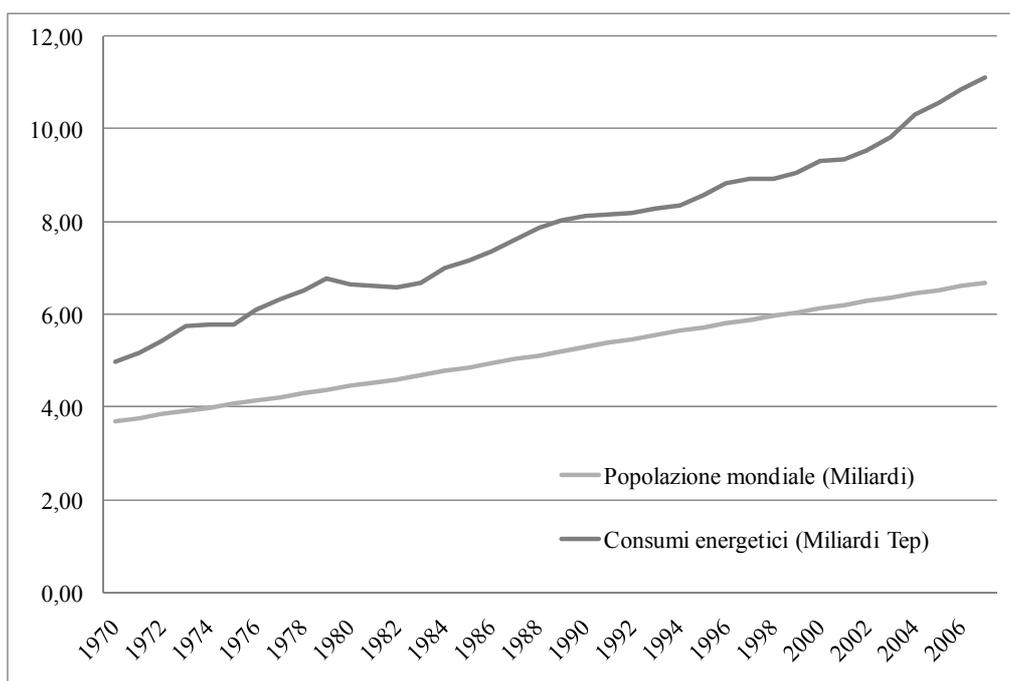
Fonte: Elaborazione su dati Enerdata, 2008; Ilsole24ore, 2007.

L'evidente correlazione tra queste due variabili può essere interpretata in due maniere diverse: da un lato il minor consumo energetico dei paesi OECD potrebbe essere considerato un riflesso della presa di coscienza della limitatezza delle fonti fossili e di un impegno concreto verso un impiego più oculato dell'energia; dall'altro invece (più probabilmente) la spiegazione andrebbe cercata nella notevole differenza delle strutture economiche dei paesi OECD rispetto a quelli in via di sviluppo. In questi ultimi infatti, la crescita economica è trainata dal secondario e dall'industria, settori che assorbono notevoli quantità di energia; al contrario invece, nei paesi economicamente avanzati, è principalmente il settore terziario e dei servizi a garantire la crescita del Pil, tutte attività che richiedono un contributo energetico molto più modesto.

### 4.3. Energia e popolazione

Come accennato, l'altra variabile strettamente legata alla crescita dei consumi energetici è quella demografica: nel 1970, i 3,7 miliardi di abitanti del pianeta consumavano “appena” 4,9 miliardi di tep. Vent'anni più tardi, con una popolazione di 5,3 miliardi di persone, il mondo ha consumato oltre 8 miliardi di tep e, nel 2007, i 6,6 miliardi di individui presenti sul globo hanno consumato oltre 12,1 miliardi di tep. La variazione percentuale delle due variabili nel periodo 1970-2007 appare molto simile: a fronte di un aumento della popolazione mondiale del 43%, i consumi energetici sono cresciuti del 58% (Figura 36) (UN, 2008; BP, 2008).

Figura 36 – Popolazione mondiale e consumi energetici (1970-2007).



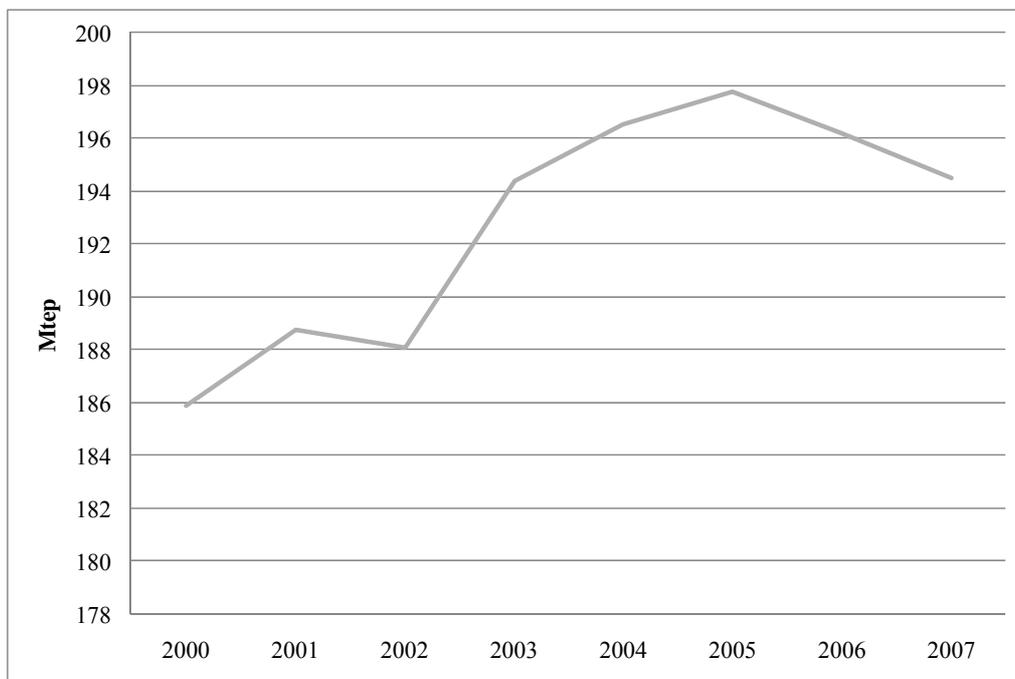
Fonte: Elaborazione su dati FAO, 2008; Enerdata, 2008.

Rimane da chiedersi a questo punto se tale crescita, che prevede una popolazione globale di quasi 9 miliardi di persone di qui al 2050 (UN, 2004), potrà effettivamente continuare in questa direzione senza mai dover fare i conti con effettivi problemi di scarsità delle risorse.

#### 4.4. Il sistema energetico italiano

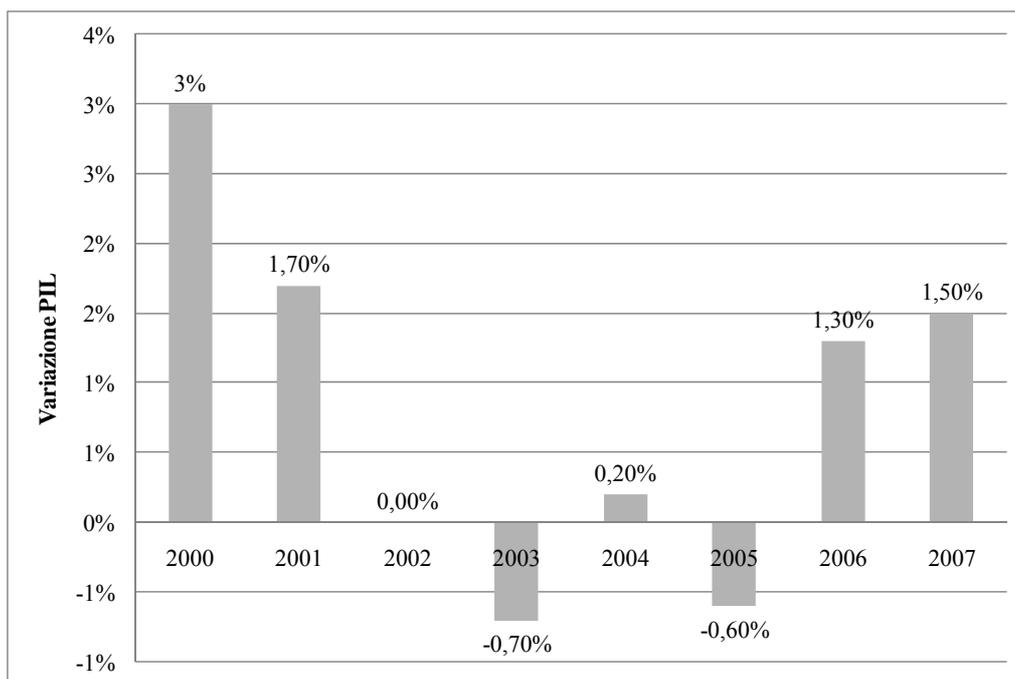
Secondo gli ultimi dati disponibili (Enea, 2008), l'Italia ha consumato nel 2007 194,5 Mtep, lo 0,8% in meno rispetto al 2006 (Figura 37). L'arresto della crescita dei consumi energetici del paese è confermato dall'analisi storica di tali consumi, il cui incremento ha subito un calo notevole negli ultimi anni.

Figura 37 – I consumi di energia primaria in Italia (2000-2007).



Fonte: MSE, 2007

Figura 38 – L'economia nazionale ed evoluzione del PIL (2000-2007).



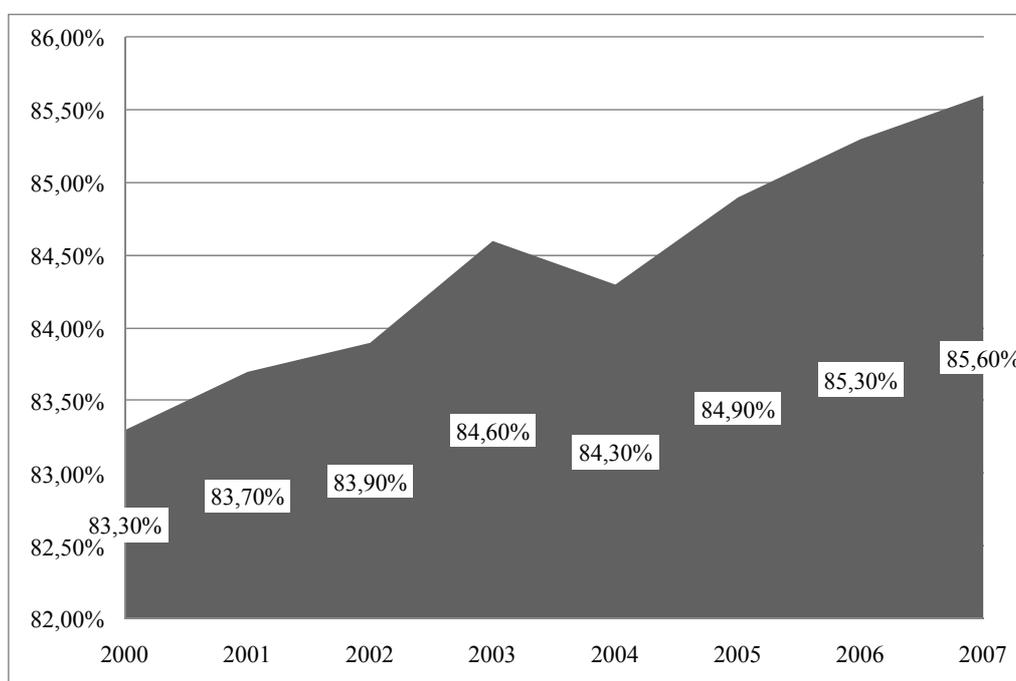
Fonte: Istat, 2008.

Questa decrescita peraltro, ben si associa a quella evidenziata nella figura 38, in cui si mostra come l'Italia nello stesso periodo, ha fatto segnare crescite minime del Pil (1,5% nel 2007).

Ad un'attenta analisi, il sistema energetico nazionale presenta almeno due forti elementi di criticità: il basso grado di autonomia energetica, un mix energetico fortemente squilibrato.

Il primo di questi aspetti, forse il più allarmante, è esplicitato dai Bilanci Energetici Nazionali (BEN), dove viene evidenziato che l'Italia consuma dei prodotti energetici che sono quasi totalmente importati dall'estero. Il saldo import/export dei prodotti energetici rivela infatti una verità alquanto preoccupante: l'85,6% dell'energia viene prodotta grazie a fonti energetiche non autoctone. Una situazione in continuo peggioramento se si pensa che nel 1995 il valore di tale dipendenza era fermo all'81% (MSE, 2008) (Figura 39).

Figura 39 – La dipendenza energetica estera italiana (2000-2007).



Fonte: MSE, 2007

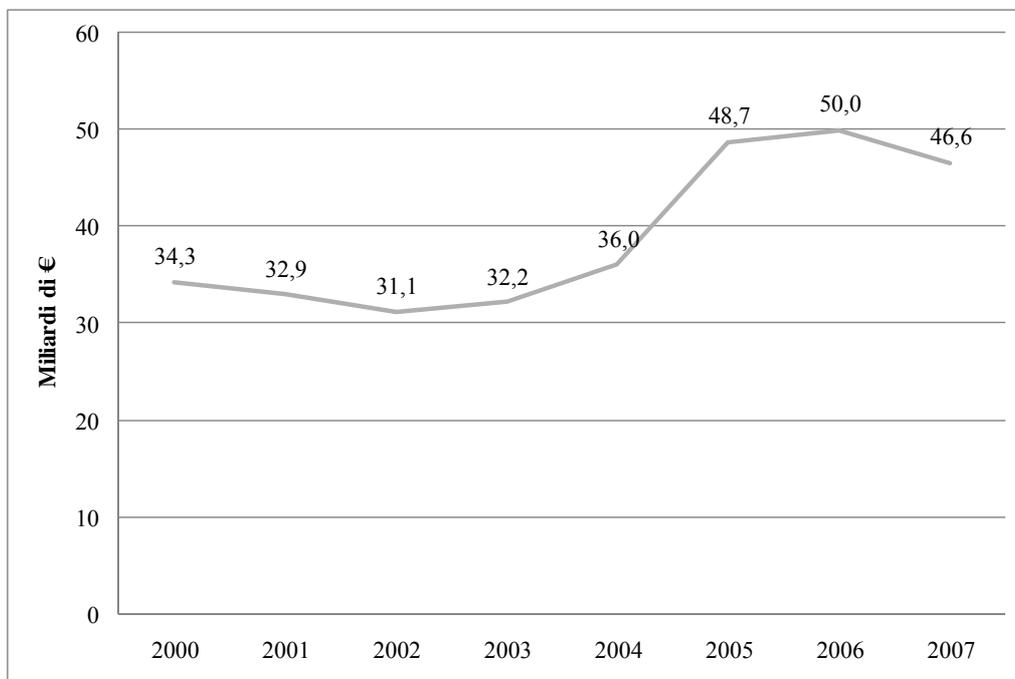
Questa situazione ha forti conseguenze sui costi che il paese deve sostenere per approvvigionarsi all'estero. Nel 2007 la spesa è stata di 46,6 miliardi di euro, pari a circa il 3% del Pil nazionale, leggermente in calo rispetto al 2006 (-2,3%) soprattutto a causa della flessione di domanda di energia e dell'apprezzamento dell'euro sul dollaro. Il petrolio rimane comunque la fonte energetica che costa di più alla nazione poiché rappresenta da sola oltre il 57% della fattura energetica complessiva del 2007 (Istat, 2008) (Figura 40).

Di qui la seconda osservazione sul sistema energetico nazionale che, alla pari di quello globale, dipende pesantemente da fonti energetiche fossili, tra le quali la più importante è il petrolio. Quest'ultimo in particolare ha rappresentato il 43% dell'energia primaria prodotta, in calo rispetto agli anni precedenti. Al secondo posto per importanza vi è il gas naturale che ha fatto registrare una crescita dei consumi, fino a rappresentare, nel 2007, il 36% del fabbisogno di energia primaria. Più limitato infine l'uso del carbone e

di combustibili solidi dai quali derivava il 9% circa dell'energia consumata nel medesimo anno.

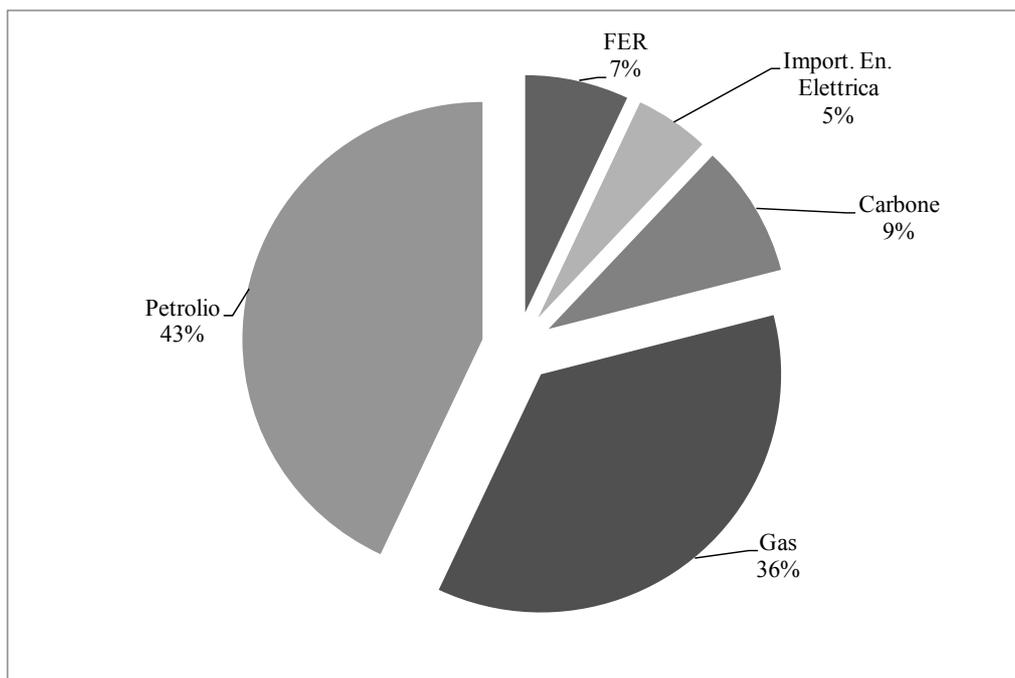
A conti fatti, le fonti fossili coprono nel complesso oltre l'88% dei fabbisogni nazionali di energia, mentre una minima parte dei consumi è soddisfatta da fonti rinnovabili (7%) e in parte dalle importazioni nette di energia elettrica (5%) (Figura 41) (Enea, 2008).

Figura 40 – La spesa per la bolletta energetica nazionale (2000-2007).



Fonte: ISTAT, 2008.

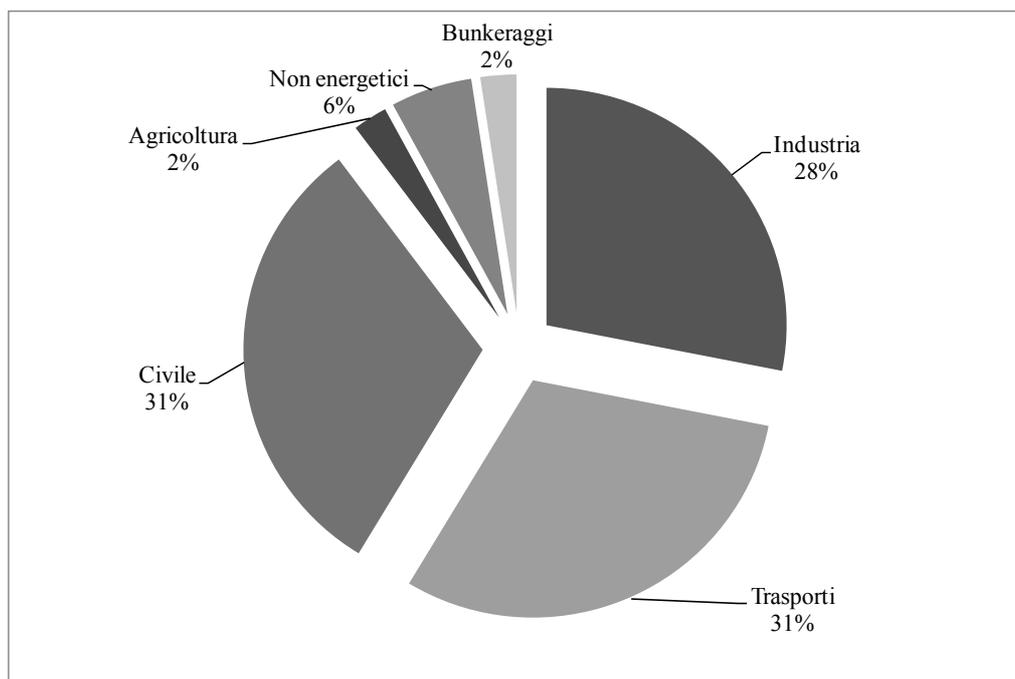
Figura 41 – Fonti di energia primaria in Italia (2007).



Fonte: ENEA, 2008.

Il forte ruolo giocato dal petrolio nel sistema energetico nazionale è strettamente legato agli utilizzi finali dell'energia nel paese: nel 2006, infatti, quasi 31% dell'energia è stata consumata dai trasporti, mentre il settore industriale ha consumato nel medesimo anno una quota leggermente inferiore di energia (28%). Notevole anche il peso del settore civile che nel 2006 ha rappresentato circa il 31% dei consumi. Molto più modeste invece le richieste energetiche del settore primario (2,3%) e degli impieghi non energetici (5,3%) (Figura 42).

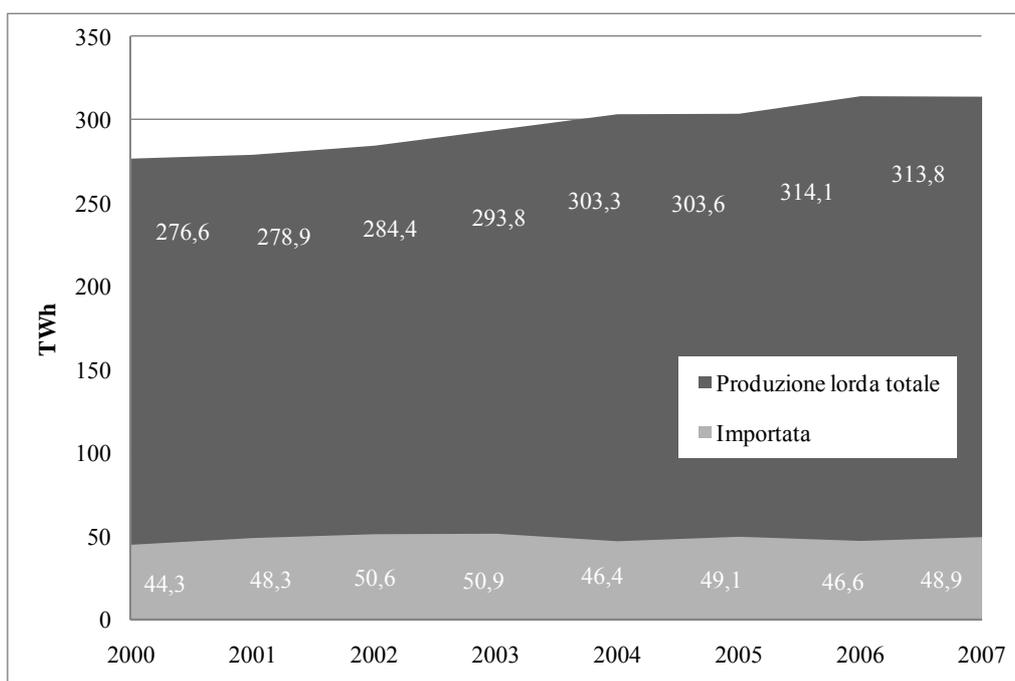
Figura 42 – Impieghi finali di energia per settore produttivo (2006).



Fonte: MSE, 2007

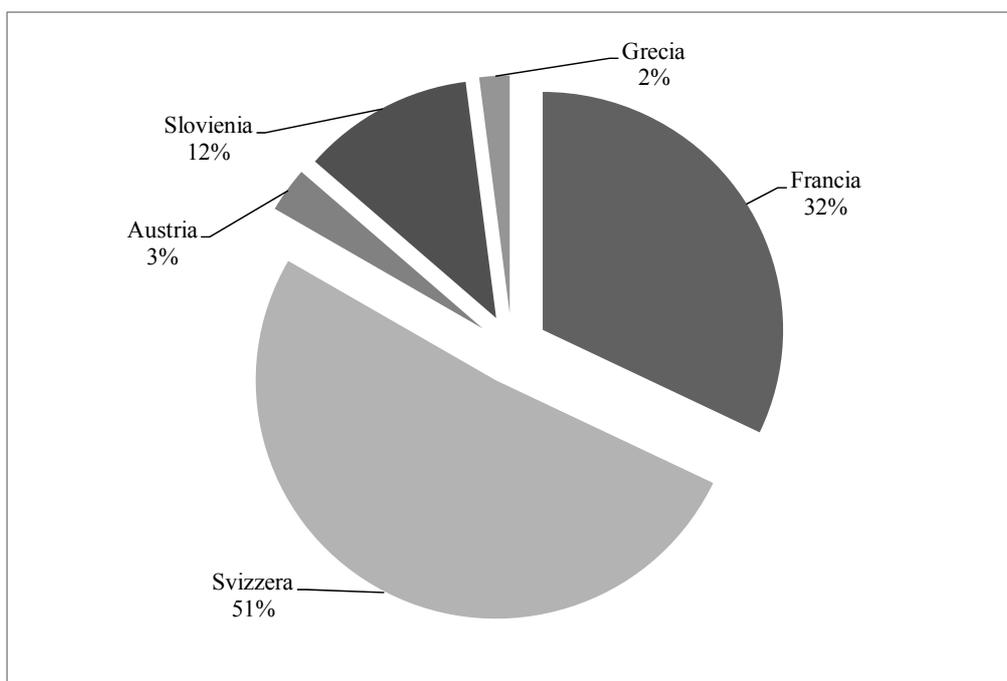
La domanda di energia elettrica a livello nazionale è leggermente aumentata rispetto al 2006, (+0,3%) fermandosi nel 2007 a 339 TWh. La produzione nazionale non è comunque stata sufficiente a coprire totalmente la richiesta di energia elettrica del paese: è stato infatti necessario importare dall'estero (in particolare da Francia, Svizzera e Slovenia) circa 46 TWh, pari al 14% del fabbisogno (Figura 43 e 44) (Terna, 2008). Circa l'84% dell'energia elettrica è prodotta dal settore termoelettrico con l'impiego di fonti fossili, mentre il rimanente 16% deriva da fonti rinnovabili. Quest'ultime rappresentano la prima fonte energetica autoctona del paese, soprattutto grazie al forte ruolo svolto dalla produzione idroelettrica che nel 2007 ha coperto da sola quasi il 13% della domanda di energia elettrica nazionale (Figura 45) (Terna, 2008).

Figura 43 – Produzione ed importazione di energia elettrica in Italia (2000-2007)



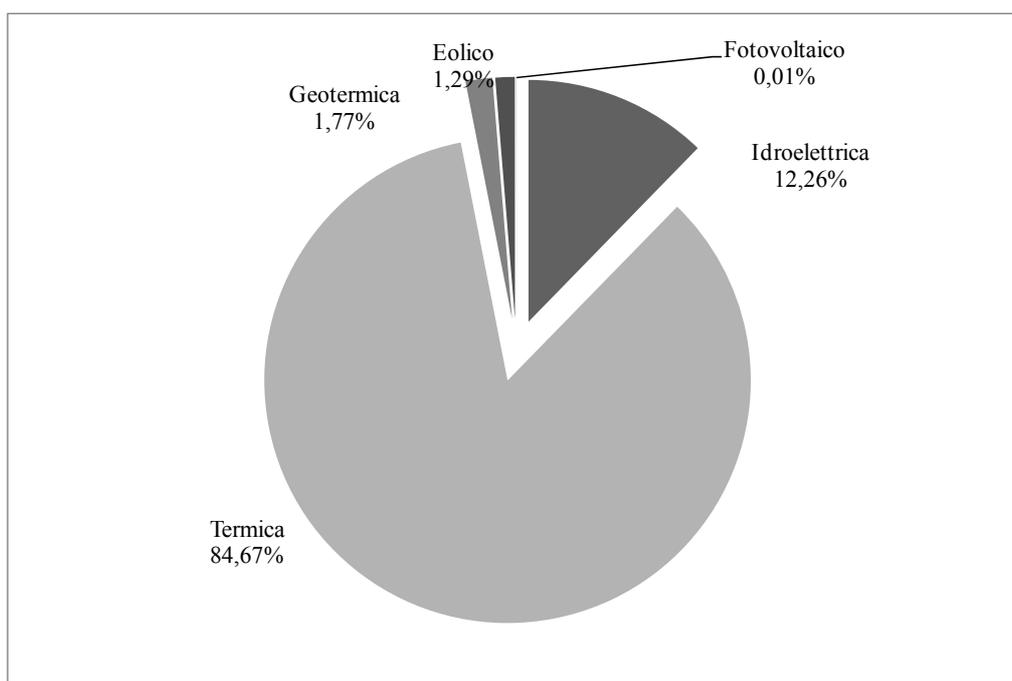
Fonte: Terna, 2008.

Figura 44 – Provenienza dell'energia elettrica importata (2007).



Fonte: Terna, 2008.

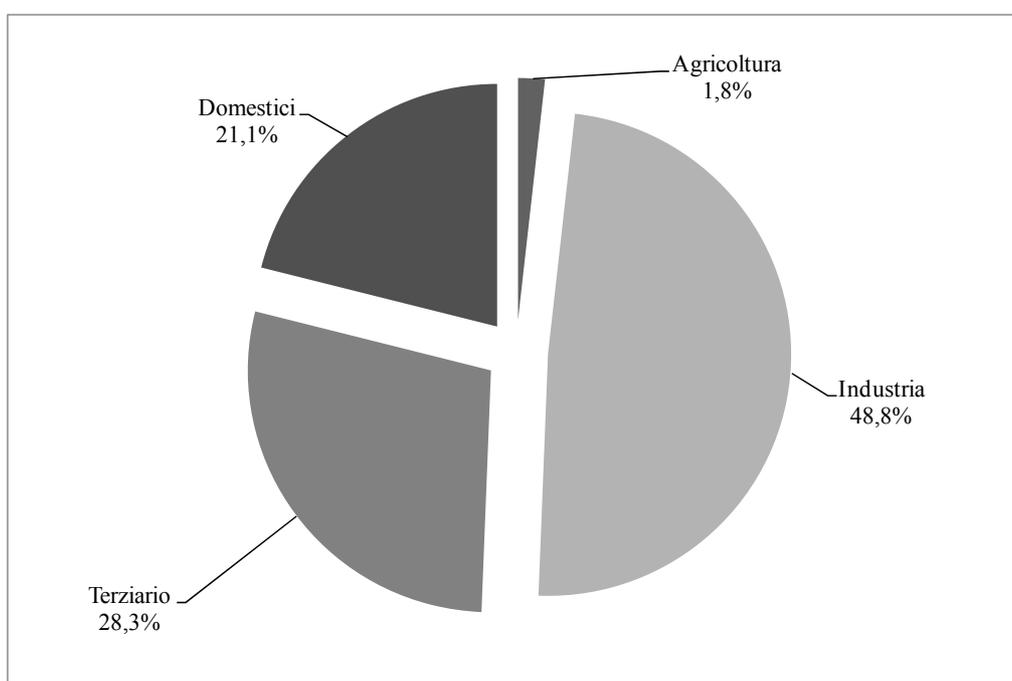
Figura 45 – Principali fonti di energia elettrica in Italia (2007).



Fonte: Terna, 2008.

È interessante notare che la maggior parte dell'energia elettrica prodotta viene consumata dal settore industriale (49%), seguito dal terziario (28%) e dai consumi domestici: quest'ultimi coprono circa un quinto della richiesta di energia elettrica complessiva (Figura 46) (Terna, 2008)

Figura 46 – Impieghi finali di energia elettrica in Italia (2006).



Fonte: Terna, 2008.

#### 4.5. Il ruolo delle FER in Italia

Le FER hanno rappresentato nel 2007 circa il 7% del fabbisogno di energia primaria nazionale, pari a circa 13,6 Mtep. L'esiguità di questo contributo non deve però essere sottovalutata in quanto, come accennato, rappresenta quasi il 49% della produzione autoctona di energia (Figura 47).

Secondo le stime elaborate dal Ministero delle Attività Produttive, la maggior parte dell'energia primaria prodotta da fonti rinnovabili è rappresentata dall'idroelettrico che, nel 2006, ha rappresentato il 57% della richiesta energetica totale. In ordine di importanza seguono poi le biomassa (legna ed assimilati) con circa il 22%, la geotermia con il 9%, gli RSU (7%), mentre eolico e solare insieme hanno rappresentato il rimanente 5% (Figura 48) (MSE, 2006).

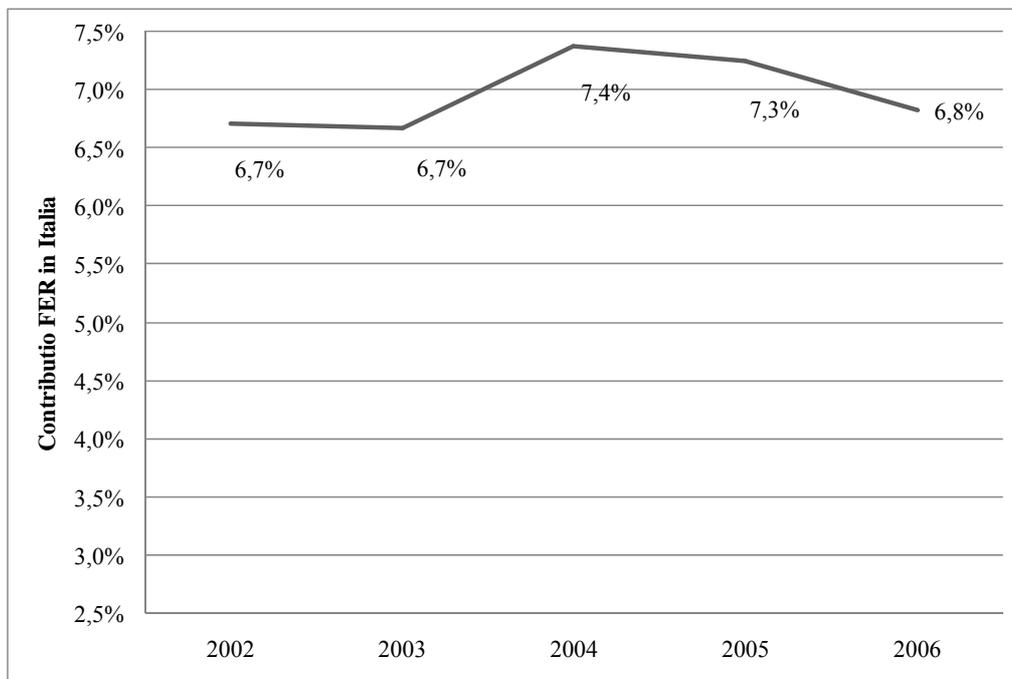
Risulta alquanto più semplice stimare ed analizzare le informazioni riguardanti la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in quanto la maggior parte di queste vengono proprio impiegate a tal fine.

Le FER hanno infatti un ruolo fondamentale nella produzione di energia elettrica: hanno rappresentato circa il 15,7% del consumo interno del 2007. Tra queste, la più importante in assoluto è la fonte idroelettrica che rappresenta quasi il 70% dell'energia elettrica prodotta da FER in Italia nel 2007.

Tale contributo risulta però diminuito rispetto all'anno precedente (-11%), soprattutto a causa di una diversa disponibilità idrica.

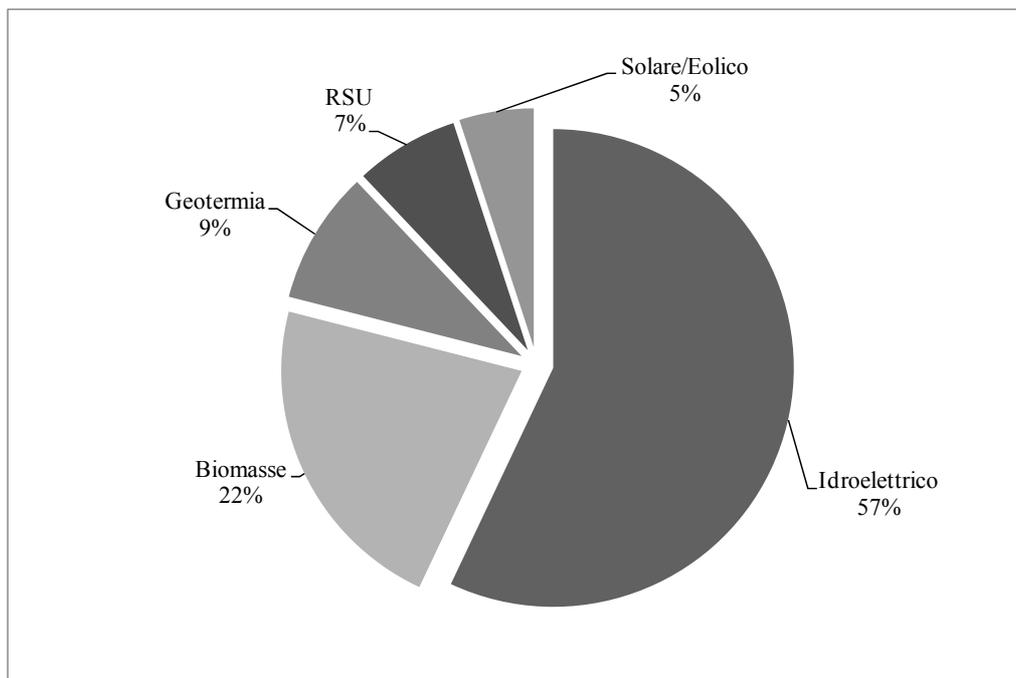
L'andamento di questa produzione è infatti legato alla disponibilità d'acqua nelle centrali, che vengono a loro volta influenzate dalle condizioni climatiche che si manifestano. Trend evolutivi lenti ma costanti sono stati fatti registrare invece da altre fonti rinnovabili come le biomasse e l'eolico (Figura 49).

Figura 47 – Contributo delle FER alla produzione di energia primaria in Italia (2002-2007).



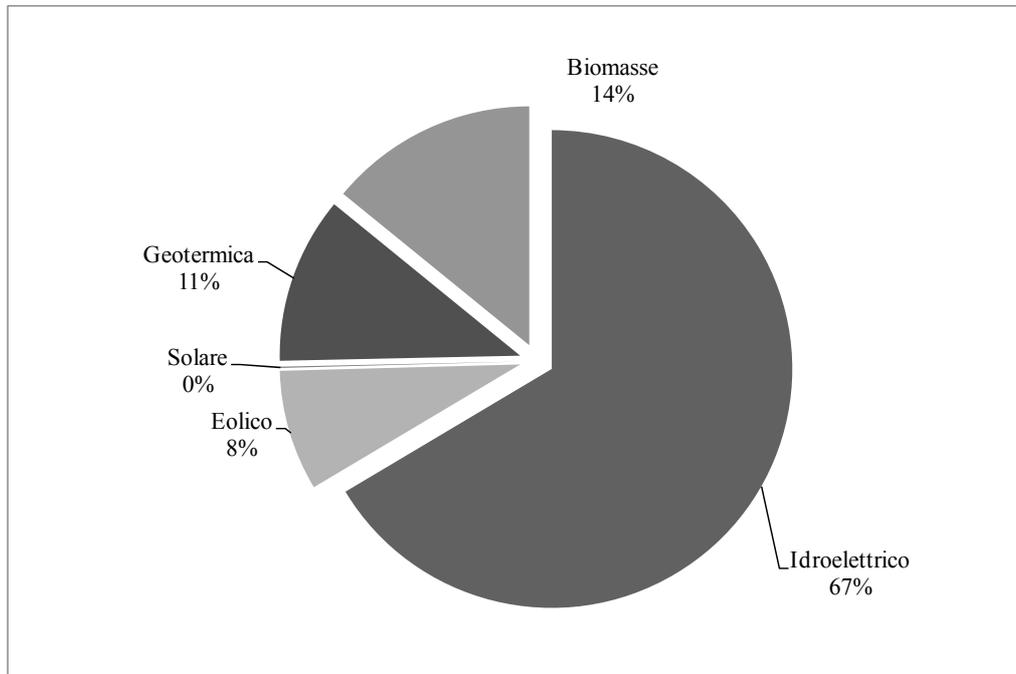
Fonte: MSE, 2007

Figura 48 – Il contributo delle FER alla produzione di energia primaria in Italia (2006).



Fonte: ENEA, 2006.

Figure 49 – Il contributo delle FER alla produzione di energia elettrica in Italia (2007).

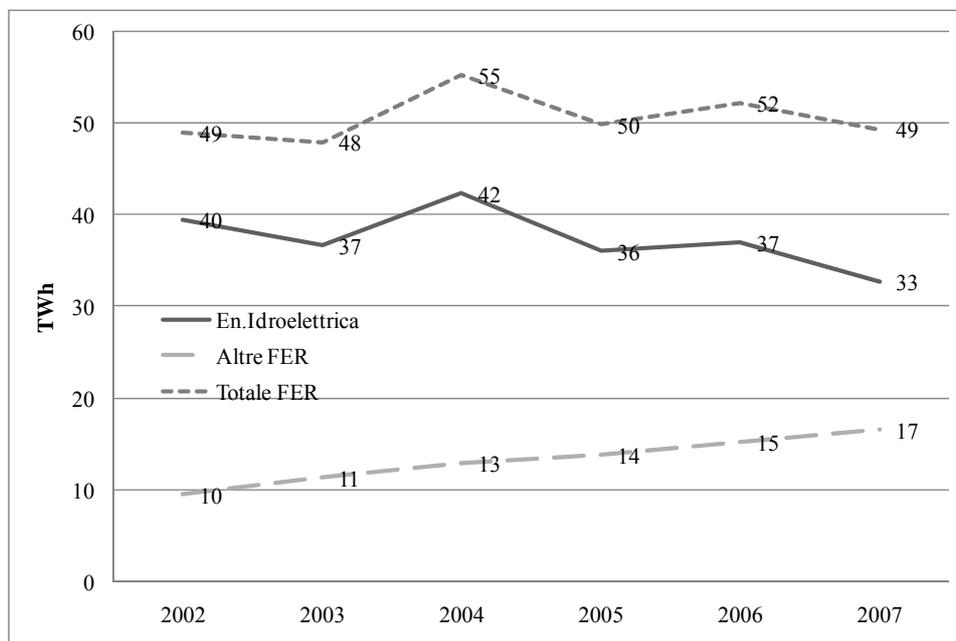


Fonte: GSE, 2008.

