



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
Facoltà di Agraria
Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie
Agrarie e Forestali
Settore Disciplinare: AGR/01

Dottorato di ricerca in Economia Vitivinicola e Sviluppo Rurale - XXII Ciclo

Indirizzo Sviluppo Rurale

**VALUTAZIONE ECONOMICA - AMBIENTALE DI NUOVE
TECNOLOGIE ENERGETICHE RINNOVABILI IN UNA AZIENDA
VITIVINICOLA DEL LIBANO**



COORDINATORE DEL CORSO:

Prof. Leonardo Casini

TUTOR:

Dott. Roberto Fratini

DOTTORANDO:

Toufic El Asmar

ANNO ACCADEMICO 2009 – 2010

Indice

Ringraziamenti.....	6
Sommario	8
1. INTRODUZIONE	10
2. Obiettivi della ricerca.....	14
2.1 Obiettivo generale.....	15
2.2 Obiettivi specifici	15
3. Letteratura di riferimento.....	16
3.1 La Multifunzionalità e la Produzione di Energia in Agricoltura	17
3.2 Agrienergia – Nuovo Paradigma	19
3.2.1 Il Bilancio Energetico in Agricoltura	21
3.2.2 Il Bilancio Energetico in Viticoltura.....	26
3.3 Il Fotovoltaico in Agricoltura	28
3.3.1 Le Potenzialità dell’Energia Fotovoltaica nella Vitivinicoltura.....	29
3.4 Le Energie Rinnovabili e la trazione elettrica agricola	31
3.5 Valutazioni Economiche e Finanziarie del Fotovoltaico	33
3.6. Valutazioni Tecniche, Economiche e Ambientali dei Veicoli Elettrici.....	36
3.7 Valutazioni Ambientali del Fotovoltaico	38
4. Il Caso di Studio.....	39
4.1 Introduzione	39
4.2 Il Progetto RAMseS.....	40
4.3 Il Sito Pilota.....	43
4.3.1 Descrizione del Paese di riferimento	43
4.3.1.a Geografia, Morfologia e Clima	43
4.3.1.b Demografia e situazione economica.....	45
4.3.1.c Situazione Agricola.....	47
4.3.1.d Situazione Energetica e fattibilità economica del Fotovoltaico	57
4.4 L’Azienda Agraria di riferimento	60
4.4.1 Descrizione generale.....	60
4.4.2 La situazione agricola.....	61
4.4.3 La situazione energetica	65
5. Materiali e Metodi	66
5.1 Descrizione Tecnica del RAMseS	66
5.2 Valutazione Economica - Finanziaria e Indicatori di Convenienza.....	70
5.2.1 Valutazione del sistema RAMseS con il Life Cycle Cost (LCC)	71
5.2.2 Valutazione del sistema convenzionale con il Life Cycle Cost (LCC)...	74

5.2.3	Indicatori Economici di Convenienza.....	76
5.2.3. a	- Il Levelized Cost of Energy (LCE):.....	76
5.2.3. b	- Il Valore Attuale Netto (VAN).....	78
5.2.3. c	- Il Pay Back Period (PBP).....	78
5.3	Valutazione Energetica - Economica.....	78
5.3.1	Determinazione del contributo energetico	79
5.3.1.a	Bilancio energetico	79
5.3.1.b	Valutazione del bilancio energetico	81
5.3.2	Analisi delle performance del sistema con il modello RETscreen	85
5.3.3	Valutazione delle performance per aree e tecnologie alternative.....	89
5.4	Valutazione dell'impatto ambientale del RAMseS	90
5.4.1	Valutazione dell'impatto ambientale dei pannelli fotovoltaici.....	91
5.4.2	Valutazione dell'impatto ambientale delle Batterie.....	93
5.4.3	Valutazione dell'impatto ambientale dei Veicoli	94
5.4.4	LCA ambientale con SimaPro	99
6	Risultati e Discussione	101
6.1	Valutazione Economica – Finanziaria e Indicatori di Convenienza	101
6.2	Valutazione Energetica - Economica.....	109
6.2.1	Valutazione delle performance energetiche.....	109
6.2.2	Valutazione delle performance economiche	110
6.2.3	Valutazione delle performance per aree e tecnologie alternative.....	115
6.3	Valutazione dell'Impatto Ambientale	120
6.3.1	I costi esterni dovuti alle emissioni di Inquinanti	120
6.3.2	Confronto economico dei cicli di vita – Simulazioni con SimaPro	121
7	Conclusioni	128
	Glossario	133
	Bibliografia.....	134

Indice delle Figure

Figura 1	- Curve confronto minerali agricoltura	21
Figura 2	- Proiezioni combustibili fossili (fonte ASPO Italia)	22
Figura 3	- Mappa del Libano	44
Figura 4	- Percentuali di import - export di beni e servizi in Libano	46
Figura 5	- Distribuzione dei terreni coltivati ripartiti per le varie regioni Libanesi.....	48
Figura 6	- Distribuzione delle aree irrigue ripartiti per le varie regioni Libanesi.....	48
Figura 7	- Numero di agricoltori ripartiti per le varie regioni Libanesi	48
Figura 8	- Uso agricolo del suolo in Libano	49
Figura 9	- Colture in Serra per regione.....	49

Figura 10 - Uso agricolo del suolo nelle diverse regioni del Libano	49
Figura 11 - Numero di trattori in Libano e relativo incremento annuale	50
Figura 12 - Mosaici di Baalbeck (Heliopolis) nella Valle della Bekaa in Libano	53
Figura 13 - Radiazione totale sul piano orizzontale (fonte NASA)	54
Figura 14 - Vigneti in aree diverse del Libano	55
Figura 15 - Distribuzione dell'approvvigionamento in energia primaria	57
Figura 16 - Vista satellitare del sito pilota.....	60
Figura 17 - Vigneto di 2 anni press il monastero (foto di Tony Matar)	61
Figura 18 - La coltivazione in serra	62
Figura 19 - Trattore e motocoltivatore presso l'azienda – monastero in Libano.....	62
Figura 20 - Cantina del Monastero in Libano	63
Figura 21 - Produzioni vino presso sito di Ashkout (periodo 2006 – 2008).....	64
Figura 22 - Generatore elettrico diesel presso l'azienda – monastero in Libano	65
Figura 23 - RAMseS: Impianto fotovoltaico di Ashkout - Libano.....	66
Figura 24 - Batterie Stazionarie e Inverters.....	67
Figura 25 - Veicolo Elettrico Multifunzionale (VEM) per l'Agricoltura	67
Figura 26 - Parte posteriore del VEM RAMseS con sistema idraulico e presa di forza	68
Figura 27 - Diagramma schematico che mostra il flusso dell'energia in RAMseS ..	69
Figura 28 - Richiesta energetiche per le coltivazioni olivicole e viticole	80
Figura 29 - Confronto tra dati audit energetico e serie storiche	81
Figura 30 – Portale PVGIS per il calcolo della di produzione del fotovoltaico.....	82
Figura 31 - Monitoraggio remoto via rete del sistema RAMseS.....	83
Figura 32 – Rendimento Fotovoltaico RAMseS 2009 (Sunny Portal)	84
Figura 33 – Bilancio energetico RAMseS.....	85
<i>Figura 34 – Confronto tra i dati misurati e quelli di lungo termine della radiazione solare per il sito pilota - RAMseS.....</i>	<i>86</i>
Figura 35 – Produzione energia prevista da RETscreen per diverse aree del Mediterraneo	89
Figura 36 – SimaPro.....	99
Figura 37 – Confronti tra i Life Cycle Costs (LCC)	105
Figura 38 – Confronti tra i Levelized Cost of Energy (LCE).....	106
Figura 39 - VAN del RAMseS	107
Figura 40 - Analisi di sensitività del PBP del RAMseS	108
Figura 41 Confronto tra l'energia prodotta dal FV e quella stimata via RETscreen	109
Figura 42 – Energia elettrica fotovoltaica fornita all'azienda usando i dati RETscreen	110

Figura 43 - PBP semplificato del RAMseS considerando i prezzi del diesel tra 0,5 e 3 €/litro.....	113
Figura 44 - Rapporto Costi/Benefici del RAMseS per differenti incrementi % del costo del carburante	114
Figura 45 - PBP semplificato del RAMseS per diverse aree del Mediterraneo	116
Figura 46 – Rapporti Costi/Benefici del RAMseS in diverse aree del Mediterraneo e per differenti tassi di sconto	118
Figura 47 – Costo dell’energia prodotta da batterie Litio-Titanio per diversi tassi di crescita del prezzo del carburante	119
Figura 48 - LCC del RAMseS contrapposto a differenti tassi di inflazione "i" e di sconto "d" - (SimaPro)	122
Figura 49 - LCC del VCCI per differenti tassi di sconto "d" contrapposto a differenti prezzi di carburante – (SimaPro)	123
Figura 50 - VAN del RAMseS contro il tasso di inflazione "d" come funzione della differenza dei costi dell’energia consumata – (SimaPro).....	124
Figura 51 - LCE del RAMseS in funzione del tasso di sconto "d"	125
Figura 52 - LCE del RAMseS e del VCCI a differenti prezzi diesel, contrapposti ai tassi "i" e "d"- (SimaPro)	125
Figura 53 - PBP del RAMseS - (SimaPro).....	126
Figura 54 - Prezzo unità carburante contro diminuzioni dell'unità di costo delle batterie - (SimaPro)	127

Indice delle Tabelle

Tabella 1 - Valori energetici annuali.....	23
Tabella 2 - Stima dell'area necessaria per la produzione di una certa quantità di energia	25
Tabella 3 - Area necessaria per la produzione alimentare	25
Tabella 4 – Sintesi usi principali macchine agricole in Libano	51
Tabella 5 - Principali operazioni agricole meccanizzate in Libano.....	52
Tabella 6 - I prezzi sono relativi a macchine usate, e variano a seconda dell’anno di produzione e lo stato di manutenzione del veicolo	63
Tabella 7 - Produzione Vino presso sito di Ashkout (periodo 2006 – 2008).....	64
Tabella 8 – Dati tecnici dell’impianto fotovoltaico RAMseS	70
Tabella 9 – Confronto tra dati annuali di audit energetico RAMseS e serie storiche.....	80
Tabella 10 – Rendimento totale 2009 e 2010 (Sunny Portal)	84
Tabella 11 - Dati per la misura delle performance del sistema fotovoltaico	88

Tabella 12- Fattori di emissioni inquinanti per i pannelli fotovoltaici monocristallini (Si-m) nel corso dell'intera durata di vita dei pannelli	92
Tabella 13 – Emissioni metalli pesanti nel corso della produzione dei pannelli fotovoltaici monocristallini	92
Tabella 14 – Emissioni inquinanti (in kg).....	92
Tabella 15 – Confronto tecnico tra trattori convenzionali e trattore (VEM) RAMseS95	
Tabella 16 – Valori delle emissioni dal trattore John Deere 3120 su un periodo di 30 anni.....	96
Tabella 17 – Parametri di emissione di un trattore da 29,5 CV.....	97
Tabella 18 – Emissioni di inquinanti durante le fasi di produzione del Diesel	98
Tabella 19 – Emissioni ottenuti per VEM (RAMseS) e VCCI.....	98
Tabella 20 – Valori di riferimento	102
Tabella 21 - Valori assunti per il sistema RAMseS.....	111
Tabella 22 - Calcolo del PW (o VAN) e del rapporto Costi/Benefici.....	115
Tabella 23 - Calcolo del PW (o VAN) e del rapporto Costi/Benefici per diverse aree del Mediterraneo.....	117
Tabella 24 – Emissioni dovute a RAMseS e VCCI.....	120
Tabella 25 – Paragoni dei costi dovuti alle emissioni VEM-RAMseS e VCCI	121

Ringraziamenti

Giunto al termine di questo lungo progetto di ricerca e sviluppo desidero ringraziare ed esprimere la mia riconoscenza nei confronti di tutte le persone che, in modi diversi, mi sono state vicine e hanno permesso e incoraggiato sia i miei studi che la realizzazione e stesura di questa tesi di dottorato. I miei più sentiti ringraziamenti vanno a chi mi ha seguito durante la redazione del lavoro:

- *Prof. Leonardo Casini*, per la fiducia fin da subito dimostratami nell'aver accettato questo argomento di progetto e ricerca e per avermi sostenuto durante lo svolgimento del lavoro.
- *Prof. Ugo Bardi*, gli sono riconoscente per avermi incoraggiato ed orientato al Project Editing, Management e Coordination (presto divenuta la mia professione per eccellenza). Gli insegnamenti, gli incoraggiamenti e le periodiche sedute di “*brain storming*” offertimi, e che hanno contribuito ad incrementare la fiducia in me stesso, nelle mie potenzialità e nel perseguire le mie ambizioni.
- *Dr. Roberto Fratini* per la continua disponibilità e prontezza nei chiarimenti e suggerimenti, per la rilettura critica di tutti i capitoli della tesi e per avermi guidato con i suoi suggerimenti durante la conclusione di questo percorso di ricerca.

Doverosi ringraziamenti a tutti i colleghi e a tutte le persone che hanno partecipato in maniera significativa al successo del Progetto RAMseS, in modo particolare :

- A *Paolo Pasquini* (dello *Studio Paolo Pasquini, Progettazione e costruzione prototipi per l'Industria*), alla *Elektrosistem*, ed a *Biagio e Maria La Morticella* (dell'azienda *Oelle Costruzioni Meccaniche*) senza i quali non saremmo stati capaci di costruire il primo prototipo di “trattore” elettrico multifunzionale.
- A *Tony Matar e Said Chehab (ALMEE)*, *Fadi Karam (LARI)*, *Daniel Geha (ADMElectric)*, e a *Padre Paul Assaf*, priore del convento dei “Santi Sarkis e Baghos”, per la loro cordialità e disponibilità nel portare avanti le attività applicative e prove in campo del sistema RAMseS.

- Alla Commissione Europea – DG Ricerca e Sviluppo per aver approvato e finanziato il progetto RAMseS, in particolare al Dr. Mario Scalet e a Thierry Callens.

In modo particolare desidero ringraziare:

- *Dr. David Redpath (della Centre for Renewable Technologies, Univeristà dell'Ulster)* per l'amicizia e per aver condiviso assieme le attività di testing, monitoring e system evaluation ed avermi offerto la possibilità di condividere i risultati raggiunti.

Dulcis in Fundo, ringrazio i **miei fratelli** Amerigo, Jean Pierre e **mia sorella** Paola che mi sono stati vicini in tutti questi anni che oltre ad avermi sempre supportato mi hanno anche sopportato. Ma il mio primo pensiero va ai **miei genitori** (*Raymond e Maria Margherita*) a cui ho sempre dedicato i miei successi formativi e professionali: senza il loro aiuto non avrei mai raggiunto questa meta. Sono davvero grato per il loro amore, appoggio ed il sostegno economico nei momenti più difficili. Spero che tutti i loro sacrifici siano in questo modo, almeno in parte, ricompensati.

Un pensiero speciale va a *Raymond, Gaddo e Francesco* i **miei cuccioli** che mi hanno rafforzato la gioia di vivere, perseveranza e tenacia; a *Grazia*, **mia moglie** per il suo supporto e amore.

Maggio 2010

Toufic

Sommario

Le aree collinari, remote e svantaggiate delle aree meridionali del Mediterraneo sono spesso afflitte da elevati costi dei carburanti, problemi nella fornitura di energia elettrica, reti elettriche vetuste o addirittura assenti. Un nuovo sistema energetico multifunzionale da fonte rinnovabile per l'agricoltura è stato sviluppato nell'ambito del progetto Europeo RAMseS per verificare le potenzialità della riduzione dell'uso del gasolio o diesel in agricoltura attraverso lo sviluppo di un veicolo elettrico capace di assolvere numerose attività agricole attualmente assicurate grazie all'uso dei trattori convenzionali alimentati a diesel. Un'azienda agricola di 50 ettari di superficie agricola totale, è stata scelta come sito primario per le prove sperimentali in campo. L'azienda, inizialmente si basava su un generatore elettrico diesel (60kVA) ed un trattore diesel (20 kW), è tipica dell'agricoltura libanese ed è localizzata a 35 km da Beirut, direzione Nord-Est, a 1000 m sopra il livello del mare ed è caratterizzata da un'elevata radiazione solare. Nell'ambito del progetto RAMseS abbiamo installato un impianto fotovoltaico capace di fornire 12 kWp di energia elettrica pulita e rinnovabile abbinato ad un veicolo elettrico multifunzionale capace di eseguire numerose operazioni agricole necessarie per una azienda di piccole medie dimensioni in cerca di sostenibilità, diversificazione, innovazione e miglioramento del proprio reddito.

La tesi di dottorato presenta i risultati dell'attività di ricerca svoltasi nell'ambito dei lavori di sviluppo e trasferimento tecnologico previsti nel progetto RAMseS durante il periodo ottobre 2006 – Dicembre 2009. Tali risultati hanno portato ad una valutazione dell'efficienza tecnica, economica e ambientale dell'introduzione del sistema RAMseS in una tipica azienda agricola Mediterranea di piccole - medie dimensioni, e caratterizzata da condizioni tecnologiche, ambientali ed energetiche svantaggiose.

Dopo una prima introduzione e la presentazione degli obiettivi della ricerca, la tesi parte (capitolo 3) con una rassegna della letteratura di riferimento sul rapporto tra agricoltura multifunzionale e energie rinnovabili, e potenzialità delle fonti di energia rinnovabile in agricoltura, le valutazioni del loro impatto sull'azienda agricola, le loro valutazioni economico - finanziarie e le relative metodologie applicate dai vari autori. Nel capitolo 4, si descrive brevemente il progetto RAMseS, la situazione energetica e agricola del Libano dove è stato scelto il sito pilota; segue una descrizione dell'azienda agraria di riferimento e degli obiettivi della ricerca. Il capitolo 5 è

dedicato alle metodologie utilizzata per la valutazione degli impatti economici, finanziari e ambientali dell'introduzione delle nuove tecnologie del RAMseS, comparandoli con gli impatti ottenuti a seguito dell'uso delle tecnologie convenzionali (trattori con motore a scoppio, ed energia prodotta dallo sfruttamento dei combustibili fossili). In base ai risultati ottenuti (capitolo 6) si discutono le scelte che l'azienda potrebbe compiere per migliorare le sue condizioni energetiche (in senso di risparmio economico e energetico), produttive (uso di minori input derivanti dal petrolio ad esempio) e ambientali (lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile). Infine il lavoro termina con il capitolo 7 dove si espongono le conclusioni tratte dalle analisi e la comparazione dei risultati ottenuti dalle analisi effettuati in condizioni standard (uso di combustibili fossili e trattori convenzionali) e dopo introduzione del sistema RAMseS (uso delle fonti di energia rinnovabile e veicolo-trattore elettrico).

1. INTRODUZIONE

E' fondamentale comprendere la crisi e l'instabilità che sta attraversando il settore primario e capire quali nuove strade si possano percorrere. L'agricoltura è stata ed è attualmente caratterizzata da differenti e complessi elementi di ordine economico, politico, e sociale. Infatti dal 1992 in poi, con l'entrata in vigore della Politica Agricola Comune (PAC), che attraverso i numerosi cambiamenti introdotti sino ad oggi, ha "deformato", secondo numerosi addetti del settore, la capacità imprenditoriale dell'agricoltura, che troppo spesso ha inseguito il sostegno più alto, anziché la migliore soluzione tecnico-economica per la propria azienda (ad esempio i cambiamenti nelle scelte colturali dopo il 1993). Attualmente, le recenti modifiche alla PAC aggiungono: il disaccoppiamento, la regionalizzazione, il plafonamento e la condizionalità ambientale. Il dato più evidente è che questi sostegni o queste facilitazioni europee entro il 2013 diminuiranno radicalmente. Si impone quindi un profondo ripensamento delle strategie operative da seguire per un immediato futuro, probabilmente senza aiuti.

Gli imprenditori agricoli subiscono sempre maggiormente la competizione globalizzata, che sta mettendo a nudo tutti i nodi storici dell'agricoltura: capitale umano in continuo invecchiamento, abbandono crescente delle campagne, diffusione delle aziende con superficie agraria utilizzabile (SAU) limitata a qualche ettaro e scarsa propensione per le aggregazioni. A tutto ciò va aggiunta la crisi energetica caratterizzata da un prezzo del greggio estremamente instabile con fluttuazioni periodiche del prezzo che va dai 140 \$/barile (nel 2008) fino agli attuali 80-85 \$/barile. Questi incrementi e queste fluttuazioni dovuti a fattori strutturali di tipo geologico, geopolitico e finanziario, hanno determinato aumenti consistenti di tutti i costi produttivi e di trasporto, mentre per il consumatore si è assistito ad un incremento dei prezzi dei beni alimentari e dei servizi domestici. A risentirne è la competitività dell'impresa agricola.

Per mantenere competitive le proprie aziende, gli agricoltori hanno bisogno di nuovi e moderni sistemi produttivi. Aver compreso la crisi e l'instabilità che sta attraversando il settore primario è fondamentale in quanto ci permette di capire quali nuove strade si possano percorrere, ossia quali nuove strategie un imprenditore agricolo dovrebbe effettuare.

Il recente passato ed il presente dell'agricoltura sono caratterizzati da differenti e complessi elementi (energetici, economici, finanziari, ambientali, politici e sociali) che sono influenzati da un unico parametro fondamentale per le economie del mondo industrializzato e globalizzato, ossia il "prezzo dei combustibili fossili in generale e del petrolio in particolare" (Cami, 2008).

Dalla fine della seconda guerra mondiale, l'agricoltura industrializzata si è completamente affidata alla forza lavoro delle macchine agricole. Questo ha fatto sì che la maggior parte delle attività agricole sia passata dalla forza lavoro di massa (una volta rappresentata da uomini e donne, e dagli animali) ad un numero ristretto di operatori necessari per gestire numerose macchine di diverse dimensioni e tutte fortemente dipendenti dai combustibili fossili (Bardi, 2009). Con il probabile sopraggiungere del "picco del petrolio"¹, ci si aspetta un incremento sempre maggiore dei prezzi dei combustibili fossili e conseguentemente nei costi di gestione e produzione nelle aziende agrarie.

L'efficienza energetica ed il risparmio energetico costituiscono, ad oggi, un binomio imprescindibile per un'economia ambientalmente sostenibile e durevole. Il concetto di "energia rinnovabile", generalmente inteso, attiene a quelle forme di energia generate da fonti che per loro caratteristica intrinseca si rigenerano o non sono "esauribili" ed il cui utilizzo non pregiudica, in astratto, le risorse naturali.

In questi anni si è assistito ad un costante aumento del fabbisogno energetico. Gli ingenti consumi di fonti energetiche non rinnovabili (i combustibili fossili) hanno portato a grandi emissioni di Gas Serra, innalzando, il rischio ambientale dovuto al riscaldamento globale. Inoltre, da alcuni anni, risulta sempre più difficile disporre di risorse energetiche tradizionali a basso costo. Appare quindi vantaggioso e necessario l'impiego di strumenti che consentano il risparmio delle fonti energetiche non rinnovabili. L'Unione Europea, ha, nel recente passato, adottato la cosiddetta Direttiva 20-20-20 per ridurre il consumo energetico complessivo e l'impatto

¹ L'incremento dei prezzi del petrolio è stato continuo e inarrestabile dal 1998 circa; passando da meno di 20 dollari al barile i 40 dollari al barile di greggio nel maggio 2004. Un valore che, in moneta costante, è pari a quello che nel 1973 dette origine alla prima grande crisi del petrolio. Questi aumenti hanno causato molta preoccupazione e in molti casi si è parlato di "**Picco di Hubbert**" nell'interpretazione dell'attuale situazione. Secondo Hubbert, la produzione di una risorsa minerale segue una "curva a campana". Il picco di questa curva è il punto di massima produzione: al di là del quale la produzione inizia a decrescere, con incrementi sempre maggiore dei prezzi. Più di una volta è stato possibile osservare sperimentalmente che la produzione di una risorsa esauribile segue una "curva a campana". Negli anni 60, Hubbert stesso aveva previsto il picco della produzione del petrolio negli Stati Uniti per il 1970. A quel tempo, era stato accusato di essere un folle visionario; ma i suoi detrattori devono essere rimasti molto sorpresi quando hanno visto la sua predizione realizzarsi. In tempi più recenti, un picco è stato osservato per la produzione di petrolio nell'Unione Sovietica nel 1990 e un altro per la produzione di petrolio del mare del Nord nel 1999. Per maggiori informazioni www.aspoitalia.it

ambientale totale (tale politica ambiziosa si è proposta un obiettivo triplice per il prossimo 2020: ridurre le emissioni di gas serra del 20%, ridurre il consumo di energia primaria del 20% e aumentare l'uso delle fonti rinnovabili del 20%).

Dall'altro canto, l'Unione Europea, si è prefissata l'obiettivo per il 2010 (purtroppo non raggiunto) di produrre, mediante fonti rinnovabili, energia elettrica per il 22% del proprio consumo di settore; si pensi a tal proposito alla direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, così come ad i molteplici ed ulteriori testi normativi comunitari emanati in ambito energetico. Della stessa incidenza non può dirsi, ovviamente, neppure immune PAC.

Stante l'obiettivo della CE di ottenere un corretto equilibrio tra una produzione agricola competitiva ed il rispetto della natura e dell'ambiente, il processo di integrazione che si intende perseguire non può non fare riferimento all'adozione di misure di tutela dell'ambiente nell'ambito delle diverse politiche comunitarie. Ciò impone, ed ha imposto, di perseguire attivamente un rapporto equilibrato tra la politica agricola e quella ambientale.

Il riconoscimento della multifunzionalità dell'agricoltura, cioè la capacità del settore primario di dare origine a produzioni congiunte (beni fisici, servizi diversi ed esternalità ambientali) costituisce un elemento di valore strategico per lo sviluppo del settore e un'importante opportunità economica per le imprese agricole.

La multifunzionalità dell'agricoltura (citare incontro agriregioni...) rappresenta quindi una delle chiavi strategiche di valorizzazione e sviluppo del settore rurale. Secondo l'Unione europea, il termine multifunzionalità illustra "il nesso fondamentale tra agricoltura sostenibile, sicurezza alimentare, equilibrio territoriale, conservazione del paesaggio e dell'ambiente, nonché garanzia dell'approvvigionamento alimentare". La multifunzionalità viene vista oggi dal settore agricolo come una opportunità economica per le aziende. Molte sono le possibilità concrete che l'azienda agricola può sviluppare per integrare il suo reddito, una di queste è la produzione di *energia da fonti rinnovabili sia per il proprio autoconsumo che per la vendita diretta o indiretta sul mercato.*

Nel corso degli ultimi due secoli, l'importante crescita nell'uso dei combustibili fossili ha creato delle sfide senza precedenti per l'agricoltura. Da un lato, l'agricoltura è

diventata dipendente dai combustibili fossili per i fertilizzanti, i pesticidi, la trazione, le varie operazioni colturali ed il trasporto. Dall'altro lato, le emissioni di gas serra dovute alla combustione dei combustibili fossili, stanno influenzando il cambiamento climatico, mediante l'intensificazione del riscaldamento globale assolutamente sfavorevole all'agricoltura. L'agricoltura ha bisogno di trovare quindi nuove soluzioni capaci di mantenere la produzione compatibile con le soluzioni odierne: allontanarsi dai combustibili fossili significa integrare le moderne forme di energie rinnovabili all'interno del processo produttivo agricolo. La sfida è considerevole per numerosi ragioni ma principalmente è una questione di costi. Il problema è specialmente serio nei Paesi relativamente poveri, non tanto per il costo dei sistemi di produzione di energia da fonte rinnovabile (FER), ma per l'assenza di infrastrutture capaci di sfruttare le potenzialità degli impianti FER (El Asmar et al., 2009). La rete elettrica dei Paesi meno sviluppati spesso non raggiunge i villaggi o le aree remote e laddove invece le raggiunge è caratterizzata da frequenti blackout (Chehab & Matar, 2001).