Tra le altre rinnovabili, il geotermico ha dimostrato di poter fornire un contributo più o meno costante negli anni (12%), mentre quello delle biomasse è invece stato dell'8,5%, equivalente a quello dell'energia eolica (8%). Infine il solare, nonostante l'ottima

crescita rispetto al 2006 (+11%), continua a giocare un ruolo piuttosto limitato (0,1%) nella panoramica delle FER (GSE, 2008, TERNA, 2008) (Figura 50).

Figure 50 – Analisi storica dei contributi delle FER alla produzione di energia elettrica in Italia (2002-2007).



Fonte: GSE, 2008.

#### 4.6. Considerazioni generali e prospettive future

L'analisi effettuata propone un quadro per molti versi statico della dinamiche di produzione energetica a livello mondiale, prevalentemente a causa della mancata lungimiranza nel prevedere quali saranno i prossimi sviluppi della domanda energetica a livello internazionale.

La pesante crisi economica in atto, causata prevalentemente dalle sconsiderate politiche liberiste degli anni '80 e '90 potrà condurre ad una riorganizzazione complessiva dell'economia mondiale. L'importanza assunta dalla speculazione finanziaria e la sua capacità di influire sui prezzi delle materie prime e sulle dinamiche di molti mercati mobiliari e immobiliari, indurrà le nazioni ad adottare un nuovo sistema di regole in grado di regolamentare gli scambi e la globalizzazione. D'altronde, l'attuale crisi sta chiaramente ponendo in evidenza proprio come la globalizzazione, lasciata a se stessa, finisca per accrescere le disuguaglianze tra paesi più ricchi e paesi condannati ad una povertà senza speranze.

Ad oggi però, è in atto una profonda ridefinizione su scala mondiale della mappa del potere economico: l'emergere di nuovi paesi - la Cina e l'India in primo luogo - sta modificando radicalmente la domanda di materie prime. Se questi due paesi continuassero a seguire percorsi di crescita economica ad elevata intensità energetica, non vi sarebbe speranza per l'umanità a causa del rapidissimo consumo delle materie prime disponibili e degli immani sconvolgimenti che ne conseguirebbero a livello ambientale.

Eppure, allo stato attuale, non paiono emergere alternative plausibili e sostenibili all'inevitabile scomparsa delle fonti energetiche di origine fossile che, di qui al 2030, continueranno comunque a svolgere un ruolo centrale nel soddisfare la domanda di energia.

Si prevede infatti che tali fonti saranno in grado di soddisfare ancora oltre l'80% della domanda di energia del pianeta, che nel frattempo dovrebbe essere cresciuta tra il 30 ed il 40%, arrivando a richiedere tra i 15 ed i 17 Gtep (IEA, 2008).

Il petrolio, nonostante le paventate crisi petrolifere ed i continui ritocchi all'entità delle riserve globalmente disponibili, dovrebbe rimanere la fonte energetica più importante nello scenario energetico globale (32% del fabbisogno totale nel 2030), perdendo però terreno rispetto al carbone che, trascinato dalle richieste e dai consumi dei paesi asiatici (in primis Cina e India), dovrebbe incrementare notevolmente la propria importanza (28% del fabbisogno di energia primaria). Anche il consumo di gas infine, è previsto in crescita, seppure non allo stesso livello del carbone (22% del fabbisogno) (IEA, 2008).

Poca fiducia, per il momento, viene invece risposta nelle fonti rinnovabili che rimangono comunque l'unica vera alternativa ad un eventuale esaurimento delle fonti fossili. Secondo quanto prospettato dall'IEA infatti, idroelettrico, biomassa, eolico ecc. continueranno a fornire un contributo modesto alla produzione di energia primaria coprendo, nella più rosea delle aspettative, poco meno del 17% del totale (IEA, 2008).

D'altro canto, qualora non vi fosse un grande sforzo per modificare il trend in atto, si potrebbero anche andare incontro ad enormi conflitti causati dalla progressiva concentrazione delle riserve in un numero sempre più ristretto di paesi produttori<sup>38</sup>.

La crescita della domanda di energia, trascinata dallo sviluppo demografico e dalla crescita economica, contribuirà sicuramente ad aumentare, nel lungo periodo, i rischi per la sicurezza energetica, che si ripercuoteranno a cascata sui costi dell'energia.

---

<sup>38</sup> Ricordiamo che oltre il 50% delle riserve petrolifere globali sono attualmente concentrate in soli tre paesi del Medio Oriente: Iran, Iraq ed Arabia Saudita.

A loro volta, costi crescenti, comprometteranno la possibilità di sviluppo dei paesi emergenti che potrebbero veder incrementato il gap evolutivo con i paesi più avanzati, contribuendo a rimarcare le già enormi differenze questi ultimi, riconfermando i ruoli economico-politico e sociali che da sempre li caratterizzano.

Appare inevitabile, in conclusione, che solo un grande sforzo congiunto potrà consentire di affrontare da subito i problemi energetici su scala globale. Un impegno che veda coinvolte indistintamente tutte le nazioni e che miri ad una redistribuzione su scala planetaria dell'accesso alle fonti energetiche, sfruttando tutte le opportunità offerte dal pianeta per la produzione di energia rinnovabile e a basso impatto ambientale. In altri termini, solo un enorme sforzo tecnologico, accompagnato ad una rinuncia dell'imperativo categorico dell'economia di mercato – il tutto qui e subito – potrà consentire di affrontare il futuro con maggiore serenità e ottimismo. Guadagnare qualche punto percentuale di prodotto interno lordo in più non potrà, in futuro, contare di più della sicurezza del pianeta e della sostenibilità economica ed ecologica dello sviluppo in senso lato.



## CAPITOLO V

### 5. La ricerca operativa: facilitare le decisioni

Con la prima rivoluzione industriale<sup>39</sup>, il mondo ha assistito ad un impressionante aumento delle dimensioni e della complessità delle organizzazioni produttive, in gran parte rappresentato dall'introduzione della divisione del lavoro e dalla ripartizione delle responsabilità manageriali nelle organizzazioni.

Questa tendenza però, se da un lato ha comportato un risultato "spettacolare", dall'altro ha indotto le varie parti di un'organizzazione a crescere in maniera autonoma con obiettivi e scale di valori propri, perdendo coscienza di come le proprie attività e i propri scopi si intrecciano con quelli dell'intera organizzazione (Lieberman e Hiller, 2005).

In questo modo le varie componenti hanno finito con l'agire secondo finalità differenti, contribuendo ad un sensibile aumento della difficoltà nell'allocazione delle risorse disponibili.

La necessità di individuare il miglior modo di risolvere tali problemi di allocazione ha creato le condizioni di base per la nascita della "ricerca operativa" (RO).

Nata durante la seconda guerra mondiale per organizzare al meglio gli sforzi bellici, a partire dagli anni '50, la RO è stata introdotta in svariate organizzazioni operanti nel campo imprenditoriale, nell'industria e nella pubblica amministrazione.

In particolare la RO si basa in primis su di un'accurata osservazione del problema e sulla relativa raccolta di dati, similmente a quanto avviene nel più classico metodo scientifico. Il passo successivo consiste nella costruzione di un modello matematico che realizzi un'astrazione dell'essenza stessa del problema reale; in questo modo, si arriva ad assumere che le conclusioni dedotte dal modello risolutivo siano valide anche per il problema reale.

La RO, in ultima analisi, tenta di fornire una soluzione ottima per il problema in esame, identificando la direzione migliore verso cui procedere e dando - al momento opportuno - delle conclusioni concrete e comprensibili a chi dovrà poi prendere delle decisioni (Lieberman e Hiller, 2005).

#### 5.1. Il problema dell'ottima soluzione: la programmazione lineare

Nell'ambito della Ricerca Operativa, tra gli strumenti maggiormente impiegati quali supporto alla scelta, va ricordata la Programmazione Lineare (PL), la cui più comune applicazione riguarda il problema generale delle allocazione di risorse limitate tra attività concorrenti nel modo migliore possibile (ottimale).

Il messaggio principale della programmazione lineare è che i problemi si presentano in coppia: il problema originale, quasi ovvio, chiamato "primario" ed il problema associato meno ovvio chiamato "duale". Insistendo su questi aspetti di dualità gli economisti hanno contribuito a fare della PL un modo di pensare in grado di formulare decisioni efficienti e tempestive riguardanti, ad esempio, la pianificazione, l'approvvigionamento, i calendari di lavoro e la distribuzione del materiale (Paris, 1991).

In particolare, la PL utilizza un modello matematico per descrivere un problema al fine di indicare la pianificazione ottimale delle attività da svolgere per raggiungere l'obiettivo prefissato nella migliore maniera a fronte di possibili strategie alternative (Lieberman e Hiller, 2005).

Questo tipo di analisi è stata per anni l'unico metodo accettato per la risoluzione di problemi decisionali e gestionali. Queste tecniche risultano, infatti, di facile

---

<sup>39</sup> La prima rivoluzione industriale ha avuto origine in Inghilterra tra il 1760-1780 ed il 1830.

applicazione poiché ogni elemento del problema è ben definito, l'obiettivo è sempre esplicito e quantificabile, e la programmazione è di tipo lineare.

Ciò consente di dire che la realtà espressa nel problema impostato con l'ottimizzazione è perfettamente modellizzata e che il modello è perfettamente razionale: tra le infinite soluzioni possibili, la migliore è quella che - dati certi vincoli - massimizza/minimizza un determinato obiettivo (emissioni inquinanti, reddito, consumi energetici ...) (Cossu, 2006).

In realtà, questi aspetti (perfetta razionalità, semplicità, quantificabilità, ecc.) non sono sempre positivi; può accadere infatti che, per risolvere un problema complesso, questo tipo di ottimizzazione risulti troppo rigida, non riuscendo a modellizzare tutte le variabili in gioco.

Uno dei limiti della PL è dato dunque dal fatto che nella realtà il decisore si trova spesso ad operare dovendo tener conto di diversi obiettivi contemporaneamente: in queste condizioni è ovviamente difficile considerare un singolo criterio su cui basare le proprie scelte (Marangon, 1997).

E' in questi casi che entrano in gioco i modelli a più obiettivi, che si differenziano da quelli a singolo obiettivo perché sostengono che, in un problema decisionale complesso, vi possono essere una pluralità di aspetti rilevanti, punti di vista o addirittura decisori che rendono la procedura difficilmente riconducibile ad un unico obiettivo. Alla base di tale teoria c'è l'assunto secondo il quale se qualcosa è considerata valida in assoluto, lo è sicuramente per più di un motivo (Raiffa, 1969).

L'ipotesi fondamentale di queste tecniche sostiene dunque che sia possibile scomporre l'oggetto dell'analisi in fattori semplici (criteri) che lo descrivono esaustivamente, e che questi siano poi analizzabili separatamente.

Questi metodi sono stati sviluppati principalmente per essere di supporto alle decisioni pubbliche e permettono quindi applicazioni in numerosissime casistiche: in particolare trovano ampia applicazione soprattutto nella valutazione di impatti legati alla determinazione di siti geografici sensibili e per la localizzazione di attività di vario tipo, soprattutto a livello locale (viabilità, residenza, aree verdi attrezzate, discariche ed inceneritori, eccetera), ma anche a livello regionale e nazionale (grandi opere, piani e programmi urbanistici, valutazione di impatto ambientale, ecc.) (Cossu, 2006).

La PL in particolare, ha trovato ampia applicazione anche nei problemi di allocazione delle risorse della produzione primaria: agricoltori, agronomi e altri specialisti del settore, condividono, infatti, un modo comune di intendere input ed output del sistema produttivo agricolo. Così, in questo ambito, tutto viene rapportato alla singola unità di superficie: le rese vengono espresse in t/ha, la somministrazione di fertilizzanti o diserbanti in kg/ha, così come i costi di tali operazioni vengono generalmente disaggregati (macchinari, manodopera, ecc.) e riferiti sempre all'unità di superficie.

Se a questo si aggiunge il fatto che, molto spesso, gli stessi operatori, debbono tenere in considerazione limiti particolari di disponibilità stagionali di alcune risorse, allora si può concludere che, l'ottica numerica che descrive la produzione agricola in questi casi non è molto distante dall'impostazione di base del modello di programmazione matematica che funge da "spina dorsale" alla PL (Hazel e Norton, 1986).

## **5.2. Dalla PL alla programmazione ad obiettivi definiti e pesati**

In un contesto in cui oramai da lungo tempo è stato riconosciuto il ruolo multifunzionale del settore primario, l'uso della PL come supporto alle decisioni sembra aver perduto parte della propria efficacia, sostituita in parte dalla cosiddetta Analisi a Molti Criteri (AMC) (Romero e Rehman, 1989). In letteratura sono disponibili numerosi esempi del suo impiego nella gestione delle risorse agro-forestali ed

ambientali (Marangon e Rosato, 1995; Bernetti et al., 1996; Bazzani e Bradascio, 1997; Boggia e Pennacchi, 1999; Abbozzo, et al., 2002).

L'AMC è un tipo di approccio che include una ricca varietà di tecniche che si basano sul rendere espliciti i contributi delle diverse opzioni di scelta nei confronti dei diversi criteri o attributi. I criteri sono lo strumento attraverso il quale le varie alternative vengono comparate l'un l'altra rispetto all'obiettivo del decisore e rappresentano l'aspetto misurabile del giudizio al quale le alternative sono sottoposte (Voogd, 1983).

L'AMC viene convenzionalmente suddivisa in due categorie: Analisi a Molti Obiettivi (AMO) e a molti Attributi (AMA). In entrambi i casi il decisore considera più criteri - spesso conflittuali ed eterogenei - per effettuare le sue scelte ma, mentre nel caso dell'AMO la soluzione più soddisfacente viene scelta all'interno di un insieme illimitato di alternative (quindi opera nel continuo), nell'AMA la scelta viene effettuata nell'ambito di un numero finito ed esplicito di alternative decisionali (e quindi opera nel discreto).

Nell'ambito delle tipologie di approccio all'AMO, una di diffuso impiego è rappresentata dalla Programmazione ad Obiettivi Definiti (Goal Programming, GP) (Atwood et al., 1996, 1997; Eschenbach et al., 2001; Schmoldt et al., 2001). Questi modelli mantengono la struttura monocriteriale della tradizionale PL, lasciando invariata la formulazione dell'assetto dei vincoli, e assumono quale funzione da ottimizzare un'insieme di funzioni:

massimizzare la

$$[1] \quad \bar{F}(\bar{x}) = \left\{ \begin{array}{l} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \dots \\ f_r(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\}$$

in cui  $\bar{F}(\bar{x})$  è un vettore di  $k$  funzioni obiettivo.

Estendendo l'ipotesi della linearità, derivata dalla PL, nel vettore di funzioni obiettivo, si avrà per ciascuna:

$$[2] \quad z_k = \sum_{j=1}^n c_{kj} x_j \text{ per } k = 1, \dots, r$$

in cui:

$z_k$  è il valore incognito della funzione obiettivo  $k$ -esima da massimizzare;

$c_{kj}$  è il coefficiente della funzione obiettivo che rappresenta il contributo marginale all'ottenimento dell'obiettivo  $k$ -esimo da parte della variabile decisionale  $j$ -esima;

$x_j$  è la variabile decisionale riferita al processo produttivo  $j$ -esimo;

$r$  è il numero delle funzioni obiettivo;

$n$  è il numero delle variabili decisionali.

Per ciascuna funzione obiettivo viene definito un valore atteso o target  $t_k$  che fissa un valore specifico e realistico di raggiungimento dell'obiettivo  $k$ -esimo; entrambi individuano una finalità (Marangon, 1990). La variabile deviazionale esprime e quantifica il non raggiungimento o il superamento di un determinato valore predefinito di ciascun obiettivo. Poiché tale deviazione  $d_k$  può essere sia positiva (superamento di  $t_k$ ) che negativa (non raggiungimento di  $t_k$ ), viene usualmente scomposta in due variabili:  $p_k$  denominata variabile deviazionale di superamento e  $n_k$ , detta variabile

deviazionale di non raggiungimento, entrambe non negative. La struttura della finalità  $r$ -esima sarà:

$$[3] \quad \sum_{j=1}^n c_{kj} x_j + n_k - p_k = t_k \text{ per } k = 1, \dots, r$$

in cui:

$n_k$  è la variabile deviazionale di non raggiungimento relativa alla finalità  $r$ -esima;

$p_k$  è la variabile deviazionale di superamento relativa alla finalità  $r$ -esima;

$t_k$  è il valore atteso della funzione obiettivo  $k$ -esima.

Si osservi che la funzione obiettivo da ottimizzare è lineare e additiva, costituita da variabili deviazionali, di cui si ricerca il valore minimo. Ne consegue (Marangon e Brožová, 1997):

minimizzare la

$$[4] \quad z_{GP} = \sum_{k=1}^r (n_k + p_k)$$

soggetta ai vincoli:

$$[5] \quad \sum_{j=1}^n c_{kj} x_j + n_k - p_k = t_k \quad \text{per } k=1, \dots, r$$

$$[6] \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad \text{per } i=1, \dots, m$$

ed alle condizioni

$$[7] \quad d_j \leq x_j \leq h_j \quad \text{per } j=1, \dots, n$$

$$[8] \quad n_k \geq 0; p_k \geq 0 \quad \text{per } k=1, \dots, r$$

in cui:

$a_{ij}$  è il coefficiente tecnico di produzione che rappresenta la quantità della  $i$ -esima risorsa assorbita da un'unità del processo produttivo  $j$ -esimo;

$b_i$  è la disponibilità limitata della risorsa  $i$ -esima;

$d_j$  è il valore minimo della variabile decisionale  $j$ -esima;

$h_j$  è il valore massimo della variabile decisionale  $j$ -esima;

$n$  è il numero delle variabili decisionali;

$m$  è il numero dei vincoli del modello.

E' opportuno sottolineare la ponderazione di finalità e relative a variabili deviazionali, giacché queste possono non avere la stessa importanza relativa, come sin qui descritto. Si osservi che il policy maker può infatti decidere di stabilire priorità diverse nei confronti di finalità e variabili deviazionali.

Ciò trova espressione nella Programmazione ad Obiettivi Definiti e Pesati (WGP), variante dei modelli di GP, secondo la quale:

minimizzare la

$$[9] \quad z_{WGP} = \sum_{k=1}^r w_k (u_k n_k + v_k p_k)$$

in cui

$w_k$  è il peso della finalità  $k$ -esima;

$u_k$  è il peso della variabile deviazionale di non raggiungimento  $n_k$  della finalità  $k$ -esima;

$v_k$  è il peso della variabile deviazionale di superamento  $p_k$  della finalità  $k$ -esima.

La questione della disomogeneità delle unità di misura, spesso associata ai diversi obiettivi, viene superata trasformando le variabili deviazionali da espressione di scostamenti assoluti dai target a deviazioni in termini relativi, rapportandone il valore a quello dello stesso valore atteso (Romero e Rehman, 1989):

minimizzare la

$$[10] \quad z_{WGP} = \sum_{k=1}^r w_k \left( u_k \frac{n_k}{t_k} + v_k \frac{p_k}{t_k} \right)$$

### 5.3. Il software What'sBest

Nell'applicare la metodologia sopra descritta, si è utilizzato il software "What'sBest" prodotto dalla Lindo System, un programma appositamente ideato per permettere la risoluzione di problemi di ottimizzazione, consentendo di gestire problemi di programmazione lineare e non, grazie ad una macro che lavora in ambiente Microsoft Excel.

What'sBest è quindi in grado di individuare la miglior soluzione al problema di ottimizzazione, ossia quella che, per esempio, permette il raggiungimento del più alto profitto/benessere sociale, oppure quella che porta alla minimizzazione di costi/perdite, nel rispetto di determinati vincoli ritenuti rilevanti dal decisore (Monacciani, 2006)

Al fine di introdurre al meglio la metodologia adottata è sembrato quindi doveroso accennare - per sommi capi - al funzionamento del software.

Per utilizzare adeguatamente l'applicazione è necessario in primo luogo realizzare una matrice della tecnica che metta in relazione e specifichi in maniera chiara i criteri, le variabili e le funzioni obiettivo in gioco. La matrice impiegata nella risoluzione dei problemi con What'sBest è tipicamente composta da alcune parti fondamentali (Figura 51).

Nelle prime righe della matrice vengono specificati i nomi delle *variabili decisionali* delle quali il risolutore dovrà trovare i *valori ottimali* come soluzione del problema posto.

Il corpo centrale è rappresentato invece dai valori dei singoli *criteri* di ogni variabile, mentre una delle colonne (*colonna somma*) contiene il valore corrispondente alla sommatoria dei singoli criteri per il valore ottimale delle rispettive variabili.

Il valore ottenuto, collegato all'entità delle variabili decisionali, sarà quindi assoggettato a dei *vincoli* (massimi o minimi a seconda dei *segni* imposti) che il modello dovrà rispettare nella risoluzione del problema.

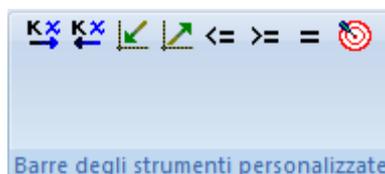
Nelle ultime righe della matrice infine, viene collocata la *funzione obiettivo*, rappresentata da uno dei criteri il cui valore complessivo rappresenta la risposta al problema di ottimizzazione (*risultato*). (Figura 51).

Figura 51 – La matrice utilizzata nel software What’sBest.

	A	B	<i>Variabili decisionali</i>		
	X	Y	<i>Valore ottimale delle variabili decisionali</i>		
			<i>Colonna somma</i>	<i>Segni</i>	
<i>Criterio 1</i>	1 <sub>A</sub>	1 <sub>B</sub>	$(1_A * X) + (1_B * Y)$	$\leq$	<i>Vincolo 1</i>
<i>Criterio 2</i>	2 <sub>A</sub>	2 <sub>B</sub>	$(2_A * X) + (2_B * Y)$	$=\leq$	<i>Vincolo 2</i>
<i>Criterio 3</i>	3 <sub>A</sub>	3 <sub>B</sub>	$(3_A * X) + (3_B * Y)$	$=\leq$	<i>Vincolo 3</i>
<i>F(x) obiettivo</i>	O <sub>A</sub>	O <sub>B</sub>	$(O_A * X) + (O_B * Y)$	$\leftarrow$	<i>Risultato</i>

Come accennato, What’sBest è un software che lavora in ambiente Microsoft Excel e si concretizza dunque in una macro (Figura 52) in cui ognuno dei pulsanti consente di definire il problema decisionale impostando adeguatamente la matrice.

Figura 52 – L’interfaccia grafica dei comandi del software What’sBest.



Operativamente, per prima cosa mediante il pulsante “Adjustable” (Figura 53), è necessario indicare quali caselle nella matrice contengono valori che possono essere variati. Si indicano perciò quali celle il programma What’sBest può modificare per ottimizzare la soluzione richiesta: corrispondono nell’esempio della figura 51 alle caselle X ed Y.

Figura 53 – L’aspetto dei pulsanti “Adjustables” nell’interfaccia del software What’sBest.



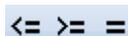
Di qui si dovrà procedere con l’indicare quale cella deve essere ottimizzata: essa rappresenta la funzione obiettivo del problema, che potrà essere massimizzata o minimizzata. La cella da ottimizzare viene resa tale selezionandola e cliccando il comando “Best” (Figura 54).

A questo punto è necessario definire a quale tipo di imposizione (minore, uguale o maggiore) dovranno sottostare i singoli criteri rispetto ai vincoli imposti al modello. I segni dei vincoli vengono attribuiti cliccando sul comando “Constraints” (Figura 55).

Figura 54 – L’aspetto dei pulsanti “Best” nell’interfaccia del software What’sBest.



Figura 55 – L’aspetto dei pulsanti “Constraints” nell’interfaccia del software.



Una volta impostati i comandi relativi alle celle aggiustabili, alla funzione obiettivo ed ai vincoli, è possibile risolvere il modello e trovare la soluzione al problema cliccando sul comando “Solve” (Figura 56).

*Figura 56 – L’aspetto dei pulsanti “Solve” nell’interfaccia del software What’sBest.*



A questo punto il software analizza tutte le informazioni assegnate nella matrice ed elabora la combinazione ottimale al fine di massimizzare/minimizzare il valore della funzione obiettivo.

#### **5.4. Impostazione della matrice della tecnica**

Come accennato nell’introduzione generale, tra gli obiettivi del presente lavoro, vi è la valutazione dei potenziali conflitti e delle eventuali conseguenze innescate dall’impiego del suolo agricolo per la produzione di biomasse a fini energetici, in relazione a scenari che prevedano disponibilità idriche e di manodopera sempre più limitate.

Si è voluto perciò descrivere come variano il reddito degli agricoltori e la produzione di energia al variare del comparto colturale adottato, quantificando i costi opportunità che derivano dalla scelta di implementare politiche diversificate d’uso del territorio.

A tal fine, mediante il ricorso agli strumenti d’analisi precedentemente esposti, è stata realizzata una matrice sulla base dello schema in figura 51, che, opportunamente modificata, fosse in grado di dare spazio alle numerose variabili e criteri in gioco.

In questa matrice sono state quindi inserite da un lato due funzioni obiettivo: il reddito netto degli agricoltori (RN) e l’energia netta (E) ottenibili dal comparto agricolo, mentre dall’altro sono stati considerati tre diversi criteri vincolati: la disponibilità di terreno (espressa in ha di SAU), di acqua irrigua (espressa in m<sup>3</sup>/ha/anno) e di manodopera (espressa dalla richiesta mensile di manodopera di ogni ettaro delle diverse colture). Funzioni obiettivo, vincoli e criteri saranno descritti dettagliatamente nel capitolo successivo (capitolo 6).

La nuova matrice della tecnica ha dunque consentito di esprimere la variazione delle funzioni obiettivo in relazione al comparto produttivo adottato, qualora si ipotizzino progressive riduzioni nella disponibilità idrica e di manodopera per l’area in esame (Figura 57).

Tale matrice rappresenta in realtà l’elemento base impiegato nella ricerca: l’analisi è stata condotta in un’ottica multi periodale, che ha considerato un periodo di 15 anni. Il modello ha avuto così a disposizione questo lasso di tempo per decidere come gestire in maniera differenziata anno per anno le variabili inserite nel modello in funzione di vincoli e criteri.

La matrice di base è stata dunque ampliata e ripetuta per il numero di anni corrispondenti al periodo considerato, risultando notevolmente più ampia (Figura 58).

Figura 57 – L'elemento base (stilizzato) della matrice impiegata nello studio proposto

Variabili decisionali		Coltura1	Coltura2	...	Coltura3			
Valori ottimali		2	6	...	14	Colonna somma	Segni	Vincoli
Criteri	Superficie	1	1	...	1	54161	<=	54161
	Acqua	1	2	...	2	270805	<=	270805
	Manodopera1	1	0	...	2	410000	<=	410000
	Manodopera 2	1	0	...	2	410000	<=	410000
	...	...	...	...	...		=<=	...
	Manodopera 3	0	0	...	3	310000	<=	410000
F(x) Obiettivo	RN generato	415	400	...	150	MAX	← Risultati	
	E generato	15	11	...	112	MAX		

Figura 58 – La matrice completa adattata allo studio.

		Variabili Anno 1	...	Variabili Anno 15			
		Valori Anno 1	...	Valori Anno 15			
Criteri Anno 1	Matrice di base	0		0	Somma	=<=	Vincoli Anno 1
...	0	Matrice di base		0	Somma	=<=	...
Criteri Anno 15	0	0		Matrice di base	Somma	=<=	Vincoli Anno 15
F(X) Obiettivo	Valore Anno 1	...		Valore Anno 15	Somma	← Risultato	

Nella prima fase della ricerca, la matrice è stata impiegata per realizzare l'ottimizzazione dei due obiettivi presi singolarmente. Massimizzando prima la funzione obiettivo energia e poi quella del reddito, si sono trovati i valori massimi raggiungibili dalle singole funzioni obiettivo, a seconda dei rispettivi vincoli di manodopera, terreno e acqua irrigua.

Questi valori, considerati come punti massimi di risoluzione del sistema di programmazione lineare, sono poi stati messi in discussione attraverso l'analisi WGP, che ha tentato di massimizzare non più il singolo obiettivo, ma entrambi gli obiettivi contemporaneamente, assegnando loro una diversa importanza.

In particolare si è quindi cercata l'ottimizzazione di una nuova funzione obiettivo che considerasse entrambi gli obiettivi: si è così puntato a minimizzare la distanza tra i valori standardizzati delle funzioni obiettivo precedenti (rispetto ai valori massimi), in funzione dell'importanza (peso) a loro assegnata:

*minimizzare la*

$$F(x) \text{ Obiettivo WGP} = \left\{ \alpha \times \left( \frac{RN - RN_{MAX}}{RN_{MAX}} \right) + \beta \times \left( \frac{E - E_{MAX}}{E_{MAX}} \right) \right\}$$

*in cui*

$\alpha$  è il peso assegnato all'obiettivo reddito netto (RN);

$\beta$  è il peso assegnato all'obiettivo energia netta (E);

$RN_{max}$  e  $E_{max}$  sono i valori massimi ottenuti dalla massimizzazione delle singole funzioni obiettivo RN ed E;

$RN$  e  $E$  sono i valori relativi di RN ed E;

L'iterazione di tale funzione, al variare dei pesi ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) assegnati agli obiettivi, ha permesso così di individuare una serie di soluzioni ottimali legate a diversi assetti del territorio. A loro volta, tali soluzioni hanno consentito di descrivere diverse frontiere efficienti, esaminate nel dettaglio nel capitolo 7.



## CAPITOLO VI

### 6. Il caso studio

Lo studio si è posto il problema di individuare quali vincoli e quali obiettivi influenzassero maggiormente le modalità di allocazione delle coltivazioni in un determinato spazio agricolo.

Tra gli strumenti metodologici, la programmazione ad obiettivi definiti e pesati (WGP), ben si presta ad affrontare tali problematiche in quanto consente di analizzare contemporaneamente la massimizzazione di più obiettivi, fornendo per ciascuno scenario ipotizzato, una soluzione rappresentata da uno specifico riparto colturale.

Nella ricerca proposta, gli obiettivi considerati sono stati il reddito degli agricoltori e la produzione di energia, mentre i vincoli sono stati la disponibilità di SAU, di manodopera e di acqua irrigua.

L'area oggetto dello studio è costituita dalla provincia di Rovigo, nella regione Veneto, un territorio caratterizzato da una forte prevalenza della componente rurale rispetto a quella urbana. La vastità del territorio in esame, la variabilità di colture presenti e la mutevolezza delle paesaggi, unite ad un agevole recupero dei dati necessari all'analisi, hanno permesso di dare spazio ad un largo numero di combinazioni colturali possibili.

Con riferimento all'area scelta, descritta in dettaglio nel paragrafo che segue (6.1), sono state raccolte le informazioni necessarie all'implementazione dei modelli di WGP. Questi modelli, per la simulazione degli scenari, necessitano di dati relativi all'uso del suolo, alla produttività delle coltivazioni, ai fabbisogni irrigui e all'impiego di risorse specifiche, descritte dettagliatamente a partire dal paragrafo 6.2.

#### 6.1. L'area in esame

La provincia di Rovigo si trova nella parte meridionale del Veneto, al confine con Emilia Romagna e Lombardia, e viene tendenzialmente associata al "Polesine", una vasta area compresa tra il fiume Adige ed il Po. Era, in origine, una regione paludosa soggetta alle frequenti inondazioni dei due fiumi e solo in seguito alla bonifica - avvenuta agli inizi del '900 - venne resa stabilmente disponibile per l'agricoltura<sup>40</sup>.

Rovigo è divenuta così una provincia a forte vocazione agricola: la superficie agricola utilizzata (SAU) occupa quasi il 65% del territorio, percentuale notevolmente superiore alla media nazionale e regionale, ferma al 40-45% circa (Inea, 2008; Regione Veneto, 2004).

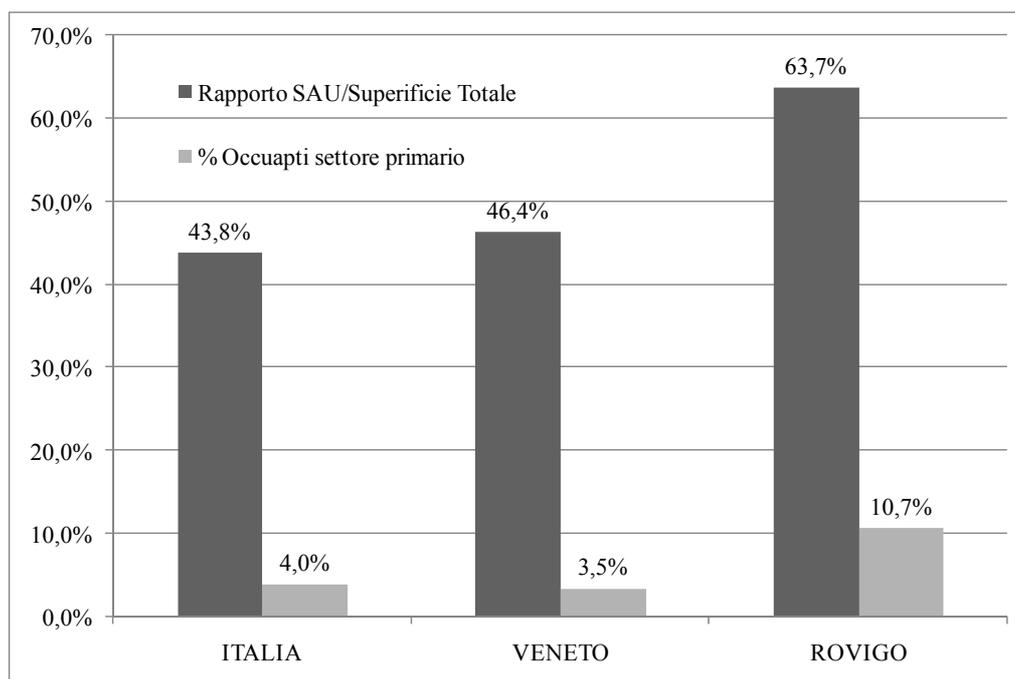
La popolazione della provincia è di oltre 245.000 persone, con un tasso di occupazione del 43%, uno dei valori più bassi registrati nel panorama regionale, ma in linea con i dati medi nazionali e regionali. Nel complesso sono occupate nel settore primario circa 11.300 persone, pari all'11% della popolazione attiva (Istat, 2007), valore nettamente più alto delle medie registrate a livello nazionale e regionale (Figura 59).

L'area è caratterizzata dalla presenza prevalente di seminativi (96% della SAU) e rappresenta per questo una delle province leader in regione per la produzione di cereali da granella (soprattutto mais e frumento) e di coltivazioni industriali (soprattutto barbabietola e soia): i primi in particolare rappresentano quasi il 70% della superficie a seminativo della provincia.

---

<sup>40</sup> Non a caso l'etimologia della parola "polesine" è una voce veneta (in ortografia classica) che deriva dal latino medievale pollicinum o pollicinum ossia "terra paludosa".

Figura 59 – Il rapporto SAU/Superficie totale e la percentuale di occupati nel settore primario a livello provinciale, regionale e nazionale.



Fonte: Istat, 2007.

A tale proposito si osservi che, nel 2004, il valore aggiunto del settore primario è stato di oltre 400 milioni di euro, il 74% dei quali derivanti da seminativi da pieno campo<sup>41</sup>, mentre la restante frazione è stata ottenuta in prevalenza dagli allevamenti di bovini da carne. (Regione Veneto, 2004),

## 6.2. I dati

I dati impiegati nella realizzazione dell'analisi WGP si possono distinguere in quattro categorie:

- vincoli riguardanti la disponibilità di risorse (o di fattori produttivi);
- coefficienti tecnici che quantificano la relazione esistente tra le varie attività previste e le funzioni obiettivo da massimizzare (o minimizzare);
- coefficienti tecnici che quantificano la relazione esistente tra le varie attività previste ed i vincoli nella disponibilità di risorse;
- attività da inserire nella funzione obiettivo e nella matrice della tecnica.

La maggior parte dei dati raccolti è di natura censuaria. In particolare, i dati territoriali relativi alla superficie ed agli occupati nel settore primario derivano principalmente da fonti statistiche ufficiali regionali e nazionali (Regione Veneto, ISTAT).

Di diversa origine invece i coefficienti tecnici che sono stati ottenuti consultando la letteratura scientifica disponibile sull'argomento.

Questi dati hanno quindi consentito di scegliere le colture più adatte da impiegare nel modello, in modo da rappresentare in parte l'attuale sistema colturale della provincia di Rovigo, rispecchiandone le vocazionalità agronomiche.

L'area, come poco sopra accennato, è caratterizzata da una forte presenza di cereali e colture oleaginose ma anche in parte dalla marcata presenza di elementi lineari come

<sup>41</sup> Oltre a caratterizzare fortemente il paesaggio dell'area, questi hanno rappresentato 21% del valore agricolo derivato dalla coltivazione di cereali da granella dell'intera regione (Regione Veneto, 2004).

filari e siepi che tendono ad interrompere la continuità delle colture. Tale caratteristica riflette gli aspetti più tradizionali della campagna veneta, legati in genere ad uno sfruttamento meno intensivo del territorio.

La matrice utilizzata per lo studio ha quindi utilizzato da un lato i dati di colture tipicamente erbacee come grano, mais, soia, colza, girasole, prati avvicendati ed incolti, e, dall'altro, colture legnose come siepi e impianti di short rotation forestry (SRF)<sup>42</sup> (Tabella 3).

*Tabella 3 – Riassunto delle colture adottate nell'analisi.*

Colture Agrarie Tradizionali (IRRIGUE)	Colture Agrarie Tradizionali (NON IRRIGUE)	Colture Legnose
MAIS	GRANO	SRF
SOIA	COLZA	SIEPI
GIRASOLE	INCOLTI	
PRATI		

### **6.2.1. Il vincolo superficie**

L'area considerata nello studio, secondo i dati del Censimento Generale dell'Agricoltura del 2000, ha una SAU di circa 114.000 ettari ed è totalmente pianeggiante. La superficie presa in considerazione nell'analisi però, corrisponde a quella parte della SAU della provincia di Rovigo, che potenzialmente può essere utilizzata a fini energetici.

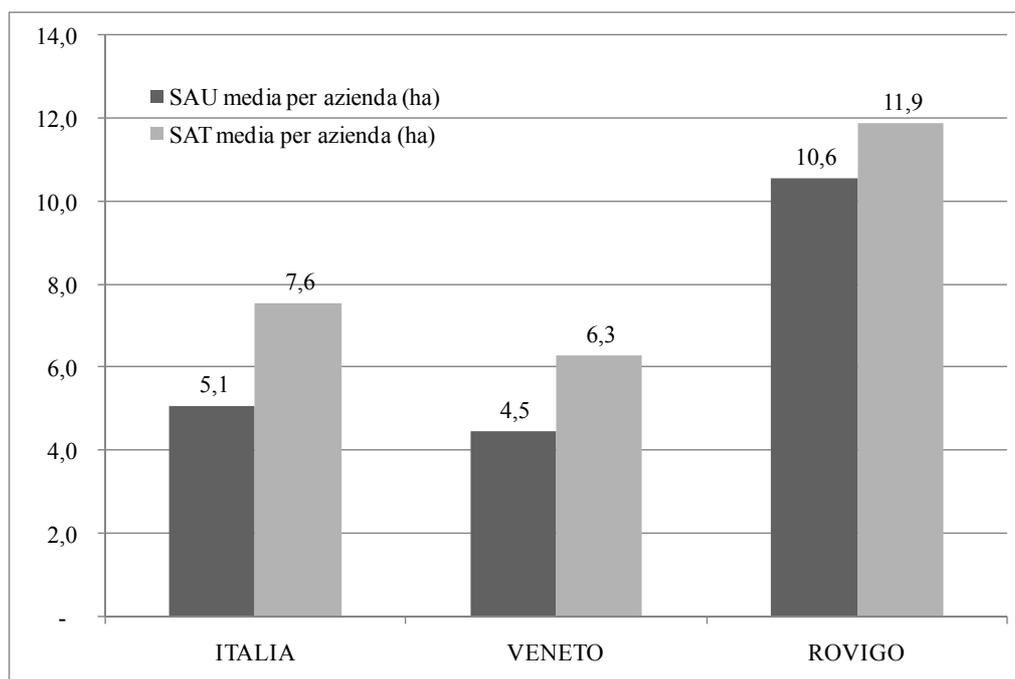
Per determinarla, è stata sottratta alla SAU provinciale la superficie a orticole e quella impiegata per l'allevamento del bestiame. Per quantificare quest'ultima si è moltiplicato la superficie media aziendale provinciale (10,6 ha) per il numero di aziende che allevano bovini, assumendo implicitamente perciò che la superficie media aziendale non sia influenzata dall'indirizzo produttivo. Si è quindi ipotizzato che in provincia di Rovigo siano utilizzabili a fini energetici circa 54.000 ha.

E' interessante inoltre notare che, le dimensioni medie delle quasi 11.000 aziende della provincia (sia in termini di SAU che di SAT), risultano nettamente superiori alla media regionale e nazionale (Figura 60).

Infine, si consideri che nella provincia i seminativi rappresentano oltre il 90% della SAU. Tra le colture più importanti dell'area vi sono il granturco che occupa il 54% della SAU provinciale, la soia ed il frumento (entrambi a quota 12%), le barbabietole e le foraggere (al 5%) (Regione Veneto, 2004) (Figura 61).

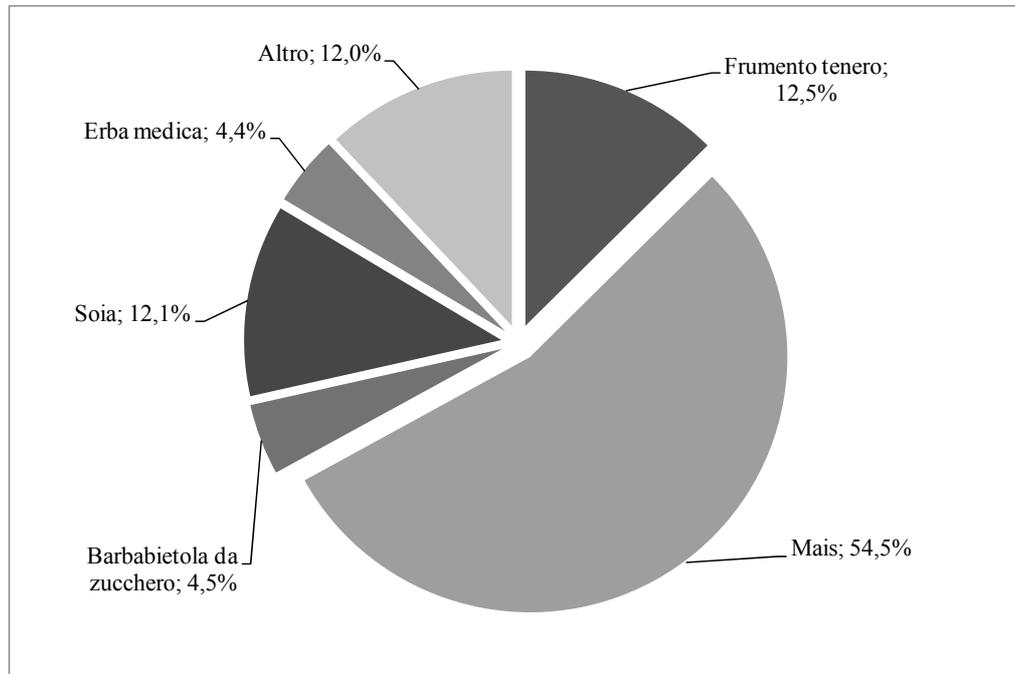
<sup>42</sup> Per short rotation forestry si intende una piantagione di specie forestali a rapida crescita (per lo più pioppo) caratterizzata da una densità elevatissima e da un turno di utilizzazione molto breve (2-5 anni). La piantagione, che viene ceduta 5-6 volte nel corso del ciclo di coltura è da considerare una coltura agraria a tutti gli effetti destinata alla produzione esclusiva di biomassa da destinare a fini energetici.

Figura 60 – Superficie agricola totale (SAT) e superficie agricola utilizzata (SAU) media delle aziende agricole. Confronto valori provinciali, regionali e nazionali.



Fonte: Istat, 2000.

Figura 61 – Forme di utilizzazione principali della SAU in provincia di Rovigo.



Fonte: Regione Veneto, 2004.

## 6.2.2. Il vincolo lavoro

Analogamente a quanto avvenuto per l'analisi della superficie, sono stati analizzati su base censuaria anche i dati relativi agli addetti al settore primario nel rodigino.

Come già osservato, stando alle ultime statistiche disponibili (Istat, 2007), nell'area di Rovigo sarebbero attive circa 11.300 persone nel settore primario con una percentuale nettamente superiore sia alla media regionale che nazionale (Figura 59). E' interessante anche osservare che dal 2000 al 2007 il numero di attivi in agricoltura è cresciuto di oltre il 15%, in netta controtendenza rispetto a quanto accaduto a livello regionale (-30%) e nazionale (-41%) (Istat, 2000-2007) (Tabella 4).

Tabella 4 – Attivi nel settore primario dal 2000-2007 in Italia e nelle province del Veneto (Fonte: elab. su dati ISTAT, 2000-2007).

	Attivi nel settore primario		
	2000	2007	Variazione '00-'07
Verona	21.520	15.607	-27,5%
Vicenza	13.833	11.540	-16,6%
Belluno	2.114	2.054	-2,8%
Treviso	24.039	13.590	-43,5%
Venezia	16.375	9.219	-43,7%
Padova	17.980	10.265	-42,9%
ROVIGO	9.806	11.291	15,1%
VENETO	105.667	73.566	-30,4%
ITALIA	1.571.266	923.592	-41,2%

Anche in questo caso, poiché la ricerca si interessava esclusivamente dei seminativi da pieno campo, si è considerato un numero di attivi inferiore al totale della provincia.

Dei 11.300 addetti individuati dall'ISTAT non sono stati considerati quelli che - presumibilmente - prestano la loro attività in altri comparti come la zootecnia, le colture arboree e l'orticoltura.

Similmente a quanto fatto per l'identificazione della SAU disponibile, a partire dal numero medio di addetti per azienda e dall'analisi degli OTE<sup>43</sup> delle aziende agricole presenti, si è ottenuto un valore pari a poco meno della metà degli addetti: in totale, le unità lavorative disponibili per la produzione di biomasse o biocarburanti sarebbero poco più di 5.100.

Questa cifra è stata quindi utilizzata per il calcolo della disponibilità di manodopera su base mensile. Supponendo che ogni unità lavorativa svolga 20 giornate di lavoro di 4 ore si è ottenuto un monte ore complessivo di 410.000 ore/mese, che ha pertanto rappresentato il vincolo di manodopera utilizzato nel modello.

Così come per la disponibilità complessiva di acqua, al fine di testare la sensibilità degli obiettivi in gioco alla variazione del numero di addetti, la ricerca ha ipotizzato che nel medio periodo vi possa essere una diminuzione della disponibilità di manodopera complessiva nell'area, in linea con quanto si è visto succedere a livello regionale e nazionale. In particolare, si sono ipotizzate due situazioni alternative rispetto alla

<sup>43</sup> OTE, Orientamento Tecnico Produttivo. Si riferisce alle attività economiche prevalenti delle aziende agricole.

disponibilità attuale di manodopera nelle quali il monte ore disponibile mensilmente è stato diminuito del 10 e del 20%. Tali valori, sono stati considerati a partire dal primo anno del periodo di riferimento e mantenuti poi stabili per tutto il periodo. (Tabella 5)

Tabella 5 – Calcolo del vincolo di ore lavorative mensili in base alle ipotesi di diminuzione della disponibilità di manodopera.

Manodopera disponibile	Addetti	Ore/giorno	Giorni/mese	Vincolo mensile Ore/mese
100%	5.125	4	20	410.000
90%	4.613	4	20	369.000
80%	4.100	4	20	328.000

La richiesta oraria mensile delle singole colture inserita nella matrice della tecnica, è stata stimata facendo riferimento a varie fonti bibliografiche (Ribaud, 2002; Veneto Agricoltura, 2003; Aiel, 2006) (Appendice I).

Poiché, come osservato nel paragrafo successivo (6.2.3), sono stati ipotizzati quattro diversi scenari relativi alla disponibilità di acqua irrigua, nella matrice della tecnica, la richiesta unitaria di lavoro per le diverse colture irrigue è stata adeguatamente ridotta al variare della disponibilità di acqua e dello scenario.

### 6.2.3. Il vincolo acqua

La disponibilità d'acqua ha rappresentato il vincolo più complesso da definire, dato il duplice ruolo che è in grado di svolgere.

Il primo di questi è rappresentato dalla disponibilità d'acqua generale in una determinata area, in grado di condizionare il tipo di riparto colturale che può essere adottato: più acqua disponibile significa che è possibile investire in larga misura in colture tipicamente irrigue (es. mais, soia ...). Al contrario, bassa disponibilità di acqua irrigua, significa minimizzare i rischi legati alla carenze idriche, adottando per la maggior parte colture che tipicamente non necessitano di apporti irrigui (es. cereali autunno-vernini).

Il secondo vincolo è invece di natura fisiologica: l'acqua è infatti uno dei tre<sup>44</sup> elementi necessari alla crescita di un vegetale e la sua limitazione si ripercuote negativamente (in maniera assai differente tra specie e specie) sull'accrescimento e - dunque - sulla resa della singola coltura. Per questo motivo, scegliere la coltura più adatta ad un determinato territorio, significa tenere in considerazione la sua risposta produttiva in caso di eventuali carenze idriche.

La relazione tra acqua e resa è stata stimata con la funzione (Giardini, 2002; Borin, 1999):

$$\left(1 - \frac{Re}{Rm}\right) = Ky \left(1 - \frac{ETe}{ETm}\right)$$

Dove

*Re* = Resa effettiva (Q/ha/anno)

*Rm* = Resa massima (Q/ha/anno)

<sup>44</sup> Gli altri due sono la luce e le sostanze minerali, oltre che - ovviamente - un supporto fisico su cui poggiare (terreno).

$K_y$  = Fattore di risposta produttiva  
 $ET_e$  = Evapotraspirazione effettiva (mm/ha/anno)  
 $ET_m$  = Evapotraspirazione massima (mm/ha/anno)

La formula permette di stimare la curva della risposta produttiva di una coltura in funzione della disponibilità d'acqua, evidenziando perdite o incrementi di produttività in caso di minor o maggior apporto irriguo.

Così, nella realizzazione della matrice della tecnica, poiché l'approccio metodologico utilizzato non consente di impiegare variazioni di produttività nel continuo, al fine di semplificare lo studio si sono ipotizzati due soli scenari che prevedono la presenza o l'assenza della disponibilità d'acqua:

- massima disponibilità (caso 100% o "A"), che corrisponde alla quantità che consente di massimizzare le rese nel contesto in esame;
- disponibilità nulla (caso 0% o "C"), che fa riferimento alla situazione in cui non vi sia più disponibilità di acqua per le colture (Tabella 6).

In altri termini, in uno scenario caratterizzato da minori disponibilità irrigue, per il coltivatore potrebbe essere conveniente distribuire meno acqua per unità di superficie alla singola coltura, mantenendo però inalterata la superficie che essa occupa.

*Tabella 6 – Risposta produttiva delle colture alla diminuzione della disponibilità d'acqua assunte nel modello. Variazione percentuale delle rese rispetto alla situazione ottimale.*

	Disponibilità di acqua irrigua		Risposta produttiva
	Massima (100%)	Nulla (0%)	
MAIS	1	0,70	
SOIA	1	0,81	
GIRASOLE	1	0,92	
SRF	1	0,60	

Nella matrice della tecnica inoltre, ogni coltura irrigua è stata considerata due volte: una per ogni livello di disponibilità d'acqua (Tabella 7).

*Tabella 7 – Colture irrigue e rispettive varianti inserite nella matrice della tecnica.*

Disponibilità d'acqua		0%	100%
COLTURE AGRARIE	Grano	X	
	Mais	X ("A")	X ("C")
	Soia	X ("A")	X ("C")
	Colza	X	
	Girasole	X ("A")	X ("C")
	Prato	X ("A")	X ("C")
	Incolto	X	
COLTURE LEGNOSE	Srf	X ("A")	X ("C")
	Siepe	X	

I dati relativi ai consumi irrigui delle colture erbacee derivano da elaborazioni su dati agronomici rinvenibili nei manuali di agronomia (Borin, 1999; Baldoni e Giardini, 2001; Ribaud, 2002; Giardini, 2002; Bonciarelli, 2003), mentre per quanto riguarda i consumi irrigui di prati avvicendati e della SRF è stato necessario ricorrere a delle stime. Per ognuna delle colture irrigue presenti nel modello, si sono dunque evidenziate le richieste d'acqua (Appendice II).

Al fine di quantificare il consumo idrico massimo del territorio in esame, è stato necessario individuare una coltura quale proxy di tale fabbisogno. Si è scelto il mais, coltura molto diffusa nell'area e allo stesso tempo alquanto esigente dal punto di vista irriguo (1500 m<sup>3</sup>/ha/anno).

Ipotizzando di coprire tutta l'area con il mais, e supponendo di distribuire tutta l'acqua necessaria, è stato calcolato il livello massimo di richiesta irrigua per l'intera area, pari ad oltre 81 milioni di metri cubi d'acqua annui.

Tale valore rappresenta l'ipotesi di massima disponibilità (scenario 100%), a cui ne sono stati affiancati altri tre, corrispondenti a riduzioni progressive della disponibilità irrigua (Tabella 8).

*Tabella 8 – I livelli di disponibilità d'acqua irrigua ipotizzati.*

Disponibilità di acqua irrigua				
Disponibilità parziale (m <sup>3</sup> /ha/anno)	1500	1000	500	0
Disponibilità totale (m <sup>3</sup> /anno)	81.241.500	54.161.000	27.080.500	0

Nel complesso dunque, tenendo in considerazione anche le variazioni della disponibilità di manodopera, sono stati ipotizzati dodici scenari alternativi derivanti dalla combinazione di differenti disponibilità di acqua e di lavoro (Tabella 9).

*Tabella 9 – Riepilogo delle diverse combinazioni di vincoli imposti al modello.*

Disponibilità irrigua				
→	1500	1000	500	0
Disponibilità manodopera	(m <sup>3</sup> /ha/anno)	(m <sup>3</sup> /ha/anno)	(m <sup>3</sup> /ha/anno)	(m <sup>3</sup> /ha/anno)
↓				
100%	X1	X2	X3	X4
90%	X5	X6	X7	X8
80%	X9	X10	X11	X12

#### **6.2.4. Ottica temporale**

L'analisi è stata condotta in un'ottica di medio periodo, scegliendo come riferimento la più probabile durata di un impianto di SRF con turno biennale<sup>45</sup> pari a 15 anni.

All'interno di questo periodo il modello ha potuto gestire a piacere la SAU, decidendo di variare anno per anno le colture impiegate nel riparto, a seconda delle loro caratteristiche e della loro diversa attitudine al raggiungimento degli obiettivi individuati.

Se, da un lato, la superficie delle colture tradizionali ha potuto variare annualmente (presentandosi libera da vincoli), quella delle colture legnose (SRF e siepi) è stata invece vincolata alle scelte fatte nel primo anno del periodo considerato. Queste tipologie di impianti, infatti, non risultano modificabili di anno in anno dato che, non producendo rendite annuali, hanno bisogno di più tempo prima di divenire effettivamente produttive. Scegliere una di queste colture legnose nel primo anno del periodo significa dunque doverla adottare, nella stessa estensione, per tutti gli anni a venire.

Le superfici destinate alle colture agrarie tradizionali invece sono rimaste libere di variare di anno in anno, anche se, come vedremo, il modello ha tendenzialmente mantenuto lo stesso riparto colturale per tutto il periodo considerato, senza apportare alcuna variazione.

#### **6.3. Le funzioni obiettivo**

Due sono gli obiettivi considerati nell'analisi:

- un obiettivo “economico”: rappresentato dal reddito netto degli agricoltori su base annua per ciascuna coltura (RN);
- un obiettivo “energetico”: che tiene in considerazione la possibile produzione di energia netta delle diverse colture in atto (E).

I due obiettivi, di seguito descritti in dettaglio, hanno rappresentato ciò che il modello avrebbe dovuto massimizzare (o minimizzare) in funzione dei dati forniti sulle singole variabili in gioco (colture) e dei vincoli imposti alla matrice (acqua, SAU, manodopera e tempo).

##### **6.3.1. Reddito degli agricoltori**

Per gli agricoltori l'aspetto economico costituisce un elemento centrale nelle scelte di politica aziendale poiché la redditività delle singole colture è un elemento di massima importanza nella valutazione del riparto colturale da adottare.

L'indicatore economico utilizzato è rappresentato dal reddito netto (RN) di ogni coltura, ottenuto sottraendo al valore della produzione vendibile, non solo i costi specifici da sostenere durante il ciclo produttivo, ma anche i costi fissi dell'azienda, rappresentati nello specifico dai costi generali (indipendenti cioè dal tipo di colture praticate) e dalle quote di ammortamento di macchinari e fabbricati.

Nel calcolo del RN, non si è però tenuto conto del costo del lavoro, facendo perciò implicitamente riferimento ad aziende condotte da coltivatori diretti, in cui la disponibilità di lavoro è in sostanza fissa e non modificabile.

---

<sup>45</sup> Impianti di SRF con turno biennale, tendono ad essere economicamente sostenibili fino a 5-7 turni, corrispondenti a circa 15 anni. L'impianto, da questo momento in poi, tende infatti a non produrre più come nei turni precedenti e dunque diventa necessario procedere all'espianto totale della coltivazione per riprenderla daccapo.

La scelta di un indicatore simile è giustificata dall'ottica di medio periodo in cui ci si è posti nell'impostazione dell'analisi: la disponibilità di capitale fisso quindi è considerata variabile nel periodo di riferimento.

Le informazioni relative al reddito sono derivate dall'ampio database dell'INEA che, come noto, effettua rilevazioni di bilanci agricoli annuali (RICA<sup>46</sup>) su campioni di aziende delle diverse zone agricole della regione. Nel caso specifico, i dati derivano dai campioni della provincia di Rovigo, e fanno riferimento all'anno 2006.

A partire dai dati grezzi delle rilevazioni RICA, sono stati quindi calcolati i RN medi ad ettaro delle singole colture prese in considerazione nel modello (INEA, 2008).

Per quanto riguarda invece le colture legnose presenti nel modello (SRF e siepi), sono state utilizzate stime realizzate da AIEL e Veneto Agricoltura all'interno di progetti effettuati nell'area del Padovano (AIEL, 2004), nonché valutazioni tecnico economiche ad opera di altri centri di ricerca (CNER, 2006; CRA-RM, 2007; CRA-AL, 2006).

L'analisi di medio periodo, ha reso necessario omogeneizzare i redditi delle diverse colture coinvolte poiché, mentre alcune di queste sono caratterizzate da rese annuali (colture agrarie tradizionali), altre sono caratterizzate da produzioni poliannuali (SRF e siepi)<sup>47 e dunque</sup> non raffrontabili tra loro.

Per questo motivo, la valutazione economica è stata fatta sulla base del reddito medio attualizzato, scontando all'attualità (in questo caso al 2008) ogni valore di reddito generato dalle colture nei diversi anni del periodo di riferimento.

Per far ciò si sono utilizzate le normali formule di matematica finanziaria, utilizzando un tasso di sconto pari al 3%<sup>48</sup>.

$$RN \text{ attualizzato} = (RN \text{ anno } X) \times \frac{1}{(1+r)^n}$$

*Dove:*

*n* = numero degli anni compresi tra l'anno *X* e quello di valutazione (in questo caso il 2008);

*r* = tasso di interesse applicato

*RN X* = *E'* il reddito al netto delle spese dell'anno *X*.

Questo modifica ha permesso di calcolare il valore attuale netto (VAN<sup>49</sup>) che ogni coltura è in grado di generare nel periodo considerato, permettendo di omogeneizzare i valori di reddito e di operare le dovute comparazioni.

Per ogni anno analizzato e inserito nella matrice della tecnica, stesse colture hanno dato luogo a rese economiche differenti a causa dell'attualizzazione finanziaria imposta al modello. (Appendice III)

Una particolare attenzione è stata riservata alle colture con diversi gradi di disponibilità irrigua (mais, soia, girasole, SRF e prati): ognuna di queste ha dato luogo infatti a due diversi RN, calcolati mediante elaborazioni sulla base della perdita di resa, conseguente alla minor disponibilità di acqua irrigua (Tabelle 10 e 11).

---

<sup>46</sup> Rete Informatica Contabilità Agraria (RICA). Analisi annuali del comparto agricolo ad opera dell'INEA.

<sup>47</sup> Nella valutazione di entrambe le colture legnose si è ipotizzato un orizzonte temporale complessivo di 16 anni, nell'arco dei quali le SRF cadono al taglio 7 volte (turno biennale), mentre le siepi vengono utilizzate 3 volte (turno quinquennale).

<sup>48</sup> In estimo agrario le valutazioni vengono in genere fatte impiegando un *r* che varia tra il 2 ed il 5%.

<sup>49</sup> Il VAN è dato dalla sommatoria di tutti i valori di reddito (al netto delle spese) attualizzati (o scontati) al momento della valutazione. *E'* un'analisi tipicamente utilizzata per valutare la convenienza di un investimento o per mettere a confronto diversi tipi di investimenti.

*Tabella 10 – Reddito netto medio non attualizzato per le colture (irrigue e non legnose) impiegate nella matrice della tecnica (€/ha/anno).*

RN non attualizzato (€/ha/anno)		
Disponibilità irrigua per coltura	100%	0%
MAIS	410,5	287,3
SOIA	407,7	330,3
GIRASOLE	372,1	172,3
PRATO	341,3	238,9

*Tabella 11 – Reddito netto medio non attualizzato per le colture (non irrigue e non legnose) impiegate nella matrice della tecnica (€/ha/anno).*

RN non attualizzato (€/ha/anno)	
GRANO	404,9
COLZA	189,4
INCOLTO	340,6

L'affidabilità dei valori di RN delle diverse colture prese in considerazione è stata quindi verificata interpellando diverse associazioni di categoria operanti nell'area, che hanno fornito una sostanziale conferma dei dati.

Si osservi che nei valori di RN sono inclusi i contributi derivati dal Piano di Sviluppo Rurale regionale (PSR<sup>50</sup>). Il reddito delle singole colture è dunque da considerarsi a tutti gli effetti falsato da tali interferenze che molto spesso rappresentano l'unica garanzia di redditività all'agricoltore.

D'altro canto però, i contributi sono di diversa natura: trattasi infatti di sovvenzioni annuali per quanto riguarda le colture agrarie erbacee, e di contributi "una tantum" per quelle legnose. Quest'ultimi in particolare vengono in genere accordati esclusivamente per il primo anno, al fine di coprire (in parte) le operazioni di impianto.

In ultima analisi infine, è importante sottolineare che i valori di reddito considerati (se si esclude l'effetto sconto dell'attualizzazione), sono stati mantenuti costanti per tutto il periodo di riferimento. Questo assunto prevede un'eventualità secondo la quale, allo scadere dell'attuale PSR (nel 2013), i contributi continuino ad essere erogati.

In realtà però, alla scadenza del PSR, tali contributi potrebbero non essere più erogati, concorrendo a ridurre i redditi delle colture considerate ed inducendo probabili cambiamenti nelle scelte dei riparti colturali da adottare per massimizzare gli obiettivi considerati.

Nonostante alcune delle aziende pubbliche vicine alle fonti decisionali (INEA, AVEPA) escludano la possibilità di una totale scomparsa di questi incentivi, è plausibile invece che l'entità di tali contributi si riduca sensibilmente, anche alla luce del recente allargamento ad Est dell'Unione Europea.

<sup>50</sup> PSR 2007-2013.

In generale infine, ciò che si nota è una marcata differenza tra i redditi derivati dalle colture legnose e quelle erbacee: i redditi ricavabili dalle prime si sono infatti dimostrati di molto inferiori a quelli delle colture agricole più tradizionali.(APPENDICE III)

### 6.3.2. Energia

Per rendere omogenei i dati relativi alla produttività energetica delle colture considerate, e per poterli facilmente confrontare, è stato necessario trasformarne le rese colturali in output più specifici di cui fosse conosciuto nel dettaglio il contenuto energetico.

La variabile energia (E) è stata così calcolata (analogamente al RN) sulla base della produttività delle singole colture, ma in maniera differenziata tra colture erbacee e legnose.

Nel primo caso si è ipotizzato di trasformare l'intera resa di queste colture in biocarburanti (biodiesel o bioetanolo), di cui si conoscono nel dettaglio le caratteristiche energetiche e le modalità di produzione.

Nel caso delle colture legnose invece, si è considerata l'energia contenuta nella biomassa legnosa tal quale<sup>51</sup> ricavata dagli impianti (SRF o siepi).

In entrambi i casi è stata considerata l'energia netta ricavabile dal prodotto energetico definitivo (biodiesel, bioetanolo o biomassa legnosa), senza considerare l'eventuale trasformazione in fonte energetica secondaria (energia termica o elettrica).

Un assunto di questo genere, seppur criticabile, è in grado di tenere in considerazione il fatto che, nel lungo periodo (non considerato dunque in questa analisi), le tecnologie di trasformazione ed utilizzazione delle bioenergie potrebbero raggiungere una maggior convenienza economica ed una maggior efficienza energetica. Nel caso considerato le rese energetiche, alla stregua di quelle economiche, sono state invece considerate costanti negli anni.

Elemento determinante nella scelta del miglior riparto colturale diviene dunque la quantità di energia netta<sup>52</sup> ricavabile in media per unità di superficie.

Questi valori però risultano tutt'ora ancora alquanto difficili da stabilire con certezza: mentre da un lato il bilancio energetico<sup>53</sup> della produzione di biomasse legnose desta ben pochi dubbi sulla sua positività (Airoldi et al., 2000; Herrigel et al., 2004; Tanfoglio, 2007), le ricerche svolte a livello internazionale sul bilancio energetico della produzione di biocarburanti non sono ancora giunte ad una conclusione comune (Morris et al., 1994; Lorenz et al., 1995; Graboski et al., 1995; Sheenhan et al., 1998; Shapouri et al., 2002; Wang et al., 2004; Pimentel et al., 2005).

L'analisi di questi studi ha permesso di ipotizzare bilanci energetici mediamente positivi per queste produzioni, seppure vi siano tutt'ora dubbi sulle modalità di analisi e valutazione del contenuto energetico degli output ottenuti (Ballarin e Tempesta, 2007).

Nel calcolo della resa energetica delle colture agrarie<sup>54</sup> si è partiti dalla produttività delle singole colture, ricavata dalle statistiche regionali disponibili per l'area in esame,

---

<sup>51</sup> Per "tal quale" si intende in questo caso che la biomassa legnosa non ha subito successive modificazioni o lavorazioni particolari se non la riduzione in pezzatura adatta all'impiego energetico (chips).

<sup>52</sup> Con energia netta si indica il quantitativo di energia ottenibile dallo sfruttamento di una risorsa, al netto dell'energia impiegata nel processo di produzione e uso della risorsa stessa.

<sup>53</sup> Per bilancio energetico si intende la comparazione degli input energetici utilizzati in un processo con gli output energetici ottenibili.

<sup>54</sup> Tra le colture considerate nel computo dell'energia ricavabile non sono stati considerati gli incolti e gli erbai, in quanto dalle loro produzioni non si ricavano quantità di energia netta rilevanti.

sulla base delle medie rilevate negli anni 2000-2004 (Regione Veneto, 2004) (Tabella 12).

*Tabella 12 - Rese medie di prodotto (q/ha/anno) delle colture agrarie in funzione della risposta produttiva al variare della disponibilità irrigua specifica. (Fonte: elab. su dati Regione Veneto, 2000-2004).*

	Coefficiente di risposta produttiva (%)	Resa media (q/ha/anno)
GRANO	100%	64,2
MAIS A (100% acqua)	100%	103,2
MAIS C (0% acqua)	70%	72,2
SOIA A (100% acqua)	100%	41,0
SOIA C (0% acqua)	81%	33,2
COLZA	100%	31,8
GIRASOLE A (100% acqua)	100%	31,8
GIRASOLE C (0% acqua)	92%	28,9

A partire da questo dato, è stata quindi stimata la quantità di biocarburante ottenibile dallo sfruttamento del singolo ettaro di coltura<sup>55</sup> sulla base dell'analisi di diverse ricerche riguardanti il potenziale produttivo delle più tradizionali colture agricole (Pimentel et al., 2005; Lorenz et al., 1995).

Una volta ottenuta la produttività media di biocarburante ad ettaro, attraverso il potere calorifico inferiore<sup>56</sup> dello stesso, si è calcolata l'energia complessivamente estraibile dal singolo ettaro di coltura, esprimendola in GJ/ha/anno (Tabella 13).

Il valore così ottenuto rappresenta, tuttavia, solamente l'energia contenuta nel biocarburante, e non l'energia netta ottenibile dall'ettaro di coltura considerato. Per ottenere tale dato, è necessario realizzare un vero e proprio bilancio energetico<sup>57</sup> che tenga conto da un lato dell'energia ottenuta sottoforma di biocarburante e, dall'altro, dell'energia spesa nelle diverse fasi produttive di coltivazione, lavorazione e raffinazione dello stesso.

A tal fine sono stati considerati diversi studi riguardanti il bilancio energetico della produzione di biodiesel (Morris et al., 1994; Sheehan et al., 1998; Sharmer et al., 2001; Pimentel et al., 2005) e di bioetanolo (Morris et al., 1992; Shapouri et al. 1995; Wang et al. 2000; Graboski et al., 2002; Pimentel et al., 2005), che hanno consentito di identificare i coefficienti per stimare le rese nette di energia del singolo ettaro di coltura (Ballarin e Tempesta, 2007) (Tabella 13 e APPENDICE IV).

A questo proposito, si sottolinea come tali valutazioni considerino tra gli output energetici anche l'energia contenuta nei sottoprodotti di lavorazione (glicerina, farine,

<sup>55</sup>Bioetanolo nel caso di grano e mais, biodiesel nel caso di soia, colza e girasole

<sup>56</sup>Il potere calorifico esprime la quantità di massima di energia (in termini di calore) che si può ricavare dalla combustione dell'unità di sostanza combustibile, ed è misurato in Joule. Nello studio si è utilizzato il potere calorifico inferiore (PCI), in quanto maggiormente in grado di riflettere il potenziale energetico reale del combustibile.

<sup>57</sup>Per bilancio energetico si intende un'analisi che mette a confronto da un lato il contenuto energetico del prodotto ottenuto da un particolare processo produttivo (output) e dall'altro i costi energetici (input) di tale processo. Il rapporto tra i due (output/input) da origine ad un valore considerato indice di efficienza (se maggiore di 1) o inefficienza (se minore di 1) energetica.

mangimi ...) e non esclusivamente quella contenuta nel carburante. Ne consegue che il bilancio energetico di tali produzioni può essere considerato pienamente positivo solo nel caso in cui esistano settori produttivi interessati ad utilizzare in modo economicamente conveniente i sottoprodotti di lavorazione.

*Tabella 13 – Rese energetiche lorde e nette calcolate per le singole colture erbacee.*

	Resa energetica (GJ/ha/anno)	
	LORDA	NETTA
GRANO	75,4	15,6
MAIS 100	68,9	14,2
MAIS 0	48,2	9,9
SOIA 100	13,8	9
SOIA 0	11,1	7,3
COLZA	23,0	15,1
GIRASOLE 100	15,4	10,1
GIRASOLE 0	14,0	9,2
PRATO 100	0	0
PRATO 0	0	0
INCOLTO	0	0

Nel calcolo della resa energetica delle colture legnose invece, si sono analizzati i risultati derivati nelle già citate ricerche su siepi e SRF (AIEL, 2004; CNER, 2006; CRA-AL, 2006; CRA-RM, 2007). Trattandosi di produzioni poliannuali però, in alcuni degli anni del periodo di riferimento, queste colture non producono nulla, né energia né reddito (Tabella 14).

La produttività media di legname che cade al taglio ad ogni turno è stata quindi tradotta in potere calorifico ottenibile da ogni ettaro di coltura, esprimendolo ancora una volta in termini di GJ/ha, di modo da omogeneizzare tale resa a quella delle colture agrarie adottate nella matrice della tecnica (Tabella 15).

Tabella 14 - Rese medie annuali di prodotto legnoso (q/ha) (Fonte: elab. Su dati AIEL, 2004 e CRA, 2006-2007).

Anni di riferimento	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Produzione legnosa (q/ha)																
SRF A (100%)	-	-	190	-	242	-	242	-	190	-	171	-	171	-	-	257
SRF C (0%)	-	-	114	-	145	-	145	-	114	-	103	-	103	-	-	154
SIEPE	-	-	-	-	-	350	-	-	-	-	466	-	-	-	-	583

Tabella 15 – Rese energetiche calcolate per le singole colture arboree nell’arco temporale considerato.

Anni di riferimento	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Resa energetica (GJ/ha)																
SRF A (100%)	-	-	292,9	-	373,5	-	373,5	-	292,9	-	263,6	-	263,6	-	-	395,4
SRF C (0%)	-	-	46,9	-	59,8	-	59,8	-	46,9	-	42,2	-	42,2	-	-	63,3
SIEPE	-	-	-	-	-	349,7	-	-	-	-	466,2	-	-	-	-	582,8

L'analisi delle tabelle 13 e 15, pone in risalto la notevole differenza tra l'energia ricavabile dalle colture erbacee e da quelle legnose: quest'ultime infatti mostrano valori nettamente superiori alle prime, anche se in realtà (a differenza delle colture agrarie) non offrono una produzione annua.

Per quanto riguarda la redditività invece, i dati sono praticamente inversi: il VAN relativo al periodo in esame per le diverse colture considerate, risulta infatti nettamente differenziato tra colture legnose e agrarie, lasciando intravedere fin da subito la presenza di un forte conflitto di interessi tra l'obiettivo economico e quello energetico (Tabella 16 e APPENDICE IV).

Tabella 16 – VAN delle colture legnose ed agrarie per il periodo considerato (2008-2023).

		VAN (2008-2023)	
Colture agrarie tradizionali		GRANO	5.238
		MAIS 100	5.311
		MAIS 0	3.717
		SOIA 100	5.275
		SOIA 0	4.273
		COLZA	2.450
		GIRASOLE 100	2.230
		GIRASOLE 0	4.815
		PRATO 100	4.415
		PRATO 0	3.091
		INCOLTO	4.407
Colture legnose		SRF 100	413
		SRF 0	- 6.889
		SIEPE	534

Al fine di rendere più chiaro il significato del valore energetico in gioco, è parso doveroso effettuare alcuni paragoni con situazioni più familiari. Ad esempio, 1 m<sup>3</sup> di metano (il gas domestico più diffuso) ha un PCI di circa 32 MJ, mentre quello di 1 litro di benzina è pari a circa 58 MJ (quello del gasolio vale invece circa 50 MJ/l).

L'energia netta ricavabile da un ettaro di grano dunque (15,6 GJ), potrebbe essere considerata equivalente a oltre 480 m<sup>3</sup> di gas metano (un terzo circa del consumo annuale di una famiglia media<sup>58</sup>), oppure pari a quasi 270 litri di benzina (sufficienti a percorrere con una macchina di media cilindrata per lo meno 3.000 km).

Una coltura legnosa tipo SRF invece, permette rendimenti energetici più elevati<sup>59</sup>. Traducendo come sopra questi valori, un ettaro di SRF, equivale a circa 4.750 m<sup>3</sup> di metano (pari questa volta ad oltre 2,5 anni di consumi di gas di una famiglia media); in alternativa tale valore potrebbe essere considerato equivalente al contenuto energetico di oltre 2.600 litri di benzina (anche qui sufficienti a percorrere l'equivalente di più di metà della circonferenza terrestre) oppure ancora oltre 3.000 litri di gasolio (per percorre invece più dell'intera circonferenza terrestre).

<sup>58</sup>Si assume che il consumo medio di una famiglia sia pari a circa 1500 m<sup>3</sup> annui.

<sup>59</sup> Si considera una resa media annua (contando anche gli anni non produttivi) di 152 GJ/ha.

Tali paragoni, seppur puramente indicativi, permettono in ogni caso di offrire un metro di paragone pratico e comune con cui valutare le rese energetiche stimate. Si consideri infine, che queste stime non tengono in considerazione il fatto che il vettore energetico di paragone (benzina, gas, biocarburante ...) è comunque soggetto a trasformazioni (calore, perdite di trasformazione ...) che tendono a penalizzarne il rendimento complessivo.



## CAPITOLO VII

### 7. Risultati della ricerca

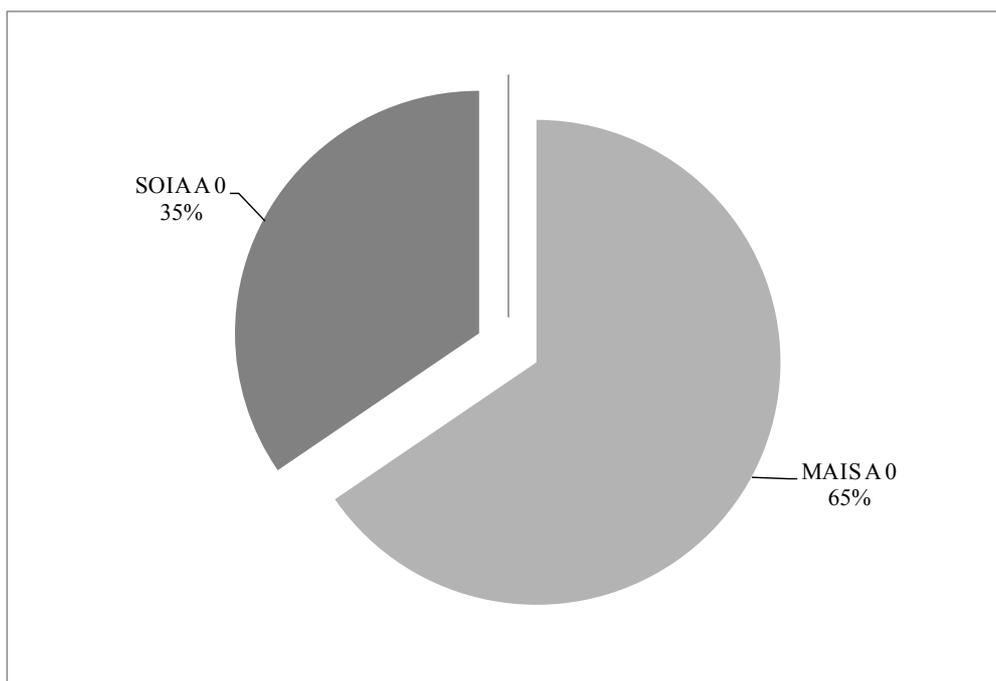
L'analisi della matrice tramite What'sBest ha permesso di individuare le migliori soluzioni da adottare per massimizzare la produzione di reddito e di energia, in un arco temporale di medio periodo, a partire dalla SAU disponibile nell'area presa in considerazione.

Si tratta in sostanza della risposta data alla risoluzione di un problema di programmazione lineare in cui coesistono due obiettivi la cui massimizzazione, almeno in un primo momento, viene effettuata singolarmente.

#### 7.1. La massimizzazione del reddito

In assenza di particolari limitazioni di acqua o manodopera, secondo le ipotesi di partenza fornite al risolutore, per massimizzare il valore di reddito si dovrebbe impiegare annualmente l'intera superficie disponibile con sole due colture: mais (in maniera preponderante) e soia (Figura 62).

*Figura 62 – Riparto colturale annuale che massimizza il RN in caso di massima disponibilità irrigua e di manodopera.*



A giustificare questo tipo di scelta è sicuramente la redditività delle colture scelte: mais e soia risultano infatti i seminativi dal più alto reddito netto<sup>60</sup> (assieme al grano) e dunque quelli su cui appare più ovvio puntare per massimizzare il reddito complessivo anche nel medio periodo.

In questa ipotesi, ogni singolo ettaro di terreno è in grado di fornire un reddito medio di circa 331 €/ha/anno e, contemporaneamente, di ottenere 12,4 GJ/ha/anno di energia netta. Il valore attualizzato (VAN) di tale reddito complessivo nell'arco dei 16 anni di orizzonte temporale sfiora così i 287 milioni di euro (Tabella 17).

<sup>60</sup> Tali redditi rimangono comunque “drogati” dai contributi comunitari loro assegnati.

Tabella 17 – Risultati della massimizzazione del RN nel caso di massima disponibilità irrigua e di manodopera.

Massimizzazione RN (1500 m <sup>3</sup> /ha/anno - 100% Manodopera)	
RN complessivo attualizzato (VAN) (€)	286.964.041
RN medio (€/ha/anno)	331,1
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	12,4

Questa prima analisi, condotta in condizioni di massima disponibilità di acqua e manodopera, rappresenta l'ipotesi di in assoluto più favorevole dal punto di vista produttivo, e, dunque, anche quella in grado di generare il miglior risultato economico. Di conseguenza quest'ultimo verrà preso come valore di riferimento e paragone per le successive simulazioni.

Il valore di RN, al calare della disponibilità irrigua, tende a subire una leggera flessione. In particolare, il nuovo vincolo (1000 m<sup>3</sup>/ha/anno), permette di ottenere circa 330 €/ha/anno (- 0,25%), e 14 GJ/ha/anno di energia (+13% circa) (Tabella 18).

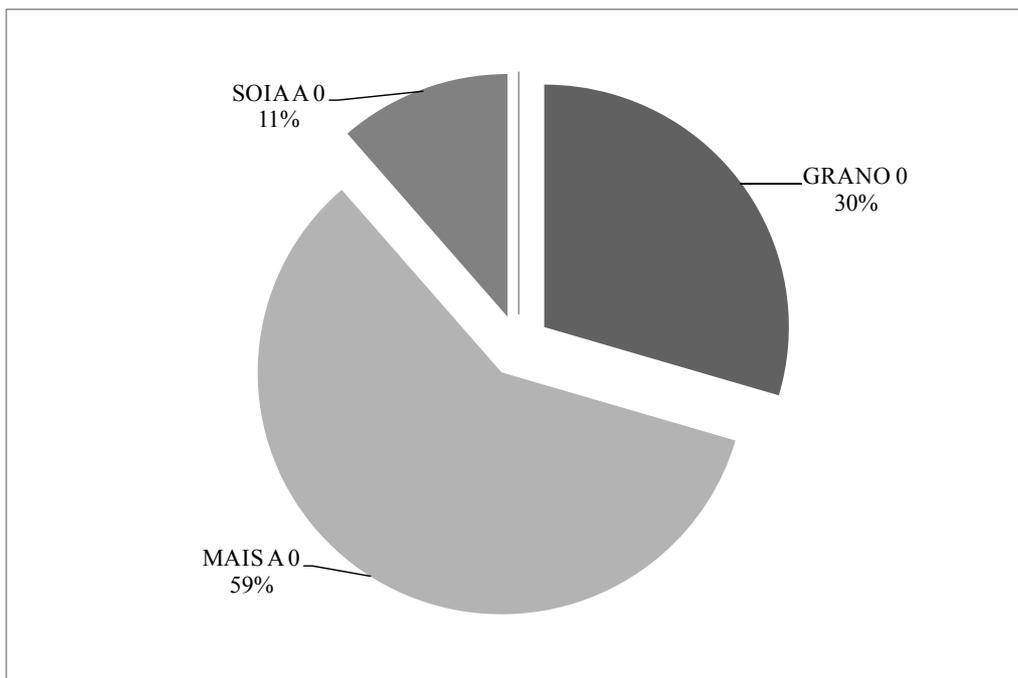
Tabella 18 – Risultati della massimizzazione del RN (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

Massimizzazione RN (1000 m <sup>3</sup> /ha/anno - 100% Manodopera)		Δ rispetto al caso precedente
RN complessivo attualizzato (VAN) (€)	286.249.343	-0,2%
RN medio (€/ha/anno)	330,3	-0,2%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	14	12,9%

Il diverso trend seguito dai due obiettivi, è comprensibile analizzando la variazione dei riparti colturali messi in gioco dalla matrice della tecnica. Un calo della disponibilità d'acqua complessiva costringe ad utilizzare delle coltivazioni che necessitano di minori quantità irrigue: per questo motivo il modello, pur mantenendo quasi del tutto il mais, riduce notevolmente (2/3 circa) l'impiego della soia, sostituita dal grano (Figura 63). Quest'ultima è una coltura che non necessita di irrigazione e che, soprattutto, permette una resa energetica (15,6 GJ/ha) maggiore rispetto alle altre due, senza peraltro dover rinunciare alla resa economica.

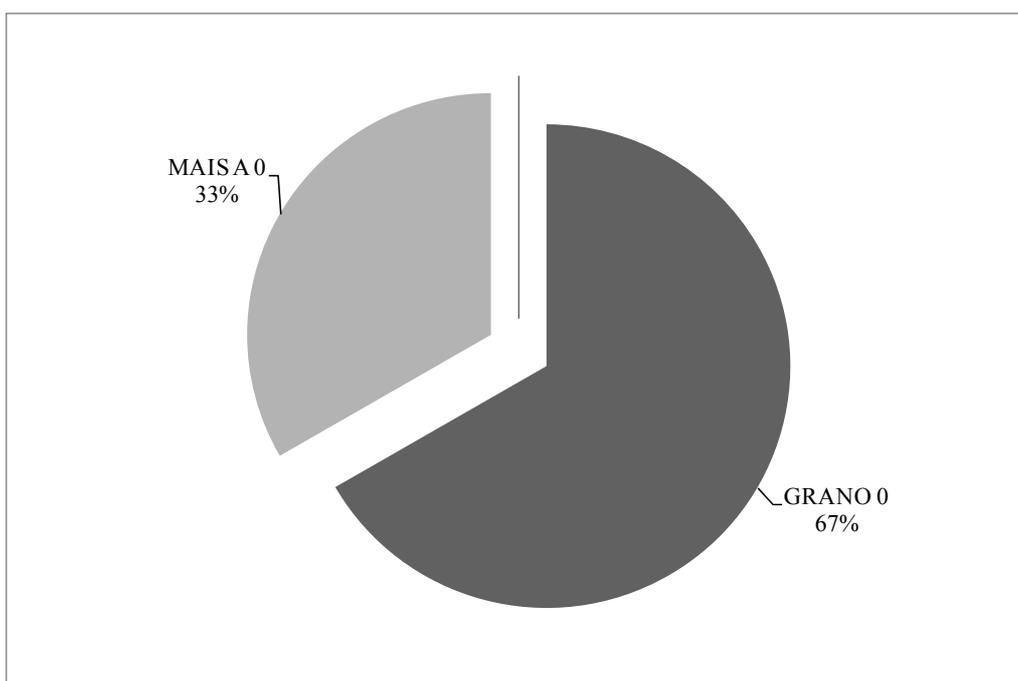
Il nuovo riparto colturale dimostra dunque che, la diminuzione della disponibilità d'acqua influisce in maniera leggermente negativa sul reddito, mentre tende ad incrementare addirittura la produzione di energia netta.