La “Nuova Agricoltura” chiamata *Agrienergia* è sempre basata sull'ecosostenibilità, con aziende agri-energetiche tendenti a rappresentare la massima espressione dell'anima multifunzionale dell'agricoltura, perfettamente inserita nell'attuale, complessa, dimensione sociale. Oltre alle colture agricole no-food, che permettono di derivare materie prime a sostituzione dei prodotti di sintesi (biomasse per energia e/o per trazione) e l'utilizzazione a tali fini dei sottoprodotti colturali e agro-industriali, la produzione di energia da fonti rinnovabili, sul fondo agricolo, può giocare un ruolo strategico di particolare rilievo nelle attuali politiche agricole.

2. Obiettivi della ricerca

L' inserimento e la diffusione su vasta scala, nelle piccole e medie aziende agrarie del Mediterraneo che stanno sperimentando momenti difficili (dovuti alla crisi finanziaria globale, al riscaldamento globale e all' instabile ed incerta condizione dei rifornimenti e dei costi dell'energia convenzionale), di sistemi combinati e multifunzionali che si basano sullo sfruttamento delle energie rinnovabili e della trazione elettrica, presenta notevoli vantaggi. Questi vantaggi sono di due tipi:

- **A livello microeconomico:**

Riduzione del costo di produzione dell'azienda agricola mediante la diminuzione dei costi variabili legati a quelli dell'energia e incrementando la concorrenza sul mercato locale e possibilmente su quello esterno. Questa energia gratuita (rinnovabile) permette all'imprenditore agricolo di prevedere e controllare le proprie spese durante tutto il ciclo di vita del sistema (veicolo elettrico, batterie, impianto ad energia rinnovabile, in questo cas il fotovoltaico) e di non preoccuparsi più circa i rischi di improvvisi incrementi dei prezzi dell'energia.

- **A livello macroeconomico:**

- Riduzione della bolletta energetica e miglioramento della bilancia dei pagamenti;
- Riduzione dell'inquinamento e delle emissioni di gas serra;
- Riduzione delle tensioni energetiche future anche a livello mondiale e per le economie nazionali;
- Promozione dell'innovazione tecnologica e la diffusione del progresso tecnologico, anche nei Paesi in via di sviluppo;
- Riduzione degli investimenti per l'ampliamento dei sistemi di produzione di energia convenzionale;
- Miglioramento dei costi economici, al fine di promuovere una crescita sostenuta e un rapido miglioramento del reddito dei paesi;
- Una maggiore flessibilità degli investimenti nella produzione e nell'uso dell'energia e la riduzione dei rischi legati alle incertezze della situazione energetica mondiale.

2.1 Obiettivo generale

Lo scopo generale della ricerca è di dare delle risposte a quattro domande fondamentali:

- Possiamo pensare a veicoli elettrici capaci di coprire un ruolo sempre più preponderante nel settore agricolo, in sostituzione dei tradizionali trattori?
- Qual è l'impatto ambientale degli impianti fotovoltaici e dei veicoli elettrici introdotti nel settore agricolo? E quali sono i costi?
- Possono questi Sistemi (FV e veicoli elettrici) integrati efficacemente sostituire i sistemi energetici tradizionali nel settore agricolo?

2.2 Obiettivi specifici

Gli obiettivi specifici della ricerca, sono:

- Capire fino a che punto un sistema tipo RAMseS è capace di sostituire totalmente o parzialmente i combustibili fossili
- Valutazione della convenienza economico-finanziaria ad investire in sistemi FV di piccole o medie dimensioni in aziende agricole (la valutazione è stata eseguita sia per l'Italia Centrale che per le aree Meridionali del Mediterraneo, in particolare il Libano);
- Valutazione tecnica economica del sistema RAMseS comparandolo a quello tradizionale;
- Valutazione dell'impatto ambientale del sistema RAMseS comparandolo a quello tradizionale.

3. Letteratura di riferimento

La maggior parte degli argomenti che caratterizzano questa tesi sono oggetto di trattazione da parte della letteratura scientifica specializzata. In particolar modo quasi tutte le pubblicazioni trattano le valutazioni di impatto ambientale ed economico di sistemi di energia rinnovabile (il fotovoltaico in questo caso) su comunità remote o rurali di Paesi in Via di Sviluppo come l'India o l'Africa.

Numerosi studi riguardano l'efficienza economica di sistemi integrati (sistemi di energia rinnovabili abbinati a generatori alimentati con diesel ed in certi casi con biomassa) confrontandoli con i sistemi convenzionali ad energia fossile.

Il progetto RAMseS (*Renewable Energy Agricultural Multipurpose System for Farmers*) presenta due tipi di innovazioni che questa ricerca ha valutato:

1- Lo sviluppo e l'uso di un veicolo elettrico multifunzionale per l'agricoltura (che possiamo chiamare trattore elettrico);

2- L'integrazione di tre differenti tecnologie in modo da rendere più sostenibile l'azienda agraria: fotovoltaico per la produzione di energia elettrica per autoconsumo; l'uso duale delle batterie per lo stoccaggio dell'energia prodotta (caso del sistema *Stand Alone*) e per la trazione del veicolo elettrico ed infine il veicolo elettrico per numerosi usi.

Per quanto riguarda le batterie, la maggior parte della letteratura considera l'aspetto del impatto ambientale o della loro utilità in quanto sistemi di stoccaggio.

La letteratura di riferimento relativa ai veicoli elettrici (Funk et al. 1999; Delucchi et al. 2001; Granovskii et al. 2006; Jeong et al. 2001) considera soprattutto la valutazione ambientale ed economica delle varie tecnologie moderne presenti sul mercato (elettrici, ibridi, *fuel-cell*, e biocarburante) di uso urbano comparandoli a quelli convenzionali (a motore endotermico). Tuttavia a parte gli attuali pochi lavori relativi ai trattori alimentati con biodiesel o etanolo, non esistono ricerche o studi relativi a trattori agricoli identiche per caratteristiche tecniche e di prestazione simili a quelle del veicolo multifunzionale RAMseS.

Infine, questo capitolo prende in considerazione l'importanza del paradigma agrienergetico (produzione di energia dall'agricoltura) in quanto espansione del concetto di agricoltura che tiene conto delle nuove tecnologie sviluppate negli ultimi anni per sfruttare l'energia solare in modo più efficiente di quanto l'agricoltura

tradizionale, legata al processo fotosintetico, possa fare. Secondo Bardi (2004), il paradigma agrienergetico ha molti vantaggi immediati, fra le altre cose rappresentando un concreto sostegno all'agricoltura nel fatto di produrre un reddito addizionale agli agricoltori: Crea posti di lavoro, rivitalizza l'economia, combatte l'erosione del territorio, riduce la dipendenza da combustibili fossili importati, non genera gas serra e lavora in favore del trattato di Kyoto.

A parte questi vantaggi a breve termine, il concetto ci porta a un tipo di economia sostanzialmente diverso da quello a cui siamo abituati, libero dai cicli di crescita e collasso che sono tipici delle risorse minerarie fossili. Un'economia di tipo agricolo non è necessariamente meno ricca, ma è sostanzialmente diversa perché tende ad assestarsi su un valore stabile del prodotto economico, limitata dalla disponibilità pratica di territorio sfruttabile. In altre parole, questo tipo di economia non è legata alla necessità di una continua e insostenibile crescita che è invece il paradigma essenziale dell'economia attuale.

3.1 La Multifunzionalità e la Produzione di Energia in Agricoltura

E' con la riforma di medio termine della Politica Agricola Comunitaria (PAC) che si creano i presupposti per realizzare i nuovi orientamenti in materia di Sviluppo Rurale, presenti in Agenda 2000. Tali presupposti si sostanziano in un ripensamento complessivo delle politiche di sviluppo rurale attraverso la formazione di una nuova regolamentazione di tali politiche (Reg. CE 1698/2005), che prevede l'adozione di misure innovative a fianco di quelle preesistenti, in tutto o in parte adottate ai nuovi orientamenti che l'Unione Europea intende perseguire.

La multifunzionalità dell'agricoltura rappresenta una delle chiavi strategiche di valorizzazione e sviluppo del settore. Secondo l'Unione europea, il termine multifunzionalità illustra "il nesso fondamentale tra agricoltura sostenibile, sicurezza alimentare, equilibrio territoriale, conservazione del paesaggio e dell'ambiente, nonché garanzia dell'approvvigionamento alimentare". Nel recepire il concetto di agricoltura multifunzionale, la "legge di orientamento" delinea un'impresa agraria che, pur restando ancorata al settore agricolo, può realizzare attività che sconfinano nei settori industriale e/o terziario: l'impresa che gestisce un'azienda agraria multifunzionale può cessare di essere "mono - settoriale" e diventare "multi-settoriale". In tal senso, la multifunzionalità viene vista oggi dal settore agricolo come una opportunità economica per le aziende.

Da un punto di vista normativo, la legge di orientamento e di modernizzazione del settore agricolo (*L.n. 55 del 5 marzo 2001*), sancisce, nel nostro paese, la nascita della multifunzionalità dell'impresa agricola. Si tratta di un passaggio estremamente importante perché alla funzione storica dell'agricoltura che è quella di produrre beni alimentari viene riconosciuta la possibilità di svolgere altre funzioni sia in termini di diversificazione produttiva che di fornitura di servizi (la Vazzana ti direbbe che è più importante il cibo).. Si affaccia così all'orizzonte, una nuova figura imprenditoriale non più inserita solo in un contesto economico e sociale ma anche in un contesto territoriale con compiti di presidio, tutela e valorizzazione delle risorse ambientali e culturali. Molte sono le possibilità concrete che l'azienda agricola può sviluppare per integrare il suo reddito, alcune ormai consolidate come l'agriturismo, altre da sviluppare come la manutenzione del territorio, l'artigianato rurale, per arrivare sino alle nuove frontiere della multifunzionalità rappresentate dalla didattica rurale e dalla produzione di energia.

Janssen et al.(anno) hanno preso in esame i vari modelli "bio-economici" chiamati BEFMs che permettono di valutare le nuove scelte in materia di politiche agricole e gli effetti dell'introduzione delle innovazioni tecnologiche in categorie specifiche di aziende agricole ed in tutta Europa. Lo studio ha portato verso la definizione di una serie di azioni di ricerca in diversi settori socio-economici ed ambientali del mondo agricolo prendendo in considerazione il ruolo della multifunzionalità in agricoltura e l'effetto dell'introduzione delle tecnologie di produzione di energia rinnovabile.

Le energie rinnovabili possono diventare un'interessante opportunità di reddito per l'azienda agricola. Infatti, attraverso colture specifiche, biomasse agroforestali, residui derivanti dalle attività zootecniche, pannelli solari (fotovoltaici) ed eolici è possibile produrre energia elettrica, calore o biocombustibili. Quella che si potrebbe prefigurare è un'azienda agrienergetica, cioè produttrice di fonti energetiche da destinare sia alla sua autosufficienza energetica che da destinare al mercato.

3.2 Agrienergia – Nuovo Paradigma

Il tema dell'Energia come nuova forma di Multifunzionalità dell'azienda agricola è strettamente collegato all'agrienergia; entrambi sono dei temi nuovi da esplorarne le potenzialità. E' nel sovrapporsi di crisi energetica, crisi agricola, crisi ambientale ed ultimamente crisi finanziaria che nasce la possibilità dell'agrienergia. E' opinione diffusa che nel medio - lungo periodo vi sia un rapporto diretto, e reciprocamente conveniente, tra agricoltura "alimentare" (Food: cibo e energia) e agricoltura "non alimentare" (No Food: Energia e Ambiente) sia da un punto di vista economico che sociale. Attualmente il mercato delle commodities alimentari è fortemente caratterizzato da consistenti incrementi della domanda mondiale, ma la risolta riduzione degli stock alimentari attraverso i recenti e abbondanti raccolti cerealicoli, ha permesso un "rientro" delle passate impennate dei prezzi, che si stanno già riallineando su livelli molto più modesti di quelli praticati alcuni mesi (Atena, 2008). Con il paradigma Agrienergetico si intende introdurre una risorsa in più su cui investire in agricoltura, con maggiore garanzia di reddito ed a lunga durata, sia per i positivi risultati economici che per quelli ambientali.

La letteratura riferisce numerosi studi di valutazione economica e ambientale dell'introduzione delle FER, in particolare il fotovoltaico, in aree rurali particolarmente svantaggiate dell'India, della Cina o di altre zone dei paesi in via di sviluppo. Inoltre molti altri lavori si concentrano sulla importanza delle biomasse si legnose per la produzione di calore, che erbacee in particolare per la produzione di biocombustibili. Lo scopo finale di questi lavori era di dimostrare come queste tecnologie fossero capaci di fornire energia ai villaggi remoti ed isolati oppure a quelle non collegate alla rete; per quanto riguarda invece le biomasse, molti studi danno delle indicazioni interessanti delle biomasse legnose coltivate nelle aree adibite o da adibire al *set - aside*. I biocombustibili invece rappresentano un settore a se e sono visti come il vero sostituto del Petrolio, tuttavia i tecnici e gli scienziati del settore sono molto divisi sulla eticità, convenienza economica e ambientale di tale scelta.

Secondo Bardi (2004), per millenni, l'agricoltura è stata il motore economico e il fulcro stesso della civiltà. La situazione si è radicalmente modificata negli ultimi secoli in quanto l'agricoltura è spesso diventata un'appendice un po' arretrata del mondo industriale. I prodotti agricoli sono oggi criticamente dipendenti dai combustibili fossili e dall'energia che se ne ricava per tutta una serie di esigenze che

includono fertilizzanti, trasporto, refrigerazione, eccetera. Tuttavia, con i recenti aumenti dei prezzi dei combustibili e con le preoccupazioni crescenti riguardo alla loro disponibilità nel medio lungo periodo, si pone il problema di come gestire le necessità di energia del mondo agricolo mantenendo l'attuale produzione e il concetto stesso di mondo rurale. Si pone, ovvero, sempre di più la questione "sostenibilità." Una possibile risposta è già stata data con il concetto di "agricoltura biologica". Tuttavia, sono possibili anche altre strategie complementari per sostenere l'agricoltura che si basano sulle energie rinnovabili.

Le energie rinnovabili possono fornire energia per le attività agricole e, allo stesso tempo essere considerate un prodotto agricolo esse stesse, fornendo reddito per il mondo rurale. In questo senso, la produzione di energia elettrica da aree agricole rappresenta una nuova forma di agricoltura ("agrienergia") che si inserisce comunque nel concetto storico generale di "agricoltura" in termini socioeconomici, ovvero la produzione di beni economici su aree rurali che vengono poi esportati nelle città.

Anche MacDiarmid (2006) vede nelle energie rinnovabili in agricoltura (agrienergia) come un bene per l'agricoltura stessa e per eliminare la dipendenza dal petrolio, carne, gas naturale ed altri combustibili fossili. Il suo approccio tuttavia si concentra sull'importanza dei biocarburanti. E' molto importante ricordarsi che nel prossimo futuro, molte forme diverse di fonti di energia rinnovabile (FER) saranno sfruttate dai diversi Paesi a seconda del clima, della geografia, delle condizioni del suolo e delle scelte politiche dei governi. I fattori economici sono molto importanti quando si cercano o si cercheranno forme alternative di energia diversa da quella fossile. Infatti attualmente l'uso di forme alternative di energia e di FER dipende notevolmente dai prezzi del petrolio, del carbone e del gas naturale, e da fattori sociali come l'ambiente, le guerre ed il terrorismo, le catastrofi naturali, ecc. Attualmente il costo internazionale del Petrolio oscilla tra i 65 e 75\$/barile: se tale prezzo dovesse ritornare ai valori antecedenti il periodo 2005 – 2006 cioè quando il prezzo era di circa 40\$/barile, l'interesse o la domanda per le altre fonti di energia in particolare le FER diminuirebbe. Mentre qualora tale prezzo dovesse superare i valori attuali o addirittura superare i valori di prezzo del Settembre 2008 (circa 140 – 160 \$/barile) l'interesse e quindi la domanda di fonti alternative e di FER crescerebbe in maniera notevole, in quanto maggiore è il costo del petrolio maggiore sarà la convenienza nell'investire in nuove forme energetiche rinnovabili e non inquinanti.

3.2.1 Il Bilancio Energetico in Agricoltura

Secondo Bardi (2004) l'economia umana si è basata sempre quasi esclusivamente sulle risorse agricole. Le cose sono radicalmente cambiate negli ultimi due secoli, circa, quando il fulcro dell'economia si è spostato su un altro tipo di risorse: i combustibili fossili; prima il carbone e poi il petrolio e il gas naturale. La differenza fra un'economia basata sull'agricoltura e un'economia basata su risorse minerarie non è tanto una questione tecnologica quanto una questione di carattere economico.

La curva di produzione di una risorsa minerale, non riciclabile, ha una forma "a campana," ovvero comincia con una fase di espansione, passa attraverso un picco e poi declina fino a raggiungere zero. Questo comportamento è dovuto alla combinazione di fattori tecnologici e economici. In particolare, il graduale esaurimento delle risorse "facili" costringe gli operatori a investimenti sempre crescenti per accedere a risorse sempre più costose. A lungo andare, gli investimenti non sono più sostenibili e la produzione crolla. In contrasto, l'andamento della produzione agricola ha, almeno in principio, la forma di una "s" (Figura 1). Ovvero, la produzione è basata sull'energia solare che non è esauribile e pertanto si stabilizza su un valore costante una volta che tutta la superficie disponibile è stata sfruttata (ASPO, 2004; Hubbert, 1964).

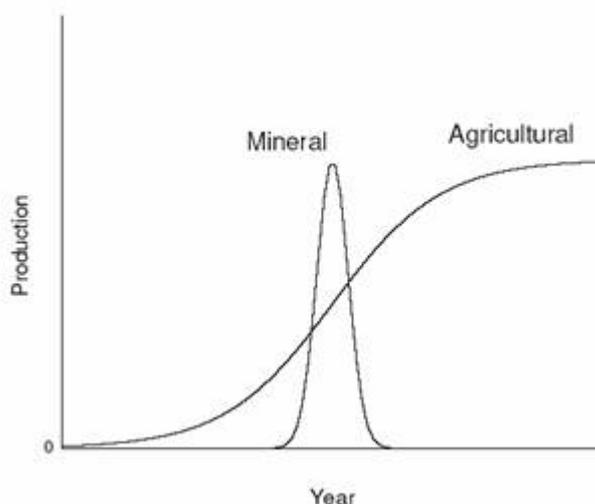


Figura 1 - Curve confronto minerali agricoltura

Nel breve periodo, l'apparente abbondanza della produzione mineraria fa sì che questa appaia preferibile all'approccio agricolo. A lungo andare, tuttavia, la ricchezza che deriva dalle risorse minerarie si rivela effimera. Molto dell'attuale dibattito sull'esaurimento dei combustibili fossili è centrato sulla data esatta del

picco di produzione, che alcuni autori vedono entro il primo decennio del ventunesimo secolo (Bardi, 2004) mentre altri autori lo post-pongono a qualche decennio più tardi. Ma qualche decennio in più o in meno non fa grande differenza, come illustrato nella figura 2. Il picco per i combustibili fossili rappresentato da un diagramma in scala, nella figura 2, secondo le proiezioni dell'associazione ASPO (www.peakoil.net).

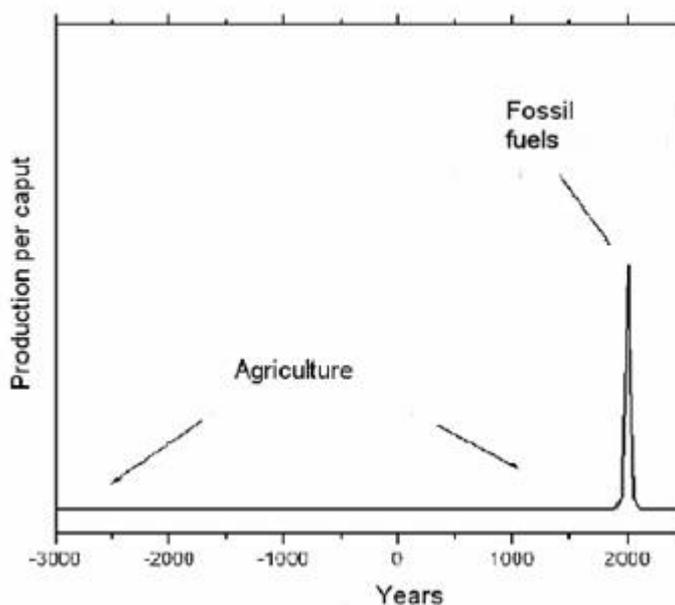


Figura 2 - Proiezioni combustibili fossili (fonte ASPO Italia)

L'agricoltura è un esempio di tecnologia "solare diretta" nel senso che utilizza direttamente il flusso di energia solare che arriva sulla superficie terrestre. La biomassa prodotta dall'agricoltura può essere vista come una forma di energia che può essere utilizzata per sostenere il metabolismo umano oppure bruciata per fornire calore, trazione e energia elettrica. Altri metodi diretti recentemente sviluppati per trasformare l'energia solare in energia utilizzabile (in questo caso, energia elettrica) sono le celle fotovoltaiche e gli impianti solari a concentrazione (detti anche di tipo "solare termodinamico"). Esistono anche metodi che possiamo definire come "indiretti", ovvero tutti quei metodi che sfruttano l'effetto di riscaldamento dell'energia solare sull'atmosfera o sugli oceani; fra questi l'energia eolica e quella idraulica.

La produzione attuale di energia può essere considerata come un "ordine di grandezza" ragionevole per una stima delle future necessità energetiche. Il parametro di produzione da considerare è quello denominato "Consumo totale finale" (TFC) che è, al momento attuale pari a $8,4 \times 10^7$ GWh/anno (IEA, 2001).

Questo valore non include la richiesta metabolica umana, che è comunque inferiore di oltre un fattore $10,5 \times 10^6$ GWh/anno (Tiezzi, 2001). La frazione del TFC in forma di energia elettrica è circa 1×10^7 GWh/anno. Gli stati che fanno parte dell'organizzazione per lo sviluppo e la cooperazione economica (OCSE) utilizzano il 53.5% dell'energia totale prodotta (IEA, 2001) con una popolazione che rappresenta il 17% del totale mondiale.

La quantità di energia solare che raggiunge la terra è di 1×10^{12} GWh/anno (Bardi, 2004), un valore oltre 10.000 volte superiore al valore attuale del TFC. La frazione di questa energia che raggiunge la superficie continentale è circa 3×10^{11} GWh/anno. In aggiunta a questi valori, possiamo stimare l'energia del vento generata dall'irradiazione solare come circa il 2% dell'energia solare totale che arriva sulla terra, vale a dire circa 2×10^{10} GWh/anno (Bardi, 2004).

Questi dati sono elencati nella tavola (Tabella 1) seguente, insieme con altri dati per comparazione: l'ammontare totale di biomassa prodotto ogni anno sul pianeta, circa 2×10^{11} tonnellate/anno, o 1×10^9 GWh/anno e la richiesta metabolica umana totale (Tiezzi, 2001).

Tipo di Energia	GWh/anno
Richiesta metabolica umana totale	5×10^6
Potenza elettrica mondiale generata	1×10^7
Totale consumo finale di energia (TFC)	8×10^7
Ammontare totale di biomassa prodotta	1×10^9
Energia solare che arriva sulla superficie emersa	2×10^{11}
Energia solare che arriva sulla superficie totale	1×10^{12}

Tabella 1 - Valori energetici annuali

La quantità di energia solare che arriva sulla terra è molto abbondante rispetto alle necessità umane, per lo meno di un fattore 10 mila volte. Per comparare i vari tipi di energia si può semplicemente assumere che tutta l'energia prodotta sia considerata sottoforma di energia elettrica oppure in energia trasformabile in energia elettrica (Pimentel et al., 1994).

A partire da queste considerazioni, è possibile calcolare la frazione di area necessaria per generare energia mediante tecnologie rinnovabili. La radiazione solare in aree popolate del pianeta va da un minimo di ca. 900 kWh/m²/anno (es. Europa del Nord) fino a valori dell'ordine di 2200 kWh/m²/anno nelle regioni

subtropicali. Un valore medio approssimato si può prendere come circa 1500 kWh/m²/anno, oppure 1200 kWh/m²/anno per le regioni OCSE.

I pannelli fotovoltaici commerciali hanno oggi un'efficienza superiore al 10%. Sistemi sperimentali e sistemi a concentrazione hanno efficienze anche molto migliori. L'efficienza con la quale questi sistemi producono energia per l'utente finale con un'efficienza intorno al 5%-10%. In latitudini di media irradiazione (1200 kWh/m²/anno) l'utente finale può ricevere circa 60-120kWh/m²/anno. Come ordine di grandezza, il valore medio di 100 kWh/m²/anno si può considerare come ragionevole.

Nel caso delle tecnologie indirette, non si può parlare di uso di area come nel caso del fotovoltaico. Le turbine eoliche devono essere distribuite a una certa distanza l'una dall'altra, ma la maggior parte del terreno occupato rimane disponibile per l'agricoltura. L'"impronta" di una turbina eolica, ovvero l'area fisicamente occupata può essere stimata come circa un fattore circa 100 volte minore di quella utilizzata da pannelli fotovoltaici della stessa potenza.

Infine, la biomassa è relativamente inefficiente come tecnologia di conversione della radiazione solare. Il limite superiore dell'efficienza della fotosintesi è stimato come 6% da Tiezzi (2001) e come 4.5% da Patzek (in Bardi, 2004). Nella pratica, l'efficienza di conversione delle piante è molto minore. Dai dati della tabella 1 si può calcolare che l' "efficienza planetaria" della conversione è circa 0.1%. In certi casi, come per esempio per le foreste tropicali, alcuni studi riportano efficienze superiori all'1% (Bardi, 2004) ma le coltivazioni umane hanno valori molto minori e spesso hanno bisogno di considerevoli apporti di energia fossile nella forma di fertilizzanti. Tenendo presente che l'energia solare trasformata in biomassa deve essere ulteriormente trasformata in energia elettrica per mezzo di una macchina termica, l'efficienza globale si può prendere come circa lo 0.1%.