Figura 63 – Riparto colturale annuale che massimizza il RN (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



Un'ulteriore riduzione della disponibilità di acqua (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno) comporta un assetto territoriale ancora più sbilanciato verso colture tipicamente non irrigue: l'area a mais viene praticamente dimezzata a favore dell'incremento dei territori coltivati a grano, che divengono così le uniche due colture adottate dal modello (Figura 64).

Figura 64 – Riparto colturale annuale che massimizza il RN (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



Tale scelta comporta un ulteriore leggero abbassamento del reddito complessivamente prodotto (VAN = 285 milioni di €; -0,4%), ed un aumento minore dell'energia netta complessivamente ricavabile (+8%). Il reddito medio annuo si riduce così a circa 329 €/ha, permettendo al contempo una produzione di 15,1 GJ/ha/anno di energia (Tabella 19).

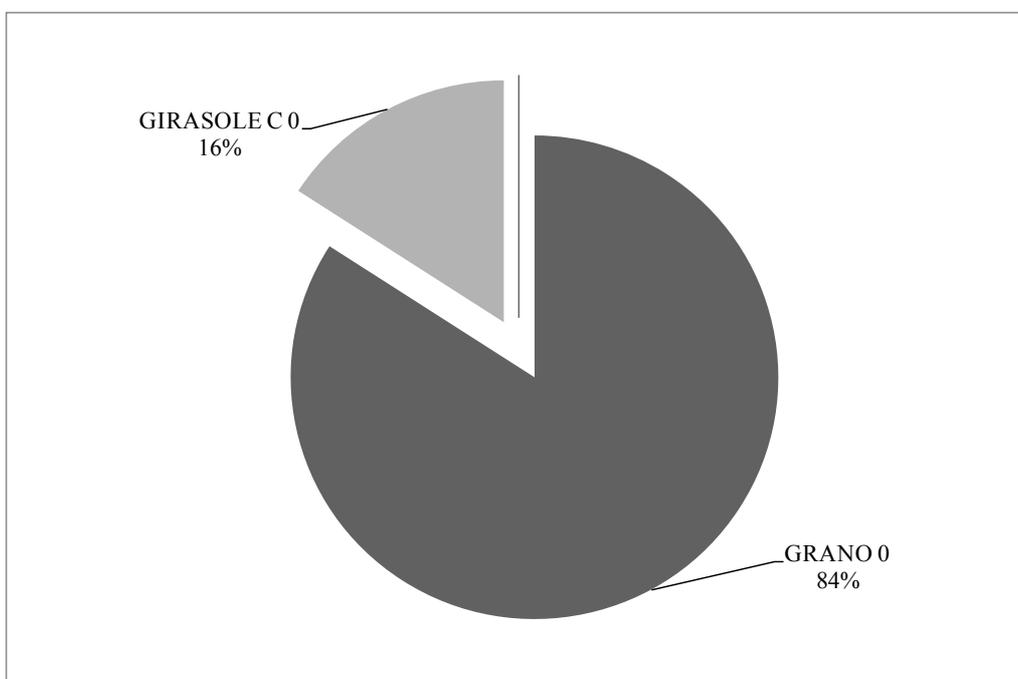
Tabella 19 – Risultati della massimizzazione del RN (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

	Massimizzazione RN (500 m <sup>3</sup> /ha/anno - 100% Manodopera)	Δ rispetto al caso precedente
RN complessivo attualizzato (VAN) (€)	285.011.663	-0,4%
RN medio (€/ha/anno)	328,9	-0,4%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	15,1	7,9%

Anche in questo caso, la duplice via seguita dai valori dei due obiettivi (uno in crescita, l'altro in leggera diminuzione) è spiegata dallo stesso tipo di variazione delle colture prima riportato.

L'annullamento della disponibilità irrigua infine, impone l'abbandono di tutte le colture che tradizionalmente richiedono acqua per essere coltivate. Il riparto colturale adottato questa volta vede preponderante il ricorso al grano, coadiuvato dall'impiego (minimo) del girasole nella sua versione non irrigua (Girasole "C") (Figura 65).

Figura 65 – Riparto colturale annuale che massimizza il RN (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



In quest'ultimo caso, il totale abbandono delle colture a maggior reddito, comporta una riduzione di quasi il 2% del reddito complessivo: il reddito netto medio per ogni ettaro di terreno risulta così di 323 €/anno.

L'introduzione del girasole nel riparto colturale comporta d'altra parte anche una riduzione dell'energia complessivamente ottenibile che, questa volta, decresce di oltre il 3%, tornando su valori precedentemente registrati (14,6 GJ/ha/anno) (Tabella 20).

Tabella 20 – Risultati della massimizzazione del RN (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

	Massimizzazione RN (0 m <sup>3</sup> /ha/anno - 100% Manodopera)	Δ rispetto al caso precedente
RN complessivo attualizzato (VAN) (€)	280.060.545	-1,7%
RN medio (€/ha/anno)	323,2	-1,7%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	14,6	-3,3%

In generale, l'analisi della massimizzazione del reddito netto al variare della disponibilità irrigua dimostra che questa comporta da un lato una leggera diminuzione del reddito complessivamente prodotto (nel complesso pari al -2,41%), e dall'altro permette una crescita progressiva del valore dell'energia netta ottenuta (+17,4%), nonostante non sia l'obiettivo massimizzato in questa fase dell'analisi (Figura 66 e Tabella 21).

Figura 66 – Massimizzazione del RN: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità irrigua (caso 100% manodopera).

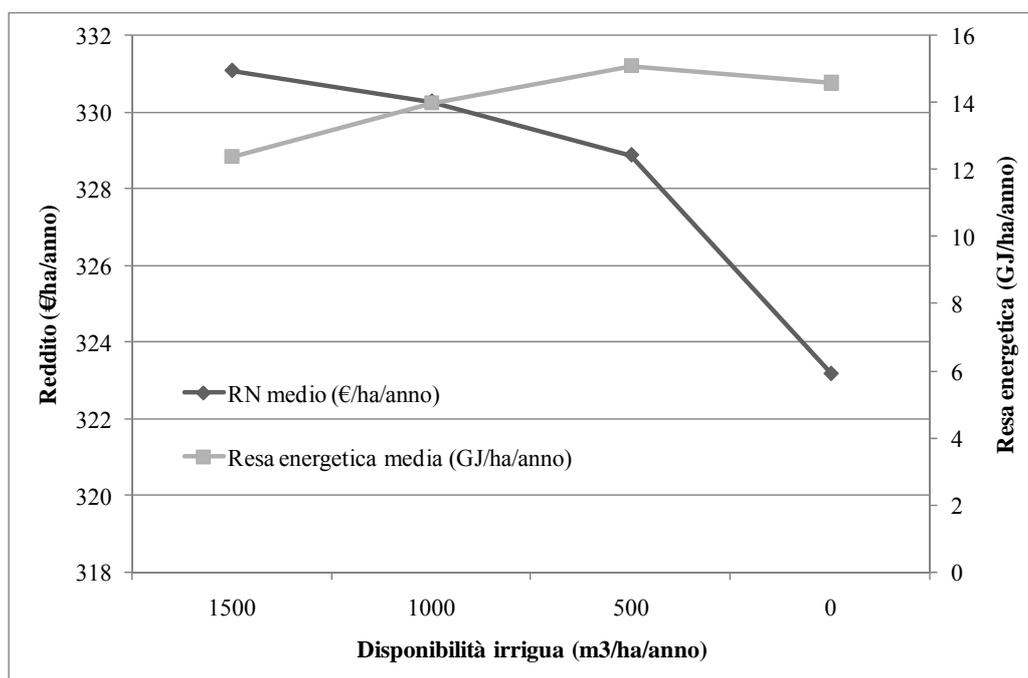
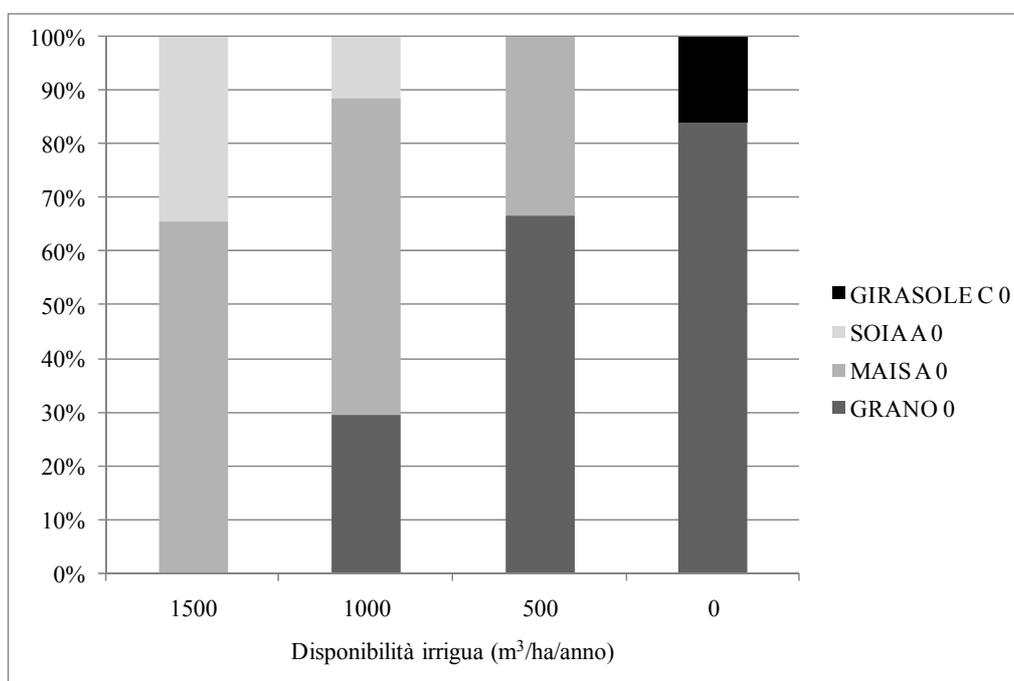


Tabella 21 – I valori relativi alla figura 66

Disponibilità irrigua (m <sup>3</sup> /ha/anno)	1500	1000	500	0	Δ totale
RN complessivo (VAN) (M€)	286,96	286,25	285,01	280,06	-2,4%
RN medio (€/ha/anno)	331,1	330,3	328,9	323,2	-2,4%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	12,4	14,0	15,1	14,6	17,1%

Infine si può notare che la scelta del riparto colturale, al variare della disponibilità irrigua ricade al massimo su due o tre colture diverse per volta, senza peraltro mai variare nel corso dei 15 anni di riferimento (Figura 67).

Figura 67 – La variazione del riparto colturale nella massimizzazione del RN al variare della disponibilità irrigua (caso 100% manodopera).



Quanto finora esposto riguarda lo scenario che prevede la disponibilità del 100% della manodopera attualmente presente nell'area.

Come accennato, con la ricerca si è però cercato di evidenziare anche l'effetto di una eventuale riduzione nella disponibilità di lavoro dell'ordine del 10 e del 20%.

In particolare, nel caso di massima disponibilità irrigua, la riduzione della manodopera disponibile, fa variare il reddito netto da 331,1 (caso 100% manodopera) a 330,9 (caso -10%) ed infine a 330,7 € (caso -20%), con una diminuzione complessiva di appena lo 0,15%, praticamente influente. Ciò evidenzia per molti versi la presenza in agricoltura di un sottoimpiego del lavoro e, di conseguenza, di una sua ridotta produttività.

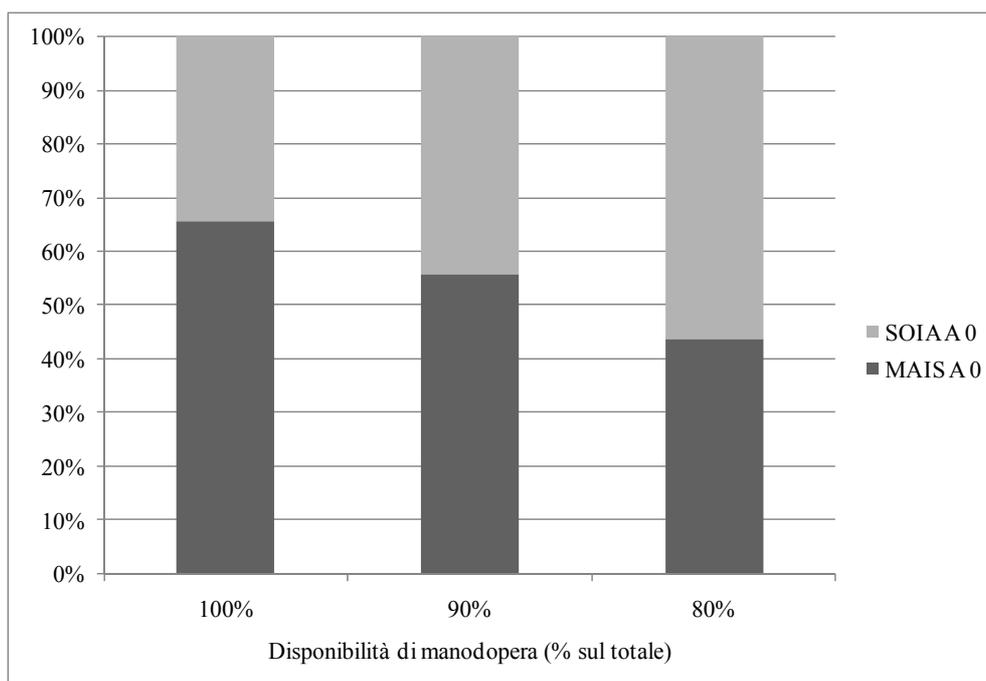
I rispettivi valori di resa energetica passano invece da 12,4 a 11,7 e infine 11,3 GJ/ha/anno: l'obiettivo energia questa volta fa registrare una riduzione pari quasi al 9% (Tabella 22).

Tabella 22 – Massimizzazione del RN: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità di manodopera (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno).

Massimizzazione RN - Caso 1500 m <sup>3</sup> /ha/anno				
Disponibilità di manodopera (% sul totale)	100%	90%	80%	Δ totale
RN complessivo attualizzato (VAN) (M€)	286,96	286,78	286,55	-0,14%
RN medio (€/ha/anno)	331,1	330,9	330,7	-0,12%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	12,4	11,9	11,3	-8,87%

Osservando la variazione dei riparti colturali si può notare che, tenuta ferma la disponibilità irrigua, al diminuire della disponibilità di manodopera la quota di SAU destinata a mais si riduce complessivamente del 33%, mentre al contempo il ricorso alla soia cresce di oltre il 60% (Figura 68). La soia viene dunque preferita in virtù del fatto che richiede molta meno manodopera rispetto al mais, ma allo stesso tempo, la sua resa economica ed energetica minore, spiega il risultato raggiunto.

Figura 68 – La variazione delle colture nella massimizzazione del RN al variare della disponibilità di manodopera (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno).



Una prima riduzione della disponibilità irrigua (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno), permette di assistere ad una nuova limitazione imposta dal vincolo manodopera: la sua riduzione in questo caso comporta al massimo una diminuzione dello 0,05% del RN, arrivando a 330 €/ha/anno.

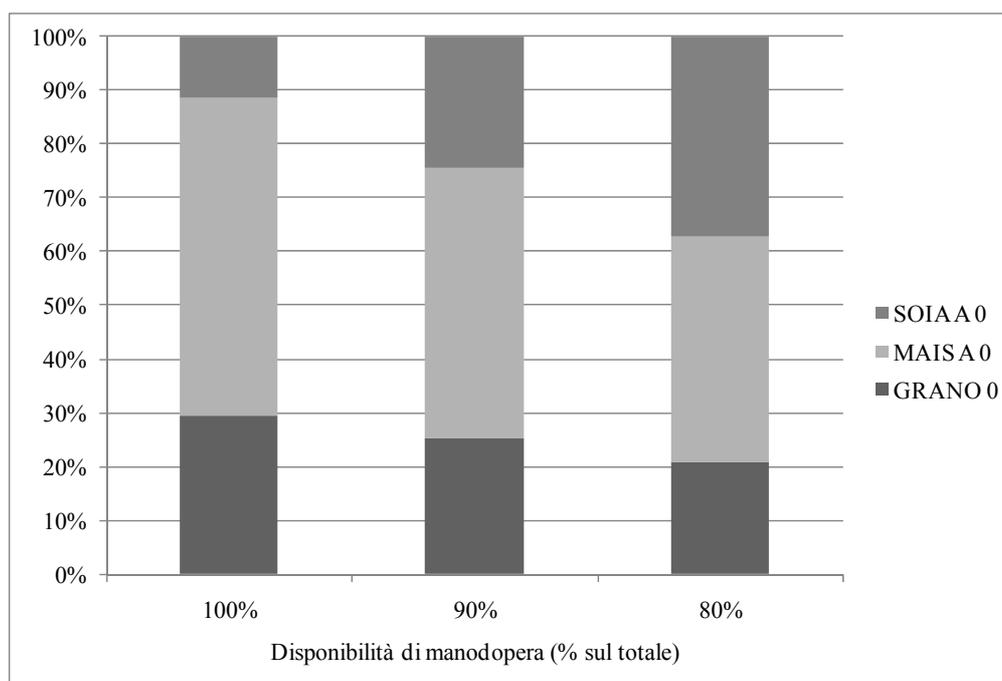
Il calo della disponibilità d'acqua però, accentua la riduzione dei rispettivi valori di energia che, pur cresciuti per effetto della diminuzione di disponibilità irrigua, raggiungono valori più bassi del 5,2 e 10,4% rispettivamente al calare del 10 e del 20% della disponibilità di manodopera (da 14 a 12,6 GJ/ha/anno) (Tabella 23).

Tabella 23 – Massimizzazione del RN: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità di manodopera (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno).

Massimizzazione RN - Caso 1000 m <sup>3</sup> /ha/anno				
Disponibilità di manodopera (% sul totale)	100%	90%	80%	Δ totale
RN complessivo attualizzato (VAN) (M€)	286,25	286,17	286,09	-0,05%
RN medio (€/ha/anno)	330,3	330,2	330,1	-0,06%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	14	13,3	12,6	-10,00%

Ciò si spiega perché la superficie a grano, introdotta a causa del diminuire dell'acqua disponibile, viene progressivamente ridotta alla pari di quella a mais (-30% circa), mentre è la soia ad essere impiegata in maniera crescente; la sua estensione si triplica al ridursi della disponibilità di manodopera, sempre in funzione del fatto che richiede comunque meno impegno orario rispetto alle altre due colture in gioco (Figura 69).

Figura 69 – La variazione del riparto colturale nella massimizzazione del RN al variare della disponibilità di manodopera (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno).



Nel caso di ulteriore diminuzione dell'acqua disponibile (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno), la riduzione della manodopera non fa praticamente variare i risultati ottenuti rispetto alla situazione precedente: le lievissime correzioni ai valori fanno ottenere, nella peggiore delle ipotesi (caso -20% manodopera) valori di RN di circa 328 €/ha/anno.

Diminuiscono invece le perdite percentuali nella produzione di energia. Riduzioni del 10 e 20% di manodopera questa volta fanno decrescere il valore dell'energia prodotta del 3 e 7,5% rispettivamente, ottenendo prima 14,6 e poi 14 GJ/ha/anno (Tabella 24).

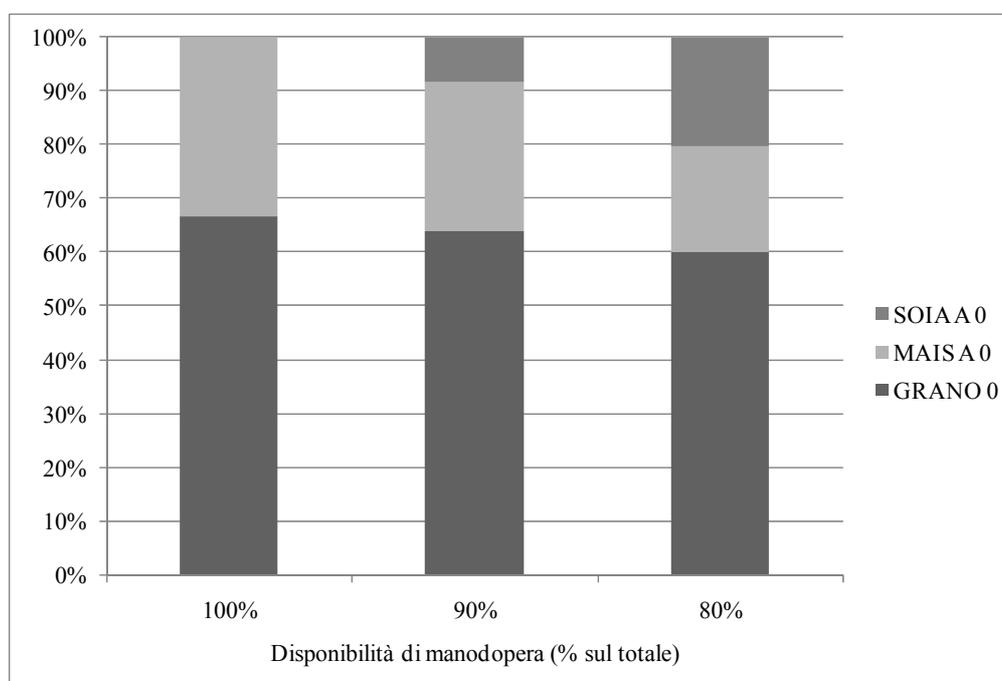
In questo caso, l'analisi dei riparti colturali evidenzia una riduzione più spinta del mais (-40%) rispetto a quella del grano (-10%) dovuta alla maggior richiesta di manodopera della prima coltura rispetto alla seconda.

Tabella 24 – Massimizzazione del RN: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità di manodopera (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno).

Massimizzazione RN - Caso 500 m <sup>3</sup> /ha/anno				
Disponibilità di manodopera (% sul totale)	100%	90%	80%	Δ totale
RN complessivo attualizzato (VAN) (M€)	285,01	284,96	284,89	-0,04%
RN medio (€/ha/anno)	328,9	328,8	328,8	-0,03%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	15,1	14,6	14	-7,28%

Queste riduzioni vengono però compensate progressivamente dalla crescita della SAU destinata alla soia che, come già accennato, richiede un impegno di lavoro minore (Figura 70).

Figura 70 – La variazione del riparto colturale nella massimizzazione del RN al variare della disponibilità di manodopera (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno).



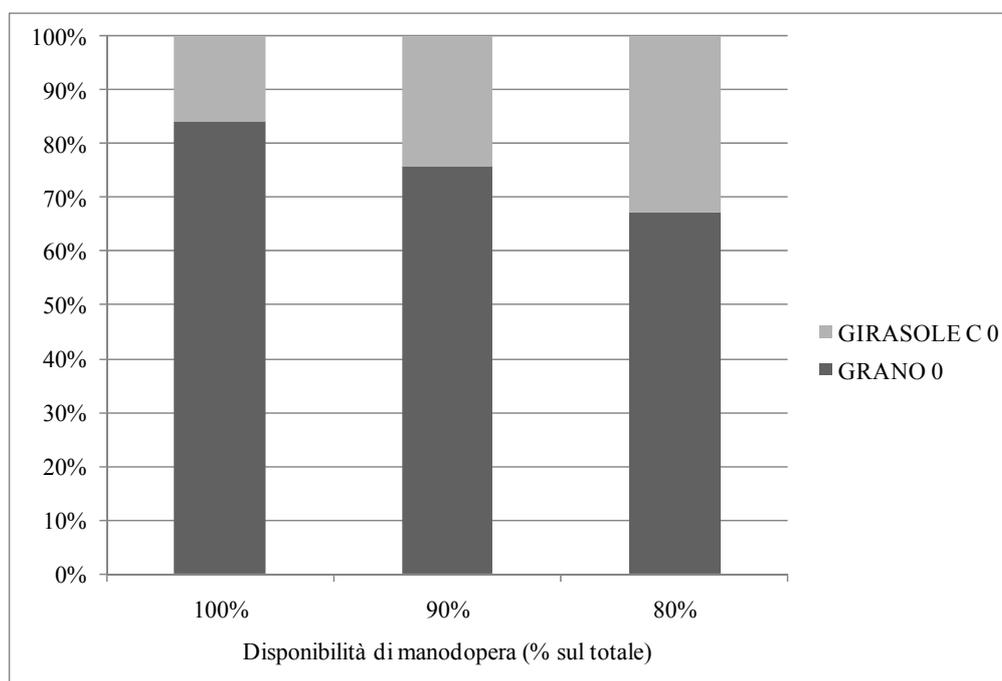
Infine, con disponibilità irrigua nulla, è la riduzione della produzione di energia a rimanere praticamente inalterata in caso di riduzione della manodopera, raggiungendo valori ancora leggermente più bassi (14 e 13,5 GJ/ha/anno).

Il reddito subisce questa volta un calo leggermente più evidente: riduzioni del 10 e del 20% della manodopera comportano infatti decrescite dello 0,7 e 1,4% rispettivamente, portando il reddito netto medio annuo da 323, prima a 321 e poi a 318 €/ha (Tabella 25). Il riparto colturale che riflette in questo caso la diminuzione della disponibilità di manodopera è caratterizzato da una preponderante presenza del grano che - comunque - diminuisce di circa il 20% al ridursi della manodopera disponibile. Raddoppia invece il ricorso al girasole non irriguo che viene inserito per la prima volta solo in questo caso di disponibilità irrigua nulla (Figura 71).

Tabella 25 – Massimizzazione del RN: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità di manodopera (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno).

Massimizzazione RN - Caso 0 m <sup>3</sup> /ha/anno				
Disponibilità di manodopera (% sul totale)	100%	90%	80%	Δ totale
RN complessivo attualizzato (VAN) (M€)	280,06	278,13	276,20	-1,38%
RN medio (€/ha/anno)	323,2	321	318,7	-1,39%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	14,6	14	13,5	-7,53%

Figura 71 – La variazione del riparto colturale nella massimizzazione del RN al variare della disponibilità di manodopera (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno).



Complessivamente, si può asserire che riduzioni progressive della disponibilità di manodopera tendono in parte ad amplificare l'effetto indotto dalla riduzione della disponibilità irrigua sui due obiettivi in gioco.

E' evidente infatti che da un lato i valori di reddito tendono ad essere ulteriormente penalizzati dalla mancanza di manodopera: se la perdita di reddito in funzione della sola disponibilità irrigua era del 2,4% (da 331,1 a 323,2 €/ha/anno), tale perdita viene incrementata dalla minor disponibilità di manodopera che comporta una perdita complessiva pari al 3,8% (da 331,1 a 318,7 €/ha/anno).

D'altro canto, la riduzione della manodopera, ha effetti negativi anche sulla collegata produzione di energia: l'incremento di produzione complessivo fatto segnare al solo diminuire della disponibilità irrigua (+17%), viene penalizzato dalla mancanza di lavoratori fermandosi al 12,8% nel caso di una riduzione del 10% della manodopera, e all'8,5% nel caso di una riduzione più spinta del 20% (Figura 72 e Tabella 26).

Figura 72 – Funzione obiettivo RN al variare della disponibilità di manodopera e di acqua.

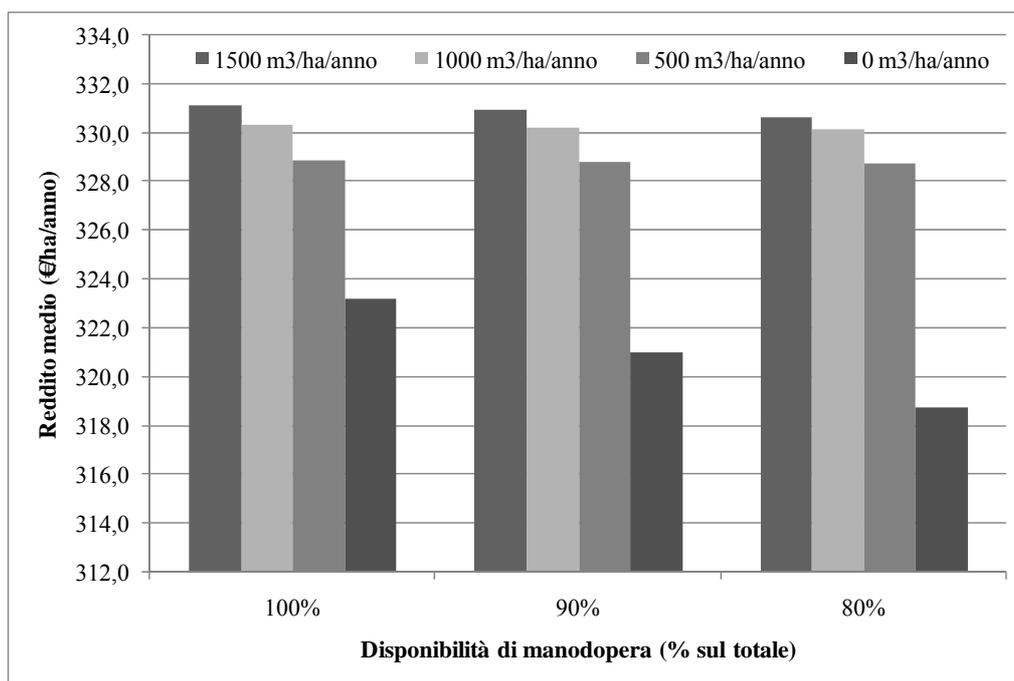


Tabella 26 – Funzione obiettivo RN al variare della disponibilità di manodopera e di acqua (con i relativi valori di E).

MASSIMIZZAZIONE REDDITO						
Variazione disponibilità irrigua						
1500 1000 500 0						
Valori di RN (€/ha/anno)						
% Manodopera	100%	331,1	330,3	328,9	323,2	-2,4%
	90%	330,9	330,2	328,8	321,0	-3,0%
	80%	330,7	330,1	328,8	318,7	-3,6%
	Valori di E correlati (GJ/ha/anno)					
100%	12,4	14,0	15,1	14,6	17,1%	
90%	11,9	13,3	14,6	14,0	17,5%	
80%	11,3	12,6	14,0	13,5	19,3%	

L'analisi della variazione dei riparti colturali al variare della disponibilità di manodopera, suggerisce che alcune delle colture richiedano un monte ore complessivo maggiore rispetto ad altre.

In particolare, il grano vede diminuire la sua importanza al calare della disponibilità di manodopera, ma mai quanto il mais, che subisce invece perdite maggiori. Al contrario invece, colture come soia e girasole, che richiedono un impegno orario complessivo inferiore alle prime, sembrano essere favorite dalla riduzione di manodopera.

## 7.2. La massimizzazione dell'energia

Massimizzando l'obiettivo energia si può notare come il modello tenda in generale a prediligere l'impianto di colture legnose dedicate (SRF e Siepi) rispetto alle più tradizionali colture erbacee, largamente adottate nei casi precedenti.

Analogamente a quanto fatto nella prima parte dell'analisi, si sono osservate le risposte del modello sia alla variazione della disponibilità irrigua che a quella di manodopera.

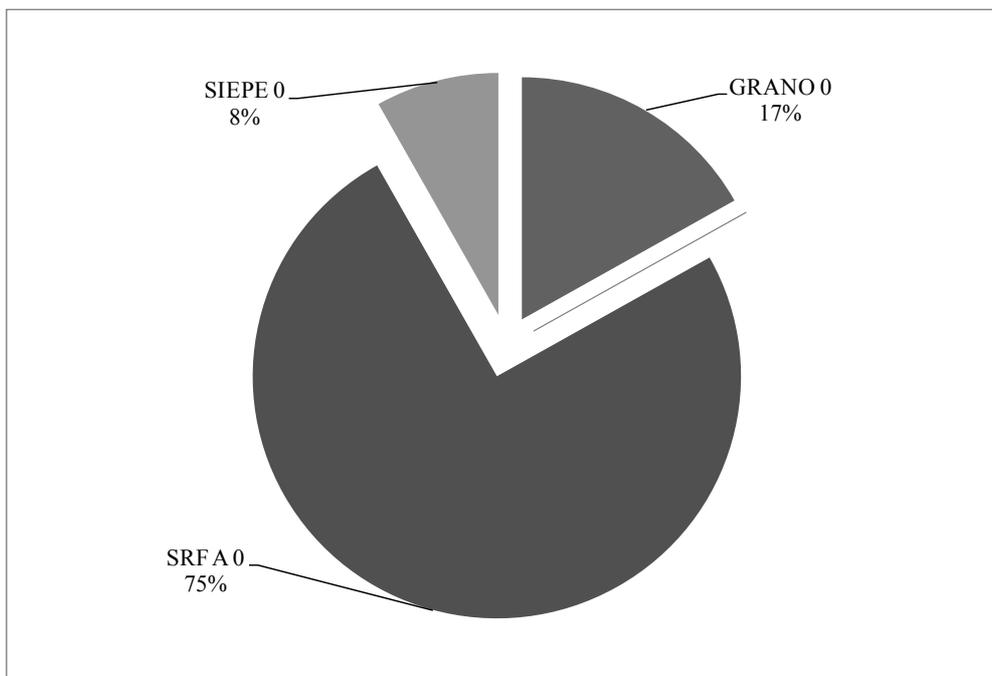
Il caso di massima disponibilità irrigua (1500 m<sup>3</sup>/ha/anno), permette di raggiungere ancora una volta il miglior risultato per l'obiettivo massimizzato; per questo motivo la resa energetica corrispondente a questo scenario, verrà utilizzata come metro di paragone nelle successive valutazioni.

Degno di nota è il fatto che, al valore massimo di energia, corrisponde il minimo valore di reddito riscontrato, a testimonianza dell'alto grado di conflittualità tra i due obiettivi.

Nel caso in cui l'acqua non sia fattore limitante dunque, l'energia ottenuta in media da ogni ettaro di territorio agricolo è pari a circa 115 GJ/anno, un valore di oltre otto volte superiore all'energia ricavata nelle medesime condizioni, quando veniva invece massimizzato il reddito. Quest'ultimo d'altra parte, si riduce invece quasi dell'80% assestandosi sui 77 €/ha/anno (Tabella 27).

A spiegare tale notevole differenza interviene l'analisi del riparto colturale: il 75% circa della superficie disponibile è coperta da colture energetiche dedicate tipo SRF, nella loro versione a massima disponibilità irrigua, mentre il rimanente viene impiegato per i due terzi per la produzione di grano e per il resto in siepi (Figura 73).

*Figura 73 – Riparto colturale annuale che massimizza la produzione di E in caso di massima disponibilità irrigua e di manodopera.*



Già da questo primo risultato si può osservare come reddito ed energia appaiano abbastanza in conflitto tra loro: si è potuto notare che, mentre da un lato il largo ricorso a seminativi tende ad aumentare il RN, la loro sostituzione con colture legnose tende invece ad abbassarlo in favore della resa energetica che risulta infatti superiore.

Tabella 27 – Risultati massimizzazione E in caso di massima disponibilità irrigua e di manodopera.

Massimizzazione E (1500 m <sup>3</sup> /ha/anno - 100% Manodopera)	
RN complessivo attualizzato (VAN) (€)	66.881.558
RN medio (€/ha/anno)	77,2
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	115,5

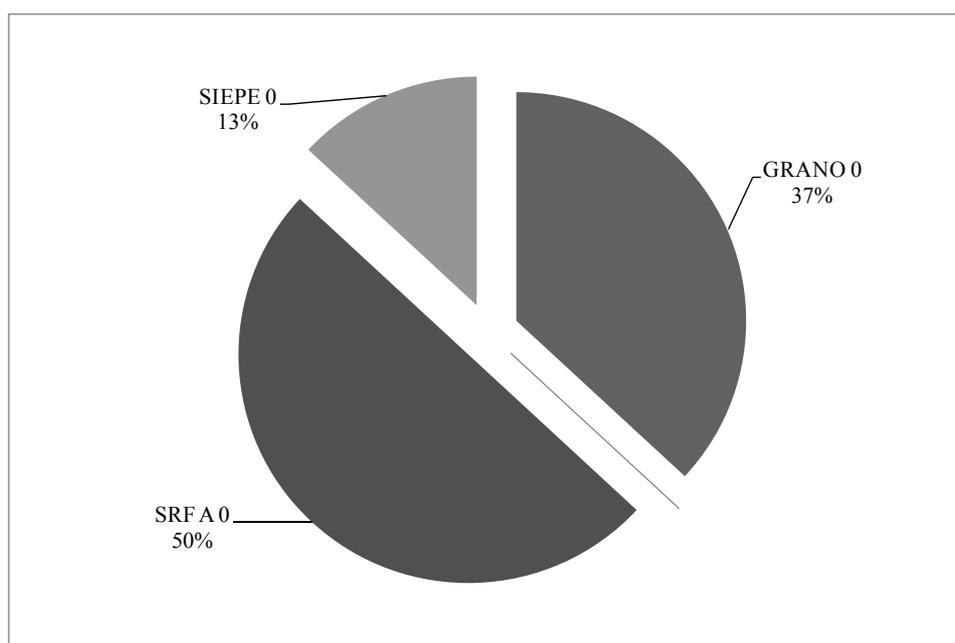
Una prima riduzione della disponibilità irrigua (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno), sembra ridurre leggermente la differenza con i risultati ottenuti nella massimizzazione del reddito. L'energia netta ottenuta dal nuovo riparto colturale, infatti, tende a ridursi del 24% circa (87 GJ/ha/anno), mentre la diminuzione dell'acqua sembra giovare all'obiettivo reddito che si innalza ad oltre 138 €/ha/anno (+78%) (Tabella 28). In questo caso l'energia ottenuta dal nuovo riparto colturale è 5 volte più grande del rispettivo valore nel caso di massimizzazione del reddito, mentre quest'ultimo è circa la metà (-58%).

Tabella 28 – Risultati massimizzazione E (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

Massimizzazione E (1000 m <sup>3</sup> /ha/anno - 100% Manodopera)		Δ rispetto al caso precedente
RN complessivo attualizzato (VAN) (€)	119.674.793	78,9%
RN medio (€/ha/anno)	138,1	78,9%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	87,7	-24,1%

La spiegazione deriva per l'appunto dalla variazione del riparto colturale (Figura 74).

Figura 74 – Riparto colturale annuale che massimizza la produzione di E (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



In questo caso tende a diminuire di un terzo la coltivazione delle SRF, mentre cresce l'area a grano e quella delle siepi che arrivano invece ad occupare rispettivamente il 37 ed il 13% della SAU disponibile.

Diminuendo ancora la disponibilità irrigua (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno), la produzione di energia tende a ridursi ancora in modo più marcato rispetto al reddito. La resa energetica passa a 59 GJ/ha/anno: circa il 31% in meno rispetto al caso precedente e praticamente la metà rispetto al caso di massima disponibilità irrigua.

Al contrario, il reddito corrispondente a tale situazione cresce da 138 ad oltre 199 €/ha/anno (+44%), valore questa volta praticamente triplicato rispetto alla situazione di massima disponibilità irrigua (Tabella 29).

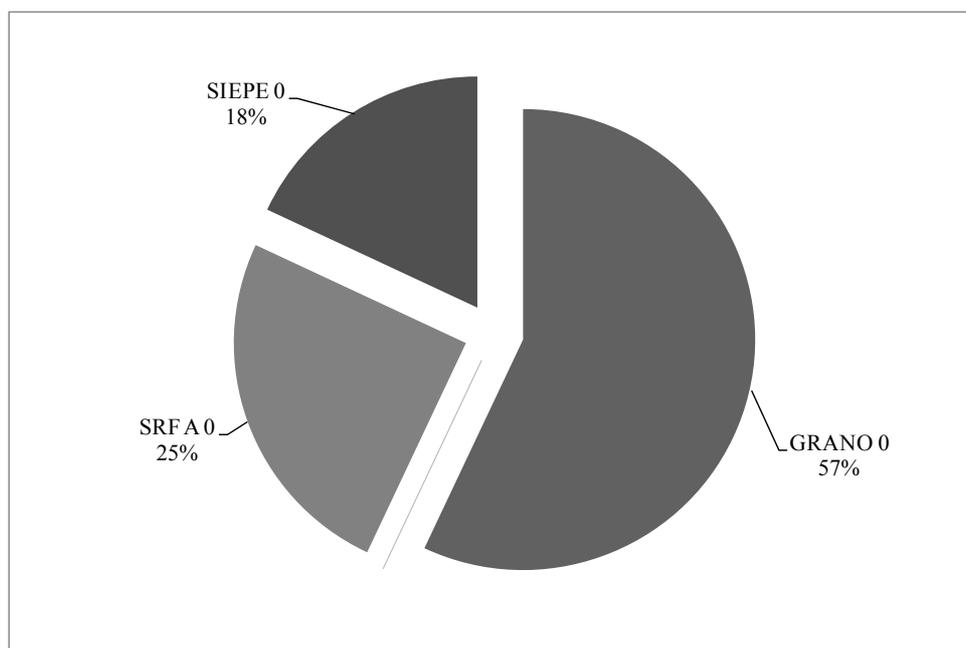
Tabella 29 – Risultati massimizzazione E (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

	Massimizzazione E (500 m <sup>3</sup> /ha/anno - 100% Manodopera)	Δ rispetto al caso precedente
RN complessivo attualizzato (VAN) (€)	172.468.028	44,1%
RN medio (€/ha/anno)	199	44,1%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	59,9	-31,7%

La differenza, rispetto ai risultati ottenuti nel caso della massimizzazione del reddito, tende ad assottigliarsi ancora di più: l'energia ottenuta è, in questo caso, tre volte maggiore mentre il reddito è ancora del 40% più basso.

A spiegare tale notevole differenza sta ancora una volta il mutare del riparto colturale (Figura 75).

Figura 75 – Riparto colturale annuale che massimizza la produzione di E (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



A crescere ancora è soprattutto la superficie destinata a grano coltura che, in mancanza d'acqua, è in grado di offrire uno tra i migliori contributi alla produzione di energia (15,6 GJ/ha) e che al contempo è anche in grado di generare un reddito medio più elevato di quello ottenibile dalle colture legnose.

Tra queste ultime invece, mentre la superficie a siepe tende ad aumentare leggermente (+5%), quella a SRF viene dimezzata e rappresenta ora appena un quarto della SAU disponibile (25%).

Nel caso di disponibilità irrigua nulla infine, il riparto scelto ed adottato per tutta la durata del periodo preso in considerazione, varia leggermente influenzando questa volta negativamente entrambi gli obiettivi.

Ancora una volta la resa energetica tende a decrescere fino ad appena 31 GJ/ha/anno: valore praticamente dimezzato rispetto al caso precedente (-48%).

A sorpresa invece, l'assenza di acqua sembra limitare anche l'obiettivo economico che questa volta subisce una riduzione del 22%, passando da 199 a 155 €/ha/anno (Tabella 30).

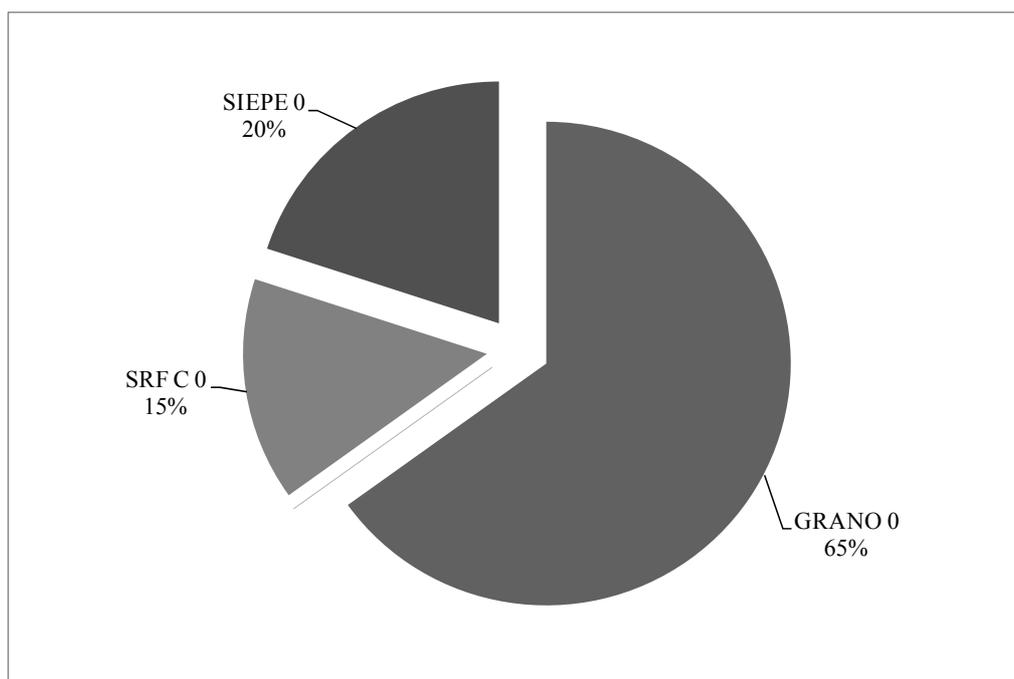
*Tabella 30 – Risultati massimizzazione E (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).*

	Massimizzazione E (0 m <sup>3</sup> /ha/anno - 100% Manodopera)	Δ rispetto al caso precedente
RN complessivo attualizzato (VAN) (€)	134.729.176	-21,9%
RN medio (€/ha/anno)	155,5	-21,9%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	31	-48,2%

In questo caso, la mancanza di acqua ha spinto verso una ancora più convinta utilizzazione del grano quale coltura più adatta in queste condizioni a produrre energia (si estende in questo caso sul 65% della SAU). Al contempo però, il modello ha abbandonato il ricorso alla variante irrigua delle SRF che vengono sostituite dalla variante non irrigua, non altrettanto competitiva nella produzione di energia, ma soprattutto poco conveniente dal punto di vista economico: la sua scelta spiega la perdita di reddito registrata rispetto al caso precedente.

Si consolida e cresce ulteriormente infine (+2%) il ricorso alle siepi che ricoprono in quest'ultimo caso circa il 20% della SAU (Figura 76).

Figura 76 – Riparto colturale annuale che massimizza la produzione di E (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



Nell'insieme, la riduzione della disponibilità irrigua appare dunque motivo di rinuncia forzata ad una buona parte di energia, mentre si rivela invece piuttosto positiva per l'obiettivo reddito collegato.

Complessivamente infatti dell'energia ricavata dal singolo ettaro di coltura decresce in maniera costante e continua al diminuire della disponibilità irrigua: si passa da 115,5 ad appena 31 GJ/ha/anno, una perdita totale pari ad oltre il 70% del valore iniziale (Tabella 31).

Il reddito netto d'altra parte, tende a crescere in maniera progressiva per poi decrescere nel caso di totale assenza d'acqua: registra comunque nel complesso un incremento in valore di oltre il 100% (da 77,2 a 155,5 €/ha/anno) (Figura 77).

Tabella 31 – I valori relativi alla figura 77

Disponibilità irrigua (m <sup>3</sup> /ha/anno)	1500	1000	500	0	Δ totale
RN complessivo (VAN) (M€)	66,88	119,67	172,47	134,73	101,4%
RN medio (€/ha/anno)	77,2	138,1	199,0	155,5	101,4%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	115,5	87,7	59,9	31,0	-73,2%

In generale infine, si è potuto notare che la riduzione dell'acqua disponibile induce a sostituire gradualmente le colture legnose irrigue (SRF) con il grano (coltura non irrigua), mentre cresce leggermente il ricorso ad altre colture legnose come le siepi (Figura 78).

Figura 77 – Massimizzazione dell'E: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità irrigua (caso 100% manodopera).

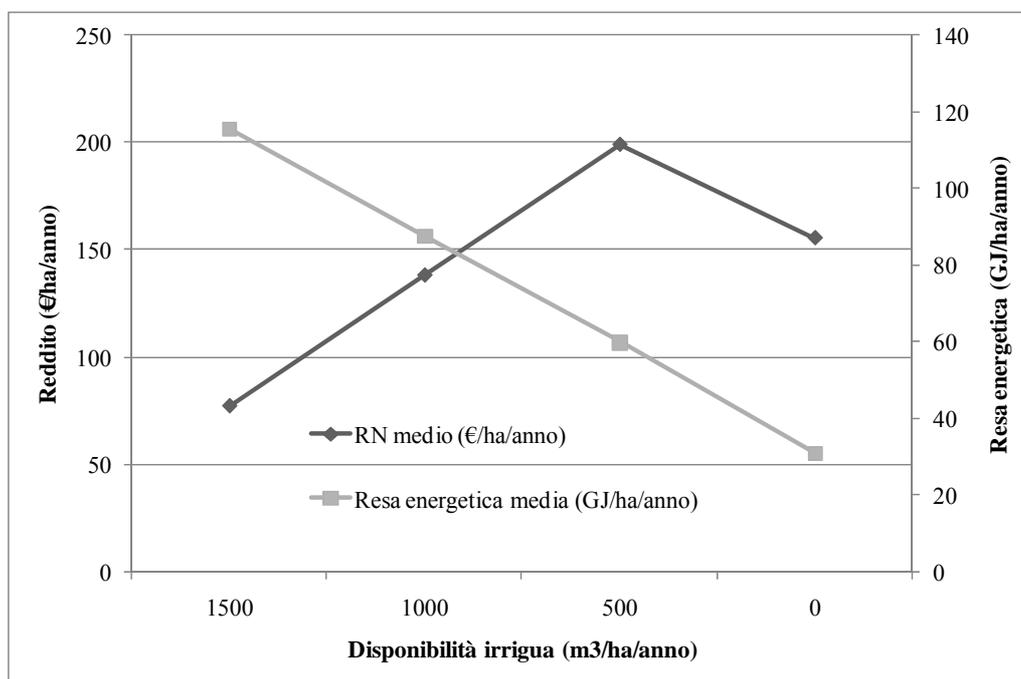
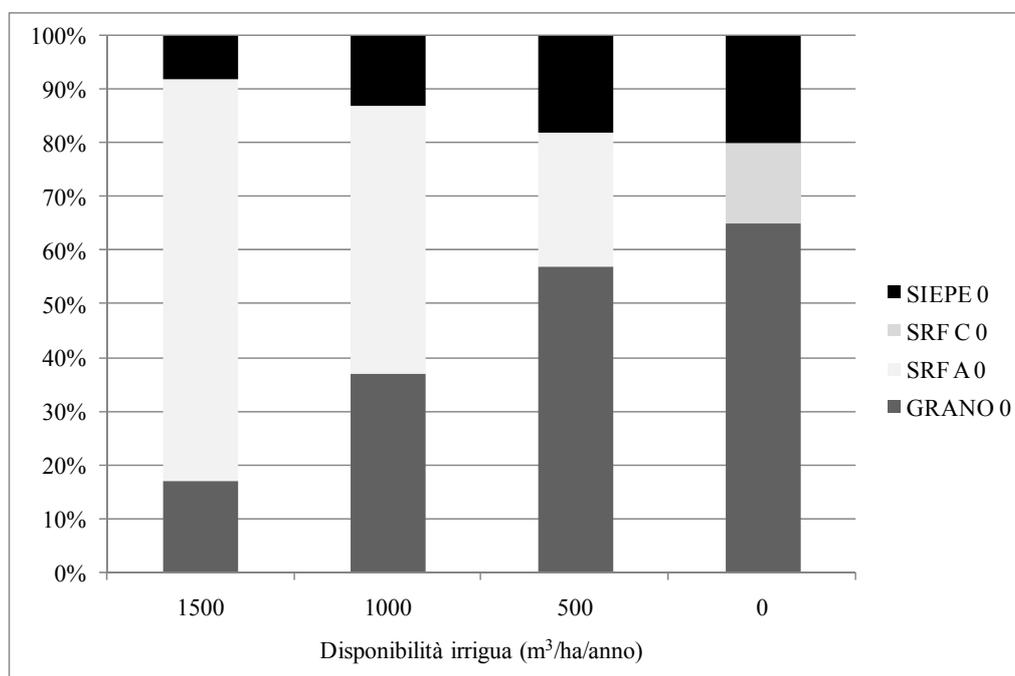


Figura 78 – La variazione del riparto colturale nella massimizzazione dell'E al variare della disponibilità irrigua (caso 100% manodopera).



In questa prima parte le simulazioni hanno avuto lo scopo di analizzare l'influenza della disponibilità di acqua irrigua sulla massimizzazione dell'obiettivo energia, ipotizzando che fosse disponibile tutta la manodopera attualmente impiegata nel settore primario dell'area in esame.

Anche in questo caso, nella seconda parte dell'analisi, si è cercato di verificare l'influenza di una eventuale diminuzione della manodopera disponibile (del 10 e del 20%), questa volta sull'obiettivo energia.

Ciò che si nota è che - a differenza del primo caso - tali riduzioni comportano effetti opposti sui due obiettivi in gioco. Questa volta è l'energia a vedere accentuato l'effetto limitante della carenza d'acqua, mentre il reddito sembra essere influenzato positivamente dalla diminuzione della disponibilità di manodopera, seppur in maniera progressivamente meno marcata.

Quando l'acqua non è fattore limitante (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno), riduzioni della disponibilità di manodopera del 10 e 20% comportano una riduzione complessiva dell'energia ottenibile tra l'1,5 ed il 3%, mentre influiscono piuttosto positivamente sul reddito, che passa prima a 84 €/ha/anno (caso -10% manodopera) e poi a 90 €/ha/anno (caso -20% manodopera), segnando incrementi dell'8 e del 18% rispettivamente (Tabella 32).

Tali variazioni sono spiegate da un incremento della quota di grano (+27%) nel riparto colturale (che fa aumentare il reddito), a fronte di una diminuzione del ricorso alle siepi (praticamente dimezzate), mentre le SRF irrigue vengono sempre mantenute, il che contribuisce a tenere alta la resa energetica (Figura 79).

*Figura 79 – La variazione del riparto colturale nella massimizzazione dell'E al variare della disponibilità di manodopera (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno).*

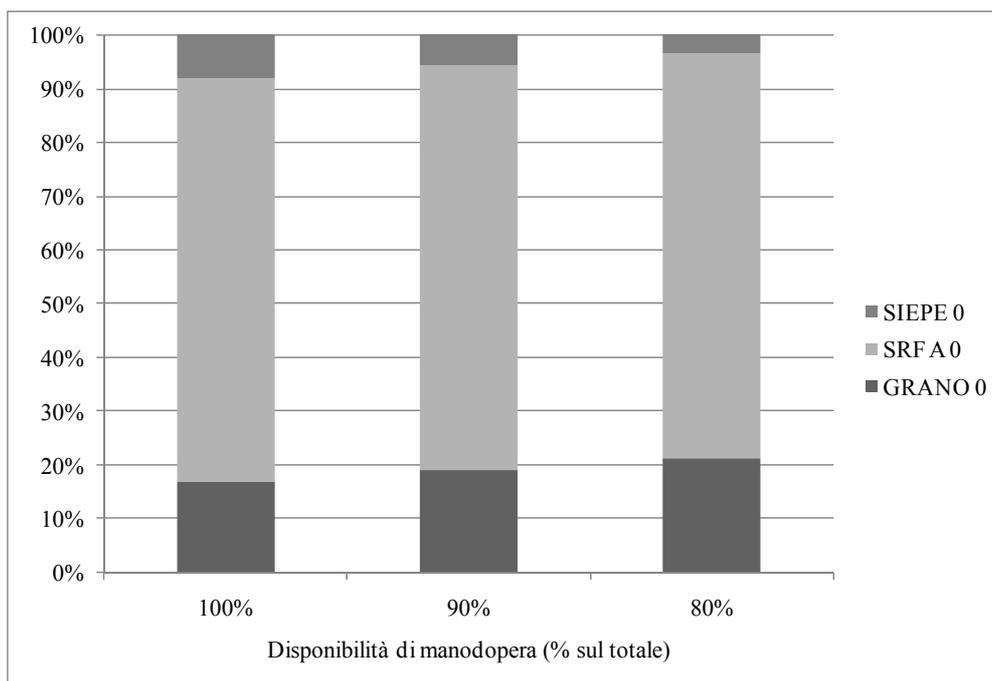


Tabella 32 – Massimizzazione dell'E: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità di manodopera (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno).

Massimizzazione E - Caso 1500 m <sup>3</sup> /ha/anno				
Disponibilità di manodopera (% sul totale)	100%	90%	80%	Δ totale
RN complessivo attualizzato (VAN) (M€)	66,88	72,73	78,57	17,48%
RN medio (€/ha/anno)	77,20	83,90	90,70	17,49%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	115,50	113,80	112,20	-2,86%

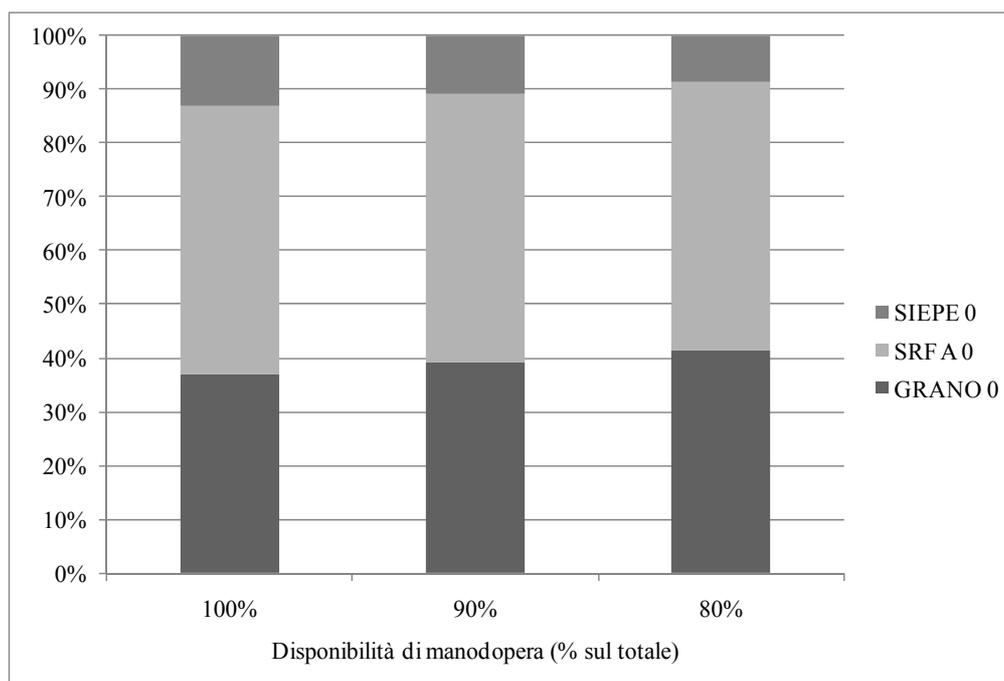
Come accennato, al ridursi della disponibilità irrigua (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno), la riduzione di manodopera causa un'accentuazione della perdita di energia ottenuta che ora risulta essere rispettivamente pari al -1,9 ed al -3,8% rispetto al caso precedente.

La carenza d'acqua riduce anche l'effetto positivo sul RN che in questo caso passa dai 138 €/ha/anno a 145 €/ha/anno e poi a 151 €/ha/anno, corrispondenti ad aumenti leggermente inferiori al caso precedente (Tabella 33).

Tabella 33 – Massimizzazione dell'E: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità di manodopera (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno).

Massimizzazione E - Caso 1000 m <sup>3</sup> /ha/anno				
Disponibilità di manodopera (% sul totale)	100%	90%	80%	Δ totale
RN complessivo attualizzato (VAN) (M€)	119,67	125,52	131,36	9,77%
RN medio (€/ha/anno)	138,10	144,80	151,60	9,78%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	87,70	86,00	84,40	-3,76%

Figura 80 – La variazione del riparto colturale nella massimizzazione dell'E al variare della disponibilità di manodopera (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno).



La crescita percentuale della superficie a grano in questo caso è invece nettamente inferiore (+12%), mentre la contrazione del ricorso alle siepi scende al 34%. Stabile ancora una volta il ricorso alle SRF irrigue (Figura 80).

Un'ulteriore diminuzione dell'acqua disponibile accentua maggiormente il trend sopra esposto. Con una disponibilità irrigua di 500 m<sup>3</sup>/ha/anno, la riduzione del 10 e 20% della manodopera disponibile comporta una ancor più accentuata diminuzione dell'obiettivo energetico: il valore di energia netta decresce infatti del 2,8 e 5,5% rispettivamente, arrivando a valere 56,6 GJ/ha/anno.

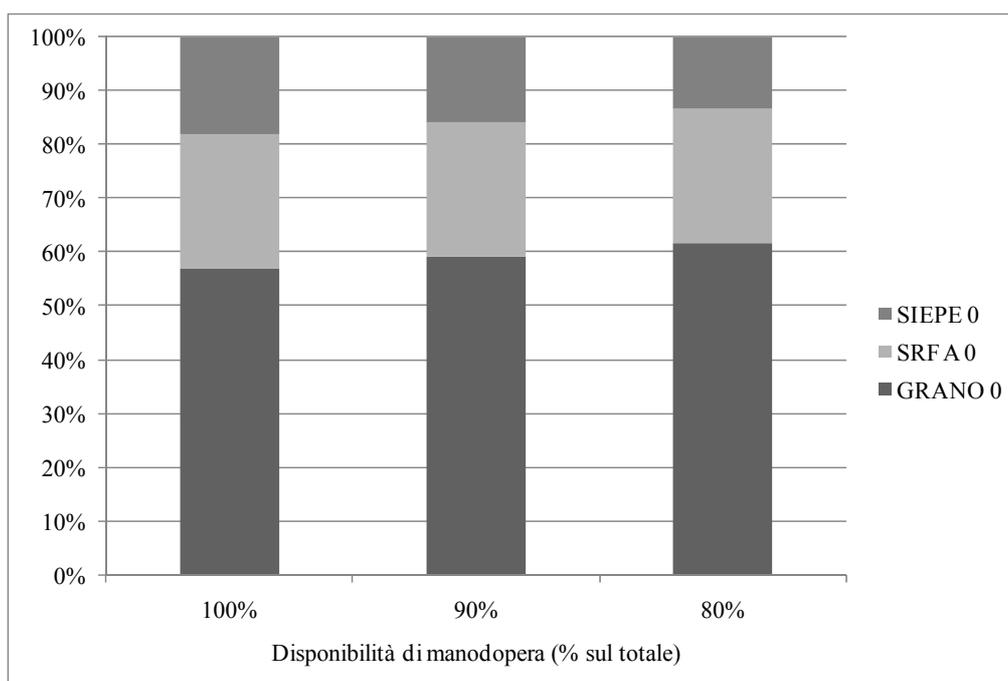
L'obiettivo reddito continua invece ad aumentare il proprio valore ma, questa volta, in modo meno evidente: si registrano aumenti del 3,4 e del 6,8%, arrivando rispettivamente a 205,8 e 212,5 €/ha/anno (Tabella 34).

*Tabella 34 – Massimizzazione dell'E: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità di manodopera (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno).*

Massimizzazione E - Caso 500 m <sup>3</sup> /ha/anno				
Disponibilità di manodopera (% sul totale)	100%	90%	80%	Δ totale
RN complessivo attualizzato (VAN) (M€)	172,47	178,31	184,16	6,78%
RN medio (€/ha/anno)	199,00	205,80	212,50	6,78%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	59,90	58,20	56,60	-5,51%

Nel nuovo riparto colturale aumenta meno il ricorso al grano (+8%), mentre si evidenzia una variazione delle siepi ancora minore (-25% in questo caso). Stabile, ma sempre più limitata, la presenza delle SRF irrigue al variare della disponibilità irrigua (Figura 81).

*Figura 81 – La variazione del riparto colturale nella massimizzazione dell'E al variare della disponibilità di manodopera (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno).*



La disponibilità irrigua nulla comporta, infine, un'ulteriore diminuzione della produzione di energia in linea con quanto avvenuto nei casi precedenti: questa volta la riduzione del valore energetico è del 2,6% (caso -10% manodopera) e del 7,4% (caso -20% manodopera). Completamente opposta la variazione del RN che, in questo caso, esplode letteralmente, raddoppiando il proprio valore: una riduzione del 10% della manodopera disponibile comporta una crescita di oltre il 55% del valore di reddito ottenibile, poco distante dall'aumento del 59% previsto nel caso di riduzione del 20% della manodopera (Tabella 35).

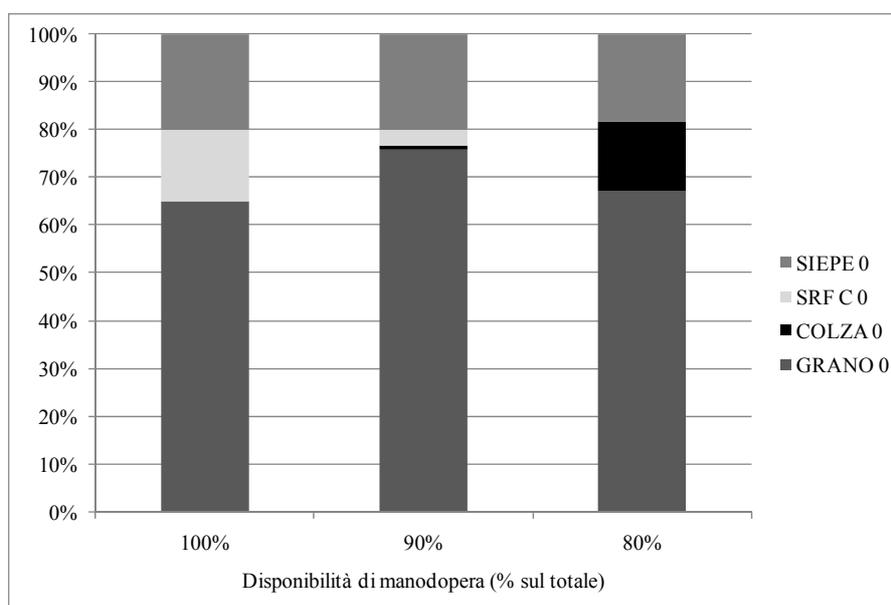
Tabella 35 – Massimizzazione dell'E: variazione dei valori di RN e E al variare della disponibilità di manodopera (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno).

Massimizzazione E - Caso 0 m <sup>3</sup> /ha/anno				
Disponibilità di manodopera (% sul totale)	100%	90%	80%	Δ totale
RN complessivo attualizzato (VAN) (M€)	134,73	209,68	215,27	59,78%
RN medio (€/ha/anno)	155,50	242,00	248,40	59,74%
Resa energetica media (GJ/ha/anno)	31,00	30,20	28,70	-7,42%

Ciò è evidente, se si osserva la variazione dei riparti colturali adottati come soluzione al variare della manodopera: in condizioni di disponibilità irrigua nulla, il modello tende in un primo momento a eliminare per la maggior parte le SRF non irrigue (dal reddito medio annuo molto basso) sostituendole con grano (reddito elevato) e colza. Quest'ultima coltura in particolare viene scelta probabilmente per la sua buona vocazione nella produzione di energia (15 GJ/ha), che peraltro comporta una discreta produzione di reddito.

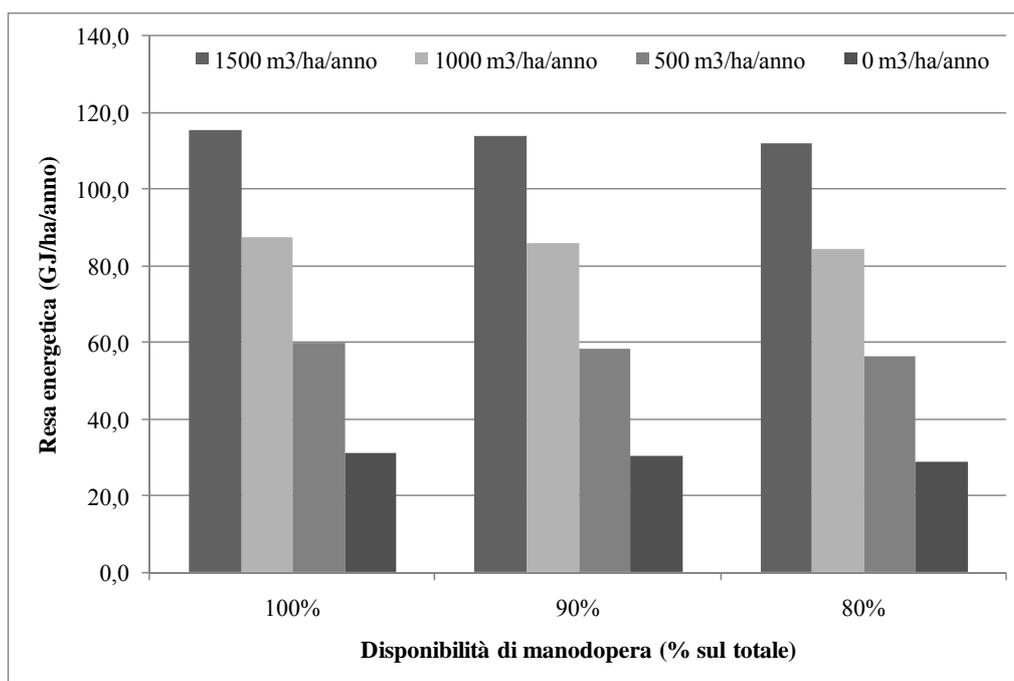
L'ulteriore diminuzione della disponibilità di manodopera infine spinge il modello ad eliminare completamente le SRF non irrigue, a ridurre in parte la SAU destinata a grano (-11%) impiegando invece una quota maggiore di colza (+12%) (Figura 82).

Figura 82 – La variazione del riparto colturale nella massimizzazione dell'E al variare della disponibilità di manodopera (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno).



In conclusione, è possibile sottolineare che eventuali riduzioni della manodopera tendono da un lato a mettere in risalto l'effetto negativo della diminuzione della disponibilità irrigua sulla riduzione dell'obiettivo energetico e dall'altro ad amplificare invece l'effetto positivo della riduzione della disponibilità irrigua sull'obiettivo reddito (Figura 83).

Figura 83 – Funzione obiettivo E al variare della disponibilità di manodopera e di acqua.



Se la riduzione della resa energetica a causa della sola disponibilità irrigua era del 73% (da 115 a soli 31 GJ/ha/anno), tale perdita viene accresciuta dalla minor disponibilità di manodopera che comporta una riduzione complessiva di oltre il 75% (da 115 a 27 GJ/ha/anno) (Tabella 36).

Tabella 36 – Funzione obiettivo E al variare della disponibilità di manodopera e di acqua (con i relativi valori di RN).

MASSIMIZZAZIONE ENERGIA						
Variazione disponibilità irrigua						
					Δ TOT	
Valori di E (GJ/ha/anno)						
	1500	1000	500	0		
% Manodopera	100%	115,5	87,7	59,9	31,0	-73,2%
	90%	113,8	86,0	58,2	30,2	-73,5%
	80%	112,2	84,4	56,6	28,7	-74,4%
Valori di RN correlati (€/ha/anno)						
	100%	77,2	138,1	199,0	155,5	101,4%
	90%	83,9	144,8	205,8	242,0	188,3%
	80%	90,7	151,6	212,5	248,4	174,0%

Allo stesso tempo però, l'incremento del 101% del valore di reddito fatto segnare al diminuire della sola disponibilità irrigua (da 77 a 155 €/ha/anno), viene accresciuto dalla diminuzione della manodopera: la crescita complessiva diviene così del 220%, con un reddito medio che passa da 77 a oltre 248 €/ha/anno.

### 7.3. L'analisi WGP

I risultati della prima applicazione di What'sBest corrispondono a quelli che vengono definiti "ideal points" (IP), ossia quelle soluzioni ottimali che si ottengono massimizzando singolarmente e separatamente ognuno dei due obiettivi in gioco.

Di qui, l'analisi ha proceduto con l'individuazione delle variabili deviazionali descritte dallo scostamento delle soluzioni reali da quelle ipotetiche, rappresentate dagli IP tramite la Weighted Goal Programming (WGP), che costituisce una variante della Programmazione ad Obiettivi Definiti.

L'applicazione dell'analisi WGP consente di assegnare diversa importanza agli obiettivi in gioco mediante l'attribuzione di "pesi", rappresentanti il valore delle variabili deviazionali.

Di conseguenza, la loro variazione permette di individuare quella che viene definita "frontiera efficiente", ossia l'insieme delle soluzioni possibili non dominate, rappresentanti i riparti colturali per i quali il miglioramento di un obiettivo non è possibile se non attraverso il peggioramento dell'altro (efficienza paretiana).

La prima applicazione della WGP prevede l'assegnazione di un peso unitario ad uno dei due obiettivi, mentre all'altro viene attribuito un peso nullo. In questo modo lo strumento d'analisi a molti obiettivi viene in un primo momento ad essere utilizzato come un più semplice strumento di Programmazione Lineare, senza dover modificare la matrice della tecnica (Tempesta e Thiene, 2003): mentre il primo obiettivo avrà peso "1", il secondo avrà invece peso "0", divenendo praticamente ininfluenza sulla soluzione complessiva.

Questa soluzione, sarà identificata come la prima delle due "corner solution" (o soluzione d'angolo), mentre la seconda si otterrà quando i pesi verranno praticamente invertiti: di qui la necessità di ottenere due "corner solution", una in cui il massimo peso è assegnato all'obiettivo reddituale e l'altra in cui è invece assegnato all'obiettivo energia.

Le due soluzioni d'angolo rappresenteranno graficamente il punto di partenza e quello d'arrivo nella costruzione della frontiera efficiente, i cui punti intermedi saranno rappresentati dalle soluzioni di compromesso ottenute assegnando (tenuto fermo uno dei due pesi), un peso crescente ad uno dei due obiettivi in gioco, fino ad annullare il peso del secondo obiettivo.

L'analisi è stata dunque ripetuta nelle diverse condizioni di disponibilità irrigua e di disponibilità di manodopera, effettuando una sorta di analisi della sensitività delle risposte produttive al variare delle due condizioni eventualmente limitanti (acqua e lavoro).

Nel complesso quindi, si sono delineate 12 diverse linee di frontiera, rappresentanti la variazione del valore degli obiettivi in gioco sulla base della seguente tabella (Tabella 37).

Tabella 37 – L'insieme delle frontiere analizzate.

	Disp. Irrigua (m <sup>3</sup> /ha/anno)			
	1500	1000	500	0
Disp. Manodopera 100%	X	X	X	X
Disp. Manodopera -10%	X	X	X	X
Disp. Manodopera -20%	X	X	X	X

Le informazioni estrapolate dalla frontiera efficiente possono dunque essere messe a disposizione del decisore pubblico. Questi, chiamato a decidere sul tipo di strategie da adottare, sarà in grado di valutare meglio i pro e i contro dell'implementazione degli obiettivi sociali. Inoltre, ogni frontiera individuata sarà in grado di fornire indicazioni relative alla quantificazione dei *trade-offs*<sup>61</sup> esistenti tra gli obiettivi in gioco.

Nel caso in esame, ad esempio, sarà possibile individuare quali contributi si potrebbero erogare ad un'azienda a seminativi del Polesine, affinché questa aumenti la produzione di energia. Tali contributi, in assenza di costi di transazione, dovrebbero essere pari alle variazioni di reddito conseguenti al cambiamento del riparto colturale adottato.

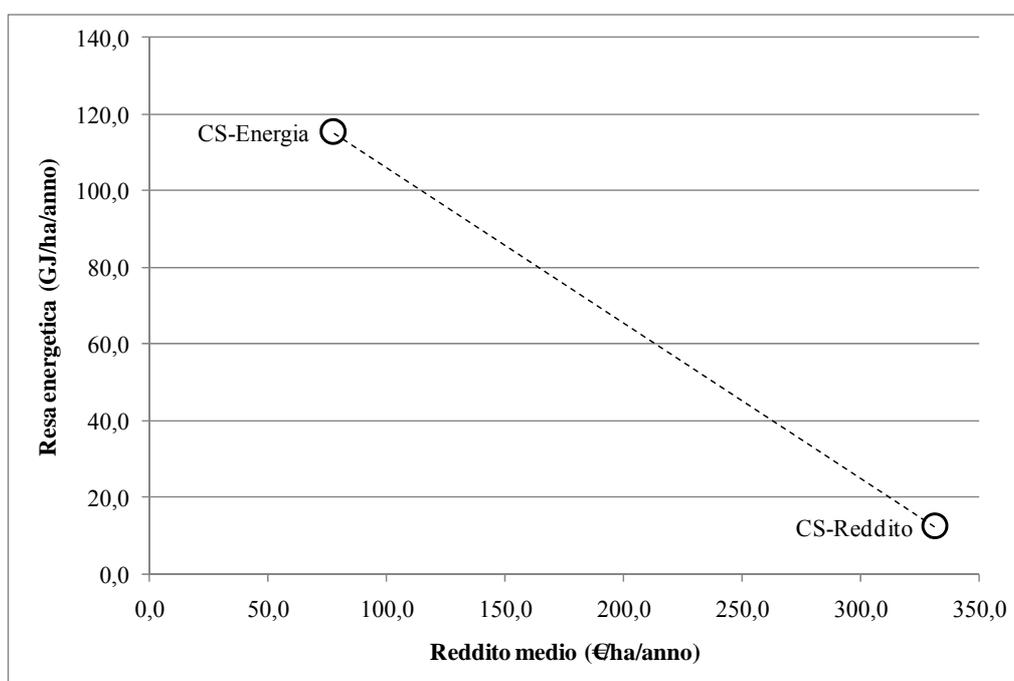
Al riguardo è importante sottolineare che i contributi così individuati fanno riferimento a soluzioni di tipo efficiente, tali perciò da rendere minimo l'esborso da parte pubblica, a parità di raggiungimento del livello di produzione di bioenergie perseguito.

### 7.3.1. Frontiera "1500"

Nel caso di massima disponibilità irrigua la prima soluzione d'angolo, è rappresentata dalla massimizzazione dell'obiettivo reddito (reddito peso "1", energia peso "0") che ipotizza un riparto colturale in grado di generare un reddito medio annuo di circa 331 €/ha ed una correlata produzione di energia pari a 12,4 GJ/ha/anno (CS-Reddito, Figura 84).

Nella soluzione corner opposta, la situazione cambia notevolmente: il nuovo riparto permette di ottenere una resa energetica nettamente superiore (115,5 GJ/ha/anno), sacrificando la resa economica passata ad appena 77 €/ha/anno (CS-Energia, Figura 84). Già da questi primi risultati appare dunque evidente la concorrenza tra i due obiettivi ed il diverso ruolo giocato dalle colture agrarie tradizionali e da quelle legnose: le prime nettamente a favore dell'obiettivo economico, e le seconde invece decisamente di sostegno alla produzione di energia (Figura 84).

Figura 84 – Soluzioni d'angolo (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



<sup>61</sup> Altrimenti detti "Costi opportunità", corrispondenti in questo caso al costo unitario della rinuncia di reddito (€) in favore di un'unità di energia (GJ).

La ricerca si è quindi proposta di individuare le migliori soluzioni di compromesso tra i due obiettivi variando il peso loro attribuito, al fine di ottenere la frontiera efficiente di trasformazione.

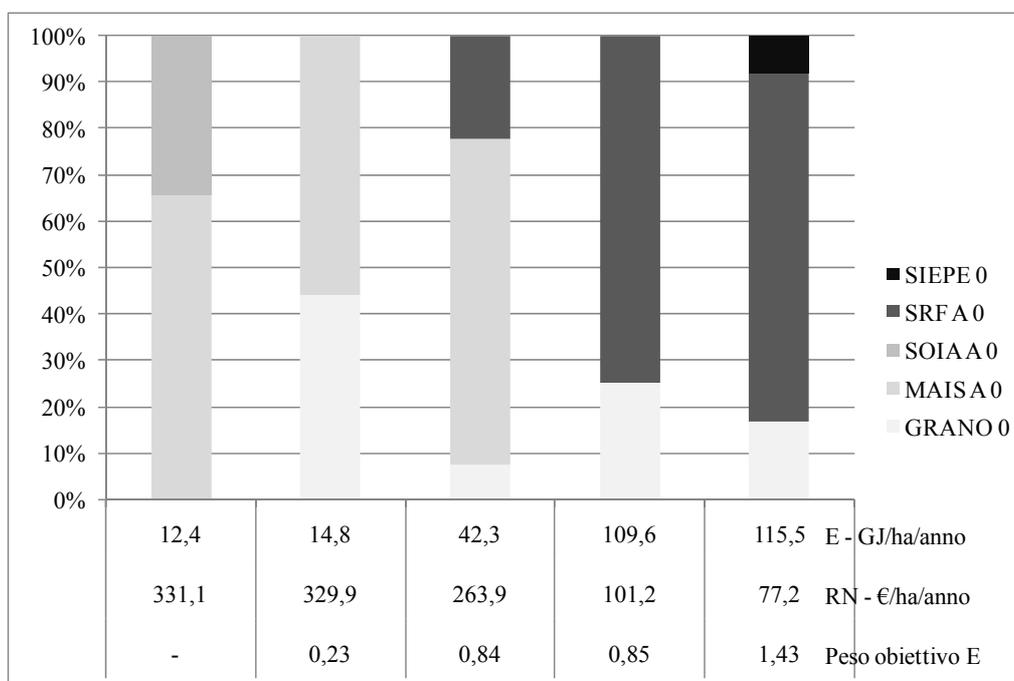
L'analisi dei riparti colturali al variare del peso assegnato all'obiettivo energia evidenzia un abbandono progressivo delle due colture inizialmente adottate dal modello (soia e mais), che vengono sostituite sempre più precocemente nel tempo da un'altra coltura agraria tradizionale quale il grano (per il motivo sopra esposto). E' la soia in realtà a scomparire del tutto a partire dagli ultimi anni del periodo preso in considerazione, sostituita in massima parte dal grano, che recupera anche parte della SAU prima dedicata al mais.

A variazioni minime del peso assegnato all'energia (comprese tra 0 e 0,7), quando il peso assegnato all'obiettivo reddito rimanga fisso (pari a 1), il modello tende ad eliminare la soia e a diminuire la superficie a mais per sostituirli con il grano a partire dagli ultimi anni del periodo preso in considerazione. Tale variazione, minima nel complesso, fa variare in maniera quasi impercettibile il reddito medio e anche l'energia ricavata in media dal singolo ettaro di SAU.

Assegnando invece un peso nettamente superiore all'obiettivo energia (0,84), si ottiene un nuovo riparto colturale: da questo punto in poi della frontiera, fino ad arrivare alla corner solution opposta, le colture agrarie tradizionali vengono abbandonate in favore di quelle legnose, con l'eccezione di una piccola parte che rimane destinata al grano.

Tra le colture legnose sono le SRF ad occupare oltre 40.000 dei 54.000 ettari di SAU disponibile, mentre le siepi vengono impiegate solo nella situazione corrispondente alla soluzione d'angolo opposta, ottenuta assegnando all'obiettivo energia un peso pari a 1,43 (Figura 85).

Figura 85 – Variazione dei riparti sulla frontiera efficiente (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



Dal punto di svolta in poi quindi, i valori degli obiettivi in gioco tendono a variare notevolmente: il reddito netto passa infatti dai 330 (Punto A0) a 260 (Punto C0) fino a 110 (Punto D0) ed infine a 77 €/ha/anno (Punto E0), mentre al contempo le rese

energetiche salgono altrettanto velocemente passando da 12-15 GJ/ha/anno (Punti A0, B0) fino a 40 (Punto C0), 110 (Punto D0) ed infine 115 GJ/ha/anno (Punto E0), corrispondente alla soluzione corner (Figura 86 e Tabella 38).

Figura 86 – Frontiera efficiente (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

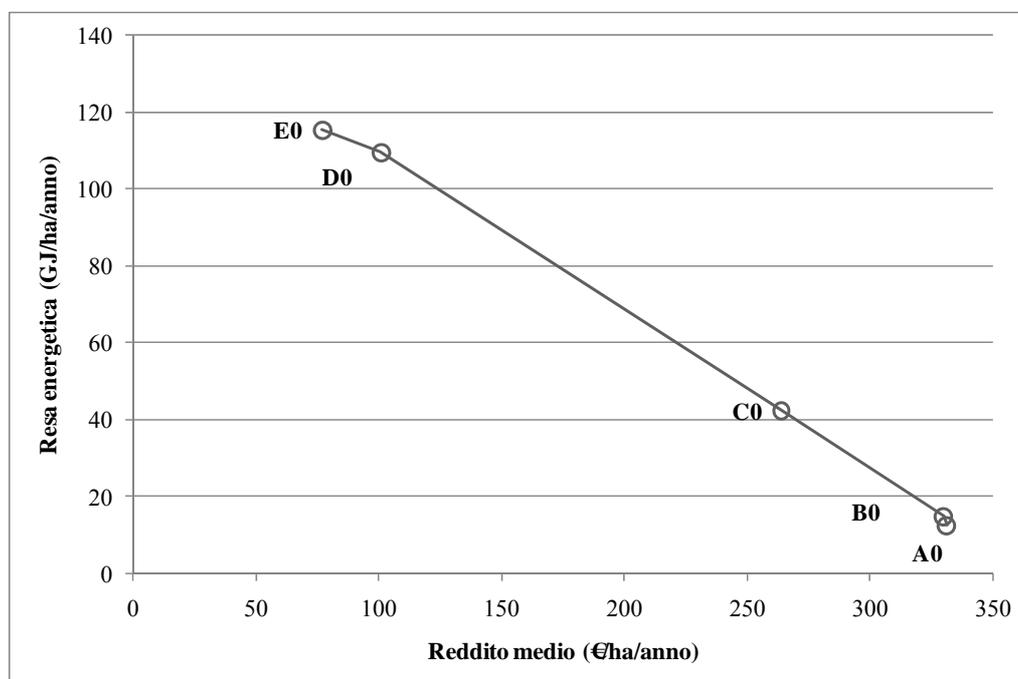


Tabella 38 – Pesi e valori relativi alla frontiera efficiente (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera)

Punti Frontiera (1500 m <sup>3</sup> /ha/anno; 100% manodopera)	Peso obiettivo Reddito	Peso obiettivo Energia	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)
A0	1,0	0,0	331,1	12,4
B0	1,0	0,2	329,9	14,8
C0	1,0	0,8	263,9	42,3
D0	1,0	0,9	101,2	109,6
E0	1,0	1,4	77,2	115,5

Anche in questo caso, la variabilità del riparto nell'arco di 15 anni non è messa in discussione: la superficie impegnata a colture legnose nel primo anno vincola automaticamente gli anni successivi e dunque rimane costante.