Un ulteriore elemento da considerare è il "ritorno energetico" (*Energy Payback Ratio*, EPR) di una tecnologia rinnovabile, ovvero il rapporto fra la quantità di energia prodotta dall'impianto durante la sua vita utile e la quantità necessaria per costruirlo e mantenerlo. Secondo i dati di letteratura (Swenson, 2000; White et al., 2000) tutte le tecnologie rinnovabili hanno valori abbondantemente positivi del parametro EPR con l'eccezione di certi tipi di biomasse come l'Etanolo (Pimentel,

1991) per i quali il valore, anche se positivo, è troppo basso per poter considerare la produzione conveniente dal punto di vista energetico.

L'ultimo parametro importante considerato in letteratura è la necessità di immagazzinare l'energia prodotta dagli impianti rinnovabili, che è spesso intermittente e difficilmente prevedibile. Al momento attuale, l'energia prodotta viene accomodata dalla rete di produzione generale che riesce a gestirla fino a valori del 20% o anche superiori. Tuttavia, per una diffusione su larga scala delle rinnovabili, sarà necessario utilizzare tecnologie di immagazzinamento. Esistono molti metodi di questo tipo, la maggior parte ancora allo stadio di ricerca e sviluppo.

Dunque sulla base dei dati sopra esposti, è possibile stimare l'area necessaria, per i vari tipi di tecnologie, per produrre un certo ammontare di energia (Tabella 2).

Tecnologia	Efficienza di conversione = rapporto fra energia solare incidente energia elettrica prodotta	Energia prodotta per area fisicamente occupata per un'irradiazione solare di 1200 kWh/m²/anno (kWh/m²/year)
Biomassa	~ 0.1%	~1
Solare diretto (fotovoltaico)	5%-10%	~ 100
Solare indiretto (eolico)	n. a.	~ 10000 (solo in aree adatte)

Tabella 2 - Stima dell'area necessaria per la produzione di una certa quantità di energia

I valori ottenuti possono essere utilizzati per stimare l'area necessaria per generare quantità di energia comparabili all'uso attuale. Secondo numerosi studi (Wolf et al, 2003; FAO, 2004 e Pimentel, 1991), l'area utilizzata per l'agricoltura sul pianeta è di circa 50 milioni di Km². A partire da questo dato possiamo stimare quale frazione di questo territorio sarebbe necessaria per produrre 1) il valore attuale dell'energia elettrica prodotta e 2) il valore totale dell'energia consumata (TFC) – Tabella 3.

Tipo di Tecnologia	Area necessaria, percentuale del totale utilizzato per la produzione alimentare (50x10⁶ Km²)	
	Obiettivo 1 Energia equivalente all'attuale produzione mondiale di energia elettrica (1x10 ⁷ GWh/year)	Obiettivo 2 Energia equivalente all'attuale produzione energetica totale (TFC) mondiale (8x10 ⁷ GWh/year)
BIOMASSA	21%	>100%
SOLARE DIRETTO (Fotovoltaico)	0.2%	1.5%
SOLARE INDIRETTO (eolico o altro)	0.003%	0.03%

Tabella 3 - Area necessaria per la produzione alimentare

Questi valori sono, evidentemente, solo degli ordini di grandezza, ma indicano comunque come la frazione di territorio necessaria per generare queste grandi quantità di energia sia nel complesso molto piccola rispetto all'uso del territorio per la produzione alimentare.

Questo risultato è in accordo con altre stime riportate nella letteratura (IEA, 2003). L'impatto delle energie rinnovabili su larga scala sarebbe dunque molto inferiore a quello, per esempio, della degradazione del suolo causata dall'agricoltura intensiva e probabilmente anche inferiore alla frazione di area utilizzata oggi per strutture permanenti (Bardi, 2004).

In conclusione si può notare anche come l'energia rinnovabile potrebbe consentire, in agricoltura, una produzione energetica anche superiore a quella dovuta all'uso dei fossili senza peraltro richiedere frazioni di area tali da danneggiare la produzione alimentare.

3.2.2 Il Bilancio Energetico in Viticoltura

A livello mondiale, la quantità di energia consumata durante la produzione globale del vino è immensa. Si stima che nel 2005, circa 7.876.000 ha di terreno nel mondo erano coltivati a viti, che hanno prodotto 66 milioni di tonnellate di uva delle quali 40.2 milioni di tonnellate erano state utilizzate per la produzione di vino, producendo più di 286 milioni di ettolitri (Anon, 2006). Jones (2004) ha determinato che 2.618 GJ di energia era necessaria per la trasformazione di 1 tonnellata di uva in vino: 1.063 GJ/T nella produzione dell'uva e 1.555 GJ/T per la produzione del vino.

L'utilizzo dell'energia nell'ambito dell'industria viticola avviene sotto tre forme: energia elettrica fornita direttamente dalla rete o in certi casi da generatori diesel, carburanti per macchine o motori stazionari (in uso soprattutto nelle cantine, per l'irrigazione, la protezione contro le gelate improvvise, ...) e carburanti per il trasporto del prodotto dal campo alla cantina dell'azienda stessa o fuori dall'azienda. Il costo ambientale globale in termini di emissioni gassose di tutti i processi energetici è di 153 kgCO₂/T per la viticoltura e di 235 kgCO₂/T per la produzione del vino (Jones, 2004) per l'anno in esame del 2005 è 15.6 milioni di tonnellate di CO₂.

L'energia utilizzata nei vigneti contribuisce con 6.150.600 di tonnellate di CO₂, mentre l'energia utilizzata in cantina contribuisce con 9.447.000 di tonnellate di CO₂

emessa nell'atmosfera. Questa rappresenta una media di 0.41 kg di CO₂ per ogni bottiglia prodotta. Tuttavia, tenendo conto della produzione per bottiglia e del trasporto, Colman e Păster (2007) hanno stimato che l'impronta totale (footprint) di carbonio prodotto da ciascuna bottiglia di vino, rappresenta in media 2 kg di CO₂ emesso/bottiglia per un totale di emissioni dovuti all'industria del vino pari a 76.3 milioni di tonnellate di CO.

L'uso dell'energia solare nell'industria vitivinicola non è un concetto nuovo. Ma negli ultimi decenni l'industria è diventata fortemente meccanizzata e dipendente dai combustibili fossili. A causa delle preoccupazioni riguardo al riscaldamento globale e alla crisi energetica, sembra che diversi produttori vitivinicoli o anche responsabili politici - amministrativi del settore rendendo prendano atto dei benefici che scaturiscono dall'utilizzo dell'energia solare. Il risparmio energetico in viticoltura non è solo compatibile con l'ambiente, ma può produrre significativi benefici economici, per non parlare dell'immagine positiva ritratta con l'installazione di sistemi solari.

In base ad un'analisi del settore del "Champagne" francese (Smith 2004) l'introduzione delle energie rinnovabili potrebbe ridurre le emissioni di CO₂ del 20% - 30% nei prossimi 10 anni..

3.3 Il Fotovoltaico in Agricoltura

L'energia offre un importante contributo nel fornire alle persone le loro necessità e servizi basilari, come la preparazione degli alimenti, il rifornimento di acqua, l'illuminazione, I servizi per la salute, la comunicazione e l'istruzione. L'Energia è anche un importante input per il miglioramento della produzione agricola e la sicurezza alimentare, mediante la preparazione del terreno, la fertilizzazione, l'irrigazione, le trasformazioni agro-alimentari e la loro conservazione e il trasporto. In molte aree rurali e soprattutto nei Paesi in via di sviluppo, le necessità energetiche sono, tuttora, prevalentemente rifornite sotto forma di combustibili fossili, biocarburante, e nelle zone caratterizzate da povertà critica di lavoro umano e/o animale. Tale scenario limita numerose popolazioni rurali, soprattutto quelle delle aree marginali e con servizi molto limitati o scarsi, impedendole di migliorare la loro produttività agricola ed il loro tenore di vita.

I sistemi solari, in particolare i sistemi fotovoltaici hanno dimostrato il loro potenziale in numerosi progetti di elettrificazione rurale di tutto il mondo, in particolare l'elettrificazione delle case. Con la continua diminuzione del prezzo dei sistemi fotovoltaici, altre applicazioni si stanno dimostrando economicamente più interessanti; e maggiori esperienze sono state acquisite con l'utilizzo del FV negli ambiti dei servizi sociali, comunali, agricoli ed in alter attività produttive, che potrebbero presentar un impatto significativo sullo sviluppo rurale (van Campen et al., 2000).

I sistemi FV hanno spesso dimostrato di essere le soluzioni le più efficaci dal punto di vista dei costi anche per migliorare la qualità dei servizi energetici delle aree remote, svantaggiate e magari non collegate alla rete elettrica nazionale. Ed è attraverso questi servizi che tali sistemi presentano un impatto indicativo sulla qualità di vita di tutti quelli che vivono fuori dalle zone urbane.

E' stato largamente dimostrato (citare qualche esperienza) che l'installazione, la manutenzione di sistemi FV e la vendita di elettricità prodotta dal FV contribuisce allo sviluppo rurale in quanto porta alla creazione di nuovi posti di lavoro (installatori, fornitori, piccoli artigiani, ...).

E' da qualche anno ormai che gli impianti FV sono sempre più utilizzati per le applicazioni energetiche in agricoltura. Alcune di queste esperienze, ad esempio per l'abbeveraggio del bestiame, e il controllo delle recinzioni elettriche sono già presenti sul mercato. Altre come sistemi di controllo degli impianti d'irrigazione a goccia si stanno affermando sul mercato come prodotti di nicchia. Altre applicazioni

interessanti si ritrovano nelle operazioni di controllo dei parassiti, nell'aereazione e il pompaggio in acquacoltura, nell'illuminazione dei pollai, ecc.

Numerosi studi e simulazioni hanno dimostrato, infine, l'importanza dell'integrazione di un sistema FV ad un motore diesel già presente oppure ad un generatore eolico; queste applicazioni comportano un'evidente diminuzione dei costi di gestione soprattutto in quelle aziende agricole che presentano un consumo elevato di energia, (i vivai, le aziende vitivinicole, gli allevamenti zootecnici, ecc.).

Dunque, la produzione di energia fotovoltaica può rappresentare una attività che va ad integrare le varie funzioni dell'agricoltura. L'agricoltura è infatti considerata come un'attività economica multifunzionale, caratterizzata dalla produzione di un insieme complesso di funzioni aventi valenza economica, sociale e ambientale, che sono riconosciute dalla collettività come proprie dell'agricoltura (Idda, 2002). Fra queste funzioni troviamo quelle tradizionali che hanno un mercato, come la produzione di derrate alimentari, ma anche quelle che non rientrano nei meccanismi di mercato, come la tutela del paesaggio, dell'ambiente o in alcuni casi anche la difesa idrogeologica del suolo.

Le funzioni dell'agricoltura vengono riconosciute da una società a seconda del suo livello socio-economico, culturale, e della sua sensibilità: sono quindi soggette a un certo dinamismo a seconda dell'evoluzione di un Paese (Casini, 2003, Lombardini, 2007). Seguendo questo ragionamento possiamo considerare la produzione di energia fotovoltaica come una nuova funzione dell'agricoltura, esiste infatti una certa analogia tra la produzione agricola e la produzione di energia FV: in entrambi i casi si utilizzano il territorio e la radiazione solare (Coiante, 1990). Il sistema agricolo può rappresentare la chiave di svolta per un nuovo riconoscimento del sistema FV come produttore di "agrienergia" con tutte le conseguenze positive sia per l'agricoltura che per l'affermazione dei sistemi FV.

3.3.1 Le Potenzialità dell'Energia Fotovoltaica nella Vitivinicoltura

La viticoltura e la produzione di vino sono pratiche che dipendono fortemente dalle condizioni climatiche e ambientali. Ogni cambiamento nelle stagioni, della loro durata, delle medie delle locali temperature massime e minime, gelate improvvise, e accumuli di calore possono avere impatti maggiori sulla crescita dei vigneti, la produzione vitivinicola e sulla qualità del vino.

In una ricerca di Pool (1980) la quantità di carburante diesel utilizzato nella viticoltura USA è stata analizzata nella Central Valley California (per i vigneti irrigati) e nella Northern Coastal California (per i vitigni non irrigati). E' stato determinato che

la quantità di diesel richiesta per le diverse lavorazioni in campo per ettaro per anno era di 326 litri, 508 litri, 364 litri e 591 litri rispettivamente.

Baldi et al. (1989) hanno analizzato i consumi energetici nell'ambito della viticoltura Toscana mediante la determinazione dei flussi di energia in viticoltura, su un periodo di 3 anni presso 3 aziende agricole Toscane. La dimensione delle aziende analizzate erano di 4.6 ha, 28 ha, 60 ha, 178 ha e 514 ha. Queste richiedevano, rispettivamente, un input annuale di carburante diesel di 331 litri/ha, 217 litri/ha, 233 litri/ha, 168 litri/ha e 132 litri/ha. Il consumo medio annuale per le 5 aziende investigate, è stato calcolato pari a 219 litri/ha.

Secondo Abbona et al. (2007) i carburanti rappresentano da 65% a 69% dell'input energetico totale per la viticoltura a Berisso in Argentina, dove sono richiesti 956 litri/ha all'anno.

Smyth e Russell (2009) hanno dimostrato che a causa degli effetti negativi dei cambiamenti climatici (in particolare del riscaldamento globale) e della elevata domanda energetica, la viticoltura dovrebbe essere all'avanguardia nella introduzione delle tecnologie rinnovabili in particolar modo della tecnologia fotovoltaica e dell'efficienza energetica. L'energia dal sole (elettrica o termica) offre numerose soluzioni complementari applicabili in quasi tutti i processi di viticoltura, di produzione del vino fino al trasporto del prodotto entro l'azienda e verso i mercati. Sempre secondo Smyth e Russell (2009) non esiste alcun dubbio del fatto che l'energia solare sfruttata sotto forma di veicoli alimentati da energia fotovoltaica comporti dei vantaggi sia dal punto di vista ambientale che economico all'intera filiera della produzione dell'uva e del vino. Nella coltivazione della vite sono molti processi che possono sfruttare la frazione attiva dell'energia solare:

- La preparazione del suolo (ad esempio aratura, erpicatura) e del trapianto delle talee richiedono input energetici significativi per l'uso di grosse macchine agricole e di altro equipaggiamento meccanico;
- Le fasi di crescita vegetativa in particolare durante il controllo delle infestanti (diserbo), dell'irrigazione, della lotta ai parassiti
- Nella protezione dalle gelate improvvise
- Nella raccolta dell'uva ed il suo trasporto verso le cantine
- Durante le fasi di manutenzione del vigneto
- Durante quasi tutti i processi enologici
- Nel lavaggio e preparazione delle bottiglie fino all'imbottigliamento, etichettatura e movimentazione dei prodotti entro l'azienda.

3.4 Le Energie Rinnovabili e la trazione elettrica agricola

Il piano SET (Strategic Energy Technology Plan) della Commissione Europea, ha delineato il quadro politico globale messo in atto dalla Unione Europea per affrontare i problemi del cambiamento climatico, in particolare il riscaldamento globale e raggiungere gli obiettivi energetici per il 2020 attraverso lo sviluppo di una economia a bassa emissione di carbonio che dovrebbe portare ad una riduzione dell'80% delle emissioni di anidride carbonica (ed altri gas serra) rispetto ai livelli del 1990 e l'introduzione ed il trasferimento di nuove tecnologie di energia rinnovabile. Secondo Stout e McKiemen (1992), Wenham et al (2007), Fischer et al, 2009, e Werber et al 2009, una delle tante soluzioni per la riduzione delle emissioni dei gas serra, è l'introduzione dei veicoli elettrici alimentati a batterie (VEM) a sostituzione dei veicoli convenzionali con motori a combustione interna (VCCI); come nuova fonte di trazione pulita e sostenibile e sistema di promozione dell'efficienza energetica riducendo le emissioni di carbonio da parte del settore del trasporto e fornendo una sorgente alternativa del combustibile richiesto visto che le forniture di combustibili fossili sono limitate. Secondo il rapporto della UE sul trasporto (2009) nell'Unione Europea, il settore del trasporto è stato responsabile della emissione di 992,3 tonnellate di CO₂ nel 2006.

Ricerche passate hanno trovato che attualmente l'utilizzo più appropriato di fonti di energia rinnovabile (FER) è proprio nelle aree remote (montagne, isole, aree agricole a sud del Mediterraneo, ...) dove il prezzo del gasolio è elevato, le forniture sono problematiche e la rete locale è inaffidabile o inesistente (Wenham et al (2007) e Nouni et al (2008)). Secondo Faidley (1992) gli attuali veicoli agricoli sono alimentati con diesel (contenuto energetico è di 38 MJlitro⁻¹) la cui combustione è associata a numerosi problemi di tipo ambientale, quindi economici e politici.

Newnham e Baldsing (2004) hanno dimostrato che nelle aree remote, sistemi energetici rinnovabili sono tipicamente utilizzati come sistemi "stand alone" (non connessi alla rete) oppure come sistemi ibridi cioè combinati con generatori diesel per dare energia elettrica necessaria alle attività agricole: L'energia elettrica prodotta in eccesso è immagazzinata in batterie ed utilizzata successivamente per qualsiasi ulteriore attività agricola che richiede energia elettrica riducendo di conseguenza i tempi di utilizzo dei generatori diesel (con un netto risparmio in idrocarburi, diesel appunto).

Stout e Mc kieman (1992) hanno analizzato numerose fonti energetiche per l'alimentazione e la trazione di numerosi veicoli agricoli, mostrando che i VCCF o VCCI alimentati con diesel, possono convertire il 23% dell'energia contenuta nel diesel, considerando che l'efficienza di conversione elettrica nei VEM era dell'85%. E' stato stimato che i VEM possono coprire circa il 40% delle attività di trazione e trasporto nelle aziende agricole rispetto a quelle attualmente intraprese dai trattori a diesel.

L'efficienza di conversione del processo di trasformazione dell'energia potenziale immagazzinata nelle batterie e di quella presente nei carburanti, è stata comparata da Fisher et al. (2009): dato che i VCCI hanno maggiori perdite durante la conversione dell'energia chimica del combustibile fossile (diesel) in energia meccanica verso le ruote, è stato trovato che il "crossover range" (valore al di sotto del quale i veicoli elettrici hanno una densità energetica maggiore di quella dei veicoli diesel) era di 190 km per i VEB che usano le batterie al litio.

Shaahid e Elhadidy (2008) hanno realizzato l'analisi economica di un sistema ibrido, basato sulla combinazione di un impianto fotovoltaico da 4 kWp con relative batterie di stoccaggio e di un generatore diesel da 10 kW, per la fornitura di energia elettrica ad abitazioni in aree calde del mondo. Le loro simulazioni hanno dimostrato che tale sistema sfruttando per 3 ore l'energia immagazzinata nelle batterie è capace di fornire il 22% di energia elettrica.

3.5 Valutazioni Economiche e Finanziarie del Fotovoltaico

Gli obiettivi di un'analisi economica - finanziaria sono quelli di fornire le informazioni necessarie per poter dare un giudizio o una stima su una decisione o una scelta già presa o da intraprendere. L'analisi maggiormente completa di un investimento in una tecnologia o un progetto richiede una analisi di ogni anno di vita dell'investimento, prendendo in considerazione i relativi costi diretti, indiretti ed i costi generali, tasse, ed il *Return on Investments*, più le esternalità, come gli impatti ambientali che sono ormai rilevanti quando si intende attuare le decisioni prese.

Secondo Coiante (2004), a parità di efficienza di conversione, il costo del kWh fotovoltaico dipende in modo diretto dal costo di produzione dei moduli fotovoltaici. Questo a sua volta dipende dalla capacità industriale delle linee produttive, che sono dimensionate a fronte della domanda di mercato. In definitiva, il costo di produzione è funzione del volume di mercato. Se questo aumenta, il costo dei moduli fotovoltaici diminuisce per la legge di effetto di scala.

Esistono numerosi fattori che influenzano il costo di un sistema fotovoltaico (FV) e quindi la sua convenienza economica. Il primo è il costo dei combustibili fossili che rappresenta il parametro principale che influenza la convenienza economica di un impianto fotovoltaico. Bouzidi et al. (2009) hanno analizzato il costo del ciclo di vita (LCC) di sistemi di pompe fotovoltaiche, in Algeria. La loro analisi economica ha mostrato che nel mercato algerino, dove il prezzo del carburante è molto basso, i sistemi FV incontrano grosse difficoltà nel competere con le tecnologie convenzionali come ad esempio le pompe azionate da generatori o motori diesel.

Il LCC è il metodo più diffuso nella valutazione della sostenibilità finanziaria di un sistema (Purohit, 2007; Thomas, 2004; Odeh et al., 2006; Brandemuelh et al., 1979; Chandrasekas et al. 2005).

Esaminando il "*Levelized Cost of Energy*" (LCE)² residenziale di sistemi fotovoltaici in Bangladesh, Bhuiyan et al. (2000), hanno trovato che tale valore era all'incirca di 0,56 €/kWh. Dato che nel 2000, nel Bangladesh, il costo del carburante (benzina o diesel) per un generatore elettrico era pari a 0,28 €/litri, il LCE del carburante per il generatore è circa 0,65 €/kWh. Questi risultati sono in accordo con quelli di Nouni et

² LCE corrisponde al prezzo costante a cui occorre vendere l'energia prodotta per pareggiare l'investimento iniziale e i costi di funzionamento dell'impianto (elettrico, nucleare, solare, ecc.)

al. (2006) che hanno esaminato diversi sistemi FV installati in varie aree rurali dell'India con potenze variabili tra 1 e 25 kWp. L'analisi di tali sistemi ha dimostrato che il costo unitario dell'energia varia tra 0,42 e 0,87 €/kWh.

Il secondo fattore che influenza la resa economica degli impianti FV è la distanza dalla rete elettrica nazionale. Bhuiyan et al. (2000) hanno dimostrato che il costo di un'unità di energia (kWh) ottenuta dalla rete è maggiore a quello del kWh ottenuto da sistemi fotovoltaici, quando l'utente si trova a più di 1 km di distanza dalla rete stessa.

Un altro elemento principale che influenza la redditività dei sistemi fotovoltaici è il loro costo iniziale (o di investimento). Gli studi di Ayan et al (2003) hanno dimostrato che nel caso di un sistema integrato FV e un generatore diesel, con una riduzione del costo iniziale dei FV fino a 1,86 €/Wp il sistema potrebbe fornire la domanda di energia elettrica con maggiore profitto.

Koner et al. (2000) stimando e comparando il LCC energetico (Life-Cycle Energy Costs) di un impianto fotovoltaico e di un generatore diesel o benzina in un'area rurale dell'India, hanno trovato che nell'attuali condizioni di mercato, il costo di produzione dell'energia dal FV è inferiore o uguale a quello dell'energia elettrica prodotta dal generatore.

Infine, un ultimo fattore importante per la valutazione economica di un impianto fotovoltaico è il Pay Back Period (PBP), che è il tempo necessario ad un investimento di essere recuperato. Bakos et al. (2002), hanno eseguito una valutazione tecnica – economica di sistema fotovoltaico “Stand – Alone” (non collegato alla rete), con pannelli monocristallini, da 6,4 kWp installato presso un sito turistico in Grecia. I risultati ottenuti hanno dimostrato che il PBP di quel sistema è di 10,2 anni, senza l'ausilio di incentivi economici. Con un incentivo pari al 60%, il PBP scende a 4,1 anni. Anche Suwannakum et al. (2004) hanno effettuato la valutazione tecnica – economica di un sistema ibrido (FV – Generatore diesel o benzina) in un'area remota della Thailandia, dimostrando che il tempo di ritorno o PBP per i sistemi ibridi è di circa 7 anni, e che in conclusione l'installazione di sistemi di generazione di energia elettrica da fonte Fotovoltaica, con il supporto di un generatore diesel (in condizioni di cielo coperto) rappresenta un'alternativa economica molto attraente, soprattutto quando nei calcoli sono presi in considerazione i benefici ambientali ottenuti da tale sistema.

Daniele et al. (2008) hanno messo in evidenza un crescente interesse per la produzione di energia fotovoltaica sia a livello internazionale che nazionale, ed hanno evidenziato una convenienza economica, per le aziende agricole del centro Italia, ad investire in sistemi FV di piccole-medie dimensioni. Secondo tutti gli indicatori di convenienza utilizzati nel loro e considerando un arco temporale di 20 anni, l'investimento più conveniente esaminati risulta l'impianto da 10 kW in scambio sul posto. Gli impianti di medie dimensioni potrebbero essere particolarmente convenienti per quelle aziende agricole il cui costo per il consumo di energia elettrica incide significativamente sul bilancio. Un esempio può essere rappresentato dalle aziende vitivinicole che consumano energia elettrica per l'attività di vinificazione e raffreddamento dei tini e/o anche per l'attività agrituristica (Enerpoint, 2009).

Shaahid e El-Amin (2009) hanno realizzato una valutazione tecnico-economica di un sistema stand alone ibrido fotovoltaico-generatore diesel- batterie, per la produzione di energia elettrica sostenibile per alcune aree rurali dell'Arabia Saudita. Tale analisi è stata computa mediante l'applicazione del modello elettronico HOMER; dai risultati ottenuti gli autori hanno stimato che un sistema ibrido formato da un impianto fotovoltaico da 2,5 MWp, un generatore diesel da 4,5 MW (ossia 3 unità da 1,5 MW) ed un ora di stoccaggio in batteria, dovrebbe fornire il 27% del carico energetico richiesto, riducendo del 24% le emissioni di carbonio, rispetto ad un sistema che si basa soltanto sul diesel. Con un costo del diesel di 0,135 €/kWh, il costo di produzione di energia elettrica è stato stimato circa 0,23 €/kWh.

3.6. Valutazioni Tecniche, Economiche e Ambientali dei Veicoli Elettrici

Esiste un'ampia letteratura di riferimento riguardo la valutazione e la comparazione dei veicoli tradizionali con quelli alternativi (ibridi, biocarburanti, idrogeno, elettrici). La maggior parte degli approcci sono quelli del tipo LCA (Life Cycle Analysis, analisi del ciclo di vita) del singolo veicolo oppure l'analisi di tipo economica di singoli aspetti del problema, come quello della produzione dei combustibili alternativi. Tra la letteratura che segue un approccio di tipo LCA si citano Delucchi (1999) per la stima comparativa dei costi dei veicoli elettrici e quelli a benzina; per quanto riguarda l'idrogeno Gaibler e Miller (1998) studiano il costo del ciclo di vita di un treno a celle da miniera, Lavagno e Gerboni (2002) considerando le emissioni della produzione delle celle. Più generale è il contributo di Ogden (2004) che determina il costo sociale del ciclo di vita di una serie di veicoli alternativi. Funk ed al (1999) hanno comparato i costi sociali dei veicoli elettrici rispetto a quelli convenzionali, in uso nella regione di *Isle-de-France* (Francia), dove l'80% della corrente elettrica è prodotta da una centrale nucleare. Gli autori hanno applicato la metodologia "ExternE³" che si basa sul LCA e che considera i costi esterni dell'energia.