Le superfici impegnate a seminativi vengono modificate solo leggermente a partire dagli ultimi anni del periodo di riferimento: alcune colture (soia e in minima parte mais) vengono sempre più precocemente nel tempo sostituite dal grano, solo quando si vari lievemente il peso assegnato all'obiettivo energia nel momento in cui sia ancora preponderante l'obiettivo reddito.

### 7.3.2. Trade offs “1500”

Delimitare la frontiera efficiente delle soluzioni non dominate significa anche essere in grado di identificare e quantificare il costo delle rinunce alla singola unità di energia in gioco (trade off). All'aumentare del peso assegnato all'obiettivo energia infatti, la quantità di reddito cui si deve rinunciare tende a crescere in virtù del fatto che, per perseguire maggiormente l'obiettivo energia, si deve rinunciare ad un riparto culturale altamente redditizio (seminativi), a favore di un riparto meno vantaggioso dal punto di vista economico ma molto di più da quello energetico (colture legnose).

In particolare, aumentando il peso dell'obiettivo energia, il costo opportunità della produzione di energia tende a crescere: nel caso in esame (disponibilità irrigua massima), per incrementare di un'unità (1 GJ) la produzione di energia si è costretti a rinunciare a valori crescenti di reddito. Fintanto che il peso assegnato all'obiettivo energia è piuttosto basso rispetto a quello dell'obiettivo economico, il costo opportunità è altrettanto basso e si aggira sui 0,4-0,6 €/GJ. Non appena però il peso assegnato all'obiettivo energia cresce, si passa attraverso una rinuncia di 2,4 €/GJ fino a 4,1 €/GJ (Tabella 39).

Tabella 39 – Trade offs (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera)

Punti Frontiera (1500 m <sup>3</sup> /ha/anno; 100% manodopera)	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	Δ	Trade off Reddito/Energia (€/GJ/ha/anno)
A0	331,1	12,4		-
B0	329,9	14,8	A0→B0	-0,52
C0	263,9	42,3	B0→C0	-2,40
D0	101,2	109,6	C0→D0	-2,42
E0	77,2	115,5	D0→E0	-4,09

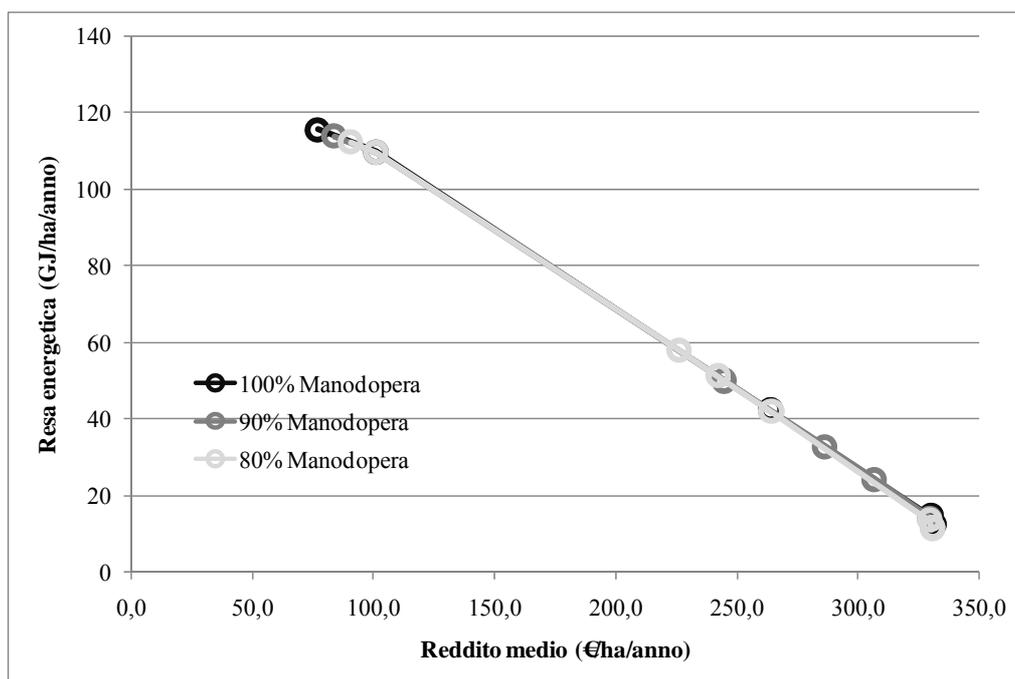
### 7.3.3. Variazione manodopera “1500”

In caso di massima disponibilità irrigua, si è potuto notare che un calo della disponibilità di manodopera del 10% non determina dei grossi cambiamenti nel riparto culturale adottato e nei rispettivi valori ottenuti. In generale vi è un più ampio uso del grano, ed un minor impiego del mais, mentre la soia viene ridotta in maniera più progressiva all'aumentare del peso assegnato all'obiettivo energia. L'effetto di una ulteriore riduzione della disponibilità di manodopera (-20%) è solo leggermente diverso. In questo caso il grano rientra più precocemente nel riparto culturale, anche per variazioni di modesta entità del peso assegnato all'obiettivo energetico.

Allo stesso tempo la quota di SAU dedicata a mais viene ulteriormente ridotta, così come quella a soia, che decresce in maniera progressiva (APPENDICE V).

Dall'analisi della sensitività dei risultati al variare della disponibilità di manodopera emergono tre nuove linee di frontiera che, nel caso di massima disponibilità irrigua, tendono ad essere quasi totalmente sovrapposte. Vi sono solo delle minime variazioni dell'ampiezza delle frontiere dovute in prevalenza ai cambiamenti delle soluzioni d'angolo. (Figura 87, Tabella 40).

Figura 87 – Variazione delle frontiere al variare della disponibilità di manodopera (caso  $1500 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{anno}$ ).



Tale situazione è inoltre confermata dai valori calcolati dei trade-off relativi alle diverse situazioni di disponibilità di manodopera: essi rimangono infatti praticamente invariati rispetto al caso di massima manodopera disponibile (Tabella 40).

Tabella 40 – Raffronto valori RN, E e Trade offs in funzione della disponibilità di manodopera (caso 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno).

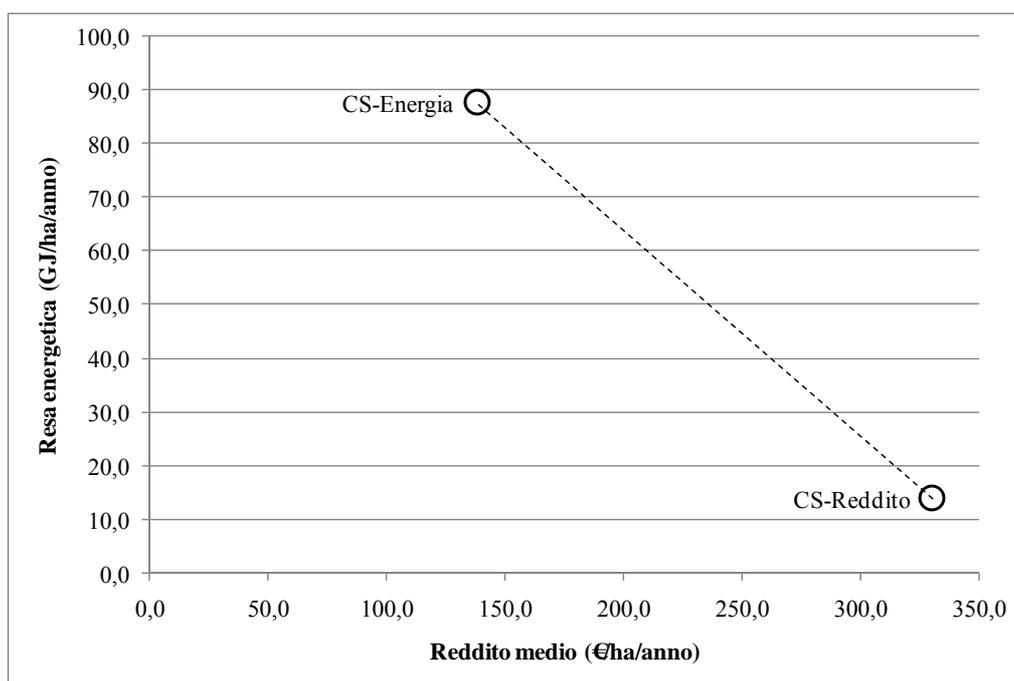
Disponibilità irrigua 1500 m <sup>3</sup> /ha/anno							
90% Manodopera			80% Manodopera		TRADE OFF (€/GJ/ha/anno)		
	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	100% Manodopera	90% Manodopera	80% Manodopera
A0	330,9	11,9	330,7	11,3	-	-	-
B0	329,8	14,2	330,6	11,6	-0,5	-0,5	-0,1
C0	306,8	24,2	329,7	13,5	-2,4	-2,3	-0,5
D0	286,3	32,9	264,3	41,9	-2,4	-2,4	-2,3
E0	245,1	50,1	242,0	51,3	-4,1	-2,4	-2,4
F0	101,2	109,6	226,2	57,9	-	-2,4	-2,4
G0	83,9	113,8	101,2	109,6	-	-4,1	-2,4
H0	-	-	90,7	112,2	-	-	-4,1

### 7.3.4. Frontiera “1000”

Una diminuzione della disponibilità irrigua da 1500 a 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno tende ad influenzare in maniera lievemente negativa il raggiungimento dell’obiettivo reddituale mentre sembra influenzare positivamente l’obiettivo energia.

In questo caso, la soluzione d’angolo relativa alla massimizzazione del reddito porta ad un riparto che genera un reddito medio di 330,3 €/ha/anno e di 14 GJ/ha/anno (CS-Reddito, Figura 88), contro un riparto che, in caso di massimizzazione del obiettivo energetico, comporta una resa energetica media di 87,7 GJ/ha/anno ed un reddito medio di 138 €/ha/anno (CS-Energia, Figura 88).

Figura 88 – Soluzioni d’angolo (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

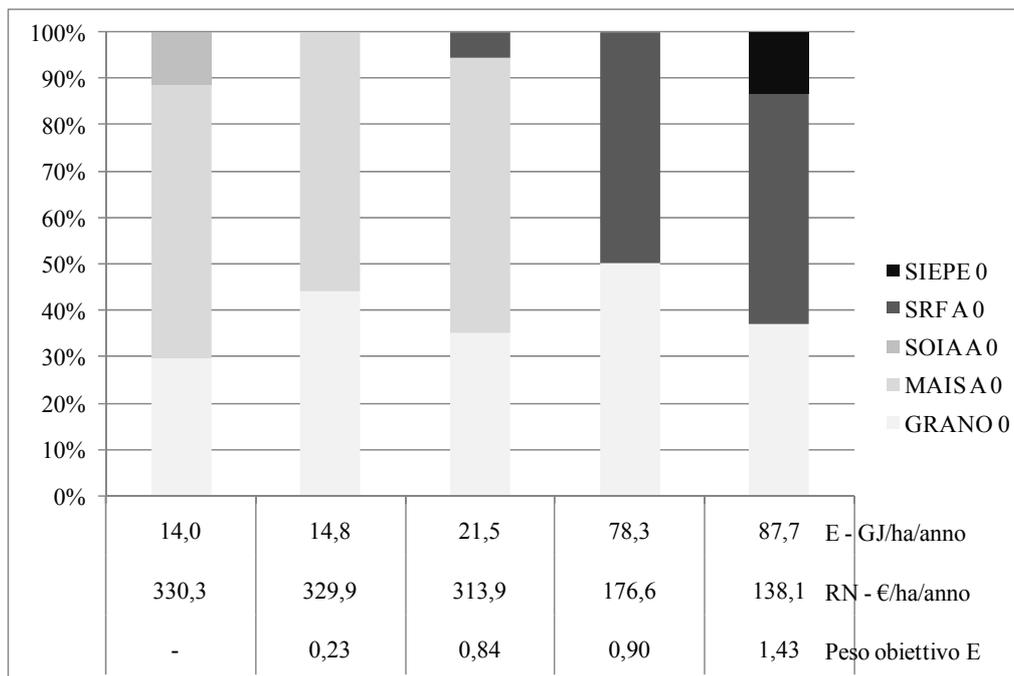


La frontiera che unisce le due nuove soluzioni d’angolo ricalca in massima parte quella identificata nel caso di massima disponibilità irrigua. A variazioni minime del peso assegnato all’energia infatti (0-0,7), il modello tende anche in questo caso ad eliminare la soia di anno in anno a partire dagli ultimi anni del periodo preso in considerazione. La superficie liberata dalla soia viene così gradualmente investita in grano mutando impercettibilmente il valore dei due obiettivi rispetto alla situazione di massima disponibilità irrigua.

Solo assegnando un peso nettamente superiore all’obiettivo energia (0,90), il riparto colturale abbandona in maniera repentina l’impiego del mais per investire in colture legnose tipo SRF irrigue.

Ad affiancare le SRF nella corner solution (ottenuta assegnando peso 1,43 all’obiettivo energia) restano nel caso estremo le siepi ed il grano, che continua a rappresentare il 37% della SAU (Figura 89).

Figura 89 – Variazione dei riparti sulla frontiera efficiente (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



Con un peso assegnato all'obiettivo energia superiore a 0,9 (Punto C1) il reddito tende ad essere prima dimezzato (da 330 a 176 €/ha/anno) ed infine ulteriormente ridotto (138 €/ha/anno – Punto E1). Stessa sorte per l'obiettivo energia che invece tende a crescere sensibilmente solo a partire da quello stesso punto C1: da 20 fino a oltre 80 GJ/ha/anno (Figura 90 e Tabella 41).

Figura 90 – Frontiera efficiente (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

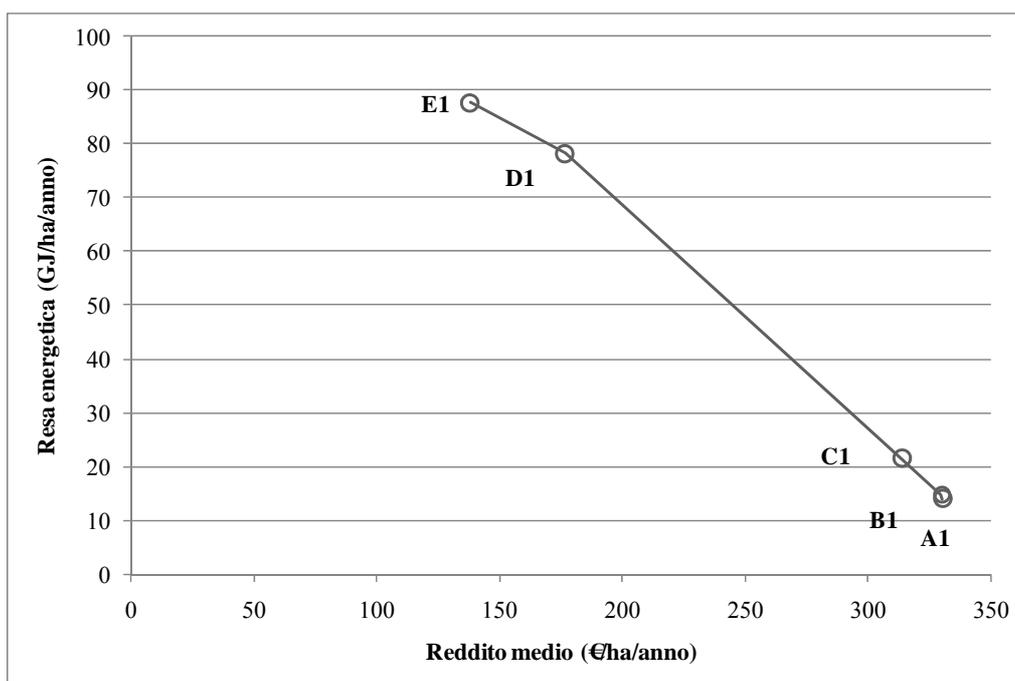


Tabella 41 – Pesi e valori relativi alla frontiera efficiente (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera)

Punti Frontiera (1000 m <sup>3</sup> /ha/anno; 100% manodopera)	Peso obiettivo Reddito	Peso obiettivo Energia	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)
A1	1,0	0,0	330,3	14,0
B1	1,0	0,2	329,9	14,8
C1	1,0	0,8	313,9	21,5
D1	1,0	0,9	176,6	78,3
E1	1,0	1,4	138,1	87,7

### 7.3.5. Trade offs “1000”

L’analisi dei trade offs evidenziata nel primo caso, si ripropone in maniera praticamente identica nel caso di una prima diminuzione della disponibilità irrigua. In questo caso infatti i costi opportunità relativi alla rinuncia sono gli stessi ottenuti nel primo caso, con valori di trade-off che passano da 0,4-0,6 €/GJ ad oltre 4,1 €/GJ quando si voglia porre maggiormente l’accento sulla produzione di energia. Ciò rivela che in linea di massima, questa prima riduzione della disponibilità irrigua non risulta in grado di influenzare in maniera decisiva gli obiettivi (Tabella 42).

Tabella 42 – Trade offs (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera)

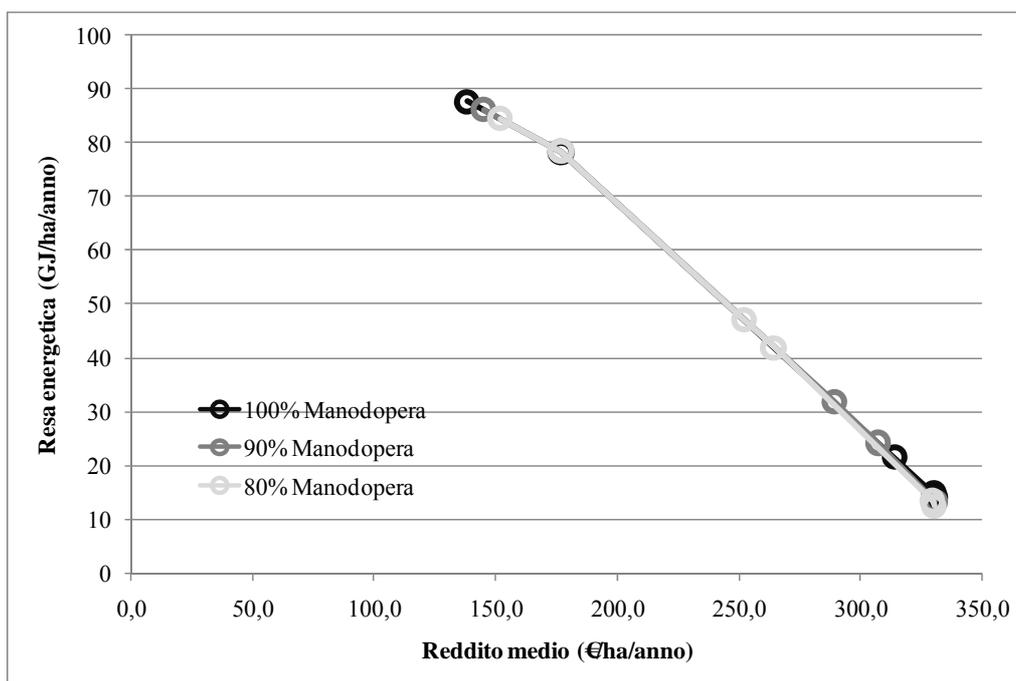
Punti Frontiera (1000 m <sup>3</sup> /ha/anno; 100% manodopera)	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	Δ	Trade off Reddito/Energia (€/GJ/ha/anno)
A1	330,3	14,0		-
B1	329,9	14,8	A1→B1	-0,52
C1	313,9	21,5	B1→C1	-2,40
D1	176,6	78,3	C1→D1	-2,42
E1	138,1	87,7	D1→E1	-4,09

Mentre in generale si può notare che, al crescere del peso assegnato all’obiettivo energia, il riparto colturale si modifica in maniera simile al caso precedente, ciò che appare evidente è invece il raggiungimento dell’obiettivo energetico che, come si è visto precedentemente, al ridursi della disponibilità d’acqua tende a perdere il 25% del suo valore complessivo. Diversa la sorte dell’obiettivo reddito che, massimizzato, raggiunge invece un valore complessivo praticamente identico.

### 7.3.6. Variazione manodopera “1000”

Anche in questo caso, l’analisi della sensitività delle soluzioni al variare della disponibilità di manodopera non è risultata particolarmente significativa. Ancora una volta, infatti, le tre linee di frontiera, corrispondenti ai tre diversi livelli di disponibilità di manodopera (nel caso di una prima diminuzione della disponibilità irrigua), si sono rivelate pressoché identiche e sovrapposte, con una leggera differenza nella loro estensione (Figura 91, Tabella 43).

Figura 91 – Variazione delle frontiere al variare della disponibilità di manodopera (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno).



L'abbreviazione delle frontiere in particolare, esplicita in questo caso la notevole perdita di valore dell'obiettivo energia (-25% circa), rispetto al caso di massima disponibilità irrigua, mentre i relativi trade-off calcolati sulla base dei nuovi valori danno i medesimi risultati. La diminuzione della manodopera in questo primo caso di riduzione della disponibilità irrigua continua a comportare una rinuncia piuttosto contenuta del reddito nei confronti dell'energia, variabile tra 0 e 4 € per GJ di energia prodotta in più (Tabella 43).

Analizzando i nuovi riparti colturali adottati dal modello, si nota come la variazione sia di nuovo minima e interessa comunque le medesime colture adottate anche negli altri casi di disponibilità di manodopera.

Anche qui infatti il grano viene adottato in maniera più accentuata al ridursi della manodopera, così come la soia ed il mais tendono a diminuire di importanza. Per quanto riguarda le colture legnose adottate al massimizzare dell'obiettivo energetico, si registra una leggera contrazione del ricorso alle siepi e un'adozione progressiva delle SRF irrigue (APPENDICE V).

Tabella 43 – Raffronto valori RN, E e Trade offs in funzione della disponibilità di manodopera (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno).

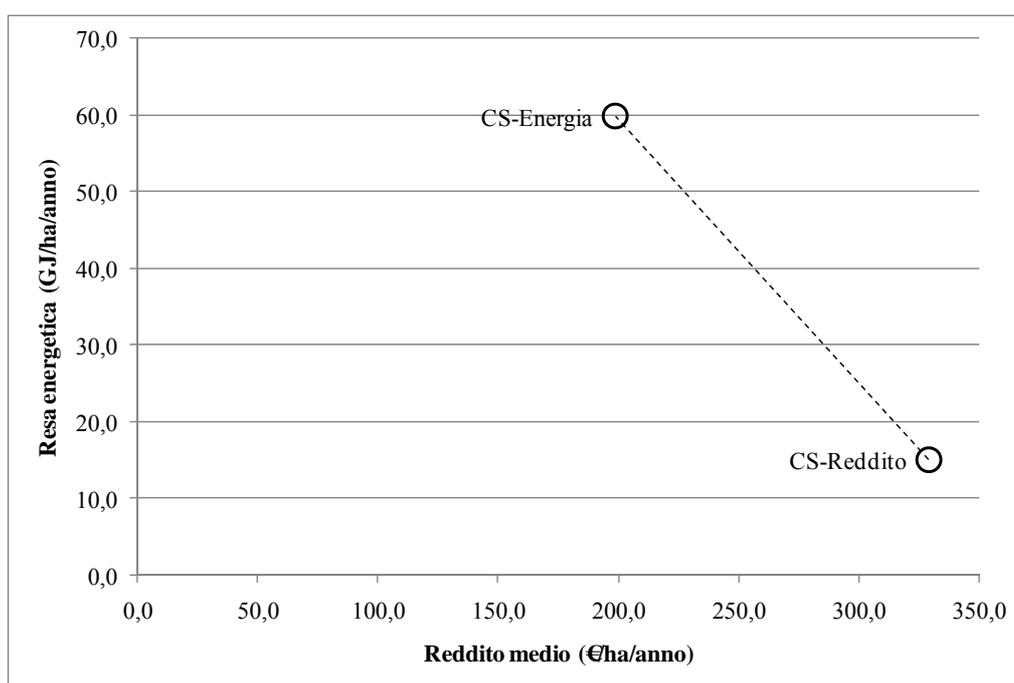
Disponibilità irrigua 1000 m <sup>3</sup> /ha/anno							
	90% Manodopera		80% Manodopera		TRADE OFF (€/GJ/ha/anno)		
	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	100% Manodopera	90% Manodopera	80% Manodopera
A1	330,2	13,3	330,1	12,6	-	-	-
B1	306,8	24,2	329,7	13,5	-0,5	-2,1	-0,5
C1	288,9	31,8	264,2	41,9	-2,4	-2,4	-2,3
D1	176,6	78,3	252,2	47,0	-2,4	-2,4	-2,4
E1	144,8	86,0	176,6	78,3	-4,1	-4,1	-2,4
F1	-	-	151,6	84,4	-	-	-4,1

### 7.3.7. Frontiera “500”

Riducendo ulteriormente la disponibilità d’acqua (da 1000 a 500 m<sup>3</sup>/ha/anno), il trend evidenziato con la prima riduzione tende ad accentuarsi ulteriormente: massimizzando l’obiettivo economico (reddito peso “1”, energia peso “0”), il reddito medio cala a circa 329 €/ha/anno mentre la resa energetica cresce a 15,1 GJ/ha/anno (CS-Reddito, Figura 92).

La massimizzazione dell’obiettivo energia invece da origine ad un nuovo riparto che genera una resa energetica di circa 60 GJ/ha/anno, ed un reddito medio di quasi 200 €/ha/anno (CS-Energia, Figura 92).

Figura 92 – Soluzioni d’angolo (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



Ben più semplice la realizzazione della linea di frontiera che unisce le soluzioni corner di questo caso. Esiste, infatti, un solo punto intermedio alle due soluzioni d’angolo, identificato assegnando all’obiettivo energetico un peso pari a 0,85 (Punto B2). Questa soluzione intermedia è rappresentata da un unico scenario alternativo alle due corner solutions in cui, pur continuando a dominare la scelta del grano, si inserisce la SRF irrigua (Figure 93 e 94, Tabella 44).

Tabella 44 – Pesi e valori relativi alla frontiera efficiente (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera)

Punti Frontiera (500 m <sup>3</sup> /ha/anno; 100% manodopera)	Peso obiettivo Reddito	Peso obiettivo Energia	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)
A2	1,0	0,0	328,9	15,1
B2	1,0	0,9	252,0	46,9
C2	1,0	1,4	199,0	59,9

Figura 93 – Variazione dei riparti sulla frontiera efficiente (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

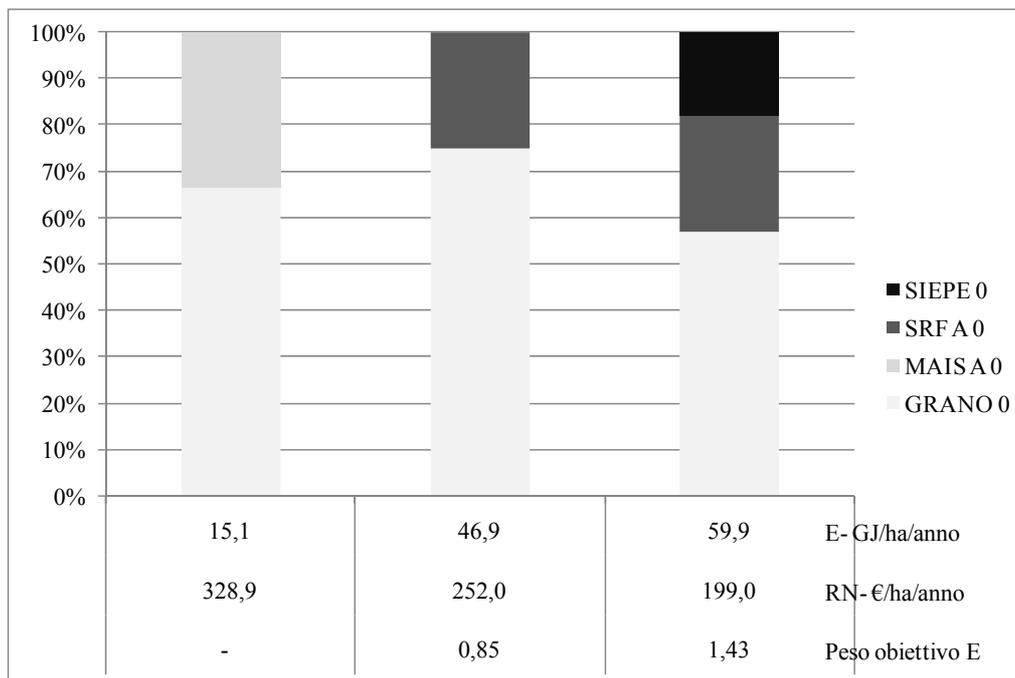
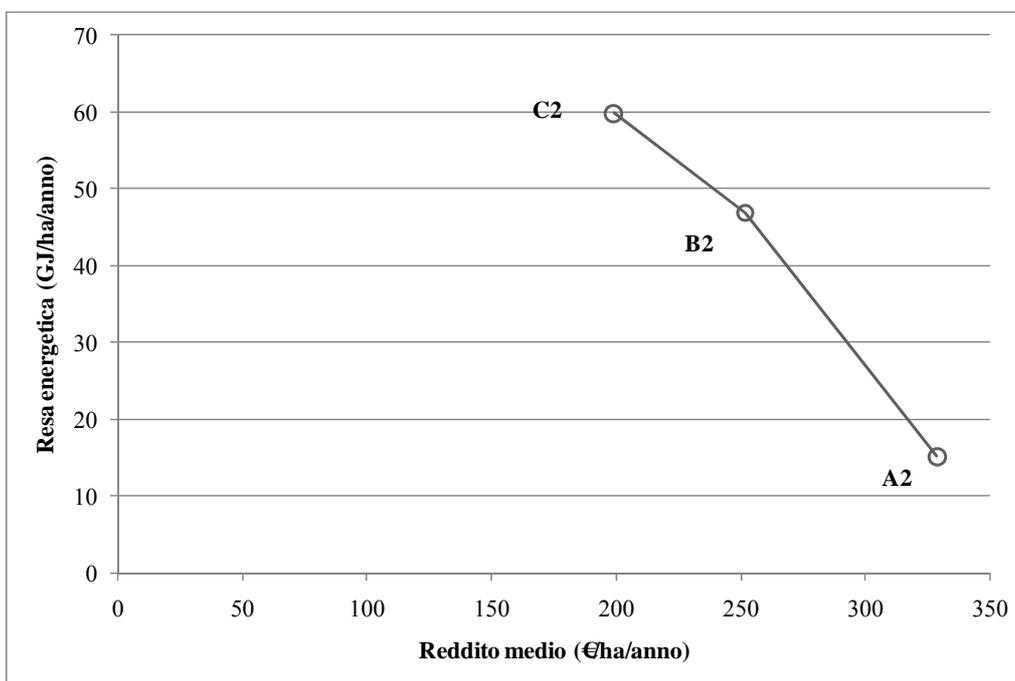


Figura 94 – Frontiera efficiente (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



### 7.3.8. Trade offs “500”

Più interessante in questo caso è l’analisi dei costi opportunità: il costo della rinuncia al singolo GJ di energia diviene da subito piuttosto elevato (2,4 €/GJ), mentre nello step successivo cresce al valore visto in precedenza, pari a 4,1 €/GJ (Tabella 46).

Tabella 45 – Trade offs (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera)

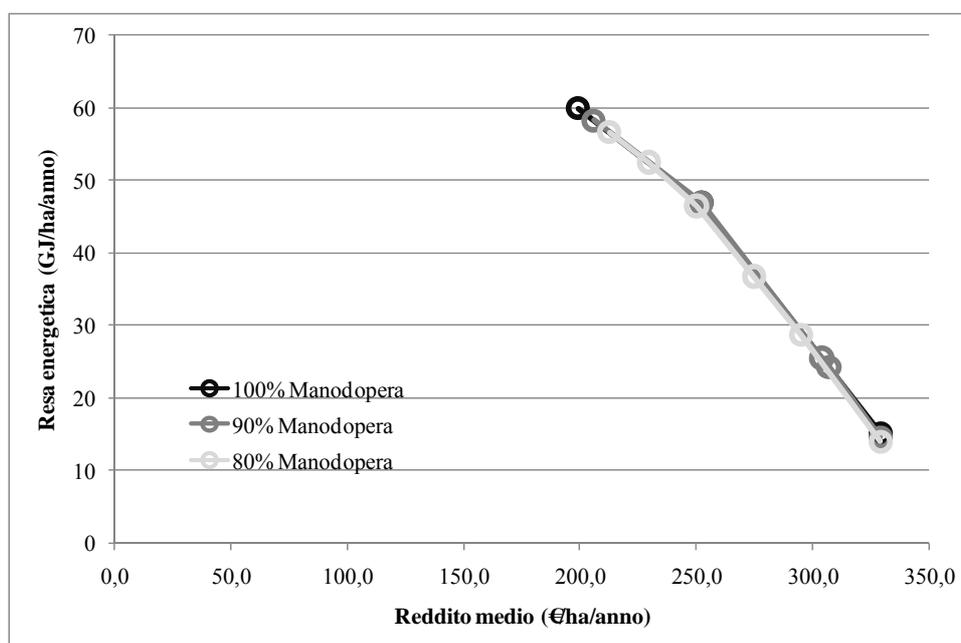
Punti Frontiera (500 m <sup>3</sup> /ha/anno; 100% manodopera)	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	Δ	Trade off Reddito/Energia (€/GJ/ha/anno)
A2	328,9	15,1		-
B2	252,0	46,9	A2→B2	-2,42
C2	199,0	59,9	B2→C2	-4,09

Si nota in questo caso che nel complesso, la variazione del peso assegnato all’obiettivo energia comporta una resa energetica pari ad appena la metà del valore ottenuto in caso di massima disponibilità irrigua (60 contro 115 GJ/ha/anno). Ancora una volta invece l’obiettivo economico non sembra essere particolarmente influenzato dalle costrizioni imposte dalla progressiva riduzione della disponibilità d’acqua: raggiunge, infatti, oltre il 99% valore ottenuto in situazioni di massima disponibilità.

### 7.3.9. Variazione manodopera “500”

L’analisi della sensitività alla variazione della disponibilità di manodopera continua a dimostrare, anche in questo caso di non variare di molto i risultati prima ottenuti. Si ripetono in sostanza le stesse variazioni sia dei riparti ottenuti dal modello (Appendice V), sia dei relativi costi opportunità. (Figura 95, Tabella 46).

Figura 95 – Variazione delle frontiere al variare della disponibilità di manodopera (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno).



Ciò che effettivamente si differenzia invece è il raggiungimento dei valori degli obiettivi in gioco: ancora una volta l'obiettivo reddito non viene influenzato da un ridimensionamento della manodopera disponibile (raggiunge sempre valori prossimi a quelli massimi), mentre quello energetico viene ulteriormente ridotto, fino ad essere praticamente dimezzato in valore (Tabella 46).

Tabella 46 – Raffronto valori RN, E e Trade offs in funzione della disponibilità di manodopera (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno).

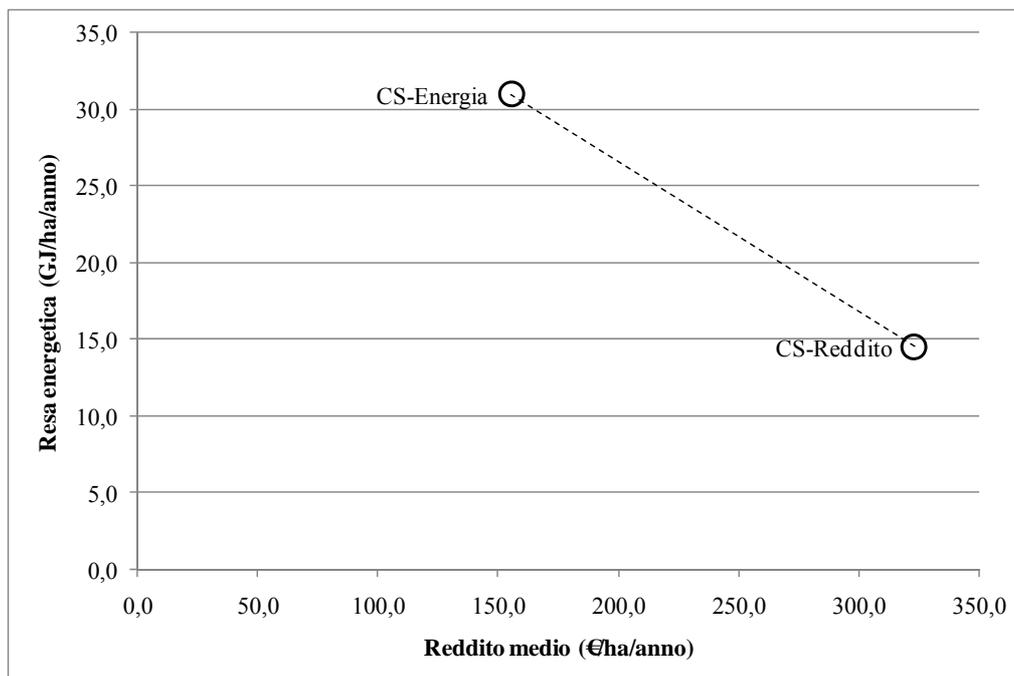
Disponibilità irrigua 500 m <sup>3</sup> /ha/anno						
90% Manodopera		80% Manodopera		TRADE OFF (€/GJ/ha/anno)		
RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	100% Manodopera	90% Manodopera	80% Manodopera
A2	328,8	14,6	328,8	14,0	-	-
B2	306,6	24,3	294,8	28,7	-2,4	-2,3
C2	303,6	25,6	274,5	36,7	-4,1	-2,5
D2	252,0	46,9	249,9	46,4	-	-2,4
E2	205,8	58,2	229,3	52,5	-	-4,1
F2	-	-	212,5	56,6	-	-

### 7.3.10. Frontiera “0”

L'ultimo caso è rappresentato infine dalla disponibilità irrigua nulla. In questa situazione, la massimizzazione dell'obiettivo reddito genera un comparto in grado di produrre in media circa 323 €/ha/anno, contemporaneamente a 14,6 GJ/ha/anno di energia (CS-Reddito, Figura 96).

Il caso opposto invece, nel massimizzare l'obiettivo energetico permette di realizzare una resa energetica di appena 31 GJ/ha/anno, ed una rendita media di oltre 155 €/ha/anno (CS-Energia, Figura 96).

Figura 96 – Soluzioni d'angolo (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).



La linea di frontiera, nel caso di disponibilità irrigua nulla, sottolinea infine un più netto aumento della variabilità del riparto colturale all'aumentare del peso assegnato all'obiettivo energia. Si nota, infatti, come, a partire dalla prima soluzione d'angolo rappresentata da due sole colture (grano e girasole), il riparto si sposti verso un impiego sempre maggiore di colture legnose quali le siepi. Quando poi il peso assegnato all'obiettivo energia si riveli assai elevato (circa 38), nel riparto vengono inserite anche le SRF non irrigue a discapito dell'impiego di grano, in leggera diminuzione (Figure 97). La nuova linea di frontiera in questo caso appare più influenzata dal peso assegnato ai due obiettivi: l'evidenza è data dalla netta inversione di tendenza segnata nel punto C3 verso il punto D3: un leggero aumento della produzione di energia comporta una notevole perdita di reddito (Figura 98, Tabella 47).

Figura 97 – Variazione dei riparti sulla frontiera efficiente (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

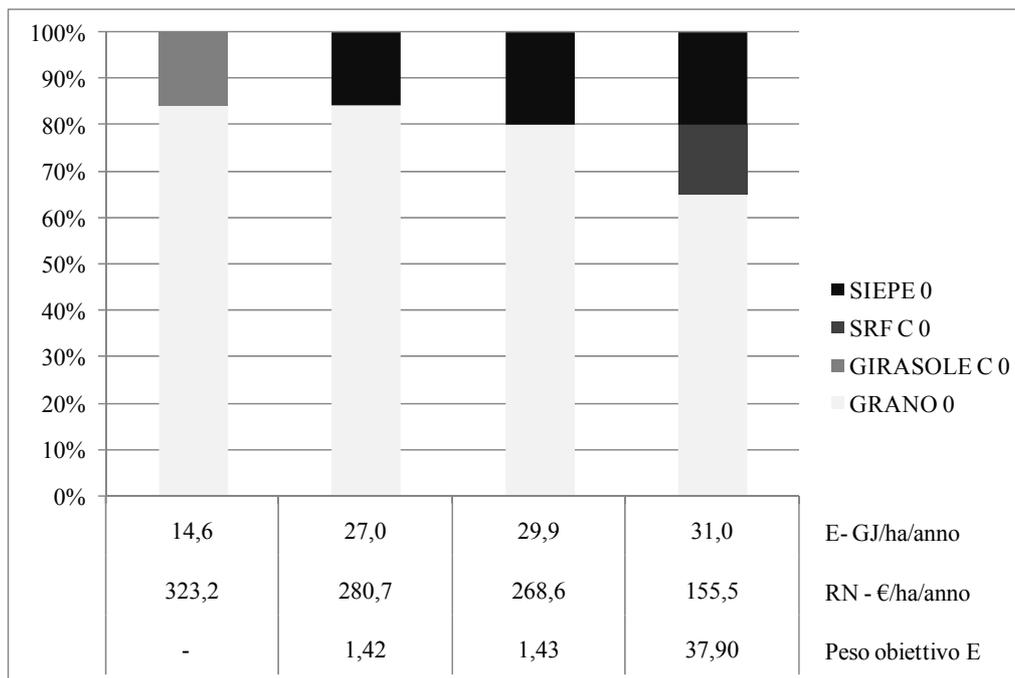


Figura 98 – Frontiera efficiente (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera).