Tra i contributi tendenti alla sola stima degli impatti di veicoli alternativi in un'ottica di politiche di sostituzione si hanno Altmann e Huber (1999), Mercuri e Bauen (2002), Myers (2002) e Padrò e Putsche (1999) che hanno ampiamente analizzato i costi di produzione dell'idrogeno; Davis [2000] stima i costi di produzione delle celle a combustibile; Thomas [1998] studia l'impatto ambientale economico ed energetico di veicoli a celle. Confronti specificamente energetici si hanno in Bellerate [2001] per le diverse tipologie di motorizzazioni alternative. Tra i studi più recenti di valutazioni economiche comparative dei veicoli tradizionali, possiamo citare Granovskii et al. (2006) dove il confronto si basata sull'uso di procedure matematiche che includono la normalizzazione di diversi indici economici (prezzo dei veicoli e costo del carburante durante l'intero ciclo di vita di ciascun veicolo e la durata (in km) di viaggi effettuati) e di indici ambientali (emissioni di CO₂ ed altri inquinanti dell'aria). Graditi et al. (2006) hanno analizzato gli aspetti tecnici, ambientali ed economici dei sistemi ibridi che includono energia rinnovabile e *fuel cell*, applicando il modello elettronico Homer2.1.

Werber et al. (2009) hanno comparato il LCC di un veicolo elettrico con quello di un veicolo a combustione interna (VCCI) alimentato a diesel, analizzando i differenti

³ ExternE = External Costs of Energy. E' un progetto dell'Unione Europea, nel quale è stato sviluppato un metodo per la stima dei costi associati con l'inquinamento atmosferico dovuto alle grandi centrali termoelettriche, alle raffinerie e agli scarichi.

costi del combustibile e le distanze coperte. I costi sostenuti per il VCCI erano stati suddivisi in tre categorie: costo originale del veicolo, costi di manutenzione e costi del combustibile. Per quanto riguarda il veicolo elettrico (VEB) gli autori hanno considerato il costo originale del veicolo, mentre i costi di manutenzione, il costo del combustibile (inteso in questo caso dell'energia elettrica) ed il costo delle batterie sono stati valutati come funzione delle distanze che si desidera coprire. Tutti i costi futuri erano stati scontati attraverso l'utilizzo del metodo del Valore Attuale Netto (VAN) o Net Present Value (NPV) utilizzando la formula (1) dove C è il costo, d è il tasso di sconto ed n il numero di anni dall'acquisto iniziale (non vi sono benefici). Tale LCC ha considerato una durata di vita di 12 anni per il veicolo, che l'elettricità era fornita da un impianto elettrico convenzionale (impianto termoelettrico) ad un costo di 0,14 €/kWh ed è stato assunto che il costo del gasolio decresce linearmente.

$$VAN = \frac{C}{(1+d)^n} \quad (1)$$

Gli autori riferiscono che ad un costo medio delle batterie di 675 €/kWh i veicoli VEB possono sviluppare un LCC (Life Cycle Costs) simile ad un VCCI per una distanza coperta di 139 km, assumendo che il costo del diesel rimane costante a 1,06 €/litro per un periodo di 12 anni. Gli svantaggi di un VCCI rispetto ad un VEB erano stati indicati come: la quasi impossibilità di rifornirsi in carburante a casa propria; manutenzioni sempre crescenti nel tempo (cambio olio, ecc.) e riparazioni crescenti con l'età dell'auto, data anche la complessità dei VCCI, ed infine le emissioni di inquinanti. Tutte queste condizioni sono assenti o attenuate in un veicolo elettrico.

3.7 Valutazioni Ambientali del Fotovoltaico

L'interesse per i sistemi FV in agricoltura si giustifica anche per i possibili benefici ambientali al settore agricolo e più in generale per la collettività. Basti pensare che l'agricoltura italiana nel 2006 ha prodotto l'8,2% delle emissioni complessive (principalmente anidride carbonica) ad effetto serra (ISTAT, 2009). L'agricoltura nel 2007 ha consumato 3,1 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (Mtep) di energia, corrispondente al 2,2% del consumo nazionale di energia e risulta fortemente dipendente dai combustibili fossili: il 77,1% del suo consumo energetico proviene direttamente dall'uso di combustibili fossili, il 15,8% è rappresentato dal consumo diretto di energia elettrica (che in l'Italia viene prodotta per l'85% da combustibili fossili), mentre le fonti rinnovabili incidono solo per il 7,1% (GSE, 2007; Ministero dello Sviluppo Economico, 2007).

E' importante sottolineare che rispetto ai tradizionali combustibili fossili, i sistemi FV, per ogni kWh prodotto, evitano l'emissione in aria di 0,7 kg di anidride carbonica e di altri gas responsabili dell'effetto serra con sicuri vantaggi ambientali per la società (ENEA, 2006a), inoltre va ulteriormente evidenziato che l'energia fotovoltaica prodotta dalle aziende può essere auto-consumata ma anche ceduta, o meglio venduta, al gestore di rete nazionale che provvederà a ridistribuirla nei vari settori, apportando così un beneficio ambientale esteso a tutto il sistema economico nazionale.

Oltre ad una convenienza economico-finanziaria è necessario sottolineare come tali sistemi possano abbassare gli impatti ambientali negativi delle aziende agricole. Se consideriamo una durata di vita pari a 30 anni un impianto di 10 kW nel centro Italia può produrre 371.661 kWh ed evitare l'immissione di circa 260 tonnellate di anidride carbonica nonché di altri gas responsabili dell'effetto serra, rispetto alla stessa produzione di energia elettrica ma da fonti combustibili fossili. Quest'ultimo aspetto è sicuramente importante per il settore agricolo, in quanto potrebbe essere tradotto in chiave strategica dalle aziende per promuovere una nuova immagine eco-sostenibile della propria attività con ricadute anche in termini di marketing (Daniele et al., 2008).

4. Il Caso di Studio

4.1 Introduzione

I Paesi a Sud e ad Est del Mediterraneo (ossia quelli che occupano il Nord Africa ed il Medio Oriente) hanno forti difficoltà energetiche, ambientali ed anche agricole nel loro percorso di sviluppo, associati ad una rapida crescita dei consumi, in particolar modo quelli elettrici. I problemi energetici di questi Paesi non possono essere disconnessi dalle loro situazioni economiche e sociali interni, e nemmeno dagli stessi contesti Mediterranei e regionali. La maggior parte di questi Paesi sono caratterizzati da situazioni fortemente contrastanti: i centri urbani e industrializzati da un lato, che consumano quantità enormi di energia e le aree rurali, dall'altro lato, dove il tasso di consumo e di accesso alle risorse energetiche è estremamente limitato. L'agricoltura e la produzione alimentare contribuiscono in modo significativo alle economie nazionali della maggior parte dei Paesi a Sud del Mediterraneo, con una media di 12 – 13% del PIL regionale. Questo dato rivela l'importanza dell'agricoltura come un considerevole settore trainante che influenza i vari fattori dello sviluppo sostenibile, in particolare il lavoro, l'immigrazione da aree rurali ad aree urbane, l'uso delle risorse idriche, la gestione del suolo, la ricerca e lo sviluppo tecnologico, la sicurezza alimentare come anche la società e la cultura (Chehab et al., 2001). Nonostante i considerevoli sforzi compiuti da questi Paesi per migliorare le tecniche colturali (colture in serra e colture tradizionali), l'innovazione tecnologica rimane necessaria per migliorare la produttività e le loro condizioni economiche e sociali.

Oltre a quello agricolo, anche il settore energetico del Libano si trova in una condizione di crisi che se non viene affrontata urgentemente e correttamente, potrebbe portare ad eventi che rallenterebbero la crescita economica nazionale. Come in tutti i Paesi Mediterranei, compresi quelli Europei, la bolletta energetica petrolifera del Libano dipende dai prezzi internazionali del greggio e dalle fluttuazioni di mercato. Tale situazione renderebbe il settore energetico del Paese molto vulnerabile alla crescita del prezzo internazionale del Petrolio. Il Libano importa il 99% della sua energia primaria. Il rimanente 1% proviene dalle energie rinnovabili, in particolare dall'energia idroelettrica (0,4% energia geotermica e 0,6% idroelettrica). Malgrado le sue favorevoli condizioni geografiche come le 3000 ore/anno di illuminazione solare, ed una media annua di irradiazione solare pari a

2200 kWh/m², le applicazioni di tecnologie solari (solare termico e fotovoltaico) rimangono marginali nell'economia libanese. In questo settore, comunque, esiste un potenziale importante per il risparmio energetico (Ministero libanese dell'Ambiente, 2001).

4.2 Il Progetto RAMseS

Il progetto RAMseS (acronimo di Renewable Energy Multipurpose Vehicle for Farmers) è un progetto di ricerca e sviluppo, finanziato nel 2006 dalla Commissione Europea nell'ambito del Sesto Programma Quadro - Cooperazione Internazionale con i Paesi Mediterranei (INCO MED). RAMseS punta allo sviluppo di un sistema integrato innovativo capace di eliminare numerosi problemi relativi alla esponenziale crescita del consumo dei carburanti convenzionali, permettendo alle aziende agrarie di piccola e media taglia posta in aree particolarmente svantaggiate, una indipendenza dalle fonti fossili (gasolio, lubrificanti, additivi, ecc...) che incidono fortemente sul suo bilancio economico.

L'obiettivo principale è lo sviluppo di un veicolo di piccola - media taglia azionato da motore elettrico con energia fornita da batterie. Queste batterie sono caricate direttamente dalla fonte solare mediante pensiline o tetti fotovoltaici. L'energia prodotta in eccedenza viene immagazzinata in batterie stazionarie. Il sistema alimenterà le batterie del veicolo in qualsiasi momento della giornata oltre che l'azienda stessa. Il veicolo è utilizzabile per il trasporto di materiale (vasi, sacchi, prodotti agricoli, ecc...) e persone, per l'irrigazione (come pompa solare), per le lavorazioni colturali (erpatura, sfalcatura dell'erba, fertilizzazione e diserbo, trapianto insalate, ec...). Il veicolo può anche essere sfruttato come camioncino e viaggiare su strada (ad esempio per portare i prodotti dell'azienda verso i mercati vicini). Questo sistema è particolarmente adatto ai paesi Mediterranei dove il potenziale in energia rinnovabile è molto alto in termini di irradiazione solare; oltre ad essere adatto per alcune colture agricole tipiche dei paesi mediterranei (viti e olive) e per le lavorazioni nei vivai.

Il progetto RAMseS è iniziato nell'Ottobre del 2006, ha una durata di 48 mesi. Terminato il suo sviluppo e collaudo in Europa, il sistema è stato trasferito in Libano, presso il convento maronita dei Santi Sarkis and Backos, ad Ashkout – Monte Libano, dove è presente una azienda Vitivinicola (SAT 50 ha, SAU 10 ha). In tale nuovo contesto il sistema è in corso di prova e collaudo. Le attività della presente

tesi di ricerca hanno accompagnato il progetto durante tutte le sue fasi di attuazione. Gli obiettivi della tesi sono definiti nel capitolo 3.6.

Gli impatti previsti dal sistema RAMseS sul sito pilota:

RAMseS è stato originariamente concepito per contribuire a valutare gli impatti dell'uso delle energie rinnovabili sui sistemi agricoli e la tutela del mondo rurale. Questi impatti che possono essere di tipo tecnico-culturale, economico-sociale e ambientale, richiedono indagini specifiche non solo a livello di mercato ma anche a livello dell'azienda agricola oggetto di studio dato che essa rappresenta il sito di prova del sistema e del prototipo proposti, e dove i parametri di performance (di prestazione) come per esempio la precisione, la durevolezza del sistema di accumulo dell'energia, saranno meglio definiti e convalidati.

Gli obiettivi che il progetto RAMseS si era proposto di raggiungere possono essere compresi solo all'interno di una struttura logica che tende ad ottimizzare l'uso di pratiche agricole sostenibili e nello stesso tempo ridurre al minimo l'uso irrazionale dei fattori di produzione tradizionali (come i combustibili fossili) che esercitano una pressione sempre maggiore sulle limitate e vulnerabili risorse naturali. Questo sicuramente contribuirà alla riduzione dei costi di produzione, e di conseguenza all'aumento dei benefici per gli agricoltori e/o imprenditori agricoli, migliorando sia la quantità che la qualità della produzione agricola. In altri termini, una buona realizzazione degli obiettivi del progetto RAMseS dovrebbe ridurre la dipendenza dai tradizionali fattori di produzione e sostituirli con tecniche innovative, ecologicamente sostenibili e accettabili, come ad esempio l'utilizzo dell'impianto fotovoltaico per la produzione di energia dal sole.

Grazie all'abbondanza del sole, i paesi Mediterranei (sia a Nord del Mediterraneo – Paesi Europei, che a Sud – Paesi Nord Africani e del Medio Oriente) devono affrontare la sfida dell'uso delle energie rinnovabili e dell'applicazione di una agricoltura più sostenibile. Il settore agricolo è il primo settore consumatore di acqua e di energia, ed è anche considerato come il primo settore responsabile dell'inquinamento dell'ambiente naturale. Sulla base di ciò, è importante incrementare la consapevolezza circa la vulnerabilità delle fonti tradizionali (petrolio e gas naturale) di produzione di energia, e di garantire per le prossime generazioni Delle risorse sostenibili per la produzione e il consumo di un'energia pulita, rinnovabile e gratuita.

Nel caso specifico del sito pilota presso Ashkout sul Monte Libano, dove sono stati trasferiti e installati i vari componenti del RAMseS, le attività hanno previsto il test e la validazione delle scelte e delle tecnologie introdotte dal progetto confrontandole con le tecnologie tradizionali presenti in loco e valutandone l'efficienza.

Infatti, un sistema efficiente e l'uso intelligente del veicolo elettrico nell'ambito della produzione agricola locale porterebbe ai risultati seguenti:

- Diminuzione del consumo dei carburanti;
- Introduzione di modifiche e concetti di efficienza energetica;
- Diminuzione dei costi di produzione;
- Produzione di energia elettrica per usi locali presso l'azienda riducendo di conseguenza i consumi tradizionali e quindi la bolletta elettrica (conseguentemente riduzione della spesa energetica annuale);
- Incremento del reddito dell'imprenditore agricolo e del turnover annuale dell'azienda;
- Miglioramento della produzione agricola (es. viticola, vinicola) sia quantitativamente che qualitativamente;
- Dare ai lavoratori dell'azienda una nuova opportunità per l'uso e la sperimentazione di nuove macchine agricole che possono influenzare positivamente la tendenza dell'intero sistema produttivo;
- Assistere per la prima volta nella storia del settore agricolo del Mediterraneo all'uso di una tecnologia (veicolo o trattore elettrico) affidabile, multifunzionale, pulito, facile da usare, silenzioso e rispettoso dell'ambiente.

4.3 Il Sito Pilota

4.3.1 Descrizione del Paese di riferimento

Situato all'incrocio tra Europa, Africa e Asia, il Libano confina ad ovest col Mediterraneo, a nord- ovest e ad est con la Siria ed a sud con Israele. La Capitale è Beirut. Il Libano è una Repubblica Parlamentare. Nella sostanza, l'ordinamento libanese è fortemente caratterizzato in senso confessionale, più che politico-partitico, e riflette la sua storia con la multiforme composizione di un paese in cui convivono almeno 17 gruppi confessionali diversi. La lingua ufficiale parlata è l'arabo, ma la maggior parte dei libanesi parla anche francese e/o inglese.

Il Libano è un piccolo Paese del Mediterraneo con una superficie di 10452 Km² (di cui 10285 Km² sono coperte da terra e 167 Km² da laghi, fiumi e bacini idrici di diverse grandezze). Il Paese è caratterizzato da una stretta fascia costiera lunga 220 km ospitando 2/3 della popolazione e più del 75% della sua attività economica oltre alle quattro maggiori città (la capitale Beirut, Tripoli al Nord, Saida e Tiro al Sud).

4.3.1.a Geografia, Morfologia e Clima

Il Libano è situato sulla sponda a Est del mare Mediterraneo, in Medio Oriente. Esso è suddiviso in Quattro regioni topografiche:

- La piana costiera diventa una striscia a Nord;
- La catena montuosa detta Monte Libano o Montagne del Libano caratterizzata da una serie di creste, gole e dorsali (l'altezza varia da una media di 1000 m nella zona centrale fino a 3087 m (slm) a Nord e che rappresenta la punta più alta sia del Paese che dell'intero Medio Oriente;
- Un altopiano centrale, formato in parte, dalla piana Siriana ed in altra parte dalla fertile Valle della Bekaa;
- Una seconda catena montagnosa orientale che comprende il resto della valle della Bekaa e sale a formare il "Jabal ash-Sharqi" o anti-Montagna del Libano (detta semplicemente anti-Libano) ed il Jabal Sheikh o monte Hermon, che costituisce il confine orientale con la Siria.



Figura 3 - Mappa del Libano

Il territorio Libanese ha una complessa morfologia, costituito da terreni collinari e ripidi. L'elevata pendenza è un importante fattore che concorre all'erosione idrica dello strato superficiale portando ad un indebolimento della struttura del suolo e quindi una riduzione della capacità di ritenzione delle acque. L'uso del suolo è costituito per il 32% da copertura vegetale agricola, 8% foreste e boschi mentre il restante 60% da aree per la maggior parte urbanizzate. La superficie agraria è costituita per il 51,7% da seminativi, 43,5% da colture permanenti, 4,9% da pascoli permanenti mentre le aree irrigue rappresentano il 33% dei seminativi e delle colture permanenti.

Il clima del Libano è tipicamente Mediterraneo, da umido a sub-umido durante la stagione fresca (autunno-invernale) e subtropicale durante la stagione secca (estate). Un transetto, tipicamente Mediterraneo, massimo di 60 km attraversa il Paese in larghezza passando dal clima sub-umido della costa a quello semi-arido continentale della Valle della Bekaa, passando attraverso le montagne.

Un transetto massimo di 60 km taglia il paese nella sua larghezza (attraverso le montagne centrali), passando dal clima sub-umido della zona costiera a quello semi-arido continentale della Valle della Bekaa.

4.3.1.b Demografia e situazione economica

Si stima (2005) che la popolazione totale del Libano sia circa 3.708.000 persone, di cui 1.916.100 che vivono nella zona chiamata "Grande Beirut". La densità di abitanti per m² è tra le più alte al mondo (355 persone/km²). La tasso di crescita annuale è dell'1.6% (2005). Secondo i dati ottenuti dal Ministero Libanese per gli Affari Sociali, l'88% della popolazione vive in aree urbane, mentre soltanto il 12% vive in quelle rurali. Il 29,6% della popolazione è formato da individui di età inferiore a 15 anni, il 64,2% tra 15 e 64 anni mentre 6,2% hanno più di 65 anni. Il 99% della popolazione ha accesso accettabile a servizi sanitari adeguati, ed il 100% ha facile accesso accettabile alle fonti idriche depurate o controllate. Il 3% della popolazione è malnutrita e la speranza di vita media è di 75 anni per le donne e 71,8 anni per gli uomini.

Nel corso del primo semestre 2008, l'economia libanese ha offerto segnali contraddittori. Da un lato, si è trovata stretta nella tenaglia della crisi politica interna e del perdurante stallo parlamentare, che ha impedito il varo di importanti riforme strutturali, dell'accentuazione della polarizzazione politico-confessionale, con pericolose derive securitarie, dei tassi di crescita ben al di sotto delle reali potenzialità del Paese e di una crescente pressione inflazionistica. Dall'altro, questa economia è stata protagonista di un'attività di interscambio in crescita (in cui l'Italia gioca un ruolo primario), di un rilevante "boom" del settore immobiliare, di un attivismo inedito sul mercato azionario, e trainata da "performance" di eccellenza di un sistema bancario solido ed in espansione.

Il Libano manca di materie prime e questo lo rende fortemente dipendente dai Paesi Arabi vicini, in particolar modo per il Petrolio; ciò ha reso sempre più difficile il coinvolgimento del Paese in attività industriali di certa importanza. L'industria Libanese è per la maggior parte formata da piccole imprese, che si occupano essenzialmente del re – assemblaggio ed imballaggio di materiale importato. Nel 2005, l'industria si è classificata al secondo posto per numero di posti di lavoro creati, con 26% della forza lavoro nazionale, ed anche seconda nel suo contributo al PIL (21% del PIL del Libano). La composizione del PIL per settore è come segue: 12% Agricoltura, 21% Industrie e 67% Servizi. La forza lavoro nazionale è stata di 2,6 milioni di persone nel 2005 contro 1 milione di mano d'opera straniera (per la maggior parte siriana). Il 7% della forza lavoro è occupata in agricoltura, 31% nell'industria e 62% nei servizi (2005).

L'importazione di beni e servizi rappresentava (nel 2005) il 41% del PIL, mentre le esportazioni coprivano il 14% dello stesso (figura 3). Le esportazioni consistono in commodities tipo gioielli autentici, prodotti chimici inorganici, vari beni di consumo, frutta, tabacco, minerali per costruzioni, macchinario per generazione di energia elettrica e commutatori, fibra tessile, carta. I prodotti del settore primario rappresentano il 31% degli export libanesi, mentre quelli dell'industria manifatturiera, rappresentano il 69% (di cui un 3% è di tipo High-Tech export) del totale delle esportazioni (figura 3). I principali paesi importatori dal Libano sono: Siria (24.9%), Emirati Arabi Uniti (10%), Turchia (6.9%), Svizzera (6.7%) e Arabia Saudita (5.3%). Per quanto riguarda le importazioni si tratta per la maggior parte di commodities quali prodotti petroliferi, auto, medicinali, abbigliamento, carne ed altri animali vivi, beni di consumo, carta, tessuti, vasetteria e piante ornamentali, e tabacco. I principali partners da cui il Libano importa merci sono Italia (11.3%), Francia (10.5%), Syria (9.8%), Germani (8.6%), Cina (5.8%), USA (5.5%) e Regno Unito (4.6%).

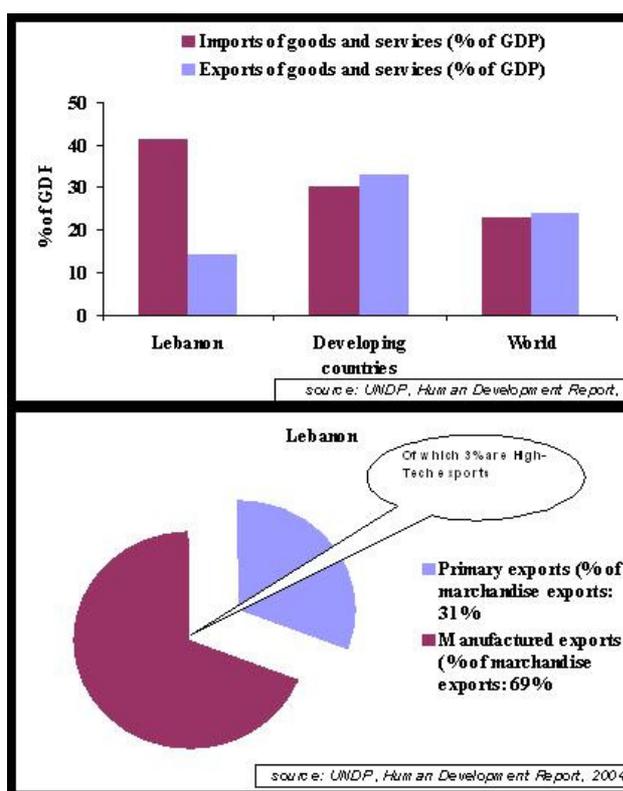


Figura 4 - Percentuali di import - export di beni e servizi in Libano

4.3.1.c Situazione Agricola

In termini di disponibilità idriche e fertilità del suolo, il Libano è un paese adatto per le attività agricole; esso possiede la più alta percentuale di terreni coltivabili del mondo arabo. Tuttavia, il Libano non ha un vasto settore agricolo: Attrae soltanto il 7% della forza lavoro, ed il settore economicamente meno attraente del Paese.

Il settore agricolo libanese sta affrontando ormai da anni numerosi problemi piuttosto gravi. Malgrado il coinvolgimento di circa 1 milione di persone e più di 150.000 aziende agrarie, esso occupa attualmente una piccola percentuale del PIL (10%) rispetto al 20% del 1990. Tra i numerosi fattori che inibiscono lo sviluppo del settore agricolo:

- L'incremento dei costi energetici;
- L'assenza di interventi politici a sostegno del settore;
- L'eccessiva frammentazione delle aziende agricole e della superficie agricola totale;
- La forte competizione sui mercati locali dei prodotti agricoli importati dai paesi vicini, in particolar modo dalla Siria dove il settore agricolo è protetto dal governo locale che incentiva economicamente i prodotti fertilizzanti e quelli energetici

Il Libano ha un area coltivabile stimata intorno ai 360,000 ha (36% della sua superficie totale). Nel 2000, la FAO ha stimato che la superficie totale coltivabile del Paese, è pari a 247,939.50 ha, di cui 104,008.7 ha (cioè 44% dell'area coltivabile) è irrigata, mentre i rimanenti 143,931 ha (ossia 58% dell'area coltivabile) sono irrigate dall'acqua piovana. La Valle della Bekaa rappresenta da sola il 42% dell'intera superficie agricola coltivabile (figura 4) e 51% dell'intera area irrigua (figura 5). Inoltre, la FAO ha calcolato un totale di 194.829 agricoltori distribuiti nelle varie regioni libanesi (figura 6).