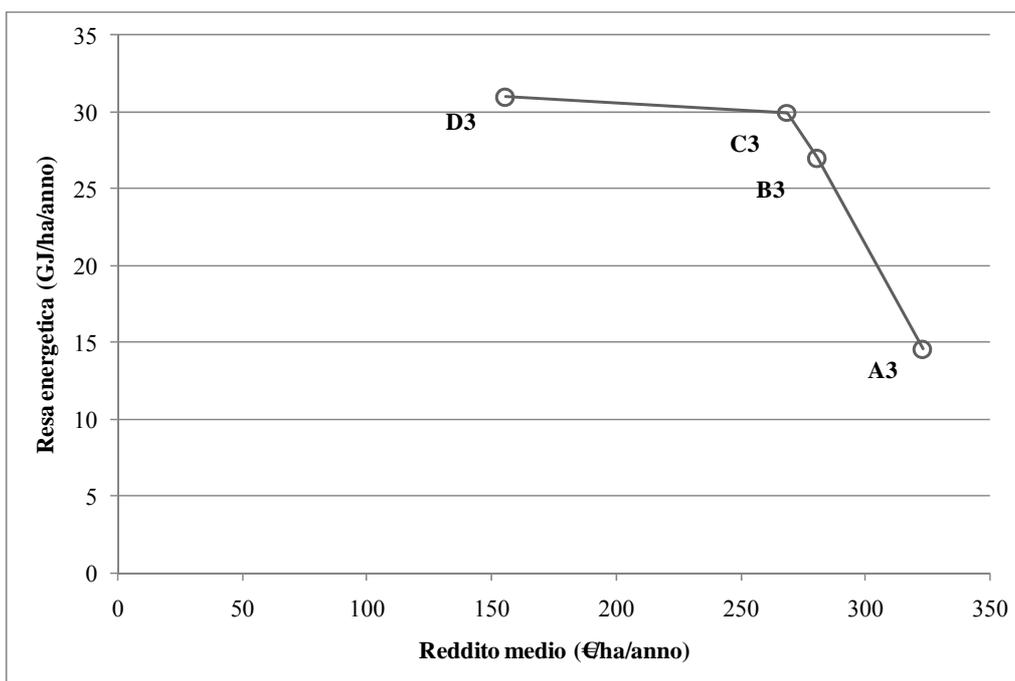


Tabella 47 – Pesi e valori relativi alla frontiera efficiente (caso 0 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera)

Punti Frontiera (0 m <sup>3</sup> /ha/anno; 100% manodopera)	Peso obiettivo Reddito	Peso obiettivo Energia	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)
A3	1,0	0,0	323,2	14,6
B3	1,0	1,4	280,7	27,0
C3	1,0	1,4	268,6	29,9
D3	1,0	37,9	155,5	31,0

### 7.3.11. Trade offs “0”

L’analisi dei trade-offs relativi alla situazione di disponibilità irrigua nulla denota un effetto nettamente a sfavore della produzione di energia. La nuova linea di frontiera, infatti, leggermente più corta del caso precedente, mostra come da subito il costo della rinuncia si faccia più pesante. Il costo opportunità si fa in questo caso da subito elevato e pari a 4,1 €/GJ, mentre per arrivare alla nuova corner solution è necessario rinunciare ad oltre 108 €/GJ (Tabella 48).

Tabella 48 – Trade offs (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno e 100% manodopera)

Punti Frontiera (0 m <sup>3</sup> /ha/anno; 100% manodopera)	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	Δ	Trade off Reddito/Energia (€/GJ/ha/anno)
A3	323,2	14,6		-
B3	280,7	27,0	A3→B3	-3,42
C3	268,6	29,9	B3→C3	-4,09
D3	155,5	31,0	C3→D3	-108,40

La spiegazione di una così netta variazione è data dal fatto che nella situazione di minima disponibilità irrigua, volendo a tutti i costi massimizzare la produzione di energia per produrre più energia (peso 38), il riparto colturale sceglie di utilizzare SRF nella variante non irrigua che, pur permettendo una discreta produzione di energia netta (comunque nettamente superiore a quella di un seminativo tradizionale), arrivano a determinare un VAN negativo.

Tale condizione, oltre a condizionare fortemente la resa economica complessiva, sottolinea anche la non convenienza di questo tipo di colture legnose, qualora non fosse disponibile un sufficiente apporto irriguo.

Nel complesso, anche in questo caso, l’ulteriore riduzione della disponibilità irrigua si rivela di impiccio al raggiungimento dell’obiettivo energetico, il cui valore arriva ad appena un quarto (il 26%) del valore ottenuto in caso di massima disponibilità irrigua.

Ancora una volta invece, l’influenza della disponibilità irrigua sulla produzione del reddito si rivela minima: esso riesce comunque a raggiungere oltre il 97% del valore altrimenti ottenuto in caso massima disponibilità irrigua.

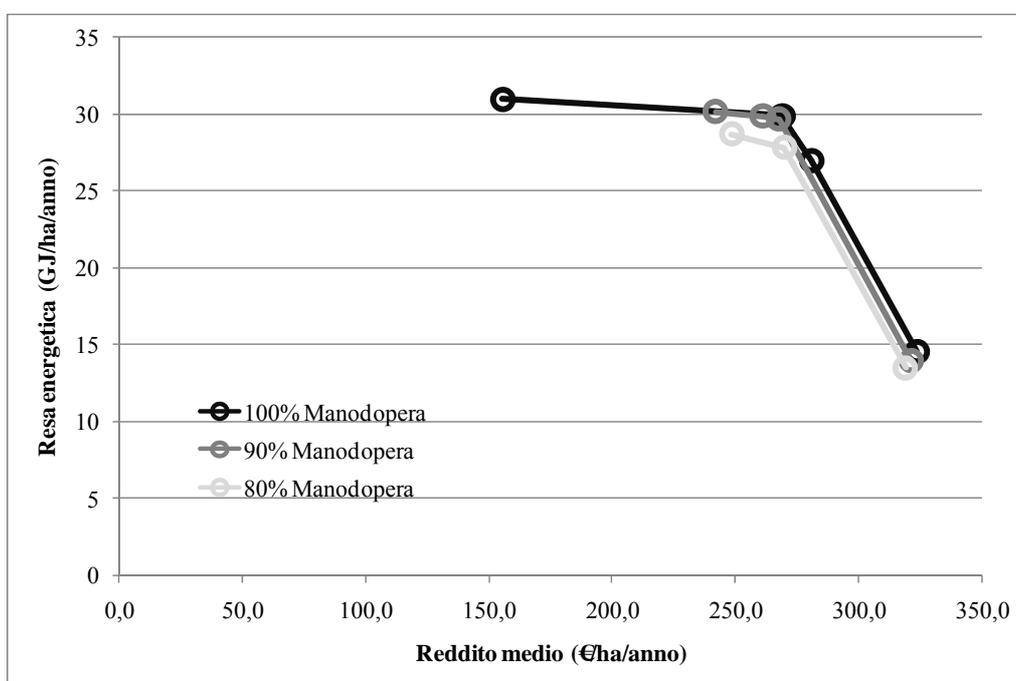
### 7.3.12. Variazione manodopera “0”

Le frontiere ottenute in questo caso a seguito della riduzione della disponibilità di manodopera sono leggermente diverse.

La progressiva riduzione della manodopera in assenza di disponibilità irrigua, sembra fungere da freno ai trade-off relativi alla produzione di energia. Un primo calo della manodopera (-10%) riduce infatti il costo opportunità massimo del 27% circa, portandolo da 108 a 78 € per GJ di energia aggiuntiva. Un'ulteriore riduzione (-20%), limita ulteriormente il valore massimo del trade-off, portandolo a 25 €/GJ (Tabella 49).

Le tre frontiere quindi, tendono a diventare più distinte ed autonome, seppur ricalcando un andamento simile. A differire maggiormente, rimane la frontiera relativa al caso di massima disponibilità di manodopera, che sancisce una notevole riduzione del reddito in corrispondenza della massimizzazione dell'obiettivo energia (Figura 99, Tabella 49).

Figura 99 – Variazione delle frontiere al variare della disponibilità di manodopera (caso 500 m<sup>3</sup>/ha/anno).



Non cambia però il trend evidenziato nelle situazioni di maggior disponibilità irrigua secondo il quale l'obiettivo energetico risulta il più condizionato: in questo caso infatti, il valore massimo di reddito raggiunto vale appena un quarto di quanto valeva nel caso in cui l'acqua non era fattore limitante.

Ancora una volta infine, la spiegazione a tali cambiamenti va ricercata nel riparto colturale adottato come soluzione che, al calare della manodopera disponibile, tende in generale ad aumentare leggermente la quota di girasole non irriguo, diminuendo invece di poco la quota relativa al grano. Viene mantenuto poi un ricorso più o meno costante alle siepi, mentre la quota di SRF non irrigua adottata in caso di massima disponibilità di manodopera viene abbandonata, per fare spazio alla colza (Appendice V). Quest'ultima variazione, in particolare, spiega il notevole gap tra il valore massimo di reddito (ottenuto massimizzando l'obiettivo energetico) nel caso di massima disponibilità di manodopera, e quello più elevato ottenuto con la riduzione di tale disponibilità.

Tabella 49 – Raffronto valori RN, E e Trade offs in funzione della disponibilità di manodopera (caso 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno).

Disponibilità irrigua 0 m <sup>3</sup> /ha/anno							
90% Manodopera			80% Manodopera		TRADE OFF (€/GJ/ha/anno)		
	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	RN (€/ha/anno)	Energia (GJ/ha/anno)	100% Manodopera	90% Manodopera	80% Manodopera
A2	321,0	14,0	318,7	13,5	-	-	-
B2	267,4	29,7	269,6	27,8	-3,4	-3,4	-3,4
C2	261,1	29,9	248,4	28,7	-4,1	-25,1	-25,1
D2	242,0	30,2	-	-	-108,4	-78,4	-



## CAPITOLO VIII

### 8. Conclusioni

#### 8.1. Considerazioni circa gli esiti dello studio

La ricerca si è posta l'obiettivo di analizzare quali siano le migliori strategie da perseguire nel settore primario, al fine di supportare la produzione di biomasse da destinare alla produzione di bioenergia.

Sono stati perciò elaborati dei modelli di programmazione a obiettivi definiti e pesati (WGP) che hanno permesso di individuare le migliori soluzioni di compromesso tra due obiettivi potenzialmente in conflitto tra loro: reddito degli agricoltori e produzione di energia. Tali soluzioni, sono state ovviamente condizionate dall'imposizione di alcuni specifici vincoli, rappresentati nel caso specifico dalla disponibilità di terreno, di acqua irrigua e di manodopera nell'area in esame.

Tra le prime conclusioni che possono essere tratte dagli esiti della ricerca c'è sicuramente l'evidenza di una netta conflittualità tra i due obiettivi presi in considerazione.

Infatti, nel caso in cui il modello venga tarato al fine di massimizzare la resa economica, viene adottato un riparto colturale nettamente sfavorevole al raggiungimento dell'obiettivo energetico (Figura 100).

In questa stessa situazione, la variazione della disponibilità irrigua e della manodopera nell'area in esame, non influenzano in maniera evidente il raggiungimento delle due funzioni obiettivo.

Al calare della disponibilità di acqua infatti, i valori di reddito ed energia massimi, subiscono limitatissime riduzioni; allo stesso tempo, l'ipotizzata diminuzione della manodopera disponibile del 10 e 20%, fa variare di poco i precedenti valori di reddito ed energia ottenuti nel caso di massima disponibilità di manodopera (Figura 101, Tabella 50).

*Figura 100 – I valori degli obiettivi reddito ed energia al variare della disponibilità irrigua, nel caso in cui si massimizzi l'obiettivo economico.*

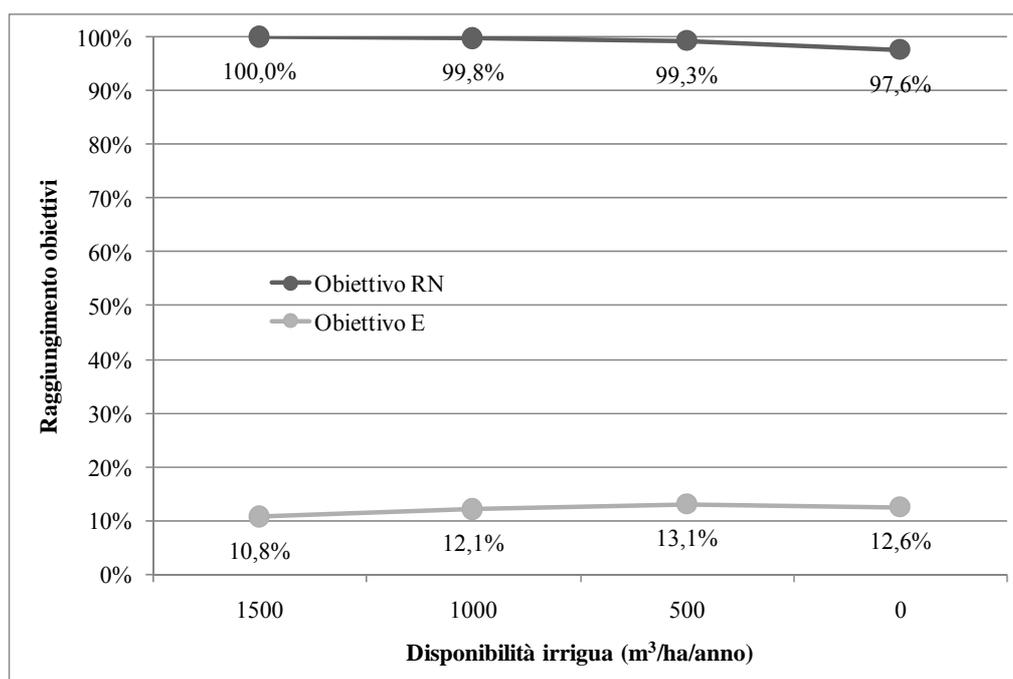
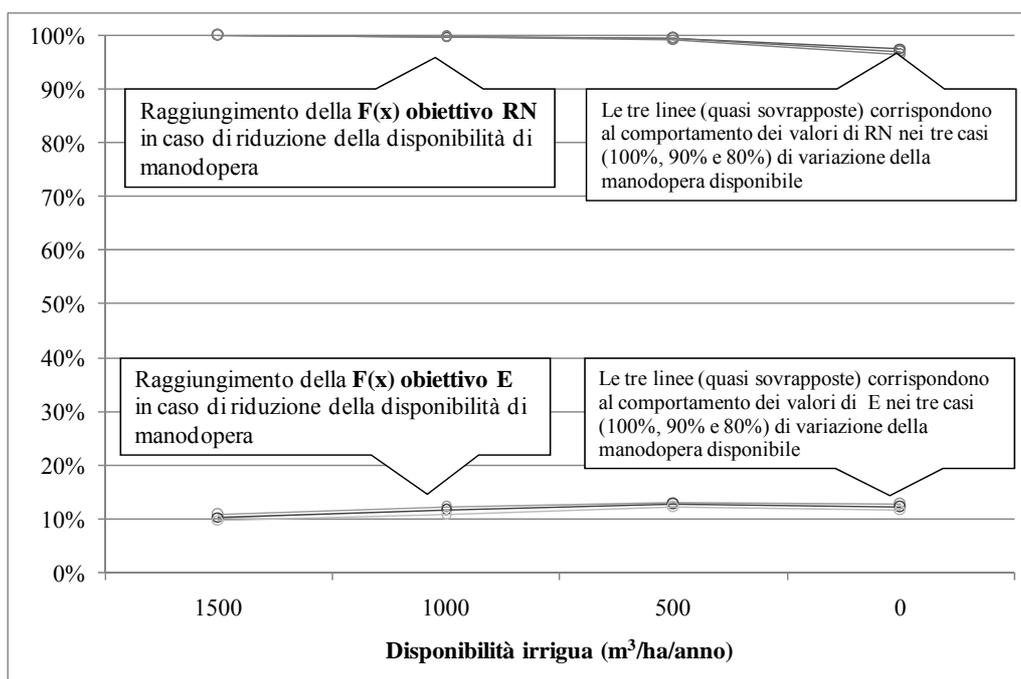


Figura 101 – I valori degli obiettivi reddito ed energia al variare della disponibilità irrigua e della manodopera disponibile, nel caso in cui si massimizzi l'obiettivo economico.



Il comportamento dei valori obiettivo è leggermente differente nel caso in cui il modello venga tarato al fine di massimizzare l'obiettivo energetico; in questo caso infatti gli ordinamenti produttivi tendono ad esser dominati da colture che consentono di ottenere una ben più alta resa energetica, a fronte di un reddito complessivo che però nel complesso risulta nettamente inferiore al caso precedente.

In questa situazione però, l'influenza della variabile irrigua e della manodopera hanno effetti ben più evidenti sul raggiungimento dei due obiettivi.

Al diminuire della disponibilità d'acqua in infatti, il valore dell'obiettivo energetico tende a diminuire in maniera pressoché costante, dimostrando in questo modo che tale variabile è da tenere in grande considerazione, qualora si voglia puntare sulla produzione di energia dal settore primario.

Allo stesso tempo però, tale riduzione, gioca a favore dell'obiettivo economico che si comporta in maniera opposta all'obiettivo energetico (per lo meno fino al caso di disponibilità irrigua "500") (Figura 102).

La variazione della disponibilità di manodopera invece, comporta comunque variazioni minime (seppur leggermente più evidenti) rispetto al caso precedente.

La particolarità sta, in questo caso, nel fatto che la riduzione della manodopera ha comunque effetti opposti sui due obiettivi in gioco: tendono infatti a ridurre leggermente le rese energetiche, ma influenzano positivamente i valori di reddito che salgono soprattutto nel caso di disponibilità irrigua nulla (Figura 103; Tabella 51).

Figura 102 – I valori degli obiettivi reddito ed energia al variare della disponibilità irrigua, nel caso in cui si massimizzi l'obiettivo economico.

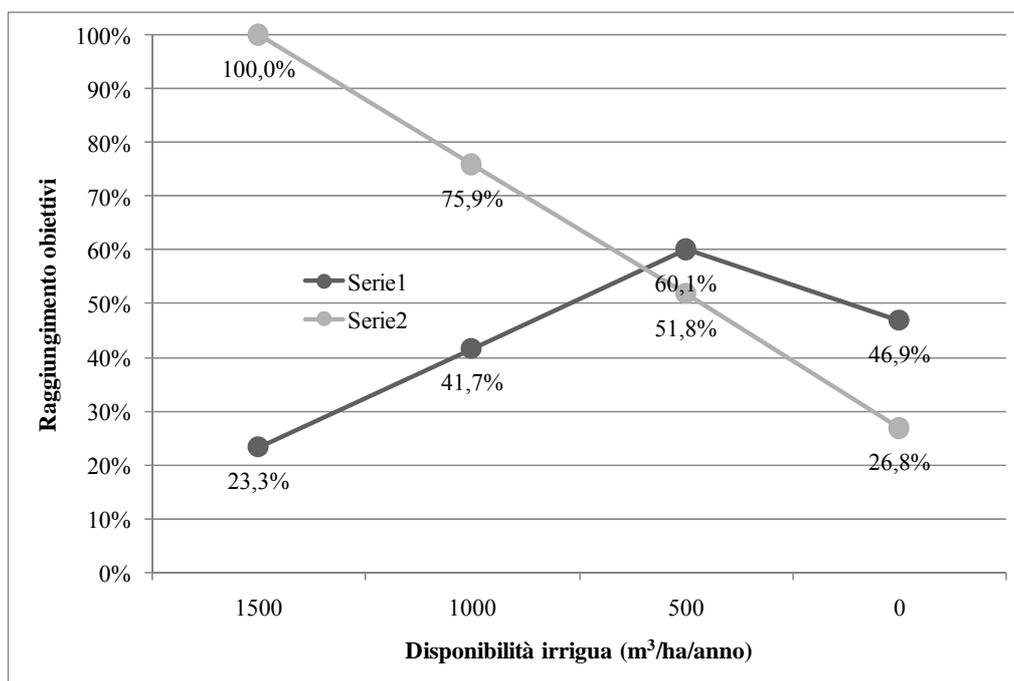


Figura 103 – I valori degli obiettivi reddito ed energia al variare della disponibilità irrigua e della manodopera disponibile, nel caso in cui si massimizzi l'obiettivo economico.

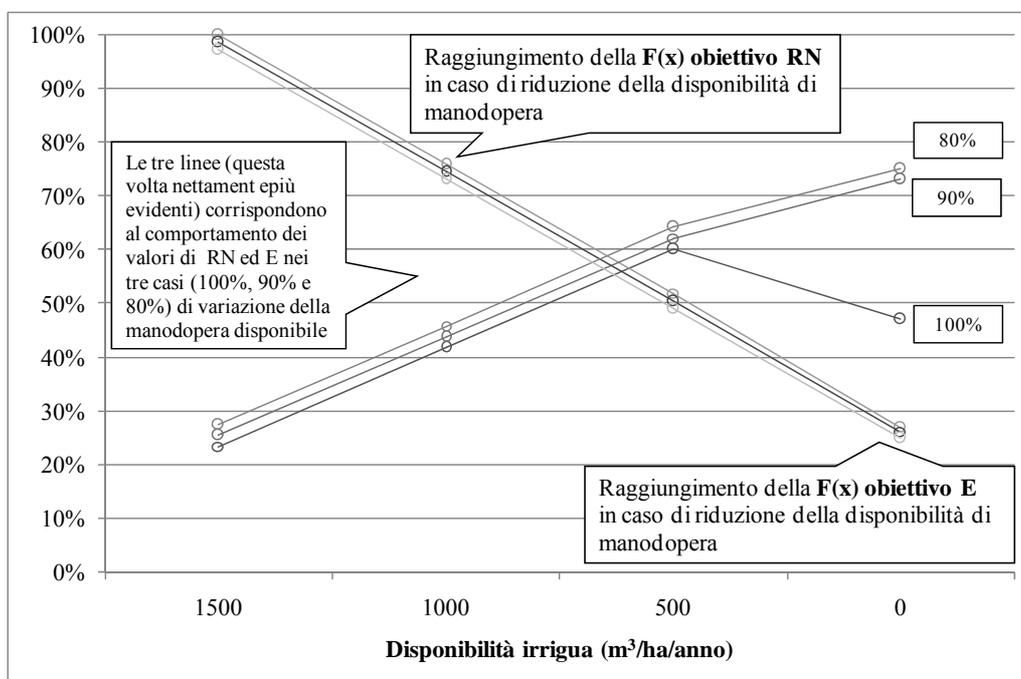


Tabella 50 – Influenza della riduzione della manodopera disponibile e della disponibilità irrigua sulla massimizzazione dell'obiettivo reddito. Confronto rispetto ai valori massimi ottenibili.

		MASSIMIZZAZIONE REDDITO							
		Rese economiche ed energetiche				Scostamento % dai valori massimi			
Disponibilità acqua (m <sup>3</sup> /ha/anno)		1500	1000	500	0	1500	1000	500	0
Manodopera 100%	Reddito (€/ha/anno)	331,1	330,3	328,9	323,2	0,0%	-0,2%	-0,7%	-2,4%
	Energia (GJ/ha/anno)	12,4	14,0	15,1	14,6	-89,2%	-87,9%	-86,9%	-87,4%
Manodopera 90%	Reddito (€/ha/anno)	330,9	330,2	328,8	321,0	-0,1%	-0,3%	-0,7%	-3,1%
	Energia (GJ/ha/anno)	11,9	13,3	14,6	14,0	-89,7%	-88,5%	-87,3%	-87,9%
Manodopera 80%	Reddito (€/ha/anno)	330,7	330,1	328,8	318,7	-0,1%	-0,3%	-0,7%	-3,8%
	Energia (GJ/ha/anno)	11,3	12,6	14,0	13,5	-90,2%	-89,1%	-87,9%	-88,3%

Tabella 51 – Influenza della riduzione della manodopera disponibile e della disponibilità irrigua sulla massimizzazione dell'obiettivo energia. Confronto rispetto ai valori massimi ottenibili.

		MASSIMIZZAZIONE ENERGIA							
		Rese economiche ed energetiche				Scostamento % dai valori massimi			
Disponibilità acqua (m <sup>3</sup> /ha/anno)		1500	1000	500	0	1500	1000	500	0
Manodopera 100%	Reddito (€/ha/anno)	77,2	138,1	199,0	155,5	-76,7%	-58,3%	-39,9%	-53,1%
	Energia (GJ/ha/anno)	115,5	87,7	59,9	31,0	0,0%	-24,1%	-48,2%	-73,2%
Manodopera 90%	Reddito (€/ha/anno)	83,9	144,8	205,8	242,0	-74,7%	-56,3%	-37,9%	-26,9%
	Energia (GJ/ha/anno)	113,8	86,0	58,2	30,2	-1,4%	-25,5%	-49,6%	-73,9%
Manodopera 80%	Reddito (€/ha/anno)	90,7	151,6	212,5	248,4	-72,6%	-54,2%	-35,8%	-25,0%
	Energia (GJ/ha/anno)	112,2	84,4	56,6	28,7	-2,9%	-26,9%	-51,0%	-75,2%

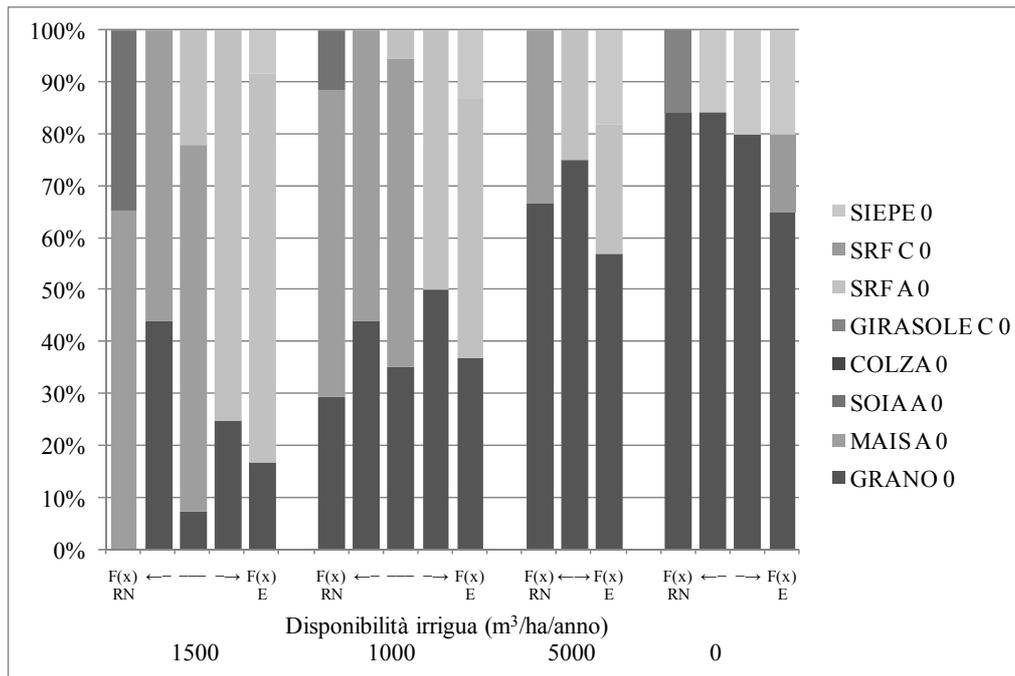
Più in generale si può notare come, nella scelta dei riparti culturali adottati, vi sia una netta predilezione per le colture agrarie a pieno campo (mais, soia e grano) nel caso in cui l'obiettivo perseguito sia quello economico mentre, qualora si voglia sostenere la produzione di energia, sono le colture legnose (SRF e siepi) a divenire di estrema importanza, soprattutto grazie alla positività del loro bilancio energetico (APPENDICE IV).

Nella rosa di colture disponibili grano, mais e soia, risultano infatti le colture maggiormente scelte, grazie alla loro buona produzione di reddito. Mais e soia vengono mantenute nel riparto fino a quando la disponibilità di acqua irrigua non diventi molto limitante, sostituite gradualmente (la prima a scomparire è la soia) dal grano e, solo in caso di disponibilità irrigua nulla, da una piccola parte di girasole.

Al crescere dell'importanza assegnata all'obiettivo energia, le Short Rotation Forestry (SRF) irrigue sono le colture legnose che per prime vengono inserite nel riparto culturale, seguite dalle siepi. Al diminuire della disponibilità irrigua però le SRF irrigue vengono via via sostituite in ampia misura dal grano (unica coltura agraria ad essere scelta in questo caso), mentre cresce relativamente anche il ricorso alle siepi.

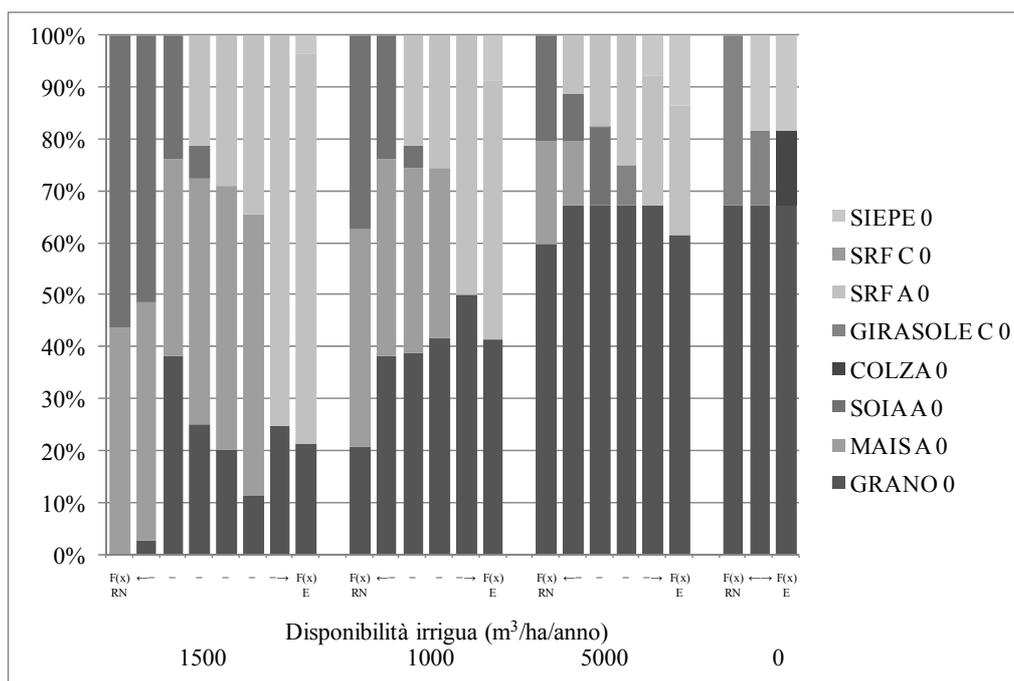
In caso di disponibilità irrigua nulla infine, pur di massimizzare la produzione di energia, vengono scelte le SRF non irrigue, che tendono a ridurre notevolmente l'obiettivo reddituale a causa della loro bassa convenienza economica (Figura 104, APPENDICE III).

Figura 104 – I riparti culturali al variare della disponibilità irrigua e del peso assegnato ai due obiettivi (caso 100% manodopera).



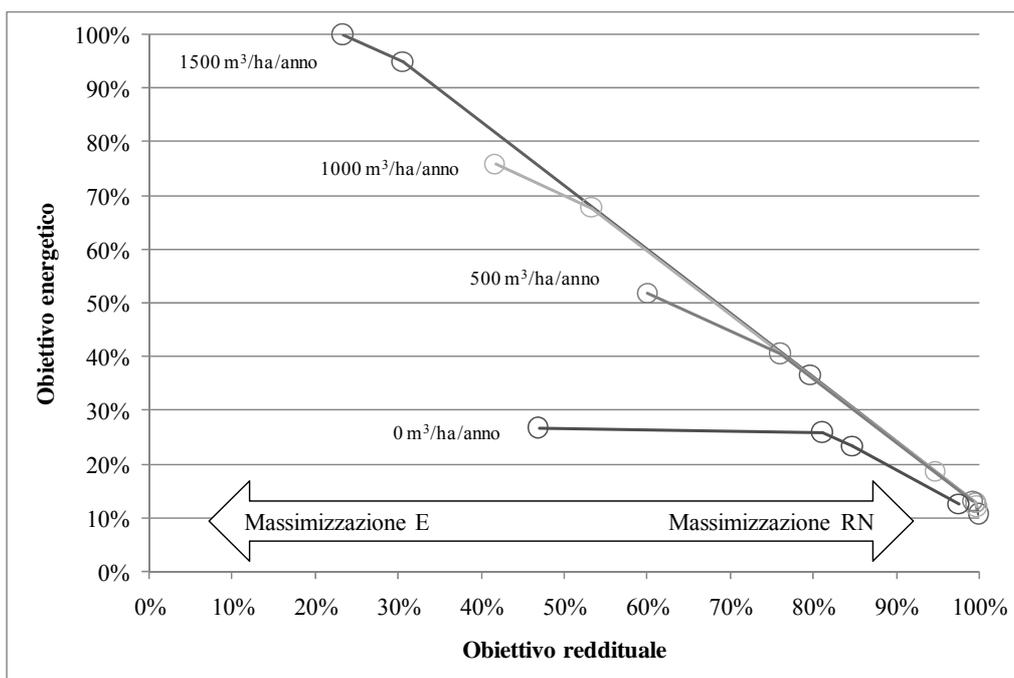
Le variazioni dei riparti in funzione della riduzione della disponibilità di manodopera risultano invece poco evidenti (APPENDICE V, Figura 105): l'unica differenza rilevabile, riguarda un più spinto utilizzo della soia, a scapito di una riduzione dell'impiego del mais, proprio a causa della minor richiesta di manodopera della prima (APPENDICE I).

Figura 105 – I riparti colturali al variare della disponibilità irrigua e del peso assegnato ai due obiettivi (caso 80% manodopera).



Le considerazioni di cui sopra, appaiono ancora più evidenti qualora si raffrontino tra loro le frontiere efficienti individuate dalla WGP: risulta indiscutibile la quasi totale indifferenza dell'obiettivo reddituale alla riduzione della disponibilità irrigua, mentre appare ancor più chiara la penalizzazione dell'obiettivo energetico al variare di tale disponibilità (Figura 106).

Figura 106 – Raffronto delle frontiere efficienti tra RN ed E al variare della disponibilità irrigua.



L'analisi WGP permette inoltre di dimostrare come l'obiettivo economico sia in generale maggiormente influente rispetto a quello energetico.

Tale importanza è sottolineata dal fatto che le linee di frontiera tendono a coincidere quando ci si sposti proprio verso questo obiettivo, mentre si differenziano nel momento in cui si spinga verso una maggior produzione di energia.

La medesima analisi WGP, condotta in caso di riduzione della disponibilità di manodopera, dimostra inoltre che tali riduzioni tendono a mantenere praticamente inalterate le frontiere efficienti delineate nel caso di massima disponibilità (APPENDICE VI).

La programmazione ad obiettivi definiti e pesati ha dunque fornito dati che hanno confermato un sostanziale prevalere dell'obiettivo reddituale nei confronti di quello energetico. Solo un notevole aumento dell'importanza (peso) assegnata all'obiettivo energia è in grado di far lievitare il costo opportunità della produzione di energia, che altrimenti rimane pressoché identico in tutte le ipotesi fatte (Tabella 52).

Come si evince dalla tabella 52, oltre al peso assegnato all'obiettivo energia, anche la disponibilità irrigua gioca un ruolo molto importante; in caso di una forte diminuzione della disponibilità di acqua (caso "0"), è infatti plausibile che il costo opportunità delle produzioni energetiche aumenti in maniera più che proporzionale (da 4 a oltre 108 €/ha per GJ di energia aggiuntiva).

Ciò dipende essenzialmente dal fatto che, per massimizzare la produzione di energia, è necessario aumentare notevolmente la superficie destinata a colture legnose e in particolare a SRF non irrigue. Se, in genere, le SRF sono in grado di generare un'ottima resa energetica a fronte di una più bassa resa economica, nel caso di una disponibilità irrigua molto limitata, sono caratterizzate da rese sia economiche che energetiche che difficilmente ne permettono la convenienza.

La disponibilità di manodopera, infine, ha lasciato quasi sempre invariati i costi opportunità determinati dalla disponibilità irrigua e dal peso assegnato agli obiettivi, tranne che nel caso limite di disponibilità irrigua nulla.

In quest'ultimo caso infatti, la riduzione della manodopera ha comportato – in linea con quanto descritto nei risultati – una notevole riduzione del trade-off, legato al riparto adottato dal modello, in cui tornano a dominare colture che sostengono maggiormente l'obiettivo reddituale (grano).

In ultima analisi, ciò che appare ancora più evidente, è la sostanziale staticità del riparto adottato all'interno dei 15 anni presi in considerazione come orizzonte temporale.

Le scelte colturali del primo anno vengono infatti mantenute anche per gli altri anni del periodo ma, mentre tale staticità risulta implicita nella formulazione delle ipotesi riguardanti le colture legnose (non possono essere adottate ogni anno in misura diversa), non risulta altrettanto ovvia la staticità nell'adozione dei seminativi che invece potrebbero variare di anno in anno.

Solo in alcuni casi, qualora il peso assegnato all'obiettivo energia vari leggermente (quando il peso assegnato all'obiettivo energia sia molto più basso di quello assegnato al reddito), il riparto rivede leggermente le scelte fatte per il primo anno, procedendo col sostituire gradualmente parte delle colture meno produttive dal punto di vista energetico (soia e mais) con altre come il grano, a partire dagli ultimi anni del periodo di riferimento.

Tabella 52 – I valori di trade-off ottenuti nelle varie casistiche analizzate.

		TRADE OFF (€/GJ/ha/anno)													
		Disponibilità di manodopera													
		100%	90%	80%	100%	90%	80%	100%	90%	80%	100%	90%	80%		
MAX RN ↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MAX RN ↑	
	-0,5	-0,5	-0,1	-0,5	-2,1	-0,5	-2,4	-2,3	-2,3	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4		
	-2,4	-2,3	-0,5	-2,4	-2,4	-2,3	-4,1	-2,4	-2,5	-4,1	-25,1	-25,1	-25,1		
	-2,4	-2,4	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-	-2,4	-2,5	-108,4	-78,4	-	-		
MAX E ↓	-4,1	-2,4	-2,4	-4,1	-4,1	-2,4	-	-4,1	-3,4					MAX E ↓	
	-	-2,4	-2,4	-	-	-4,1	-	-	-4,1						
	-	-4,1	-2,4												
	-	-	-4,1												
		1500 m <sup>3</sup> /ha/anno			1000 m <sup>3</sup> /ha/anno			500 m <sup>3</sup> /ha/anno			0 m <sup>3</sup> /ha/anno				
		Disponibilità di acqua irrigua													

In linea di massima dunque, una prima conclusione suggerisce che la disponibilità d'acqua irrigua rappresenti un elemento da tenere in elevata considerazione qualora ci si prefigga l'obiettivo di massimizzare la produzione di energia, mentre diviene meno rilevante nel caso si voglia massimizzare la produzione di reddito.

In altri termini, le prospettive future circa gli esiti dei cambiamenti climatici in atto potranno avere una grande influenza sulle strategie da seguire al fine di massimizzare le produzioni di bioenergie.

Al contrario, la disponibilità di manodopera non si è dimostrata altrettanto determinante nel raggiungimento delle funzioni obiettivo, se non in concomitanza di disponibilità irrigua nulla.

Di conseguenza, anche nel caso in cui si dovesse registrare una riduzione del numero di attivi nel settore primario simile a quella registrata a livello nazionale e regionale (-30/40%, Tabella 52), non dovrebbero sorgere interferenze sul raggiungimento delle funzioni obiettive considerate.

In conclusione, quindi, le simulazioni effettuate hanno posto in risalto la necessità di chiarire maggiormente le strategie da perseguire nel campo della produzione di bioenergie.

Al riguardo va richiamato il fatto che, per massimizzare la quantità di energia prodotta in agricoltura, è necessario favorire la diffusione di colture legnose. Per favorire quest'ultime però, più propense a fornire un prodotto energetico impiegabile per il riscaldamento o per la produzione di energia elettrica, andrebbero incentivati maggiori investimenti in impianti di trasformazione su diversa scala.

In secondo luogo, permane la notevole ambiguità della politica agricola comunitaria che, di fatto, finisce per contrastare la diffusione di colture in grado di garantire un maggior output energetico per unità di superficie, principalmente a causa dei contributi erogati a favore dei seminativi da pieno campo.

Appare quindi auspicabile che, dopo la prima fase di euforia circa le potenzialità dei biocarburanti, il decisore pubblico definisca chiare e coerenti strategie di lungo periodo e mobiliti le scarse risorse disponibili nella direzione di una loro piena applicazione.

## **8.2. Considerazioni conclusive generali**

Come accennato, la redditività delle colture svolge un ruolo di fondamentale importanza nella scelta delle politiche di sviluppo delle aree rurali e delle stesse aziende agricole.

In questo contesto, sono divenuti di fondamentale importanza i contributi alla produzione primaria erogati dall'Unione Europea poiché sono stati in grado di influenzare e plasmare fortemente l'organizzazione delle aree rurali.

Sin dai primi passi mossi dall'Unione Europea in questo senso infatti, è stata sottolineata l'importanza di sostenere la produzione agricola (mediante sovvenzioni pubbliche), di modo che fosse in grado di rendere l'Unione Europea il più autonoma possibile.

Ciò ha portato alla realizzazione di un vero e proprio mercato protezionista nei confronti del settore primario: la politica agricola comune ha infatti favorito le produzioni interne grazie ad un sistema di incentivazione e sostegno dei prezzi dei prodotti agricoli. Tali sostegni, hanno in un primo momento premiato la mera produttività (pagamenti proporzionali o "accoppiati" alla produzione) ed in un secondo momento l'adeguatezza delle stesse (pagamenti "disaccoppiati") a determinati standard di buona pratica agricola.

L'importanza di tali sovvenzioni è sottolineata dal fatto che queste politiche hanno impegnato – e impegnano tutt'ora – una grossa fetta del bilancio europeo, rimanendo al centro di importanti dibattiti politici ed economici.

Nonostante le numerose variazioni apportate a tali politiche però, fin'ora non sono mai stati negati sostegni alle produzioni agricole dell'Unione Europea.

Questi sostegni, sotto forma di contributi e sovvenzioni, rappresentano gran parte del reddito netto utilizzato nello studio come indice di redditività delle colture e potrebbero quindi essere considerati rappresentativi del vero e proprio guadagno dell'agricoltore.

Qualora tale affermazione riflettesse la realtà, potrebbe far sorgere notevoli complicazioni nella gestione dei territori rurali di qui a qualche anno; fino al 2013 infatti, gli attuali contributi concessi alle produzioni agricole saranno comunque garantiti dai PSR delle singole regioni, che ne hanno già preventivato i costi nei rispettivi bilanci, ma dal 2014 in poi, non solo l'entità ma anche la stessa esistenza di questi contributi rimane tutt'ora in forse.