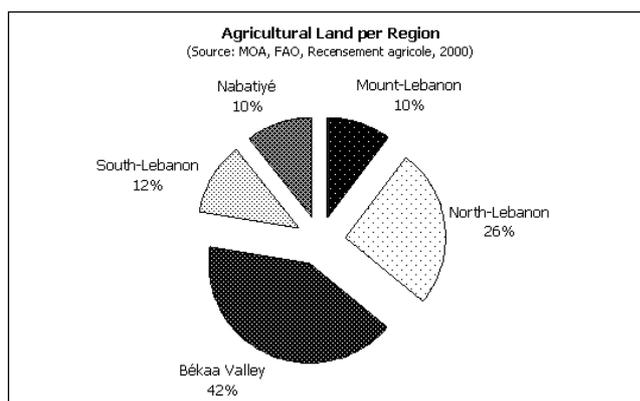


Figura 5 - Distribuzione dei terreni coltivati ripartiti per le varie regioni Libanesi

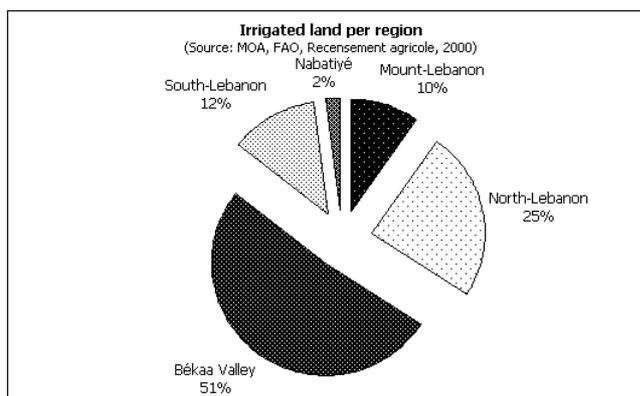


Figura 6 - Distribuzione delle aree irrigue ripartiti per le varie regioni Libanesi

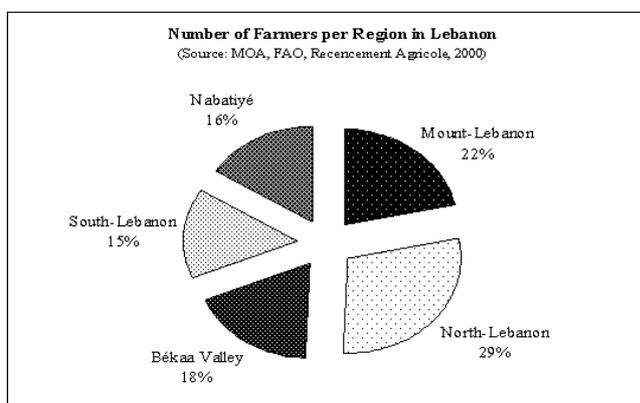


Figura 7 - Numero di agricoltori ripartiti per le varie regioni Libanesi

Per quanto riguarda la distribuzione delle coltivazioni sui 247.939.50 ha, secondo l'Istituto di Ricerca Agricola Libanese (IRAL o LARI) il 20% è coltivato a cereali, il 24% a frutticoltura, il 20% ad olivicoltura, il 9% con coltivazioni industriali ed il 17% a verdure, infine un 4% è messo a riposo (figura 8). Si stima che circa 4,994.82 ha, distribuiti in tutto il Paese, sono destinati alle colture in serra, dove vengono prodotti soprattutto insalate, pomodori, legumi e fiori (figura 9).

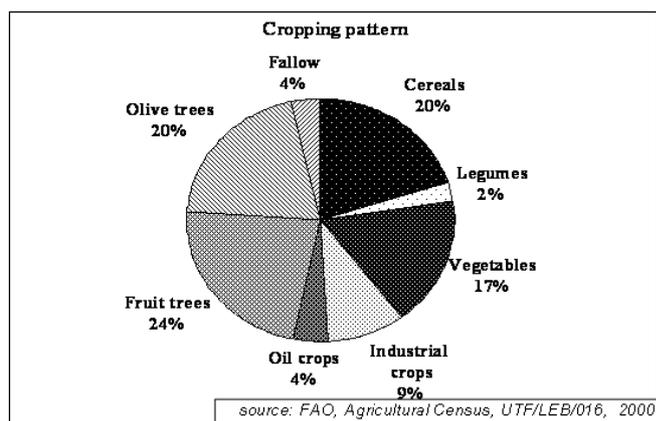


Figura 8 - Uso agricolo del suolo in Libano

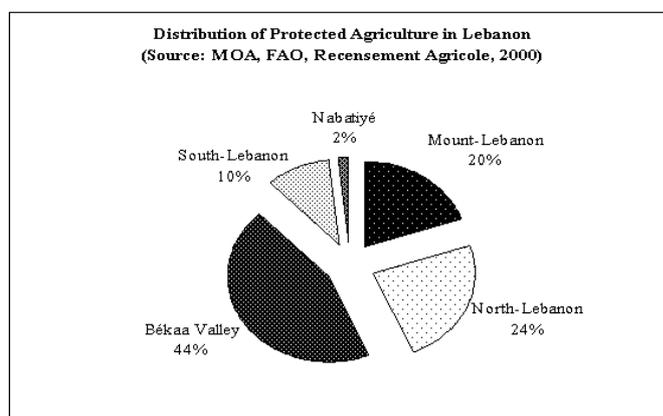


Figura 9 - Colture in Serra per regione

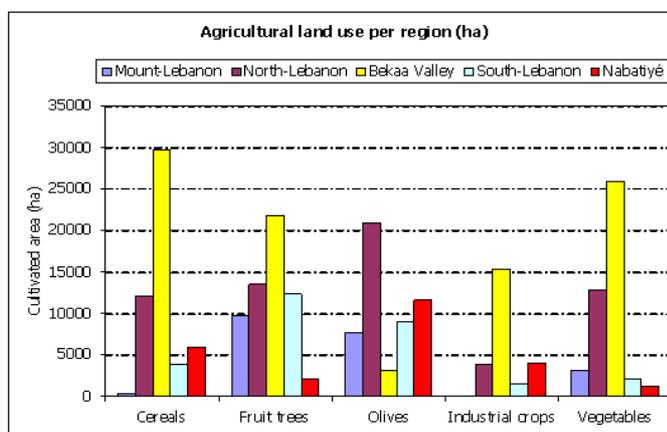


Figura 10 - Uso agricolo del suolo nelle diverse regioni del Libano

Sulla base di una ricerca FAO effettuata nel periodo intercorso tra il 1980 ed il 2000, il numero totale di trattori di diverse dimensioni e potenze presenti in Libano era passato da 2000 nel 1980 a 8250 trattore nel 2000 (FAO, Agricultural census, 2000) (figura 11).

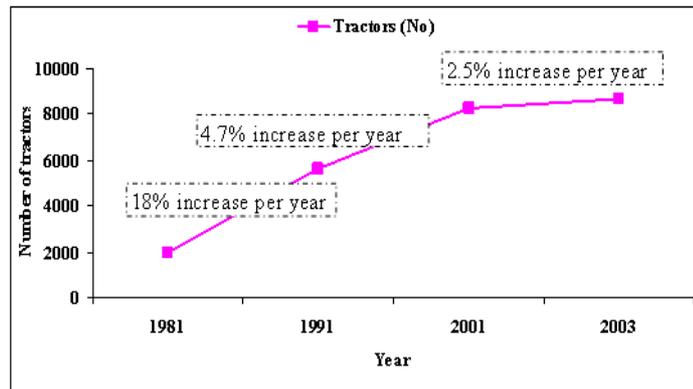


Figura 11 - Numero di trattori in Libano e relativo incremento annuale

Tuttavia, il livello di meccanizzazione dell'agricoltura in Libano rimane sempre al di sotto del livello ottimale. E' stimato che un trattore attualmente è utilizzato mediamente per 165 Ha di terreno coltivato; normalmente è necessario una media di 1 trattore per ogni 40 Ha (al massimo) per meccanizzare completamente la preparazione del suolo e le operazioni di coltivazione. I vincoli principali che impediscono il raggiungimento dei livelli ottimali di meccanizzazione agricola in Libano sono i seguenti:

- carenza del credito a medio – lungo termine;
- generalmente, le aziende private fornitrici di trattori e di servizi agricoli, non hanno idea quale può essere il trattore più adatto per una determinata regione agricola, terreno, coltivazione e quindi il consiglio dato agli agricoltori è spesso errato;
- sotto utilizzazione dei trattori a causa del predominio di aziende (molto frammentate) con piccole superfici. Ciò ha creato una situazione nella quale i risparmi sui costi di aratura sono insufficienti per indurre gli agricoltori ad intraprendere un tale tipo di investimento;
- numero limitato di cooperative agricole;
- il sistema di proprietà fondiaria vigente, che esclude qualsiasi investimento da parte dei mezzadri o affittuari;
- progettazione delle terrazze e sistemi d'impianto dei frutteti che impediscono l'effettivo uso dei trattori;
- assistenza governativa molto limitata, scarsissimi incentivi alla meccanizzazione per le aziende agricole.

In Libano, il numero di agricoltori che hanno dichiarato di sfruttare parzialmente o totalmente, la meccanizzazione in agricoltura, è stimato intorno a 161.000 unità lavorative (UL) (FAO 2000). Tale numero rappresenta circa l'83% del totale dei produttori agricoli libanesi. Il numero totale di trattori (di tutte le taglie e potenze nominali) esistente in Libano, è 126.392 (FAO, 2000). Nella tabella seguente, riportiamo una sintesi degli usi meccanici principali nell'agricoltura Libanese:

Utilizzatore	Pompe elettriche		Pompa motore		Atomizzatore		Coltivatore a dischi	
	N° of users	%	N° of users	%	N° of users	%	N° of users	%
Singolo agricoltore	9.036	72.4	20.921	73.3	7.294	5.8	2.303	9.8
Agricoltori e altri	859	6.9	1.535	5.4	1.549	1.2	331	1.4
Proprietari	263	2.1	457	1.6	59	0.0	12	0.1
Altri tipi di usi	2.134	17.1	5.093	17.8	82.224	65.1	18.401	78.7
Cooperative	23	0.2	101	0.4	1.311	1.0	126	0.5
Istituti agricoli privati	157	1.3	346	1.2	33.953	26.9	2.223	9.5
Pubblico	2	0.0	81	0.3	2	0.0	0	0.0
TOTALE	12.474		28.534		126.392		23.396	

Tabella 4 – Sintesi usi principali macchine agricole in Libano
 Fonte: FAO, Ministero dell'Ambiente del Libano, Censimento agricolo, 2000

Malgrado i numerosi vantaggi che si possono avere, il grado di meccanizzazione agricola è generalmente basso nei paesi in via di sviluppo. Probabilmente il livello più alto di meccanizzazione Agricola nel Medio Oriente lo troviamo proprio in Libano, dove nel 2000 è stato stimato che il consumo di energia (fossile) nel settore agricolo costituisce circa il 20 – 25% del totale dell'energia consumato a livello nazionale.

Il trasporto dei prodotti agricoli verso i mercati locali avviene mediante l'uso di trattori da 25 – 66 CV, specialmente quando i mercati non sono molto distanti dai siti o punti di produzione, come ad esempio lungo la fascia costiera, e dove è principalmente concentrata la coltivazione in serra. Le maggiori attività agricole meccanizzate in Libano, i mesi durante i quali tali operazioni sono effettuate e le potenze mensili richieste, sono mostrate nella tabella seguente:

Agricultural activity	Period of year												Minimum Power required (HP)	Power required (kw)	Work duration (hrs/ha)
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC			
Primary tilling and soil turning									←-->				84.0	62.7	6.3
Deep tilling (30-60 cm)									←-->				84.0	62.7	6.3
Surface tilling (10-20 cm)			←-->							←-->			65.0	48.5	4.9
De-compaction				←-->									65.0	48.5	4.9
Clod breaking/clearing										←-->			45.0	33.6	3.4
Seed bed preparation			←-->							←-->			45.0	33.6	3.4
Land leveling			←-->							←-->			65.0	48.5	4.9
Harrowing			←-->							←-->			45.0	33.6	3.4
Rolling			←-->							←-->			45.0	33.6	3.4
Mowing													45.0	33.6	3.4
Fertilisation and phytosanitary treatment													35.0	26.1	2.6
Sowing and transplantation*			←-->							←-->			65.0	48.5	4.9
Water transportation in the field													35.0	26.1	2.6
Irrigation equipment transportation													45.0	33.6	3.4
Water pumping from earth ponds													65.0	48.5	4.9
Water pumping from aquifers													85.0	63.4	6.3
Support and field aid techniques													25.0	18.7	1.9
Winter cereals transportation to storage													65.0	48.5	4.9
Potato tuber transportation to storage													65.0	48.5	4.9
Summer vegetables transportation to storage**													45.0	33.6	3.4
Summer cereals transportation to storage													61.0	45.5	4.6
Fruit transportation to storage													61.0	45.5	4.6
Grappevine transportation to brasserie													45.0	33.6	3.4
Olive transportation to pres soir													35.0	26.1	2.6
Land moving, dumping and loading													35.0	26.1	2.6

Tabella 5 - Principali operazioni agricole meccanizzate in Libano

Il Libano è una delle prime regioni al Mondo ad aver coltivato un vigneto. La vite è sempre considerata una coltura tradizionale di questo Paese dove numerose famiglie gestiscono alcuni vigneti per la produzione dell'uva da tavola e che è consumata in loco oppure vinificata o trasformata in aceto in modo tradizionale. Spesso il vino viene distillato per la produzione dell'arak, che è la bevanda alcolica tradizionale del Libano.

Tuttavia, la viticoltura in Libano non si limita a questa immagine di coltivazione contadina. Si tratta di una attività agricola vera e propria, sia per la produzione dell'uva da tavola che per la produzione di uva da vino. In effetti la coltivazione della vigna occupa l'ottavo posto tra le attività agricole del Paese in termini di tonnellate prodotte e al quarto posto in termine di esportazioni di frutti e legumi (Ministero dell'Agricoltura del Libano, dati del 2001).

Il Libano è uno dei luoghi più antichi al mondo per la produzione di uve e la loro trasformazione in vino. La produzione di vino in Libano non costituisce una novità. La coltivazione della vite risale ai Fenici, che dalla costa, sono stati determinanti nel diffondere la viticoltura e la produzione di vino lungo le loro rotte commerciali nel Mediterraneo, da molte aree dell'Europa Meridionale alle varie isole del Mediterraneo. Alcuni secoli più tardi, i Romani scelsero Baalbeck (o l'antica Heliopolis) come sito per la costruzione del tempio di Bacco (ad oggi ancora presente con il suo nome originale) in omaggio al dio del vino (figura 12).



Un mosaico presente nella parte a sinistra dell'entrata del tempio dedicato dai romani al dio Bacchus, presso le rovine romane di Baalbeck (per gentile concessione del Dr Fadi Karam, 2007)



Una cornice decorativa al cancello principale del Tempio di Bacco dove sono rappresentate la vite, le spighe di grano e le uova simbolo di fertilità dei suoli della Valle della Bekaa (per gentile concessione del Dr Fadi Karam, 2007)

Figura 12 - Mosaici di Baalbeck (Heliopolis) nella Valle della Bekaa in Libano

Il Libano presenta numerosi vantaggi per la coltivazione della vite e la produzione di qualità sia delle uve da tavola che di quelle da vino. Infatti le condizioni del suolo, e quelle climatiche risultano particolarmente favorevoli per la coltivazione della vite, le cui produzioni sia in termini quantitativi che qualitativi sono molto buone... Attacchi di oidio e fillossera sono rari e molto ben contenuti e gli attacchi da parte di altri patogeni sono spesso assenti salvo alcuni casi di attacchi alle uve da tavola. Inoltre, data l'assenza delle precipitazioni e di elevate condizioni di umidità nel corso della crescita vegetativa del vigneto, non si riscontrano attacchi di peronospora e botritis nell'insieme del territorio libanese. Tale bassa pressione parassitaria permette anche una più facile produzione di "uve biologiche".

Sulla base dei dati ottenuti dal censimento agricolo del 1999, effettuato dal progetto "Assistance au Recensement Agricole" la coltivazione della vigna si stende su 11.420 ha, ossia 4,6% della superficie agricola utile totale del Libano, di cui 9,240 ha sono coltivati a vite da tavola e 2,178 ha a vite da vino.

Come già illustrato nel paragrafo precedente, il Libano dispone di un ambiente naturale propizio alla produzione intensiva dell'uva da tavola. In effetti, tenendo conto della radiazione solare globale che riceve (figura 13), della ricchezza naturale del suolo e dell'abbondanza delle riserve idriche, la produzione dell'uva da tavola ad alto rendimento, è possibile sulla maggior parte del territorio libanese, con o senza l'irrigazione. Queste condizioni sono particolarmente favorevoli nella piana della Bekaa, ad eccezione della parte a Nord di Baalbeck (o Heliopolis) dove la debolezza delle precipitazioni (meno di 350 mm) e le scarse riserve di acqua nel

suolo rendono necessarie irrigazioni di una certa importanza. Le condizioni sono anche favorevoli nella piana di Akkar (Nord del Paese).

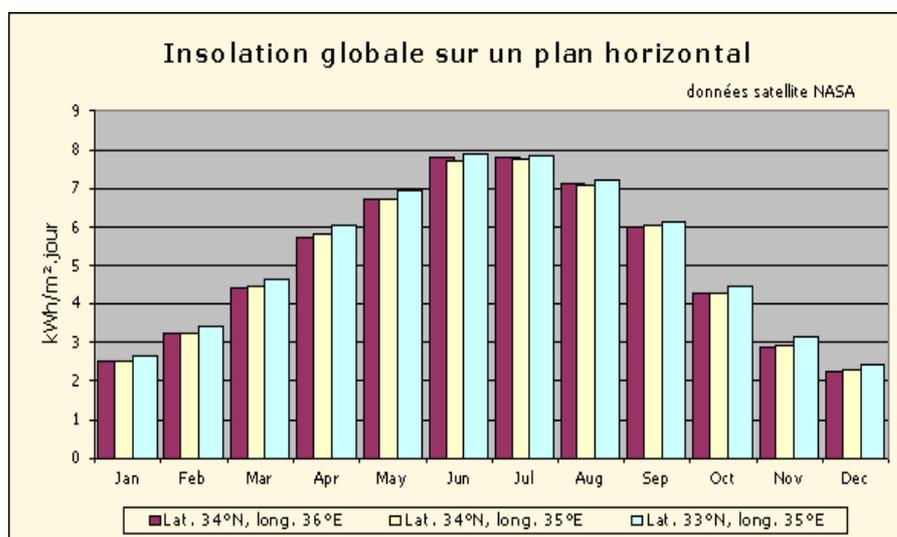


Figura 13 - Radiazione totale sul piano orizzontale (fonte NASA)

Data la predisposizione agro-climatica di alcune zone, la vigna destinata alla produzione di uva da tavola è principalmente localizzata nella Bekaa (6629 ha), in particolare nella provincia di Zahlé, nel Monte Libano (1512 ha) e nel Nord del Libano (1529 ha). Gli appezzamenti sono, nella maggior parte, coltivati nella piana dove i terreni sono argillosi e profondi. La maggior parte delle volte sono irrigate, le viti per uva da tavola sono coltivate a pergola. I due ceppi tradizionali ed autoctoni sono il Beïtamouné (o dattero di beirut) ed il Tfeifihi, e rappresentano circa il 40% della superficie coltivata ad uva da tavola. La produzione totale di uva da tavola nel 2001, era di circa 89000 tonnellate, è destinata per il 75% al mercato interno mentre il rimanente 25% è destinato all'esportazione in particolare verso i paesi del Golfo. Tuttavia il volume degli export è in contrazione e ciò è dovuto all'incremento del consumo interno, ma anche ad una concorrenza sui mercati arabi dovuta anche all'emergere di una produzione da parte di paesi come l'Arabia Saudita. Al fine di incentivare e rendere più concorrenziale l'esportazione la *Investment Development Authority of Lebanon* o IDAL (Autorità per l'investimento allo sviluppo) paga tra i 50 ed i 27\$ USA per ogni tonnellata esportata di uva da tavola in base al paese importatore e dei mezzi di trasporto utilizzati. Tali incentivi, probabilmente verranno a cessare una volta che il Libano aderirà all'OMC.

La produzione di uva da vino in Libano beneficia anch'essa di un contesto molto favorevole. In effetti, le coltivazioni su pendii o aree collinari, in terreni dove le risorse minerali e idriche sono limitanti, ma comunque regolari, permettono una concentrazione naturale di aree dove è possibile produrre uve ad altissimo potenziale enologico. La grande diversità di territori e la possibilità di coltivare la vite fino a 900 – 1800 m di altitudine, permettono la coltivazione di una gamma importante di ceppi.

Le caratteristiche pedologiche, sociali, e i sistemi di utilizzo del suolo rappresentati soprattutto dai terrazzamenti hanno fatto del Monte Libano una zona di attrazione per i produttori di uva e di vino (figura 15). La forma più comune di proprietà fondiaria è quella della piccola azienda gestita dal singolo proprietario contadino, oppure dalle aziende di media estensione gestite per la maggior parte dalla comunità religiosa (frati e suore Maroniti) con forme di mezzadria e/o altre forme di locazione.



Vista di un vigneto nella parte centrale della Valle della Bekaa (per gentile concessione del Dr Fadi Karam, 2007)



Vista di un vigneto su terrazzamento in un'area del Monte Libano (per gentile concessione di Tony Matar, 2007)

Figura 14 - Vigneti in aree diverse del Libano

Le temperature relativamente fresche della notte nella Valle della Bekaa o del Monte Libano, sono ugualmente favorevoli per l'ottenimento di uve di qualità. La produzione di uva da vino occupa 2178 ha, di cui 1241 ha nella Valle della Bekaa che assicurano la maggior parte della produzione, prima del Nord Libano (633 ha) e del Monte Libano (256 ha). Dei volumi prodotti da questi vigneti, appena il 25% è dedicato alla produzione di vino, mentre il rimanente è trasformato in Arak. La varietà principalmente destinata alla produzione dell'Arak è quella locale chiamata Obeïdi, tuttavia tale produzione si sta stagnando di anno in anno. Per contro quella dell'uva destinata alla produzione del vino è in crescita costante (più di 200 ha sono stati coltivati negli ultimi 5 anni, e le varietà si diversificano con un incremento delle varietà più nobili in particolare: Cabernet Sauvignon, Syrah, Chardonnay, Mourvèdre, Cinsault e Grenach.

L'importanza economica dell'Arak (sottoprodotto del vino) e del vino stesso non è da sottovalutare): 4 milioni di tonnellate di Arak sono prodotti in media ogni anno, di cui il 10% è esportato. Il rimanente è destinato al mercato locale, ma possiamo notare una quantità sempre più importante di bottiglie invendute a seguito dello spostamento dei gusti e delle scelte del consumatore verso la birra, il whisky e soprattutto il vino. Tale situazione, spinge i produttori ad aumentare la quota produttiva del vino.

Il vino, appunto, è una fonte di valore aggiunto per il Libano – la cifra di affari si avvicina ai 17 milioni di Euro - ma anche di valute. Nel 2001 è stata stimata una produzione di 6 milioni di tonnellate, di cui 1,5 milioni sono state vendute sui mercati esterni (per la maggior parte in Francia e Gran Bretagna).

Da quando il Libano è entrato a fare parte del partenariato Euro – Mediterraneo (circa metà anni 1990) egli ha beneficiato di vari investimenti che hanno permesso ai produttori vitivinicoli – da quelli delle piccole aziende agricole fino alle grandi cooperative – di migliorare sensibilmente la qualità del prodotto. Importantissimo è stata l'introduzione delle nuove tecnologie, dei serbatoi in acciaio inox, e di un cambiamento totale nella filosofia della vinificazione. Tutto ciò ha portato alla produzione di vini più puliti, con pochi tannini, e molto più fruttati. La creazione nella Valle della Bekaa della Cooperativa "*Côteaux d'Héliopolis*" ad Aïnata nel Nord-Ovest della Valle, ha dato una grande spinta all'industria vitivinicola permettendo la sperimentazione di varietà di viti francesi ed Europee. La Cooperativa ha offerto un notevole contributo nell'incrementare i profitti in un'area rurale povera di risorse. Il Libano con il tempo sta incrementando a livello regionale e mondiale la sua fama di buon produttore di vino, grazie alla forza e complessità dei suoi vini prodotti anche da varietà autoctone come Biadi e Tfeifihi. Ciò rappresenta una grande sfida per il Paese: uso di varietà indigene, moderne tecnologie e ottenimento di risultati eccellenti.

4.3.1.d Situazione Energetica e fattibilità economica del Fotovoltaico

Il Libano è un Paese privo di energia fossile, anche se alcune ricerche molto sommarie affermano la presenza di un eventuale giacimento di petrolio nella valle della Bekaa, e un giacimento di gas nelle acque territoriali. Tuttavia, il loro eventuale sfruttamento risulterebbe troppo oneroso e non competitivo, considerando l'attuale contest internazionale del mercato del petrolio. D'altra parte, il Libano ha alcuni corsi d'acqua e di siti idonei che hanno permesso di costruire, diversi impianti idroelettrici (circa 15 per un totale di 280 MW di potenza nominale).

Malgrado le favorevoli condizioni geografiche, climatiche e le sue potenzialità socio-economiche, in Libano le Fonti di Energia Rinnovabile (solare, eolico, micro e medio idroelettrico) rimangono marginali (<1%) nel suo globale bilancio energetico. Il Libano rimane un Paese ad alta intensità energetica, stimata intorno a 225 ktep⁴/1000 \$ USA. L'energia primaria pro-capite fornita è pari a 1,16 ktep/abitante.

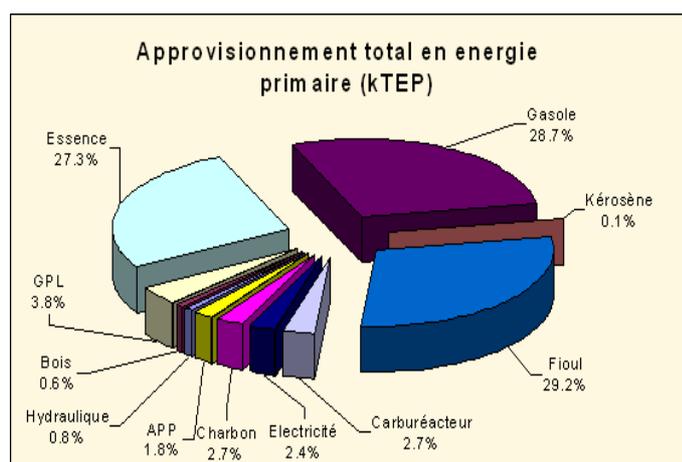


Figura 15 - Distribuzione dell'approvvigionamento in energia primaria

I consumi di energia primaria e finale sono rimasti costanti negli ultimi anni a causa della recessione economica. Tuttavia una tendenza al maggior consumo si sta verificando a partire dal 2008 con il miglioramento della situazione politica e la

⁴ La **tonnellata equivalente di petrolio (TEP)**, in lingua inglese *tonne of oil equivalent, TOE* è un'unità di misura di energia. Rappresenta la quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio grezzo e vale circa 42 GJ. Il valore è fissato convenzionalmente, dato che diverse varietà di petrolio posseggono diversi poteri calorifici e le convenzioni attualmente in uso sono più di una. È un'unità di misura usata per rendere più maneggevoli le cifre relative a grandi valori di energia. L'energia liberata dalla combustione di una tonnellata di petrolio è più intuitiva dell'equivalente valore di 42 miliardi di joule. Sono pure utilizzati i multipli MTOE (un milione di TOE) e GTOE (un miliardo di TOE). Analoga unità di misura è il *barile equivalente di petrolio*, fissato convenzionalmente in 0,146 TEP (una tonnellata di petrolio corrisponde a circa 6,841 barili). Altra unità di misura utilizzata, anche se per valori su scale differenti, è il KEP o Kilogrammo Equivalente di Petrolio (KOE in inglese), dove 1 TEP = 1000 KEP. L'IEA/OCSE definisce il TEP come equivalente a 41,868 GJ o 11,630 MWh. Altre organizzazioni adottano fattori di conversione simili, ma leggermente diversi

- 1 TEP = 41.85 GJ
- 1 TEP = 7,11, 7,33 o 7,4 barili
- 1 TEP nel campo delle fonti energetiche rinnovabili è posto equivalente a 45,217 GJ.

crescita economica in corso. Com'è il caso, in tutti i Paesi a Sud del Mediterraneo, le opportunità del mercato del solare sono importanti, importanti e estremamente favorevoli all'uso dell'energia solare per le applicazioni termiche (caldo e freddo) e fotovoltaiche. Tuttavia, malgrado tutti questi vantaggi, l'energia solare in Libano non è ancora abbastanza sviluppata rispetto ad altri paesi della regione (es. Israele, Cipro, ...).

L'energia solare utilizzata in Libano, è soprattutto sfruttata per il riscaldamento dell'acqua (pannelli solari termici), delle piscine; quindi in particolar modo è sfruttata in alcuni settori turistici e centri del benessere così come in alcuni processi industriali dove il calore è necessario. Nel 2008, la potenza fotovoltaica installata non superava i qualche kWh, questo perché tra i vari fattori che hanno costituito una barriera alla diffusione del FV, il più importante è rappresentato dalle tariffe che non sono mai cambiate da 10 anni ad oggi e che apparentemente rimangono più competitive. Tuttavia sono delle tariffe che non riflettono i costi reali della produzione e della distribuzione dell'energia elettrica.

L'opzione politica più importante per il superamento delle barriere alla diffusione delle energie rinnovabili (in particolare il fotovoltaico) in Libano sta nello sviluppo di adeguati programmi e strumenti economici basati sulle condizioni del mercato, seguiti da un coinvolgimento del settore privato nei progetti legati alle fonti di energia rinnovabile, il trasferimento delle innovazioni tecnologiche, e la necessità di aggiornare e applicare le leggi e i regolamenti nel settore dell'energia. Le barriere al trasferimento tecnologico sono stati individuati in:

- assenza di politiche, normative ed incentivi all'introduzione delle nuove tecnologie rinnovabili.
- commercio e competitività: queste voci costituiscono i principali ostacoli al processo di trasferimento delle tecnologie rinnovabili. Commercializzazione e competitività sono negativamente influenzati dal sistema monopolistico nel settore energetico libanese.
- immaturità tecnologica: essa può assumere varie forme, la più semplice delle quali è quando i potenziali acquirenti non sono aggiornati sulle tecnologie disponibili; essi possono anche trovarsi di fronte a informazioni e dati contrastanti limitando in questo modo la loro capacità di assorbire le innovazioni presenti sul mercato e quindi opteranno a scegliere quelle tecnologie a loro note (generatori elettrici, motori convenzionali, ecc...) rispetto a quelle rinnovabili.
- adeguatezza delle risorse: Il trasferimento delle nuove tecnologie richiede l'esistenza di determinate infrastrutture di sostegno. Per esempio, laboratori

- o banchi di prova, manodopera specializzata per la manutenzione periodica, e la disponibilità di piccole aziende artigianali locali capaci di le esigenze e/o le richieste di modifiche minori e la fornitura di pezzi di ricambio; tutti elementi importanti per la riuscita del processo di trasferimento di tecnologia.
- la pubblica consapevolezza: La mancanza di una consapevolezza pubblica e di una accettazione delle nuove tecnologie rimane un altro dei principali ostacoli alla diffusione delle fonti di energia rinnovabile (FER). La sensibilizzazione sui benefici delle FER dai punti di vista ambientale, economico e sociale, dovrebbe portare al superamento delle barriere sociali all'accettazione e diffusione di tecnologie sostenibili ed economicamente più convenienti nel medio – lungo periodo.

4.4 L'Azienda Agraria di riferimento

4.4.1 Descrizione generale

Situato a circa 1000 m sopra il livello del mare ai bordi della catena occidentale del Monte Libano e a 35 km da Beirut in direzione Nord- Est, Ashkout è uno dei maggiori borghi e tra i più tradizionali e agricoli della regione del Keserwan, noto anche per la tipicità dei suoi prodotti agricoli e per il suo tradizionale cibo libanese. La sua posizione unica in una vallata abbastanza ampia ai piedi del Monte Sannine che si solleva fino a 2680 m (s.l.m.) la rende un luogo sicuro e ambito dagli agricoltori provenienti da altre parti del Paese per coltivare alberi da frutto e vite. Il sito pilota del progetto RAMseS, è sito presso il “Monastero dei Santi Sarkis e Bakhos” nella parte esterna - orientale di Ashkout, nella regione del Kesrouan a 33.2°N, 35.5°E (figura 16).

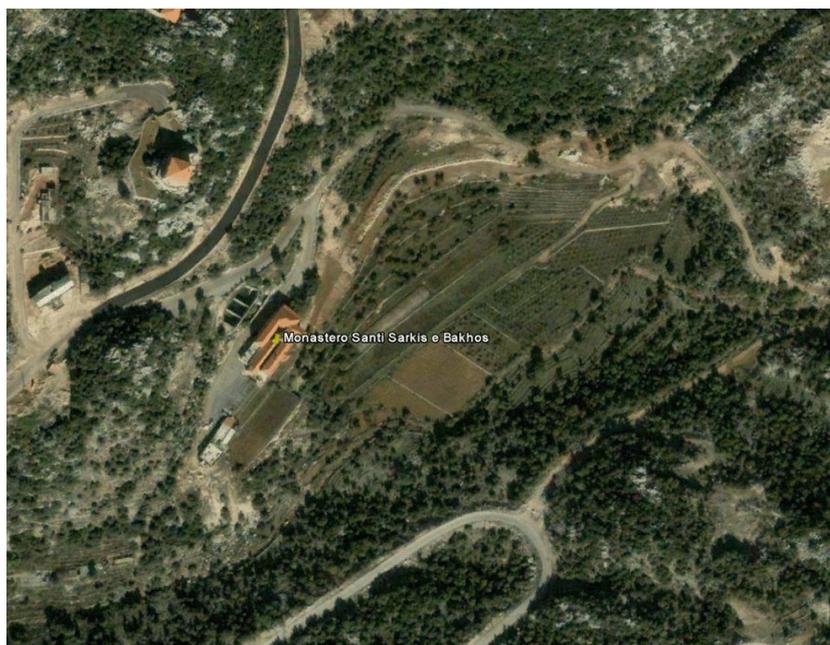


Figura 16 - Vista satellitare del sito pilota
(fonte: Google Earth)

Collocato in un tipico paesaggio Mediterraneo, nel cuore di una stretta valle fertile, il Monastero è circondato da boschi di *Quercus calliprinos* sempreverde e *Quercus infectoria* decidua. Quest'ultima è utilizzata ancora dalla popolazione locale come fonte di legna per il riscaldamento. Oltre alla sua attività spirituale-educativa, il monastero possiede una importante attività agricola che si basa principalmente sulla coltivazione dell'olivo, della vite e sulla produzione di vino ed olio. Al convento è

anch'annessa una azienda zootecnica per l'allevamento dei bovini e la produzione di latte e carni. I capi di bovini contati sono circa un centinaio.

Il clima di Ashkout è caratterizzato da un breve inverno, umido e freddo e da una lunga estate secca e calda. La stagione delle piogge inizia nei mesi di Ottobre – Novembre e termina in Marzo – Aprile. Si calcola una media stagionale delle piogge (e/o neve) di 900 – 1100 mm. Le precipitazioni occorrono in un periodo medio di 90 giorni, il 95% dei quali è concentrata tra dicembre e marzo. La temperatura media annuale è di 15°C, con Dicembre e gennaio i mesi più freddi durante i quali la temperatura media è di 5°C; tuttavia le temperature toccano anche i -5°C nelle notti più fredde. Luglio ed Agosto sono i mesi più caldi con una media delle temperature attorno ai 25°C. L'irraggiamento solare medio è di 4,5 kWh.m⁻².giorno⁻¹ (Anon, 2000). Il suolo è tipicamente argilloso alluvionale, relativamente profondo, di colore variabile dal marrone al rosso per la presenza di elevate concentrazioni di ferro.

4.4.2 La situazione agricola

A Ashkout la coltivazione della vite copre circa 75% dell'intera SAU del Monastero (Figura 17) che ha una SAT di 50 ha con la presenza di numerose coltivazioni su terrazze. L'industria del vino (rosso e bianco) e dei relativi prodotti di trasformazione (Aceto, Arak ed altri alcolici) rappresenta quasi il 60% delle attività produttive del Monastero. L'uva da vino coltivata consiste principalmente nelle varietà importate dalla Francia in particolare Chardonnay, Cabernet-Sauvignon, Syrah e Grenache. Le cultivar locali sono coltivate per la produzione dell'uva da tavola e sono Beitamouni, Tfeifihi, Biadi e Obeidi.



Figura 17 - Vigneto di 2 anni press il monastero (foto di Tony Matar)

Dopo la vitivinicoltura, l'olivicoltura occupa il secondo posto tra le attività agricole del convento. Tuttavia, mentre la vite è coltivata con scopi di commercializzazione ed esportazione, la produzione di olio d'oliva e di oliva è riservata fino ad oggi per la comunità locale. Anche la produzione orticola (soprattutto pomodori e cetrioli) è destinata per la maggior parte al consumo interno ed è praticata sia direttamente in campo che in serra (Figura 18).



*Figura 18 - La coltivazione in serra
(foto di Tony Matar)*

Prima del trasferimento e l'installazione del sistema RAMseS, l'azienda agricola del monastero era dotata di un trattore modello Massey Ferguson 130 (20 kW, 23% di efficienza) che ben si adatta ai sestri di impianto dei vigneti, e di un motocoltivatore per i lavori in serra e le attività orticole in pieno campo (figura 19).



*Figura 19 - Trattore e motocoltivatore presso l'azienda – monastero in Libano
(foto di Tony Matar)*

Nella seguente tabella (tabella 4) sono riportati alcuni dati tecnici del trattore e del motocoltivatore:

Tipo	Nome e/o Modello	Anno produzione	Potenza nominale motore	Tipo di Alimentazione	Presenza di Forza (PTO)	Velocità	Prezzo (usato)
Trattore	Massey Ferguson 130	1972	30 CV	Diesel	540	24 km/h	1930 - 6000 €
Motocoltivatore	Ferrari 72 S con motore Lombardini 3LD 510	-	14 CV	Diesel	540		1800 - 4200 €

Tabella 6 - I prezzi sono relativi a macchine usate, e variano a seconda dell'anno di produzione e lo stato di manutenzione del veicolo

Ashkout ha un clima ed un suolo perfetti per la coltivazione della vite e la produzione di vino di buona qualità. Un suolo rosso fertile combinato con un'abbondante illuminazione solare hanno fatto della terra di Ashkout una regione di eccellenza per la produzione del vino in Libano. Non molto lontano da Ashkout, nel villaggio di Fakra, i romani avevano stabilito una piccola colonia le cui rovine testimoniano il loro passato e dove veniva prodotto un vino delizioso e la coltivazione delle viti su terrazze ripide e strette.

L'area dove si trova il monastero, ad Ashkout, è rinomata come "Sun burns, ossia dove il sole brucia" per indicare l'abbondanza del sole durante tutto l'anno. Per tutte queste ragioni la vitivinicoltura è una delle principali fonti di reddito dell'azienda agraria – monastero sia nel passato che nel presente. La cantina del monastero, combina le nuove tecnologie di vinificazione con le tecniche tradizionali utilizzate da tempo. Si stima che la produzione annuale è di 2000 bottiglie (750 cc) di vino rosso, bianco e rosé (figura 20). La tabella 7, ed i rispettivi grafici nella figura 21 mostrano le produzioni di uva da vino, di bottiglie di vino rosso e bianco e prezzi al mercato.



Figura 20 - Cantina del Monastero in Libano

	Produzione totale uva	di cui uva rossa	di cui uva bianca	Produzione vino	N Bottiglie	Bottiglie vino rosso	Bottiglie vino bianco	Costi produzione bottiglia vino rosso	Costi produzione bottiglia vino bianco	Prezzo vendita bottiglia vino rosso	Prezzo vendita bottiglia vino bianco
	(Tonnellate)	(Tonnellate)	(Tonnellate)	(Litri)	Numero (750 cc)	Numero (750 cc)	Numero (750 cc)	€	€	€	€
2006	2,50	2,43	0,075	1200	1600	1552	48	4	3	7,5	6
2007	6,00	5,82	0,18	3000	4000	3880	120	4	3	7,5	6
2008	25,00	24,25	0,75	11250	15000	14550	450	4	3	7,5	6

Tabella 7 - Produzione Vino presso sito di Ashkout (periodo 2006 – 2008)

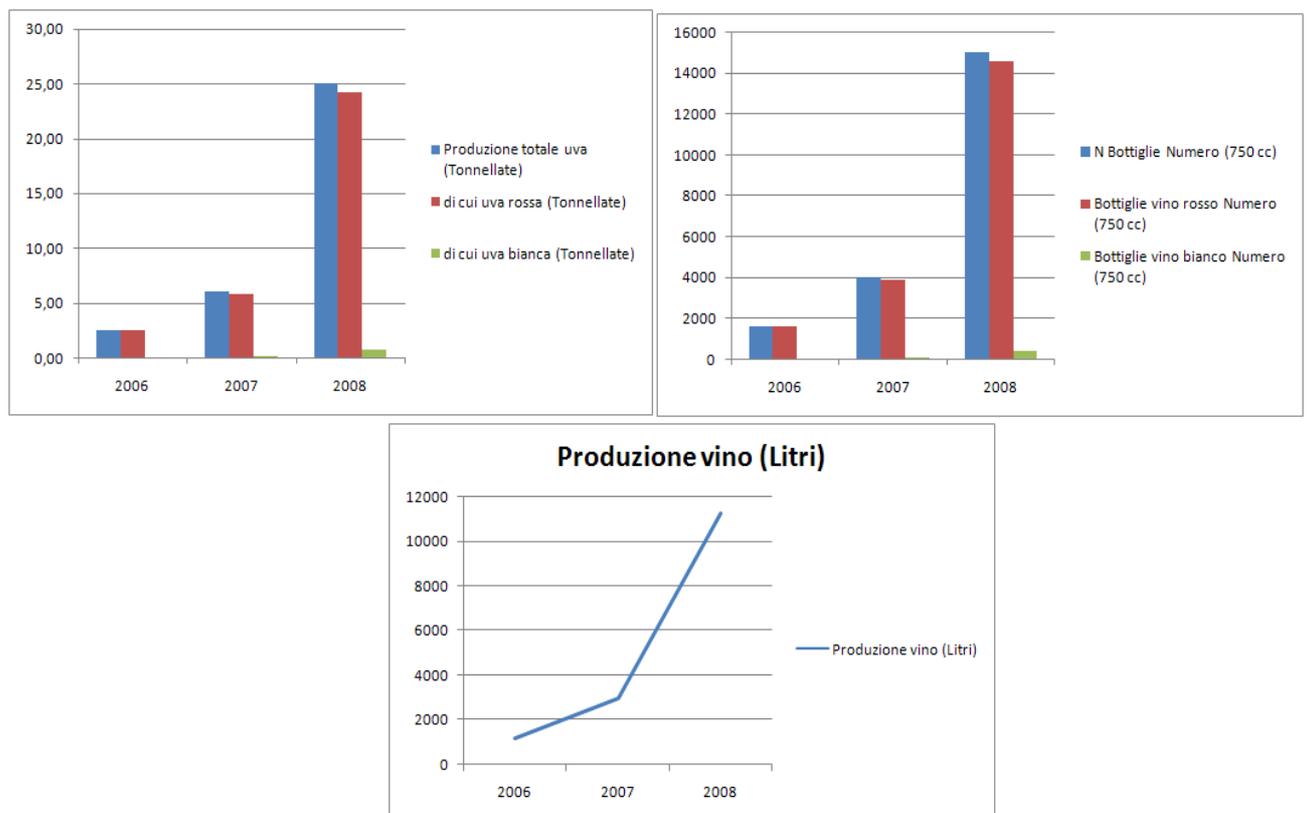


Figura 21 - Produzioni vino presso sito di Ashkout (periodo 2006 – 2008)

4.4.3 La situazione energetica

Date le pessime condizioni della rete elettrica nazionale e le instabili condizioni di fornitura di energia, ormai in Libano la maggior parte della domanda è soddisfatta dalla presenza diffusa e quasi capillare dei gruppi elettrogeni a gasolio, fortemente rumorosi e molto inquinanti. Anche il monastero produce da se la maggior parte dell'energia elettrica necessaria per soddisfare le sue esigenze. Infatti fino all'arrivo del progetto RAMseS era presente un generatore elettrico diesel da 60 KVA, 32 kW e 35% di efficienza massima (figura 21). Tuttavia a causa dei prezzi di carburante sempre crescenti sia a livello nazionale che internazionale, insieme alle spese di manutenzione, la spesa annuale di gestione del generatore elettrico è cresciuta notevolmente in questi ultimi anni, ciò ha avuto una influenza negativa sul bilancio economico dell'azienda (quindi del monastero).



*Figura 22 - Generatore elettrico diesel presso l'azienda – monastero in Libano
(foto di Tony Matar)*

5. Materiali e Metodi

5.1 Descrizione Tecnica del RAMseS

Un impianto fotovoltaico (FV) è stato dimensionato sulla base della radiazione solare incidente del sito pilota, della domanda energetica del veicolo elettrico e dell'azienda – monastero e delle attuali tecnologie FV disponibili sul mercato. Si tratta di un impianto (figura 22) capace di fornire 12kWp di potenza formato da 72 pannelli con un punto massima potenza, una tensione di potenza massima e la potenza massima di corrente di 139 Wp, 18,2 VDC e 7,59 A rispettivamente; la tensione a circuito aperto dei moduli FV è di 22,6 Volt. I vari moduli sono stati collegati in 4 file (o righe) parallele.



Figura 23 - RAMseS: Impianto fotovoltaico di Ashkout - Libano

L'impianto è collegato ad un insieme di 24 batterie stazionarie piombo – acido (figura 23) con un voltaggio delle celle di 2V, una capacità di 2350 Ah e quindi la capacità di stoccaggio delle batterie è di 112,8 kWh. Ciò consente all'azienda di usare l'energia stoccata per tre giorni continui in assenza totale o quasi totale di sole. Sei inverter (figura 23) sono stati installati di cui quattro inverter da 42,5 kW per i pannelli FV e due inverter centrali da 12,8 kW; questi ultimi sono utilizzati per controllare le batterie e la produzione energetica.



Figura 24 - Batterie Stazionarie e Inverters

Lo sviluppo del veicolo elettrico multifunzionale (VEM) ha un duplice scopo: fornire la forza motrice per gli agricoltori ed essendo parte integrante del sistema fotovoltaico e di stoccaggio delle batterie consente di essere utilizzato a vantaggio delle persone che lavorano nel settore agricolo e, contemporaneamente, ridurre i costi di immagazzinamento di energia elettrica (in termini di energia fornita da combustibili fossili). Il VEM del RAMseS (figura 24) è anche utile come mezzo di trasporto e di lavoro agricolo attualmente svolte dai veicoli tradizionali (trattori) con la stessa potenza (fino a 40 kW) alimentati a diesel.



Figura 25 - Veicolo Elettrico Multifunzionale (VEM) per l'Agricoltura

Le caratteristiche tecniche del veicolo RAMseS (VEM) sono: massa totale di 1750 kg, capacità di carico fino a 1000 kg, motore elettrico principale da 12kW di potenza nominale, un motore secondario (per la presa di forza) da 12kW, un motore idraulico da 2kW, il veicolo è facilmente alternabile tra 2 e 4 ruote motrici. Il VEM porta in due

pacchi laterali 16 batterie (8 per lato) piombo – gel da 6V ciascuna, per un totale di 96V ed una capacità di 180 Ah. Il VEM ha 4 “modalità” di operare, sia su strada che fuori strada:

- Modalità veloce, su strada a 96V (cioè batterie funzionanti in serie) a 2 ruote motrici con velocità massima di 45 km.h⁻¹,
- Modalità veloce, su strada, con 4 ruote motrici fino a 30 km.h⁻¹.
- Modalità lenta, fuori strada a 48V (batterie funzionanti in parallelo), 2 ruote motrici con velocità massima di 25 km.h⁻¹,
- Modalità lenta, fuori strada con 4 ruote motrici e velocità massima di 10 km.h⁻¹.

La distanza massima raggiungibile su strada è di 70 – 80 km; il veicolo può operare fino ad un massimo di due ore se la potenza è sfruttata al massimo (ad esempio in caso di aratura, o di utilizzo della presa di forza), mentre tale durata arriva a 4 ore se i lavori da eseguire richiedono minore potenza. La potenza massima fornita alle ruote è di circa 200 N.m. Il veicolo possiede un sistema idraulico per ulteriori operazioni agricole o di trasporto. Nella figura 25 sono mostrate il sistema idraulico e la presa di forza (PTO).



Figura 26 - Parte posteriore del VEM RAMseS con sistema idraulico e presa di forza

Già prima del trasferimento del sistema RAMseS, l'azienda – convento si affidava all'uso del trattore diesel “Massey Ferguson MF 130” i cui dettagli tecnici sono presenti nel capitolo 3.5 e in Larsen et al. (1966).

Le prime prove in campo del veicolo RAMseS (VEM) erano state realizzate in Polonia presso l'Istituto per l'elettificazione degli immobili e la meccanizzazione agricola.

La figura 27 mostra il diagramma schematico dei flussi di energia nell'ambito del sistema RAMseS presso l'azienda-convento ad Ashkout in Libano.

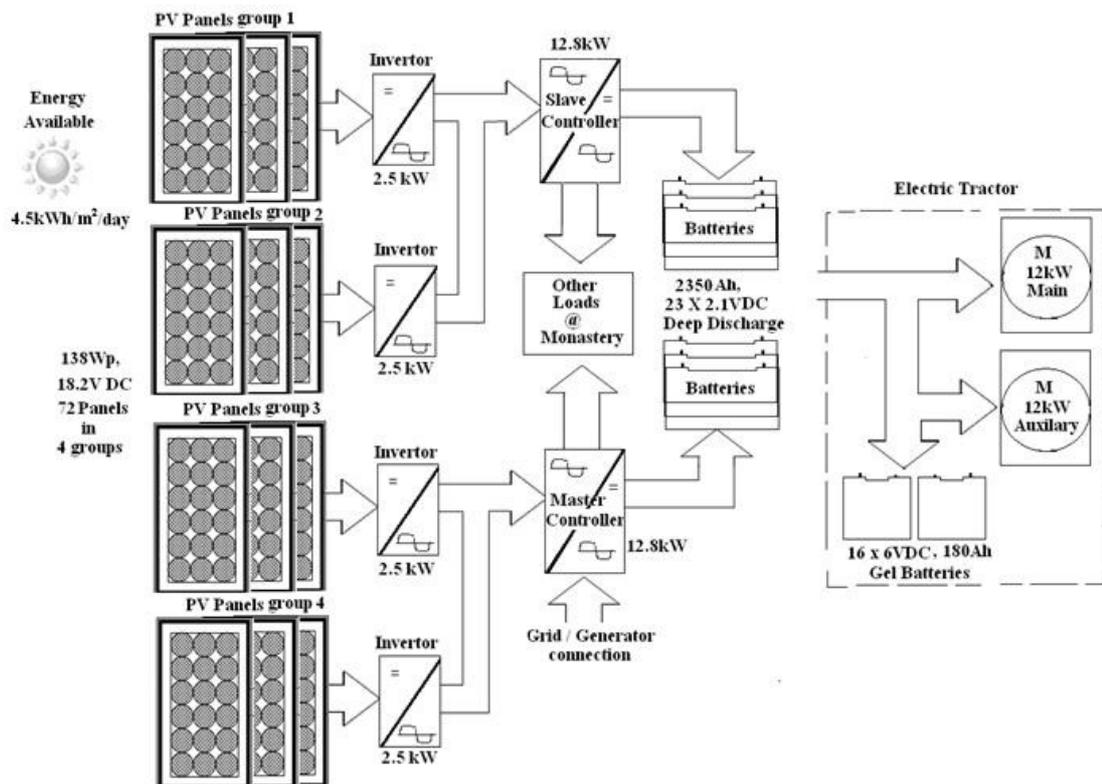


Figura 27 - Diagramma schematico che mostra il flusso dell'energia in RAMseS

5.2 Valutazione Economica - Finanziaria e Indicatori di Convenienza

La valutazione della convenienza e dell'impatto economico del RAMseS presso il sito pilota, è stata eseguita applicando il metodo dell'analisi del ciclo dei costi o "Life Cycle Cost" o LCC sia del RAMseS che dell'insieme delle tecnologie tradizionali esistenti prima del trasferimento e installazione del fotovoltaico e del veicolo elettrico.

Il LCC è una metodologia di valutazione economica che rappresenta il totale dei costi investiti nel progetto RAMseS e quindi considera i costi di acquisto, costi operativi, di manutenzione e di alienazione (gestione della fine vita) del sistema RAMseS, scontati ad un determinato tasso di sconto

Wagdy et al. (1985) e Haas (1995) hanno ritenuto che un'analisi economica realistica per i sistemi fotovoltaici sia difficilmente traducibile in una accurata proiezione dei costi nel lungo termine a causa dei numerosi e complicati fattori coinvolti. Lo stesso vale per i veicoli elettrici. Per tale motivi, il LCC rimane la migliore metodologia per la valutazione delle prestazioni economiche di sistemi differenti. In questo caso le prestazioni del RAMseS (FV+Batterie+VEM) sono paragonati con quelli di un sistema convenzionale (Diesel + Generatore + VCCI).

Nella tabella 8 sono indicati i parametri relativi all'impianto fotovoltaico RAMseS

Pannelli Fotovoltaici	Efficienza delle celle	17%	
	Area totale dei pannelli	72 m ²	
	Performance ratio (rapporto di qualità)	0,75	
	Durata totale di vita	30 anni	
	Radiazione media annuale sul sito	1752 kWh/m ² /anno	
	Batterie del FV	Batterie del VEM	
Batterie	Tipo	Piombo acido	Piombo gel
	Tensione	45 Volt	48 Volt
	Capacità di carica (Stack AH)	23	56 (8 * 7)
	DOD (Deep of Charge) cicli di carica/scarica	-	700 (75% DOD)
	Ciclo o tempo di sostituzione nella durata totale di vita	1	14

Tabella 8 – Dati tecnici dell'impianto fotovoltaico RAMseS

In questa tabella l'indice di performance (o performance ratio) PR è stato stimato considerando che 25% dell'energia prodotta dal FV è perduta a causa dell'inefficienza del sistema di conversione dell'energia posto sui pannelli chiamato anche PCU (Pacca et al., 2006).

I parametri più importanti per la determinazione della produzione energetica dell'impianto fotovoltaico sono:

- L'efficienza di conversione energetica (E)
- L'area totale dei pannelli (A)
- La radiazione solare media (I)
- Il performance ratio (PR), e
- La durata di vita (N)

Normalmente la durata di vita di un sistema è scelta sulla base della durata di vita massima del componente più longevo, in questo caso dell'impianto fotovoltaico, il quale secondo il produttore è pari a 30 anni.