A questo punto, risulta necessario comprendere a fondo se e come gli agricoltori potranno trovare ancora conveniente perpetuare le attuali produzioni agricole, qualora i contributi europei non fossero effettivamente più erogati o – caso più probabile – venissero sostituiti da contributi nettamente inferiori.

Appare evidente che, una nuova politica dei prezzi delle produzioni agricole, non più “protetta” da meccanismi di dazi o sostegni particolari, potrebbe innescare notevoli variazioni agli assetti colturali delle nostre campagne.

Qualora tali contributi non fossero più disponibili infatti, l'imprenditore agricolo si troverebbe al centro di un “nuovo” sistema in cui torna a valere la più classica delle leggi di mercato in cui è la domanda del bene a generarne il prezzo, non più imposto dall'alto o protetto da politiche particolari.

In questa nuova situazione, l'agricoltore dovrà quindi essere in grado di rivalutare adeguatamente le diverse produzioni, di modo da identificare quelle che maggiormente saranno in grado di garantire la redditività dell'azienda.

La produzione di biomasse a fini energetici così, potrebbe dimostrarsi più conveniente delle produzioni agricole tradizionali, soprattutto nel caso in cui il mercato ne sottolineasse e appoggiasse l'importanza.

Osservando il problema a livello nazionale inoltre, il nuovo sbocco offerto dalle bioenergie, potrebbe apportare benefici non indifferenti: il settore agricolo nazionale sta infatti subendo da tempo una notevole contrazione che ha comportato l'avvio di un processo di abbandono di molte aree rurali anche non marginali. 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.

In questo contesto, dunque, un rilancio del settore primario come fonte di materia prima per la produzione di energia, potrebbe in qualche modo rappresentare un'opzione utile ad invertire (almeno in parte) questa tendenza.

Un altro valido motivo, per orientarsi verso la produzione di energia da fonti rinnovabili di questo tipo è la salvaguardia dell'ambiente: è infatti sempre più sentita dalla comunità scientifica internazionale la necessità di sostenere politiche atte a mitigare i cambiamenti climatici in atto, attraverso la riduzione delle emissioni di gas serra.

A questo proposito è necessario ricordare che il Protocollo di Kyoto, sottoscritto dall'Italia e da altri 160 paesi del mondo, prevedeva che i firmatari dell'accordo riducessero entro il 2012 le proprie emissioni di CO<sub>2eq</sub> del 5% rispetto ai valori del 1990. L'Italia in particolare si è impegnata per una riduzione leggermente più onerosa

pari al 6,5% ma, nonostante questo, nel 2003 avrebbe emesso oltre 569 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> eq: 60 in più rispetto al 1990 (Fiorese, 2006).

In quest'ottica dunque, le fonti rinnovabili e più in particolare le biomasse, sarebbero in grado di rivestire un ruolo strategico di fondamentale importanza.

Un altro punto a favore di queste produzioni riguarda infine la condizione del sistema energetico nazionale: una decisa politica di sostegno alla produzione di energia da biomasse e più in generale da fonti rinnovabili, potrebbe contribuire ad aumentare la scarsa autonomia del sistema energetico nazionale, diversificando le fonti di energia utilizzate e porgendo meno il fianco alle problematiche legate alle importazioni di energia che i recenti avvenimenti hanno saputo portare alla luce<sup>62</sup>.

E' chiaro infine che un problema può essere considerato tale solo nel momento in cui viene percepito in maniera esplicita dalla popolazione, altrimenti tende a rimanere lontano dal cuore (e dal portafoglio) della gente comune. A questo proposito è interessante evidenziare il preoccupante esito di alcune indagini condotte sulla percezione del problema energetico da parte dei cittadini.

Una di queste, condotta dalla Commissione Europea, ha evidenziato infatti quadro piuttosto preoccupante nel nostro paese: secondo quanto emerge da questo studio infatti, gli italiani avrebbero in generale una conoscenza inferiore alla media europea delle tecnologie innovative per la produzione di energia, non avrebbero le idee molto chiare su quali siano i settori cui devono essere addebitati i consumi energetici né da quali fonti derivi l'energia che consumano e tendono a sovrastimare l'utilizzo delle risorse rinnovabili nel nostro paese e a sottostimare di conseguenza la dipendenza dall'estero dei nostri consumi energetici (Commissione Europea, 2006).

Un'altra indagine, condotta nel 2007 dall'Università degli Studi di Padova sulle conoscenze della popolazione in tema di futuro dell'approvvigionamento energetico e sul ruolo delle biomasse, ha in buona parte confermato quanto emerso dalle ricerche della Commissione Europea.

In questo caso, sono state evidenziate difficoltà nell'individuare quali fonti energetiche siano da considerare rinnovabili, nonché notevoli errori circa l'importanza assunta dalle varie fonti energetiche nel consumo nazionale di energia ed una sostanziale incapacità di distinguere quale ruolo potrebbero svolgere le fonti energetiche alternative per risolvere i problemi energetici nazionali.

Un interessante aspetto emerso da questa seconda ricerca, riguarda il fatto che gli stessi intervistati si sono dimostrati ben consci delle proprie carenze conoscitive; di qui la richiesta – quasi unanime – di maggiori informazioni e di campagne informative a tale riguardo.

In conclusione, un primo concreto passo verso un futuro energetico sostenibile ed efficiente, potrebbe consistere nell'avviare una campagna informativa che possa mettere i cittadini nella condizione di manifestare le proprie opinioni a ragion veduta, disponendo cioè di un quadro più preciso sui vantaggi e gli svantaggi delle diverse alternative di scelta.

Solo in questo modo, gli stessi cittadini potranno divenire parte attiva e propositiva nelle decisioni riguardanti un settore di così fondamentale importanza.

---

<sup>62</sup> La questione del gas russo di inizio 2009 (fotocopia di quanto avvenuto nel 2006), ma anche l'impennata dei prezzi dei prodotti petroliferi dell'estate 2008 ed il collegato aumento dell'inflazione, nonché gli eventi di black-out energetici verificatisi nelle estati del 2003, 2004 e 2005.





## **BIBLIOGRAFIA**

- A.A.V.V., 2006 – “Energia dalle biomasse: le tecnologie, I vantaggi per I processi produttivi, I valori economici e ambientali”, Area Science Park, Trieste.
- Abbozzo P, Boggia A., Pennacchi F., (2002) - "Integrating prediction models, evaluation methodologies and GIS: the assessment of agriculture-environment relationships in the Trasimeno watershed", in "Economic Studies on Food, Agriculture and the Environment, edited by M. Canavari, P. Caggiati, K.W. Easter, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- AIEL (2006), - "Produzione ed uso energetico del legno nell'azienda agricola", Veneto Agricoltura, Padova.
- Airoldi G., Balsari P., (2000) - “Prime valutazioni sui costi economici ed energetici di una coltivazione a ciclo breve di pioppo” in "Biomasse agricole e forestali per uso energetico", AGRA editrice, Roma.
- APAT Agenzia per la protezione dell'ambiente e del territorio (2006), "Valorizzazione a fini energetici valorizzazione delle biomasse forestali: sostenibilità e insostenibilità", Roma.
- ASPO Association of Studies on Peak of Oil, (2008) – “Il picco del petrolio”, Milano.
- Atwood, J. D., Lakshminarayan P. G., Sposito V.A. (1996), "Multiple Goal Programming Applications in Natural Resource Policy Analysis", in “Evaluating Natural Resource Use in Agriculture. Analytical Tools Now and into the Future”, edited by Robertson T., English C.B., and Alexander R.R., Knoxville, University of Tennessee.
- Baldoni R., Giardini L., (2001) - “Coltivazioni Erbacee”, Patron editore, Bologna.
- Ballarin A., Tempesta T., (2007) - "Biocarburanti: una soluzione alternativa e sostenibile ai carburanti di origine fossile? Opinioni a confronto", in "Biocombustibili e biocarburanti - Soluzioni, tecnologie, agevolazioni", a cura di Bordin A. IPOSA, Milano.
- Bazzani G.M., Bradascio M., (1997) - "Periurban Agriculture in Metropolitan Areas: the Bologna Case Study", in Vth Conference on "Agricultural Policy and the Environment", Padova, June 17-19, 1996, Working paper, University of Minnesota, Department of Applied Economics, ristampata in "Contributi allo studio dei sistemi agricoli e territoriali", 1997, TECNOPRINT, Bologna, pp. 25-48
- Bernetti, I., Marangon F. Rosato P., (1996) - "Metodi e applicazioni dell'analisi multicriteriale nel settore agro-forestale e ambientale, Florence, CIRMOCOSAF, Quaderno n.1/1996.
- Bezzo F., DIPIC, (2006) – “Il consumo di biocarburanti in Europa e in Italia:situazione attuale e prospettive”, Padova.
- Boggia A., Pennacchi F., (1999) - "Sviluppo agricolo sostenibile del bacino del Trasimeno", Regione dell'Umbria.
- Bonciarelli F., Bonciarelli U., (2003) - “Agronomia”, Edagricole, Milano.
- Borin M., (1999) - “Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura”, Cleup editrice, Padova.
- BP British Petroleum, (2007) – “Statistical Review of World Energy 2007”, Londra.

- BP British Petroleum, (2008) – “Statistical Review of World Energy 2008”, Londra.
- BP British Petroleum, (2008) – “Survey on Energy resources”, Londra.
- Chiadò M.R., (2004) - "Fondamenti tecnici per l'utilizzazione energetica delle biomasse", CTI-PROBIO, Milano.
- CNER Consorzio Nazionale Energie Rinnovabili, (2006) - “Disciplinare di produzione con gestione sostenibile del pioppo a ciclo breve”, Padova.
- CRA-RM Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura - Istituto sperimentale per la meccanizzazione agricola (RM), (2007) - “Colture forestali energetiche: analisi dei costi e prospettive di convenienza economica”, in "Giornate agrotecniche 2007: Biomasse ed energia", Avezzano.
- CRA-RM Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Istituto di sperimentazione per la pioppicoltura (AL), (2006) - “Impianti annuali, biennali e quinquennali” in Sherwood n° 128 (pag. 25-30), Arezzo.
- Dickson M. H., Fanelli M., CNR (2005) – “Le risorse geotermiche”, Firenze.
- Dorn J.D., Earth Policy Institute EPI, (2008) – “Solar Cell Production Jumps 50 Percent in 2007”, Washington.
- EIA, Energy Information and Administration, (2008) – “World Crude Oil Prices”, Washington .
- ENEA, Ente per le Nuove tecnologie l'Energia e l'Ambiente, (2008) – “Rapporto Energia Ambiente 2007”, Roma.
- Enerdata, (2007) - "Enerfuture Forecast" 2020, Paris.
- Enerdata, (2007) – “Energy Statistics Yearbook”, Paris.
- Enerdata, (2008) - "The world energy demand in 2007", Paris.
- Enerdata, (2008) – “The world energy demand in 2007”, Paris.
- EPI, Earth Policy Institute, (2008) – “Eco-Economy indicators”, Washington .
- Eschenbach E.A., Magee T, Zagana E, Goranflo M, Shane R., (2001) - "Multiobjective Operations of Reservoir System via Goal Programming" in The ASCE Journal of Water Resources Planning and Management, Reston (USA).
- EurObserver, (2008) – “European Biofuels Barometer 2008”, Bruxelles.
- EurObserver, (2008) – “European Biogas Barometer 2008”, Bruxelles.
- European Commission, (2006) – “Energy Technologies Knowledge, Perception, Measure”, Bruxelles.
- Giardini L., (2002) - "Agronomia generale", Patron editore, Bologna.
- GSE Gestore Servizi Elettrici, (2008) – “Statistiche sulle fonti rinnovabili in Italia 2008”, Roma.
- Hazell P.B.R., Norton R.D., (1986) – “Mathematical programming for economic analysis in agriculture”, Macmillan, London.
- Hellrigl B., Grigolato S., (2004) - “Il potere calorifico del legno” in convegno "Le biomasse agricole e forestali nello scenario energetico nazionale - Progetto Fuoco 2004", Verona.

- Hillier F.S., Lieberman G.J, (2006) – “Ricerca Operativa”, McGraw-Hill, Milano.
- IAEA International Atomic Energy Agency, (2008) – “Nuclear Safety Review for 2007”, Vienna.
- IEA International Energy Agency, (2007) – “Renewable in global energy supply 2007”, Parigi.
- IEA International Energy Agency, (2008) – “World energy Outlook 2007”, Parigi.
- INEA Istituto Nazionale di Economia Agraria (2004), - "I redditi delle aziende agrarie italiane", RICA-INEA, Padova.
- INEA Istituto Nazionale di Economia Agraria (2008), - "L'agricoltura italiana conta", Padova.
- Isaacs J. D., Seymour R. J., (1973) – “The ocean as a power resource”. The international Journal of Environmental Studies, Vol. 4, Pag. 201-205.
- ISTAT, (2007) - "Popolazione e lavoro 2007", Roma.
- ISTAT, (2007) - "Stime provinciali anno 2007", Roma.
- Lindo Systems Inc (2008) – “What’sBest 9.0, the spreadsheet solver”, Chicago.
- Lorenz D., Morris D., (1995) - “How Much Energy Does It Take to Make a Gallon of Ethanol?”, Institute for Local-Self Reliance, Missouri.
- Marangon F. (1990) - "Scelte imprenditoriali e moderne tecniche di gestione dell'azienda agraria", in “Studi di Economia e Diritto”, n.1.
- Marangon F., (1997) - "Redditività aziendale e valorizzazione del paesaggio rurale al vaglio dell'Analisi a Molti Obiettivi", in T. Tempesta (ed.), Paesaggio rurale e agro tecnologie innovative: una ricerca nella pianura tra Tagliamento e Isonzo, Milano, F. Angeli.
- Marangon F., Brozovà H., (1997) - "Uno strumento informatico in ambiente MS Excel per l'Analisi a Molti Obiettivi. La gestione delle risorse agro-ambientali", Dipartimento di Scienze Economiche, Università degli Studi di Udine, Working Paper 01.
- Marangon F., Rosato P. (1995). L'analisi multi criteri nella gestione delle risorse naturali. Il caso delle risorse agroambientali, in Economia delle fonti di energia e dell'ambiente, n.2.
- Marangon F., Tempesta T., (1998) - "Rural Landscape and Economic Results of the Farm: a Survey through a Multi-Objective Approach", in E. Beinat, P. Nijkamp (Eds.) "Multicriteria analysis for land-use management", Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrecht/London.
- Morris D., Decker J., Ahmed I., (1994) - “How much energy does it take to make a gallon of soydiesel?”, Institute for Local Self Reliance, Missouri.
- MSE Ministero dello Sviluppo Economico, (2006) – “Bilanci Energetici Nazionali”, Roma.
- NREL National Renewable Energy Laboratory, (2008) – “Learning about renewable energy”, Golden (USA).
- Paris Q., (1991) – “Programmazione lineare, un'interpretazione economica”, Il Mulino, Bologna.

- Peterson C.L., (1997) – “Processing, characterisation and performance of eight fuels from lipids”, American Society of Agricultural Engineers, Vol. 13 Pag. 71-79.
- Pimentel D., Patzek T.W., (2005) - “Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower”, Natural Resources Research, Vol. 14.
- Raiffa H., Keeney R.L., (1993) – “Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs”, Cambridge University Press.
- Regione Veneto, (2004) - "Le produzioni agricole e zootecniche del Veneto", SISTAR-SISTAN, Venezia
- Regione Veneto, (2004) - "Statistiche agricole 1999-2004", Venezia.
- Regione Veneto, (2005) - "Il Veneto si racconta. Rapporto statistico 2005", Venezia.
- Ribauda F., (2002) - "Prontuario di agricoltura. Per il geometra, il perito agrario e l'agrotecnico", Ed agricole, Milano.
- Rifkin J., (2006) - "Economia all'idrogeno – La creazione del Worldwide Energy Web e la redistribuzione del potere sulla terra”, Mondadori, Milano.
- Romero C., Rehman T., (1989) - "Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions", Ed. Elsevier, Amsterdam.
- Scharmer K., (2001) - “Biodiesel, energy- and environmental evaluation”, Union for Promoting Oilseeds and Proteinplants, Aldenhoven.
- Schmoltdt D.L., J. Kangas, Mendoza G.A., Pesonen M., (2001) - "The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making", Kluwer Academic Publishers.
- Shapouri H., Duffield J., McAloon A., Wang M., (2004) - “The 2001 net energy balance of corn-ethanol”, United States Department of Agriculture, Washington.
- Shapouri H., Duffield J.A., Graboski M., (1995) - “Estimating the net energy balance of corn ethanol”, United States Department of Agriculture, Washington.
- Shapouri H., Duffield J.A., Wang M., (2002) - “The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update”, United States Department of Agriculture, Washington.
- Sheehan, J., Camobreco V., Duffield J., Graboski M., Shapouri H., (1998) - "Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus", U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy, Washington.
- Strassoldo F. ENI, (2006) – “Aspetti tecnico - economici della produzione di biocarburanti”, Milano.
- Tanfoglio A., (2007) - “LCA della produzione di 1MJ di energia termica da combustione di biomassa legnosa”, Padova.
- Tempesta T. (2004), La popolazione dei frequentatori della montagna veneta, Turistica, Aprile-Giugno.
- Tempesta T. , Arkilo S. (2008), Recreational Demand of the Euganean Hills Regional Park (Veneto – Italy), in Raschi A., Trampetti S. (Eds.), Management for Protection and Sustainable Development, Proceedings of the Fourth International Conference on Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational Areas, Montecatini Terme, Italy, 14 – 19 October.

- Tempesta T., (1996) - "Criteri e metodi di analisi del valore ricreativo del territorio", UNIPRESS, Padova.
- Tempesta T., (1997), La valutazione del paesaggio tramite indicatori estetico-visivi, in T. Tempesta (a cura di), Paesaggio rurale e agro tecnologie innovative: una ricerca nella pianura tra Tagliamento e Isonzo, Franco Angeli, Milano:
- Tempesta T., Thiene M., (2003) - "Siepi, qualità del paesaggio e reddito agricolo: la ricerca di soluzioni di compromesso tramite la Goal Programming", Genio Rurale, n. 2.
- Tempesta T., Thiene M., (2006) - "Percezione e valore del paesaggio", Franco Angeli, Milano.
- TERNA, (2008) – “Bilanci dell'energia elettrica in Italia”, Roma.
- UN United Nations, (2008) – “World Population Prospect 2008”, New York.
- WEC World Energy Council, (2007) – “Survey of Energy Resources”, Londra.
- WNA World Nuclear Association, (2008) – “Nuclear Power in the World Today”, Londra.

## PRINCIPALI SITI CONSULTATI

<http://www.aspoitalia.net>

<http://www.bp.com/home.do/>

<http://www.dams.org/>

<http://www.earth-policy.org/>

<http://www.eia.doe.gov>

<http://www.eia.doe.gov/>

<http://www.enea.it/>

<http://www.enerdata.fr/enerdatauk/>

<http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/sig/erec/sig.asp>

<http://www.iea.org/>

<http://www.ilsole24ore.com>

<http://www.sviluppoeconomico.gov.it/>

<http://www.un.org/english/>

<http://www.world-nuclear.org/>

<http://www.wwindea.org/home/index.php>

<http://www.informatoreagrario.it/>

<http://www.istat.it>

<http://www.politicheagricole.it/default.htm>

<http://www.regione.veneto.it/channels>





*APPENDICE I – La richiesta di lavoro considerata per le colture agrarie tradizionali e per quelle legnose, espressa in ore di lavoro per mese. Mentre per le colture agrarie tradizionali tali valori non sono variati nel periodo di riferimento, quelle legnose, in quanto colture poliannuali, hanno presentato richieste di manodopera diverse a seconda degli anni considerati.*

Ore di lavoro mensile considerate per le colture agrarie tradizionali											
Disponibilità irrigua	0	100	0	100	0	0	100	0	100	0	0
	Grano	Mais	Mais	Soia	Soia	Colza	Girasole	Girasole	Prato	Prato	Incolto
Gennaio	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Febbraio	0	7	7	0	0	0	0	0	7,7	7,7	0
Marzo	1,2	1,3	1,3	4,55	4,55	11,6	0	0	0	0	0
Aprile	1	8,7	8,7	4	4	0	0	0	10,1	10,1	0
Maggio	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	0	0	0	11,2	7,7	0
Giugno	7	8	8	1,4	1,4	0	3,6	3,6	3,5	0	0
Luglio	0	3	0	4,35	0	11,1	4,25	1,25	11,2	7,7	0
Agosto	0	0	0	4,35	0	5,1	3	0	11,2	7,7	0
Settembre	7,6	0	0	3	3	0	0	0	2,4	2,4	0
Ottobre	4,1	10,3	10,3	2,4	2,4	0	4,3	4,3	7,7	7,7	0
Novembre	0	0	0	0	0	11,6	0	0	0	0	0
Dicembre	1	0	0	0	0	0	0	0	7,7	7,7	0
TOT	32,1	39,5	36,5	25,45	16,75	39,4	15,15	9,15	72,7	58,7	0

Ore di lavoro mensili considerate per le SRF irrigue (100% acqua)

Anni	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Gennaio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Febbraio	6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aprile	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maggio	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Giugno	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Luglio	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Novembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Dicembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	21,5	9,5	10,5	9,5	10,5	9,5	10,5	9,5	10,5	9,5	10,5	9,5	10,5	9,5	9,5	14,5

Ore di lavoro mensili considerate per le SRF irrigue (0% acqua)

Anni	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Gennaio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Febbraio	6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aprile	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maggio	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Giugno	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Luglio	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Novembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Dicembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	18	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	6	11

Ore di lavoro mensile considerate per le siepi

Anni	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Gennaio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Febbraio	36,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aprile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	0	0	0	0	0	14,8	0	0	0	0	19,8	0	0	0	0	24,7
Dicembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	36,22	0	0	0	0	14,8	0	0	0	0	19,8	0	0	0	0	24,7

*APPENDICE II – La richiesta irrigua unitaria su base annuale considerata nello studi per le diverse colture coinvolte.*

<u>Richiesta irrigua in m<sup>3</sup>/ha/anno</u>	
GRANO 0	0
MAIS A 0	1.500
MAIS C 0	0
SOIA A 0	1.000
SOIA C 0	0
COLZA 0	0
GIRASOLE A 0	400
GIRASOLE C 0	0
PRATO A 0	1.000
PRATO C 0	0
INCOLTO 0	0
SRF A 0	2.000
SRF C 0	0
SIEPE 0	0

*APPENDICE III – Le rese economiche attualizzate al momento dell'analisi delle colture agrarie annuali e delle colture legnose poliannuali; tasso applicato 3%.*

Anni	Rese economiche attualizzate al 2008 in €/ha/anno																VAN
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Grano	405	393	382	371	360	349	339	329	320	310	301	292	284	276	268	260	5238
Mais 100	410	399	387	376	365	354	344	334	324	315	305	297	288	280	271	263	5311
Mais 0	287	279	271	263	255	248	241	234	227	220	214	208	202	196	190	184	3717
Soia 100	408	396	384	373	362	352	341	332	322	312	303	295	286	278	270	262	5275
Soia 0	330	321	311	302	293	285	277	269	261	253	246	239	232	225	218	212	4273
Colza	189	184	179	173	168	163	159	154	150	145	141	137	133	129	125	122	2450
Girasole 100	172	167	162	158	153	149	144	140	136	132	128	125	121	117	114	111	2230
Girasole 0	372	361	351	341	331	321	312	303	294	285	277	269	261	253	246	239	4815
Prato 100	341	331	322	312	303	294	286	277	269	262	254	247	239	232	226	219	4415
Prato 0	239	232	225	219	212	206	200	194	189	183	178	173	168	163	158	153	3091
Incolto	341	331	321	312	303	294	285	277	269	261	253	246	239	232	225	219	4407
Srf 100	375	-345	396	-325	721	-306	642	-325	296	-307	173	-289	163	-272	-264	79	413
Srf 0	375	-345	-732	-325	-635	-306	-636	-325	-649	-307	-629	-289	-593	-272	-264	-958	-6889
Siepe	301	0	0	0	0	110	0	0	0	0	82	0	0	0	0	40	534

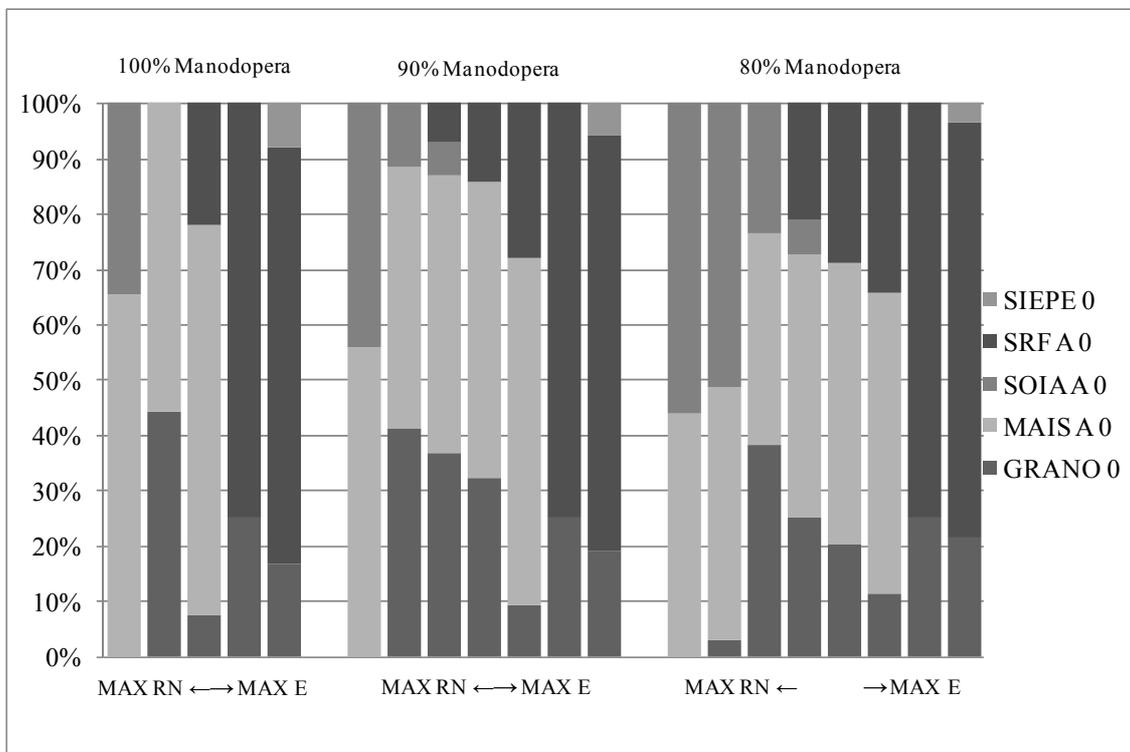
*APPENDICE IV – Le rese energetiche delle colture agrarie annuali e delle colture legnose poliennali sulla base del periodo considerato ed i valori medi calcolati su base bibliografica.*

Anni	Rese energetiche annuali in GJ/ha/anno																MEDIA
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Grano	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
Mais 100	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
Mais 0	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Soia 100	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Soia 0	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
Colza	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1
Girasole 100	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Girasole 0	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
Prato 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Prato 0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Incolto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Srf 100	0,0	0,0	292,9	0,0	373,5	0,0	373,5	0,0	292,9	0,0	263,6	0,0	263,6	0,0	0,0	395,4	141,0
Srf 0	0,0	0,0	46,9	0,0	59,8	0,0	59,8	0,0	46,9	0,0	42,2	0,0	42,2	0,0	0,0	63,3	22,6
Siepe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	349,7	0,0	0,0	0,0	0,0	466,2	0,0	0,0	0,0	0,0	582,8	87,4

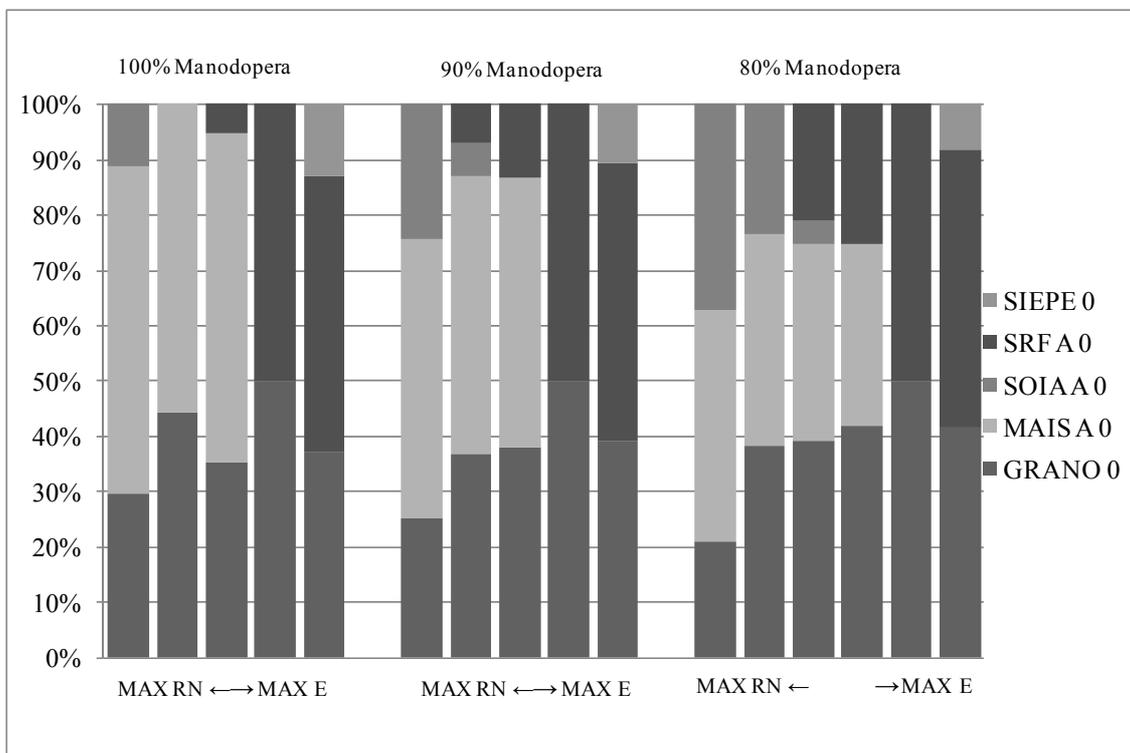
	Coefficiente di risposta produttiva (%)	Resa media (q/ha/anno)	Resa in biocarburante (L/ha)	Contenuto energetico biocarburante (MJ/L)	Resa energetica complessiva (MJ/ha)	Bilancio energetico	Resa energetica netta (MJ/ha)	GJ/ha/anno LORDO	GJ/ha/anno NETTO
Colture agrarie									
Grano	100%	64,2	2387	31,6	75417	1,26	15562	75,4	15,6
Mais (100% acqua)	100%	103,2	2180	31,6	68875	1,26	14212	68,9	14,2
Mais (0% acqua)	70%	72,2	1525	31,6	48186	1,26	9943	48,2	9,9
Soia (100% acqua)	100%	41	649	21,2	13768	2,91	9037	13,8	9,0
Soia (0% acqua)	81%	33,2	526	21,2	11149	2,91	7318	11,1	7,3
Colza	100%	31,8	1086	21,2	23019	2,91	15108	23,0	15,1
Girasole (100% acqua)	100%	31,8	728	21,2	15425	2,91	10124	15,4	10,1
Girasole (0% acqua)	92%	28,9	661	21,2	14018	2,91	9201	14,0	9,2
Colture legnose									
				(GJ/kg)	(Media)			(Media)	(Media)
SRF (100% acqua)		91,4		18,5	1692	6		1410	141,0
SRF (0% acqua)		54,9		18,5	1015	6		846	22,6
Siepe		87,4		18,5	1617	6		1348	87,4

APPENDICE V – La variazione dei riparti colturali al variare della disponibilità di manodopera nei vari casi di disponibilità irrigua.

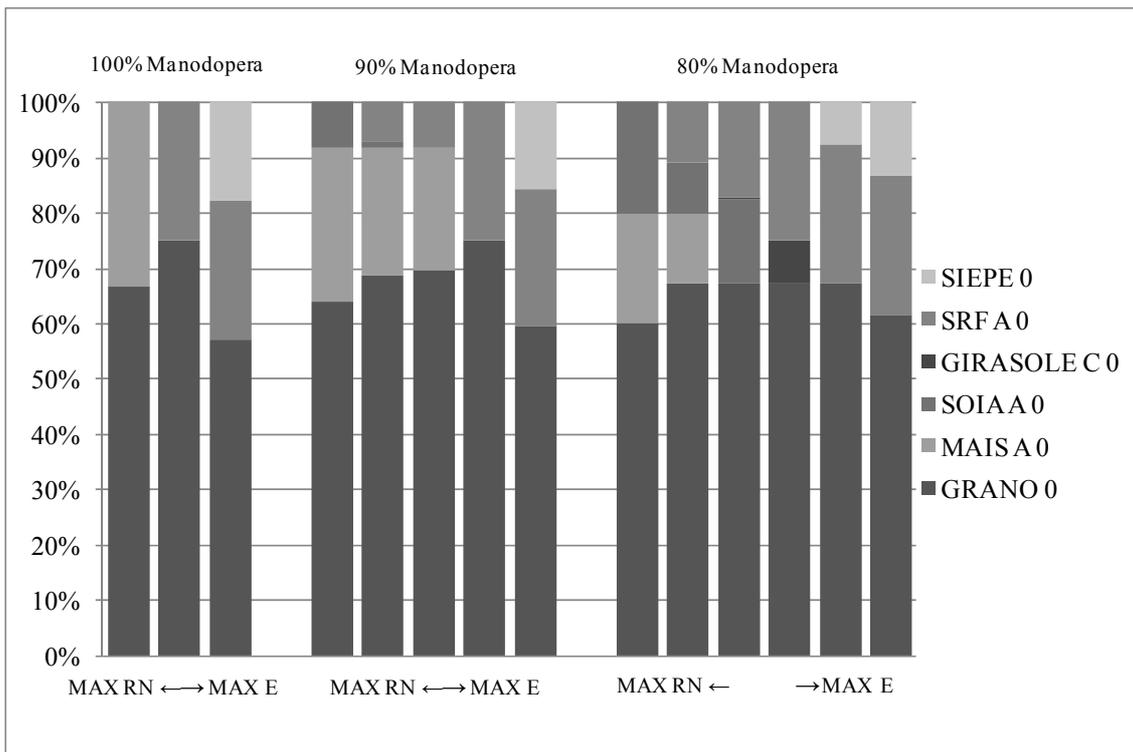
Caso disponibilità irrigua 1500 m<sup>3</sup>/ha/anno



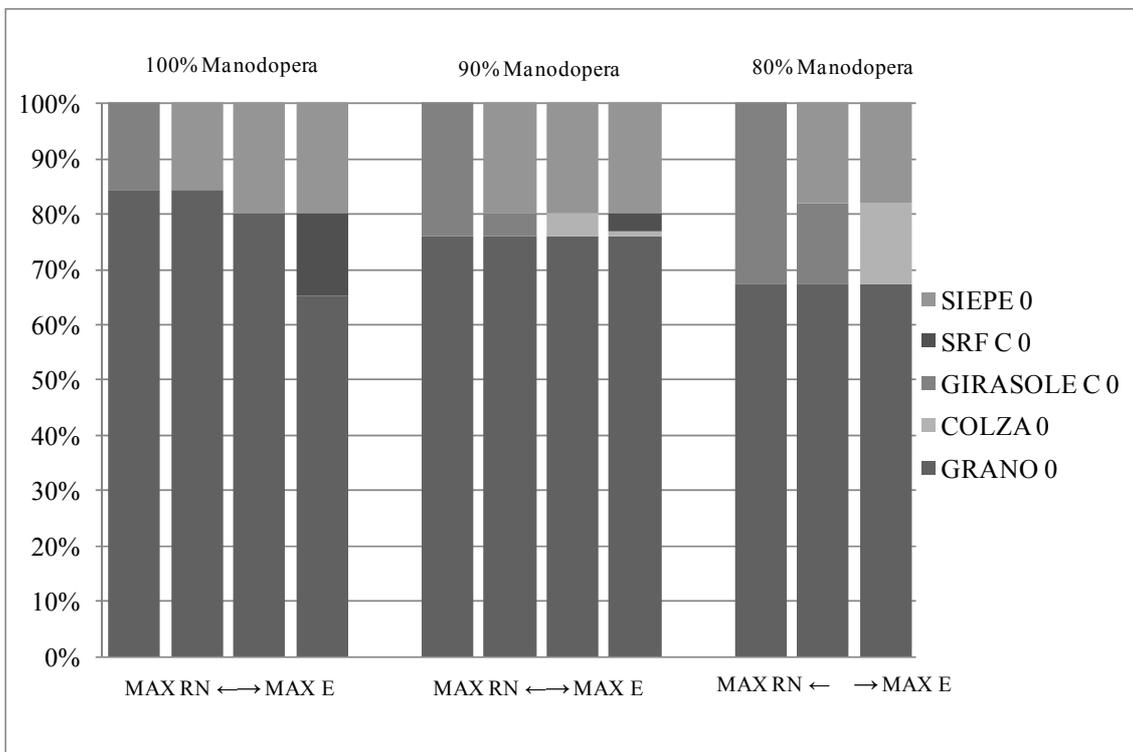
Caso disponibilità irrigua 1000 m<sup>3</sup>/ha/anno



Caso disponibilità irrigua 500 m<sup>3</sup>/ha/anno

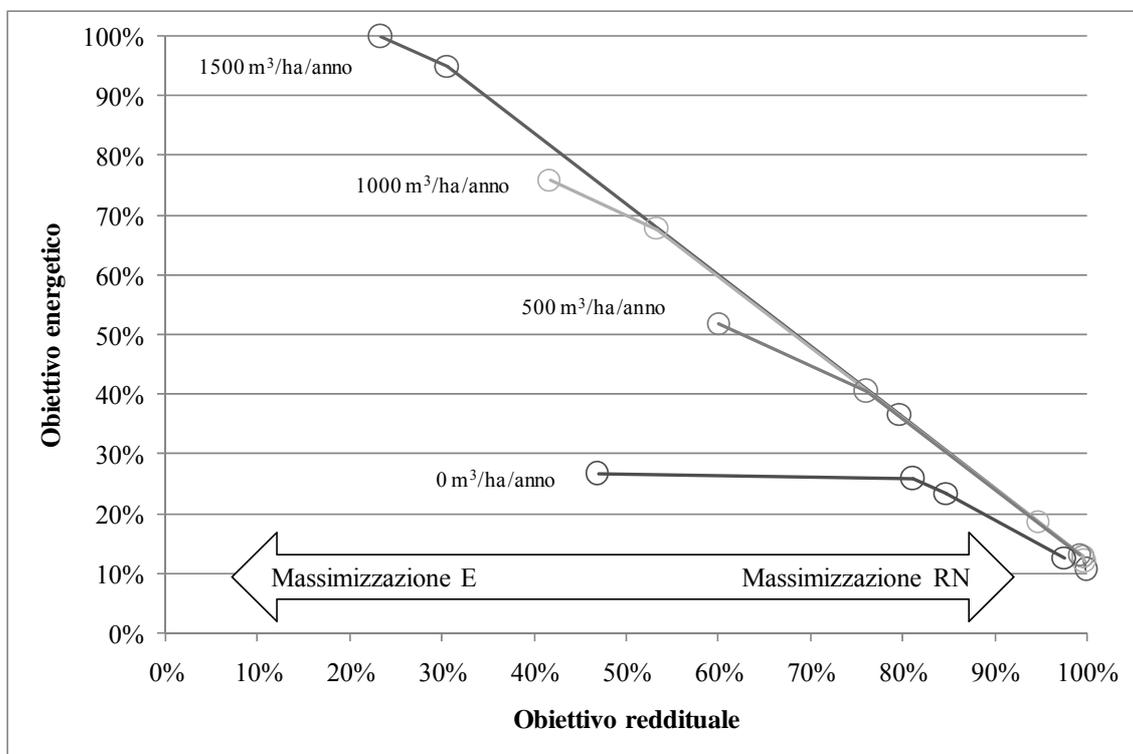


Caso disponibilità irrigua 0 m<sup>3</sup>/ha/anno

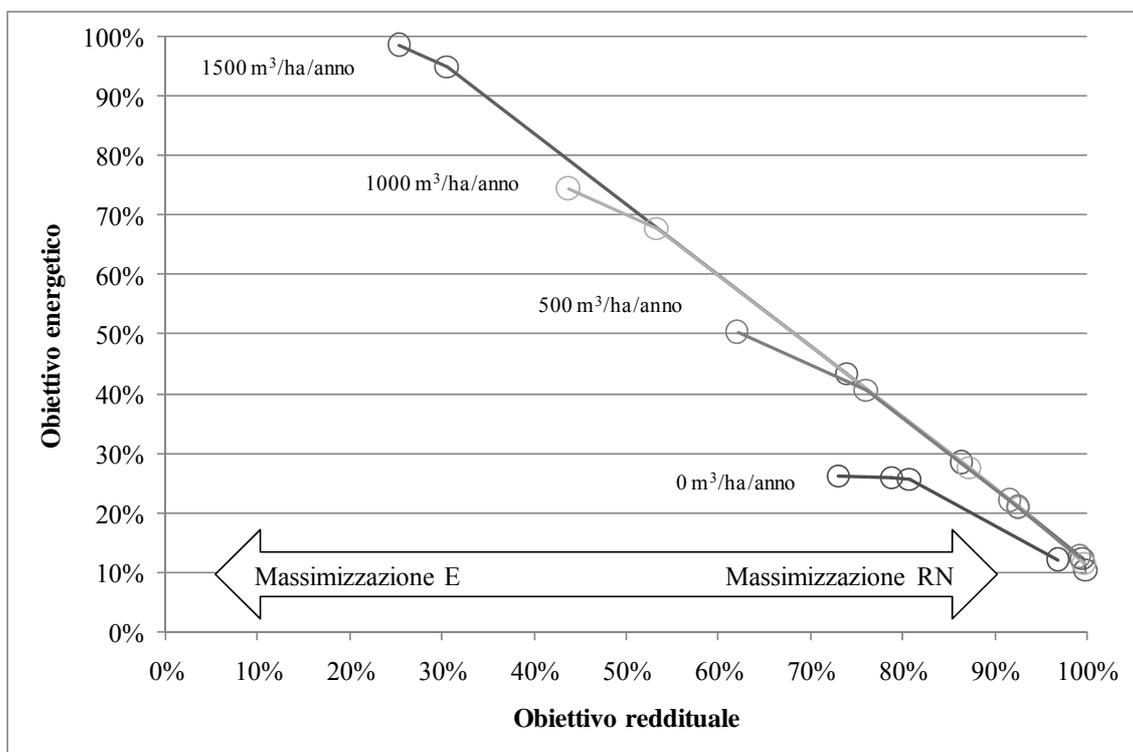


*APPENDICE VI – La variazione delle frontiere efficienti in funzione della disponibilità irrigua, al variare della disponibilità di manodopera.*

*Caso disponibilità manodopera 100%*



*Caso disponibilità manodopera 90%*



Caso disponibilità manodopera 80%