Quindi la produzione totale di energia (G) nel corso della durata di vita massima dell'impianto FV RAMseS ($N = 30$ anni) è calcolata applicando l'equazione (2):

$$G = E \times I \times PR \times N \times A \quad (2)$$

Sostituendo con i valori della tabella 8 si ottiene che $G = 482.500$ kWh, cioè ogni anno ed in condizioni sempre identiche il sistema RAMseS produce 16083 kWh/anno di energia elettrica rinnovabile.

5.2.1 Valutazione del sistema RAMseS con il Life Cycle Cost (LCC)

Il Life Cycle Cost o (LCC) consiste di tutti i costi seguenti: l'investimento di capitale iniziale (C_{ini}), il valore attuale dei costi esercizio e manutenzione ($C_{O\&M}$), e il valore attuale del costo di sostituzione (C_R); dunque LCC si calcola applicando l'equazione (3)

$$LCC_{RAMseS} = C_{ini} + C_{O\&M} + C_R \quad (3)$$

I **costi iniziali** C_{ini} di un progetto o di un investimento, in questo caso il RAMseS, sono importanti per un imprenditore, specialmente per quei imprenditori che non hanno disponibilità finanziarie come è il caso delle piccole – medie imprese agricole del Mediterraneo⁵.

⁵ Il costo medio di un impianto fotovoltaico da 10 kWp (tutto compreso) in Italia è di circa 59.600 Euro (Daniele et al., 2008) senza incentivi

Sulla base delle procedure standard, questo costo iniziale viene calcolato applicando la seguente equazione (4):

$$C_{ini} = C_{FV} + C_{BS} + C_{BVE} + C_{VE} + C_{BOS} + C_{PCU} + C_S - S_{VE} \quad (4)$$

C_{FV} = Costo di acquisto dei pannelli fotovoltaici

C_{BS} = Costo delle batterie stazionarie dell'impianto fotovoltaico;

C_{BVE} = Costo delle batterie del veicolo elettrico;

C_{VE} = Costo del veicolo elettrico;

C_{BOS} = Costo del Balance of System (BOS)⁶; racchiude i costi di installazione ed il costo del materiale di supporto;

C_{PCU} = Costo dell'unità centrale di controllo dell'impianto FV; racchiude il costo degli inverter, cavi elettrici, ratificatore, caricatore delle batterie ed il sistema di monitoraggio del punto di potenza massima (maximum power point tracker o MPPT);

C_S = Costo del suolo occupato dall'impianto fotovoltaico = 0 (dato che l'impianto è installato sopra il tetto);

S_{VE} = Salvage value o valore di recupero del veicolo elettrico alla fine del suo ciclo di vita.

Secondo numerose ricerche, in particolare Diaf et al. (2008) e Lazou et al. (2000)::

- Le opere civili di installazione dell'impianto fotovoltaico rappresentano circa il 40% del suo costo totale di investimento, mentre
- Le opere ingegneristiche (costruzione della stanza di monitoraggio, figura 24, pagina 65) ne coprono il 10%

Per questa ricerca abbiamo posto che il VEM è prodotto in numero considerevole (pagina 72) paragonabile al numero dei veicoli tradizionali (VCCI); quindi i costi di design e prototipazione sono stati trascurati.

I costi di esercizio e di manutenzione ($C_{O\&M}$) questi comprendono le tasse, l'assicurazione, i costi ricorrenti e di manutenzione. I costi di esercizio e di

⁶ BOS è un termine riferito in genere agli impianti fotovoltaici ed eolici; ed esprime in percentuale le perdite di energia che si hanno nell'impianto dovute a vari fattori, quali l'accoppiamento tra i vari moduli FV, i collegamenti con il/i convertitore/i, le perdite nei quadri, nei conduttori, ecc. In genere per impianti di piccola taglia (fino a qualche kWp) ed in assenza di informazioni dettagliate si può assumere un B.O.S. pari al 15% e ottenere una buona approssimazione circa la produttività annuale, per impianti più grossi è sempre necessario un accurato studio affiancato da una buona esperienza. In considerazione dei notevoli investimenti da affrontare per la realizzazione di grandi impianti e delle potenze in gioco uno o più punti in più o in meno nel B.O.S. possono significare, talvolta, svariate migliaia di euro all'anno.

manutenzione sono determinati considerando il tasso di sconto (d) ed il tasso di inflazione (i).

$$\text{Se } d = i \text{ allora } C_{O\&M} = N * C_{O\&M0} \quad (5)$$

$$\text{Se } d \neq i \text{ allora } C_{O\&M} = C_{O\&M0} \left(\frac{1+i}{d-i} \right) \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] \quad (6)$$

N è la durata totale di vita del sistema RAMseS, pari a 30 anni.

$C_{O\&M0}$ rappresenta i costi di esercizio e di manutenzione del primo anno, ed è una frazione del costo di acquisto del FV, BOS e PCU (kohle et al., 2002):

$$C_{O\&M0} = m * (C_{FV} + C_{BOS} + C_{PCU}) \quad (7)$$

m è un coefficiente che varia tra 0 e 1

I costi di esercizio e manutenzione delle batterie stazionari sono pari a zero (Diaf et al., 2008).

Il tasso di sconto “ d ”, è un coefficiente che consente di valutare il valore attuale dei flussi di cassa futuri generati da un progetto d'investimento; tecnicamente è un'operazione di attualizzazione dei flussi di cassa. Il tasso di sconto usato varia da progetto a progetto e può essere ricavato da varie fonti informative, a discrezione di chi effettua la valutazione. Il tasso di inflazione “ i ” è un indicatore della variazione relativa (nel tempo) del livello generale dei prezzi, e indica la variazione del potere d'acquisto della moneta. E' l'indice che misura l'aumento tendenziale dei prezzi e che, di riflesso, influisce sul potere d'acquisto della moneta. Il tasso di inflazione è un indicatore statistico perciò non corrisponde alla realtà osservata dai singoli, in quanto ogni singolo individuo ha un proprio paniere e "territorio" che varia di giorno in giorno.

“ i ” e “ d ” sono stati applicati al carburante, all'energia, ai costi di manutenzione e ai costi di sostituzione di alcune o tutte le parti del sistema. Tradizionalmente, i costi del carburante sono considerati separatamente ad un tasso di inflazione superiore (Nouni et al, 2006). Dato che questi parametri sono soggetti a forti incertezze, nella valutazione del LCC abbiamo utilizzato un solo tasso di inflazione per tutti le parti del sistema. Il calcolo del veicolo elettrico multifunzionale o VEM (che è l'unico prototipo del suo genere esistente fino ad oggi) si basa sui dati storici relativi ai

veicoli elettrici e riferiti in letteratura. Esso comprende i costi dovuti alle tasse (T), al ricovero (G) e all'assicurazione (A) calcolati rispettivamente come 1.5%, 0.7% and 0.25% dei costi annuali di noleggio (Hunt, 2001). Per il calcolo del TGA , i costi di noleggio non sono considerati per un anno particolare ed il loro valore è calcolato come media ponderata sull'intero ciclo di vita del progetto o del sistema. Pertanto, il costo annuale del TGA è stimato pari a 2,45% del costo di noleggio di un veicolo elettrico. Pertanto, se il veicolo elettrico viene sostituito ogni X_{EV} anni allora il costo del TGA durante la durata di vita totale del VEM, è dato da $(2,45\% * X_{EV} * C_{VE})$. Tale costo è sommato al costo di acquisto del VEM (C_{VEM}) detratto del valore di recupero S_{VEM} o salvage value del VEM (Hunt, 2006).

Il costo di sostituzione C_R è calcolato come un valore attuale del sistema RAMseS. Dato che consideriamo come durata di vita totale del sistema quella dell'elemento più longevo, ossia l'impianto FV (30 anni), allora all'interno di tale durata, le batterie stazionarie, quelle del veicolo, il PCU e del VEM dovranno essere sostituiti dopo alcuni anni. Il costo di sostituzione è dato dalla equazione 7:

$$C_R = C_{BEV} \left[\sum_{j=1}^{N_{SBVE}} \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^{\frac{N*j}{N_{SBVE}}+1} \right] + C_{BS} \left[\sum_{j=1}^{N_{SBS}} \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^{\frac{N*j}{N_{SBS}}+1} \right] + C_{PCU} \left[\sum_{j=1}^{N_{SPCU}} \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^{\frac{N*j}{N_{SPCU}}+1} \right] + C_{VE} (1 + (0.0245 * L_{VE}) - S_{VE}) \left[\sum_{j=1}^{N_{SVE}} \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^{\frac{N*j}{N_{SVE}}+1} \right] \quad (8)$$

N_{SBVE} , N_{SBS} , N_{SPCU} e N_{SVE} sono rispettivamente i numeri di sostituzioni, delle batterie del veicolo elettrico, delle batterie stazionarie, del PCU e del veicolo elettrico o VEM, ed il loro valore è determinato nel capitolo prossimo.

5.2.2 Valutazione del sistema convenzionale con il Life Cycle Cost (LCC)

Come è ben evidenziato nella tabella 13 (pagina 90), il veicolo RAMseS è paragonabile a numerosi veicoli o trattori agricoli appartenenti alla categoria-I. durante questa valutazione abbiamo preso in considerazione il modello "John Deere 3120" che è un modello ben conosciuto e valido per un confronto con il VEM RAMseS (la stessa valutazione è valida per il "Massey Ferguson M130" del sito pilota).

Il Life Cycle Cost (LCC) totale di un veicolo a combustione interna o VCCI, è calcolato come la somma dei costi ricorrenti (C_{RIC}), quelli non-ricorrenti (C_{N-RIC}) ed i costi iniziali di investimento (C_{INI}), cioè:

$$LCC_{VCCI} = C_{RIC} + C_{N-RIC} + C_{ini} \quad (9)$$

Il **costo ricorrente** C_{RIC} più rilevante è quello del combustibile diesel (C_d) ed è determinato dalla equazione 10:

$$C_{RIC} = C_d = C_{yd} * \left\{ \frac{1+i}{d-i} * \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] \right\} \quad (10)$$

Dove C_{yd} è il costo annuale del combustibile.

I costi non ricorrenti (C_{N-RIC}) comprendono il costo di acquisto del trattore oppure il costo della sua sostituzione con un altro nuovo o usato. I costi di esercizio e manutenzione ($C_{O\&M}$), le tasse, il ricovero, e di assicurazione (TGA) sono tutti costi ricorrenti e sono stati calcolati come una percentuale della media del costo iniziale (C_{ini}) per tutta la durata di vita del veicolo e quindi sono stati aggiunti ai costi non ricorrenti.

La manutenzione dei veicoli tradizionali richiede costi di manutenzione notevoli, dovuti soprattutto al motore. La quota principale dei costi di manutenzione è assegnata al cambiamento dell'olio e del relativo filtro, miglioramento del carburatore (conseguentemente abbattimento relativo delle emissioni di carbonio) e la lubrificazione periodica. Secondo alcune ricerche (Hunt, 2001) il costo di revisione e di manutenzione di un VCCI a quattro ruote motrici e dopo 100 ore di operatività (media ponderata sulla durata totale di vita del VCCI), rappresenta circa lo 0,5% del costo di acquisto del veicolo stesso. Dopo un periodo L_{VCCI} il veicolo deve essere sostituito e abbiamo assunto che fino al momento della sostituzione il VCCI lavorerà circa 1639 ore/anno.

Di conseguenza, i **costi di esercizio e manutenzione** $C_{O\&M}$ del VCCI durante la sua durata di vita saranno calcolati come segue:

$$C_{O\&M} = \frac{0,005 * C_{VCCI}}{100ore} * 1630 * L_{VCCI} = 0,08 * L_{VCCI} * C_{VCCI} \quad (11)$$

C_{VCCI} è il prezzo di acquisto del nostro trattore alimentato con carburante diesel.

I costi non ricorrenti sono determinati dalla formula 12:

$$C_{N-RIC} = C_{VCCI} (1 + 0,0245 * L_{VCCI}) + (0,08 * L_{VCCI}) - S_{VCCI} \left[\sum_{j=1}^{N_{VCCI}} \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^{\frac{N*j}{N_{VCCI}} + 1} \right] \quad (12)$$

N_{RVCCI} è il numero di VCCI da sostituire durante il periodo di riferimento considerato.

Infine il costo iniziale di investimento del VCCI può essere stimato con l'equazione (13) e comprende anche i costi di acquisto, esercizio e manutenzione e sostituzione di un eventuale generatore diesel (Gd):

$$C_{ini} = C_{VCCI} (1 + (0,0245 * L_{VCCI}) + (0,08 * L_{VCCI}) - S_{VCCI}) \quad (13)$$

Se nel sistema oltre al trattore è anche presente un generatore diesel (come è il caso del sito pilota) allora la (13) diventa:

$$C_{ini} = [C_{Gd}(1 + (0,0245 * L_{GD}) + (0,08 * L_{GD}) - S_{GD})] + [C_{VCCI}(1 + (0,0245 * L_{VCCI}) + (0,08 * L_{VCCI}) - S_{VCCI})] \quad (13.bis)$$

5.2.3 Indicatori Economici di Convenienza

Per effettuare un giudizio di convenienza sugli investimenti considerati sono stati considerati e calcolati i seguenti indicatori di convenienza su una durata di vita di 30 anni: il Levelized Cost of Energy (LCE) o costo di produzione costante dell'energia; il Valore Attuale Netto (VAN); ed il Pay Back Period (PBP) o tempo di ritorno dell'investimento.

5.2.3. a - Il Levelized Cost of Energy (LCE):

LCE è l'indicatore più comunemente utilizzato per la valutazione della performance finanziaria di un impianto fotovoltaico. LCE corrisponde al prezzo costante al quale occorre vendere l'energia elettrica prodotta per pareggiare l'investimento iniziale con i costi di funzionamento dell'impianto stesso. Tipicamente il LCE è calcolato su un periodo di vita da 20 a 40 anni (in questa ricerca $N = 30$ anni) ed è espresso in unità di valuta (Euro) per kilowattora (kWh).

Il metodo dell'LCE ha lo scopo di convertire il flusso netto di cassa (per l'intero periodo di vita dell'impianto) in una serie di pagamenti annuali dello stesso importo (stessa rata). Il LCE è dato dal rapporto tra il costo complessivo annuale dell'investimento ed il costo annuale dell'energia elettrica prodotta.

Per l'impianto FV del RAMseS, il LCE è dato dalla equazione 14 (Diaf et al., 2008):

$$LCE = \frac{LCC * FR}{E_{anno}} \quad (14)$$

E_{anno} è l'energia prodotta in un determinato anno;

FR è il fattore di rendita che è determinato dalla equazione 15:

$$FR = \frac{d * (1 + d)^N}{(1 + d)^{N-1}} \quad (15)$$

Quando confrontiamo il LCE di due o più sistemi alternativi, è molto importante definire i limiti del "sistema" ed i costi che sono inclusi in esso. Per esempio dobbiamo considerare tra i costi le spese di ricerca e sviluppo, le tasse e eventuali studi di impatto ambientale? i costi degli impatti sulla salute pubblica e danni ambientali vanno tenuti in conto? esistono eventualmente incentivi pubblici da tenere in considerazione nel calcolo dell'LCE?

Le risposte a queste domande sono state piuttosto semplici:

- Le spese di ricerca e sviluppo non sono state considerate, soprattutto perché tutto il materiale acquistato nel progetto per la costruzione di impianto e prototipo è già presente sul mercato ed i costi facilmente comparabili con quelli del sistema alternativo già presente in azienda;
- Per le tasse abbiamo considerato la situazione libanese dove il sistema è nettamente differente da quello Europeo. L'azienda è posta su territorio religioso e quindi soggetto a esenzioni particolari.
- Nelle aree Mediterranee extra-europee, e in particolare in Libano non esistono studi di impatti ambientali i cui costi possano pesare sull'azienda.
- I costi esterni dovuti all'inquinamento sono stati invece considerati; infatti in questa tesi abbiamo dedicato un intero capitolo di analisi e confronto di impatto su ambiente e salute, sia del RAMseS che del sistema alternativo.
- Infine per gli incentivi pubblici, essendo assenti, questi costi non sono stati considerati

Un'altra questione chiave nella valutazione del LCE, è la scelta del tasso di sconto "d". Infatti, il valore scelto per "d" potrebbe spesso indirizzare una decisione verso una scelta o un'altra. I tassi "d" scelti sono indicati nel capitolo "Risultati e Discussione".

5.2.3. b - Il Valore Attuale Netto (VAN)

Il VAN che è il valore attuale netto di tutto il flusso di cassa meno il valore attuale netto dell'investimento. Il VAN è dato dall'equazione 16:

$$VAN = E_{anno} * C_E \left\{ \frac{1+i_e}{d-i_e} * \left[1 - \left(\frac{1+i_e}{1+d} \right)^N \right] \right\} - LCC \quad (16)$$

con C_E è l'unità di prezzo dell'elettricità e i_e è il tasso di inflazione dell'energia elettrica.

Il VAN è dunque l'indicatore di convenienza di un investimento, che sarà giudicato positivo (conveniente) per un $VAN > 0$ e per comparazione con VAN di eventuali investimenti alternativi (in questo il VAN dell'investimento RAMseS (fotovoltaico, batterie e veicolo elettrico multifunzionale (VEM)) sarà comparato con il VAN dell'investimento sistema tradizionale (generatore diesel, carburante fossile (diesel) e trattore con motore a combustione interna (VCCI)). In questa ricerca sono stati applicati diversi saggi di sconti (sia quello attuale sulla base delle informazioni ottenute dal Libano, che storici sulla base di dati statistici Europei).

5.2.3. c - Il Pay Back Period (PBP)

E' un indicatore molto importante nella valutazione dell'investimento di un progetto; è il numero di anni (periodo) necessario ai flussi di cassa per ripagare o rimborsare l'investimento. In questi calcoli abbiamo tenuto conto della vita dell'investimento (30 anni) e degli interessi.

Questo indice è particolarmente importante per le piccole medie imprese di che hanno poca liquidità monetaria e/o difficoltà di accedere anche a piccoli crediti. Il PBP è determinato dall'equazione 17:

$$PBP = \frac{C_{ini}}{B_{annuale} - C_{(O\&M)annuali} - C_{(E)annuale}} \quad (17)$$

5.3 Valutazione Energetica - Economica

Lo scopo di questo capitolo è quello di determinare il contributo, del RAMseS (sia nel sito pilota che in una eventuale introduzione del sistema in ambienti Europei simili), nella sostituzione totale o parziale di sistemi tradizionali che consumano combustibili fossili come i trattori ed i generatori elettrici alimentati a diesel.

La prima attività intrapresa è stata quella di una revisione dell'agricoltura libanese analizzando i dati presenti in differenti studi e ricerche svolti dal “*Lebanese Agriculture Research Institute – LARI*” su 1400 aziende agricole con superfici variabili tra 1 e 10 ettari. In particolare abbiamo considerato le aree dedicate alle coltivazioni di viti e olive che rappresentano il 44% della produzione agricola Libanese (World Bank, 2007).

Successivamente abbiamo intrapreso le seguenti analisi:

- Stima dell'energia mensile (kWh/mese) prodotta e consumata nel sito pilota;
- Valutazione del ciclo di vita del sistema RAMseS comparandolo al sistema tradizionale da sostituire mediante l'utilizzo del modello RETscreen; il tasso di sconto “d” ed il tasso di inflazione “i” applicati si basano su quelli Europei relativi agli ultimi 10 anni. Questa scelta si è resa necessaria per l'assenza di dati storici a livello Libanese;
- Valutazione dei consumi energetici, intesi come carburante, mensili (kWh/mese) necessari per la meccanizzazione per la coltivazione delle viti e degli olivi. Questa analisi è abbastanza nuova visto che in letteratura si è studiato soprattutto il bilancio energetico annuale (kWh/anno);

5.3.1 Determinazione del contributo energetico

5.3.1.a Bilancio energetico

Sulla base delle informazioni e dei dati ottenuti dal LARI, la valutazione del bilancio (produzione e consumo) energetico nella viticoltura e nella olivicoltura in Libano abbiamo determinato la domanda energetica mensile per ciascuna produzione, come dimostrato nella figura 28. Praticamente, abbiamo calcolato i rispettivi bisogni mensili in carburante diesel per l'esecuzione delle operazioni agricole necessarie ad ogni coltura. Quindi ogni anno, le aziende libanesi considerate richiedono, in media:
 $E_{\text{viticoltura}} = 1561 \text{ kWh/ha}$; $E_{\text{olivicoltura}} = 1472 \text{ kWh/ha}$

Dato che il fattore di efficienza (di trasformazione dell'energia chimica del diesel in energia meccanica per il movimento delle ruote) del trattore è del 23% (Larsen et al., 1966) e dato che il potere calorifico del diesel è di 35.5 MJ/litro. Sjorgen et al. (1995) hanno calcolato che la lavorazione meccanica della vite e dell'olivo richiede rispettivamente 692 litri/ha/anno e 652 litri/ha/anno di diesel.

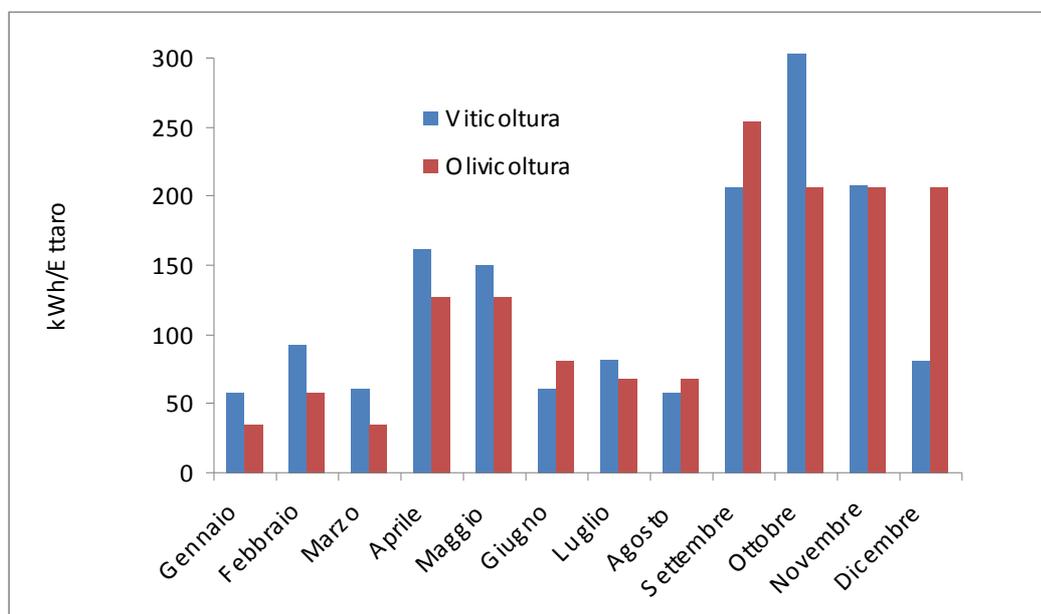


Figura 28 - Richiesta energetiche per le coltivazioni olivicole e viticole

I dati ottenuti sono stati poi paragonati con quelli estrapolati da precedenti ricerche o studi sulla domanda energetica in viticoltura Europea e Italiana (tabella 9 e figura 29).

Autore, anno	Energia richiesta per il trasporto (GJ/Ha)	Equivalente in Carburante diesel (litri)	Varietà	Sito
Pimental, 1980a	19,7	508	Vigneto da vine non irrigato	California, Costa Settentrionale - USA
Pimental, 1980b	14,1	364	Uva Concorde	Washington State USA
Pimental, 1980c	89,7	2319	Uva Concorde	Aree viticole del Great lakes USA
Pimental, 1980d	22,9	591	Uve da vino	Aree viticole del Great lakes USA
Baldi et al, 1989	8,5	219	Uve da vino	Toscana, Italia
Abbona et al., 2007	2,3	60	Uve da vino	Berisso, Argentina
Smyth and Russell, 2009	3,7	96	Uve da vino	Analisi energetica globale
El Asmar et al., 2009	24,4	631	Uve da vino	Libano (indagine su 1400 aziende)

Tabella 9 – Confronto tra dati annuali di audit energetico RAMseS e serie storiche

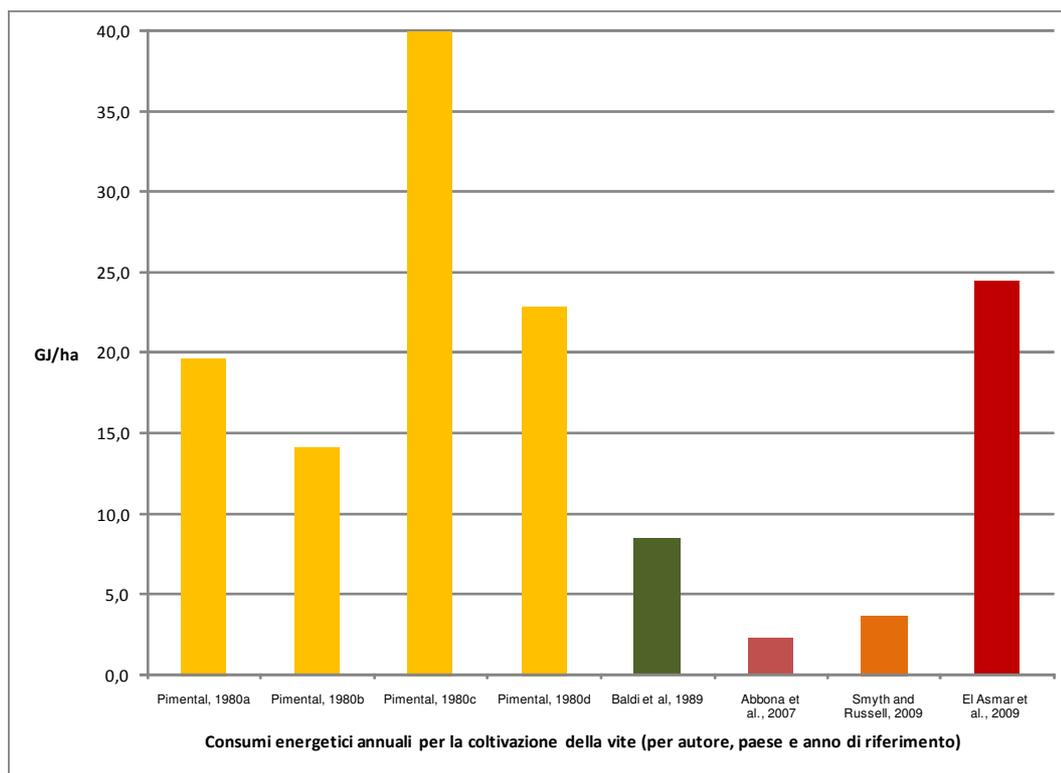


Figura 29 - Confronto tra dati audit energetico e serie storiche⁷

Si evince da sopra che la meccanizzazione agricola libanese richiede input energetici maggiori del 50%, 20%, 40%, 10%, 70% e 80% rispetto a quelle riferite da Pimental (1980a, b, c e d), Baldi et al, (1989), e Smyth et al. (2009).

D'altra parte, visto che l'efficienza media di conversione del diesel nel trattore (Massey Fergusson F130) del sito pilota è pari a 23% (Larsen et al., 1966), abbiamo stimato che: prima dell'introduzione del sistema RAMseS nel sito pilota, l'azienda consumava 631 litri/ha/anno per ha all'anno di diesel per la viticoltura e 595 litri per ettaro all'anno di diesel per l'olivicoltura⁸.

Quindi rispetto alla viticoltura Italiana e quella Americana, in Libano sono richiesti maggiori input di carburante per unità di suolo da coltivare.

5.3.1.b Valutazione del bilancio energetico

L'impianto fotovoltaico del sistema RAMseS è entrato in esercizio nel Dicembre 2008 circa; cioè 10 mesi prima dell'arrivo e della messa in operatività del trattore

⁷ 1GJ= 277,778 kWh

⁸ 1litro diesel = 10,75 kWh energia disponibile per la trazione

elettrico RAMseS o VEM. Questo ci ha permesso di determinare il bilancio energetico dell'azienda in assenza del VEM e in un secondo tempo lo stesso bilancio insieme alla domanda energetica del VEM.

La prima cosa da fare era la stima della radiazione solare media incidente (necessaria per determinare il fabbisogno in energia fotovoltaica (ed il dimensionamento dell'impianto stesso nella fase progettuale), poi la produzione di energia elettrica a parte dell'impianto fotovoltaico.

Ai fini della progettazione (nel 2007) la stima della produzione di energia dal fotovoltaico è stata fatta con l'uso del portale web del "Photovoltaic Geographical Information Service o PVGIS" del "Joint Research Center della Commissione Europea" <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> (figura 30). Una volta dimensionato il sistema anche in base alle esigenze di ricarica delle batterie del VEM, è stata determinata la potenza nominale dell'impianto fotovoltaico, 12kWp.

Per determinare invece il bilancio energetico durante il periodo di esercizio (in assenza e poi in presenza del VEM) abbiamo attivato un account (a pagamento) offerto dalla "Sunny Portal" <http://www.sunnyportal.com/> (figura 31) che permette di monitorare on-line le prestazioni dell'impianto fotovoltaico RAMseS.

The screenshot shows the PVGIS web interface. At the top, it says "JRC Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps". Below that, there are navigation links and a search bar. The search bar contains coordinates "33.5N, 35.5E". The map shows a location in Tunisia. On the right, there is a panel for "Performance of Grid-connected PV". The settings are: PV technology: Crystalline silicon; Installed peak PV power: 10 kWp; Estimated system losses: 14%; Fixed mounting options: Mounting position: Free-standing; Slope [0;90]: 35; Azimuth 0; Tracking options: Vertical axis, Inclined axis, 2-axis tracking; Output options: Web page selected. A "Calculate" button is at the bottom.

Figura 30 – Portale PVGIS per il calcolo della di produzione del fotovoltaico

Il monitoraggio del sistema è iniziato nel mese di Agosto 2009. Il veicolo elettrico è arrivato presso il sito pilota a fine Luglio 2009, ma è entrato in esercizio con l'inizio delle prove in campo nell'Ottobre dello stesso anno.

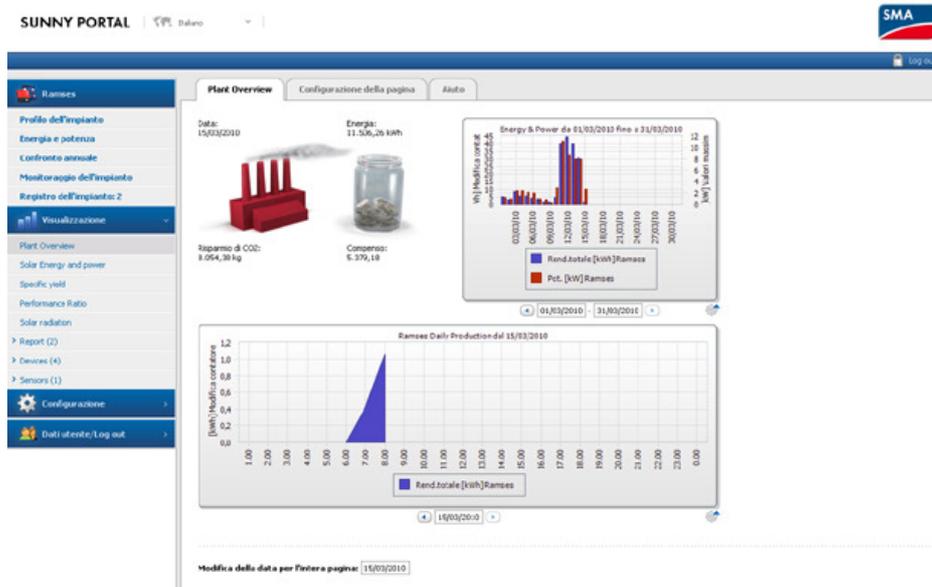


Figura 31 - Monitoraggio remoto via rete del sistema RAMseS

Un primo monitoraggio fatto mediante lettura degli inverter era stato compiuto prima dell'utilizzo del “Sunny Portal”, e si è stimato che: La produzione elettrica media annuale dal fotovoltaico è stata di 3685 kWh. Il consumo elettrico dell'azienda pari a 2544 kWh. Tale consumo è incrementato fino a 3392 kWh/anno dal momento che è entrato in funzione il VEM (ricarica delle batterie). Quindi possiamo stimare che il consumo medio giornaliero è circa 8,4 kWh/giorno. Considerando che nell'azienda vivono tutto l'anno circa 20 persone, il consumo energetico individuale è stimato a circa 0,4 – 0.5 kWh/giorno.

Qui di seguito mostriamo i consumi ottenuti con il portale “Sunny Portal” , i dati ottenuti da entrambi i monitoraggi sono abbastanza concordanti (figura 32; tabella):

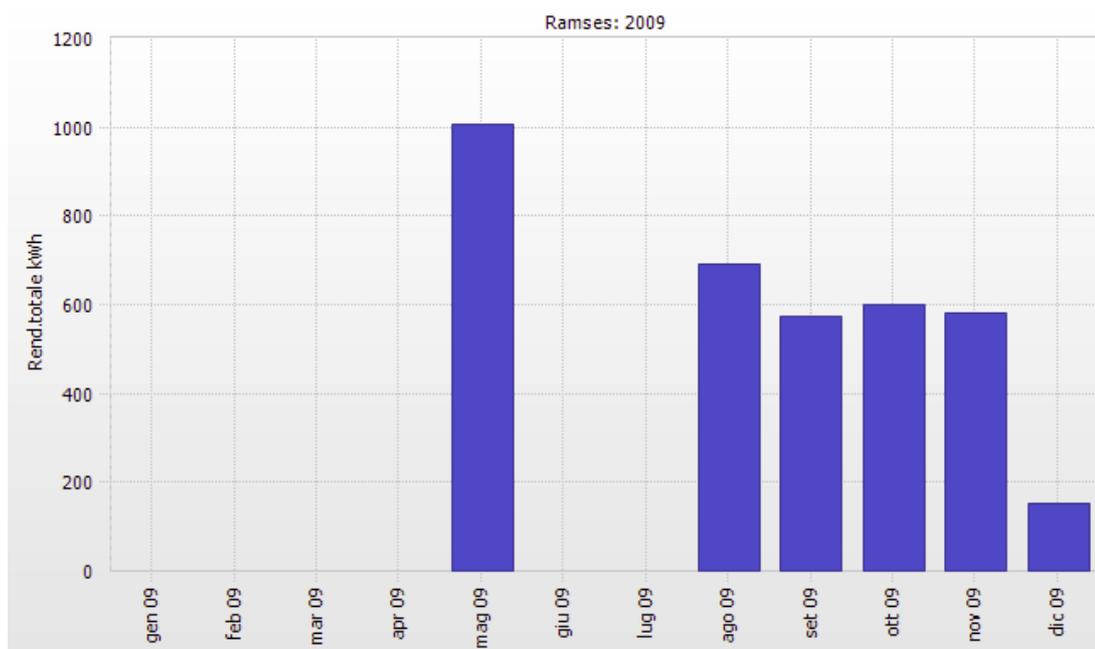


Figura 32 – Rendimento Fotovoltaico RAMseS 2009 (Sunny Portal)

Rend.totale [kWh]	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	Totale
2009	-	-	-	-	1006,4	-	-	691,94	574,88	600,95	582,15	150,04	3606,4
2010	-	231,7	638,29	341,57	-	-	-	-	-	-	-	-	1211,6
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4817,9
Valore medio	-	231,7	638,29	-	-	-	-	691,94	574,88	600,95	582,15	150,04	-
Quota annua	-	6,68%	18,39%	-	-	-	-	19,94%	16,57%	17,32%	16,78%	4,32%	-

Tabella 10 – Rendimento totale 2009 e 2010 (Sunny Portal)

L'impianto fotovoltaico è stato dimensionato per fornire energia elettrica all'azienda e al VEM, di conseguenza non tutta l'energia prodotta dal fotovoltaico è utilizzata dall'azienda come indicato nel grafico della figura 33:

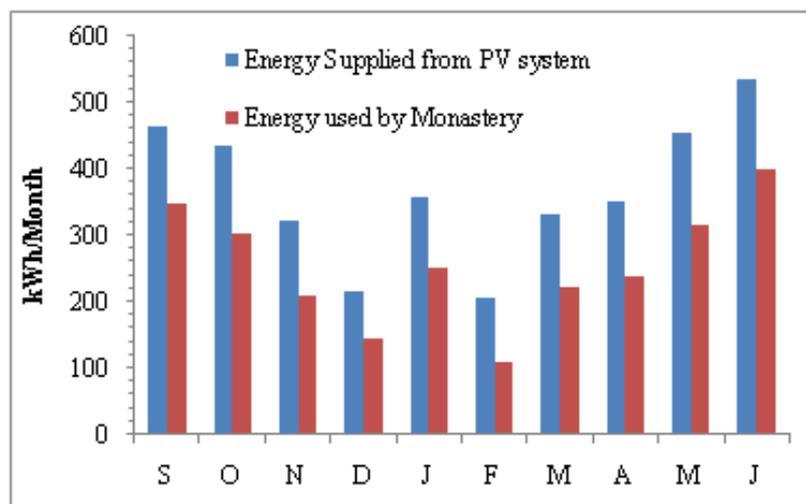


Figura 33 – Bilancio energetico RAMseS
(periodo Settembre 2008 - Giugno 2009)

Quindi possiamo stimare che la produzione media annuale del RAMseS sia di 44 kWh/giorno e dato che un motore elettrico converte il 75% dell'energia elettrica in energia meccanica per muovere le ruote (USDE, 2008), dunque la produzione di energia necessaria da fornire all'azienda sarà di 33 kWh/giorno.

5.3.2 Analisi delle performance del sistema con il modello RETScreen

Per svolgere tale analisi sul periodo di vita totale del nostro sistema (30 anni) era necessario determinare se i dati storici su impianti e località simili, erano congrui con quelli monitorati e ottenuti dal sistema RAMseS.

Il grafico della figura 33 mostra i valori medi giornalieri (in kWh/m²/giorno) della radiazione solare incidente sul sito pilota stimati rispetto ai valori pubblicati dalla NASA in (Anon, 2000).

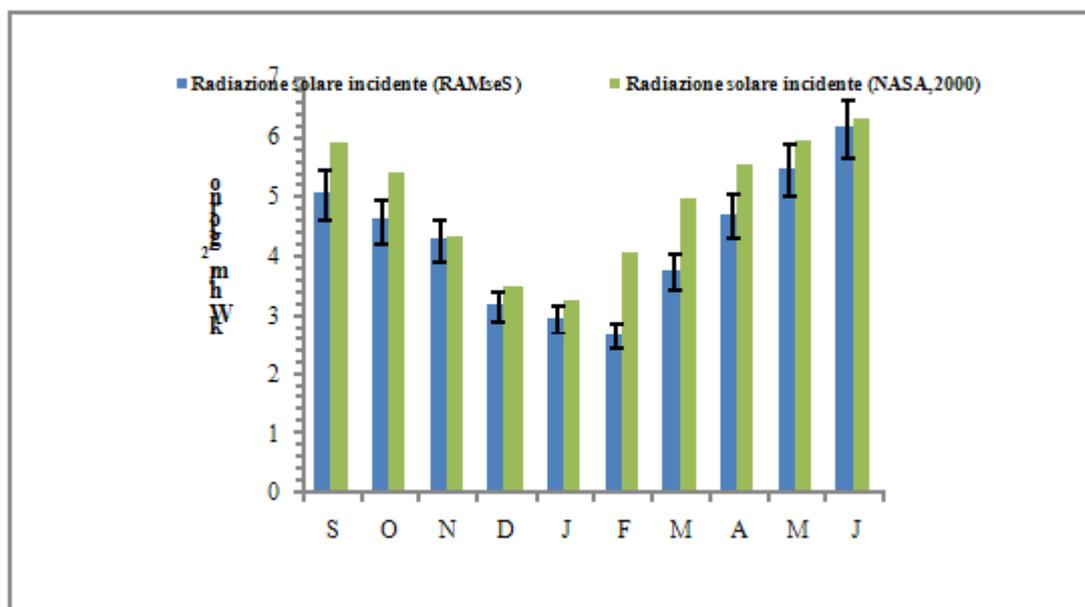


Figura 34 – Confronto tra i dati misurati e quelli di lungo termine della radiazione solare per il sito pilota - RAMseS

Osservando che i dati misurati sul sito pilota sono di poco inferiori a quelli storici (circa 13%), quindi vista la scarsa differenza, abbiamo optato per l'uso dei dati storici NASA.

La stima delle performance di lunga durata dell'impianto fotovoltaico del RAMseS, è stata fatta applicando il modello elettronico *RETScreen*⁹. RETScreen® è uno strumento semplice, sviluppato per l'analisi dei progetti sulle energie rinnovabili. È uno strumento unico sviluppato in Canada grazie al contributo di numerosi esperti istituzionali, industriali e accademici. Il software, fornito gratuitamente, può essere utilizzato in tutto il mondo per valutare la produzione ed il risparmio di energia, i costi di gestione degli impianti, la riduzione delle emissioni, gli aspetti finanziari ed i rischi di vari tipi di tecnologie efficienti e rinnovabili. Il software comprende anche un database su prodotti, costi e dati climatici.

I dati tecnici del sistema introdotti nel software per valutare le performance del sistema sono stati in larga parte ottenuti dal "*Sunny Portal*" e comprendono misure effettuate per il 2009, come mostrato nella tabella 11.

Oltre alle performance energetica abbiamo realizzato con RETScreen anche la valutazione delle performance economiche del sistema (Fotovoltaico, batterie e VEM) determinando sia il VAN che il PBP del RAMseS comparandoli con quelli del

⁹ <http://www.etscreen.net/it/home.php>

sistema tradizionale (Generatore di elettricità, diesel e VCCI).

Dato che il sistema fotovoltaico del RAMseS è più specializzato di un impianto tradizionale della stessa potenza abbiamo intrapreso la valutazione applicando un costo elevato pari a 4,23 €/Wp (Solarbuzz, 2009). Mentre nella stima effettuata nel capitolo precedente il costo stimato era di 3 €/Wp

In questa analisi abbiamo determinato i consumi in carburante per la coltivazione del vigneto e dell'oliveto del sito pilota; i consumi di energia se le operazioni colturali venissero eseguite dal VEM.

Quindi, considerando una variazione dei tassi di inflazione "i" del carburante del 2,5%; 5%, 7,5% e 10% ed una variazione del tasso di sconto "d" del 2%, 5%, 8% e 10%, abbiamo determinato il rapporto costi/benefici del sistema RAMseS applicando l'equazione usata da Duffie et al. (2006) ossia "Present Worth of the costs" e quindi determinato gli eventuali risparmi in carburante (equazione 18):

$$PW = \frac{A(1+i)^{N-1}}{(1+d)^N} \quad (18)$$

A = rendite annuali; N = numero anni

Mesi	Giorni	Radiazione solare incidente (NASA,2000)	Radiazione solare totale (NASA,2000)	Media T °c ambientale FV	Temperatura media moduli FV	Velocità media del vento	Media della carica batterie	Energia in entrata nelle batterie	Energia fornita dalle batterie	SOC delle batterie	errore SOC	Temperatura batterie	Voltaggio Batterie	Energia prodotta (input) dal FV	Energia Fornita (output)	Totale Energia dalla rete	Totale Energia ceduta alla rete	Output previsti
		kWh/m ² /gi orno	kWh/m ² /m ese	°C	°C	m/s	V	kWh	kWh	%	%	C	V	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
S	30	5,89	176,66	22,6	28,9	0,7	53,7	434	383	80,6	2,8	25,2	49,0	465,32	348,1	0	0	296
O	31	5,40	167,46	16,4	22,3	0,5	55,0	384	378,23	77,36012	4,20745	19,5	49,3	436,21	302,5	0	0	306
N	30	4,32	129,53	12,9	18,7	0,6	55,6	273	300	74,4	4,1	15,1	49,3	323,5	211,1	0	0	296
D	31	3,47	107,67	8,8	13,8	0,5	56,6	182	221	69,6	5,1	10,8	49,3	216,8	144,3	0	0	306
J	31	3,24	100,36	6,9	11,3	0,4	57,2	320	320	71,9	4,0	8,9	49,0	358,6	251,3	0	0	306,38
F	28	4,07	113,91	6,6	10,7	0,5	55,9	173	168	74,5	4,6	8,7	49,4	206,6	109,8	0	0	276,73
M	31	4,96	153,77	7,5	12,6	0,6	56,7	292	282	74,0	4,0	9,9	49,3	332,9	224,0	0	0	306,38
A	30	5,54	166,25	13,4	19,7	0,7	55,0	291	316	74,3	4,3	16,9	49,6	353,1	238,5	0	0	296,49
M	31	5,93	183,87	17,5	24,1	0,7	54,2	397	387	80,4	4,3	22,6	49,3	454,6	315,1	0	0	306,38
J	30	6,31	189,40	23,8	31,0	0,8	53,5	495	448	82,5	3,9	26,3	49,2	536,9	399,1	0	0	296,49
Media		4,91	148,89	13,7	19,3	0,6	55,3	324,1	320,3	76,0	4,1	16,4	49,3	368,5	254,4	0,0	0,0	299
totale	303	49	1489							3241	3203			4052,983	2798,07			3294

Tabella 11 - Dati per la misura delle performance del sistema fotovoltaico

5.3.3 Valutazione delle performance per aree e tecnologie alternative

Considerando i dati della radiazione solare media incidente sul Mediterraneo osserviamo che questa varia da una zona all'altra per valori che passano da 4,4 kWh/m²/giorno sopra Madrid (Spagna) a 5,9 kWh/m²/giorno sopra Gerusalemme (Israele). Mentre, sopra il sito pilota (vicino a Beirut, 35 km) il valore calcolato era di 4,5 kWh/m²/giorno. Perciò la produzione annuale di energia elettrica da un sistema RAMseS in diverse aree del Mediterraneo sarà differente, di conseguenza l'analisi economica produrrebbe risultati diversi. La figura 35 mostra la produzione di energia prodotta dall'impianto RAMseS in diverse regioni del Mediterraneo come simulata da RETscreen.

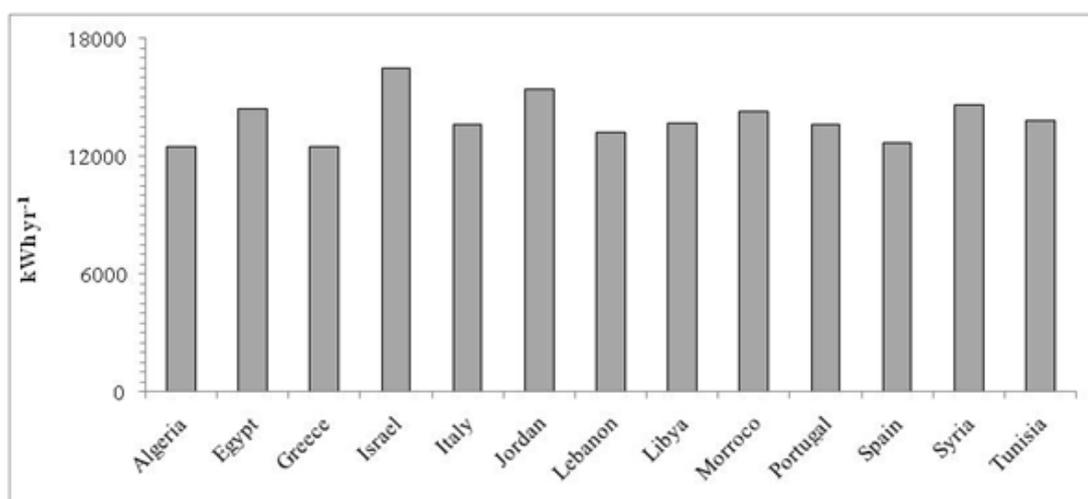


Figura 35 – Produzione energia prevista da RETscreen per diverse aree del Mediterraneo

Inoltre abbiamo considerato che il sistema sia appoggiato su un modello più avanzato di batterie (Litio-Titanio) con un costo nettamente inferiore a quelli delle batterie stazionarie RAMseS (Alteirano, 2009). Le batterie Nano-titanio hanno numerosi vantaggi rispetto a quelle piombo – acido: possono essere ricaricate in 10 minuti fino all'80% della loro capacità di carica totale, la loro durata di vita è superiore a 20 anni, arrivano a 15000 cicli carica/scarica mantenendo intatta l'80% della loro capacità totale, hanno una densità energetica pari a 4 - 5 kWh/litro (rispetto al diesel) e non contengono metalli pesanti inquinanti (Alteirano, 2009). Il loro costo è apparentemente inferiore rispetto alle batterie piombo – gel, ma tale differenza è dovuto soprattutto al fatto che le batterie del RAMseS erano state progettate appositamente per il progetto e quindi non hanno un riferimento commerciale vero e proprio.

In questa fase abbiamo ripetuto gli stessi calcoli del capitolo 5.3.2.

5.4 Valutazione dell'impatto ambientale del RAMseS

La valutazione dell'impatto ambientale del sistema RAMseS si è basata sull'analisi LCA che prende in considerazione l'emissione totale degli inquinanti ambientali (aria, suolo e acqua) associati a tale sistema; dall'acquisto della materia prima fino alla fine del suo ciclo di vita. Il termine "Well to Wheel" ossia "dal pozzo (well) alla ruota (wheel)" WTW è spesso utilizzato quando si tratta di analizzare il LCA dei veicoli o di qualsiasi sistema la cui costruzione si basa essenzialmente sullo sfruttamento diretto o indiretto del petrolio.

Il LCA del RAMseS necessita, in particolare, la presa in considerazione dell'inquinamento che si genera durante la manifattura e la gestione delle batterie, del veicolo elettrico, dei moduli fotovoltaici, e all'insieme del materiale di installazione e di supporto di un modulo fotovoltaico detto nel suo insieme "*Balance of System*" o BOS¹⁰.

Per quanto riguarda i veicoli convenzionali VCCI, i calcoli LCA prendono in considerazione la produzione del carburante (alla fonte), l'uso del carburante (da parte del veicolo), i rifornimenti in carburante, le emissioni dal carburatore, le emissioni evaporative, le fasi di costruzione del trattore (VCCI) e la fine di vita del veicolo (fase di rottamazione o demolizione). Il rilascio di migliaia di litri di olio combusto, i filtri, i rumori e le vibrazioni sono altre forme importanti di inquinamento ed il loro impatto sulla salute umana e sull'ambiente sono stati considerati.

I numerosi gas serra che abbiamo considerato durante la valutazione dell'impatto ambientale, del veicolo RAMseS (VEM) rispetto a quella di un veicolo convenzionale (VCCI), sono: CO₂, CH₄, SF₆, SF₄, C₂F₆, N₂O e PFC. Per semplicità li abbiamo raggruppati come CO_{2eq}. Gli altri inquinanti che abbiamo preso in considerazione sono: i metalli pesanti, SO₂, NO_x, CO, PM (particelle fini) e HC (idrocarburi). NO_x è composto per il 90-95% da NO e per il 5-10% da NO₂. Sulla base dei dati dell'EPA (2004) tutte le emissioni in particelle fini sono considerati di grandezza inferiore ai 10µ cioè (PM₁₀) mentre il 97% di queste è considerato inferiore ai 2,5 µ (PM_{2,5}).

¹⁰ Il **balance of system** (B.O.S.) è un termine riferito in genere agli impianti fotovoltaici ed eolici ed esprime in percentuale le perdite di energia che si hanno nell'impianto dovute a vari fattori, quali l'accoppiamento tra i vari moduli FV, i collegamenti con il/i convertitore/i, le perdite nei quadri, nei conduttori, ecc. In genere per impianti di piccola taglia (fino a qualche kWp) ed in assenza di informazioni dettagliate si può assumere un B.O.S. pari al 15% e ottenere una buona approssimazione circa la produttività annuale, per impianti più grossi è sempre necessario un accurato studio affiancato da una buona esperienza. In considerazione dei notevoli investimenti da affrontare per la realizzazione di grandi impianti e delle potenze in gioco uno o più punti in più o in meno nel B.O.S. possono significare, talvolta, svariate migliaia di euro all'anno.

Le analisi si sono basate sull'assunto che l'energia giornaliera consumata dal VEM e dal VCCI è la stessa, e che entrambi i modelli di veicolo sono stati costruiti nel 2008.

5.4.1 Valutazione dell'impatto ambientale dei pannelli fotovoltaici

Le principali emissioni nell'ambiente da parte dei pannelli fotovoltaici commerciali sono rappresentati dai metalli pesanti, gas tossici e gas serra; i rimanenti scarti liquidi e solidi provenienti dalla produzione dei pannelli sono normalmente riciclati e quindi non li abbiamo presi in considerazione (Fthenakis et al., 2008). I fattori di emissione durante il ciclo di vita del fotovoltaico (FV) sono stati calcolati come totale inquinanti nel corso dell'intero ciclo vitale del FV (in grammi) diviso la produzione elettrica netta per lo stesso periodo (in kW_{el}) (Meier, 2002).

Sulla base dei numerosi riferimenti, i fattori di emissione del WTW dei pannelli fotovoltaici monocristallini (cioè dall'estrazione del silicio alla produzione della cella e quindi del modulo fotovoltaico, utilizzo, trasporto e smaltimento), sono rappresentati nella tabella 10. In essa, i valori diversi presentati per le emissioni di CO_{2equ} derivano da differenti ipotesi relative ai metodi di produzione dei moduli fotovoltaici monocristallini, e della sorgente di energia che viene utilizzata durante il processo di produzione. Nel calcolo delle emissioni relative all'impianto fotovoltaico da installare su suolo, il caso 2 risulta quello più vicino alla realtà del sistema RAMseS poiché i pannelli erano stati prodotti in Europa. Inoltre se applichiamo al RAMseS la media delle emissioni CO_{2equ} presente nella tabella 10, otteniamo un valore che coincide con il caso 2.

Oltre alle emissioni di gas inquinanti il processo di produzione dei pannelli fotovoltaici monocristallini è anche associato alle emissioni di metalli pesanti.

Tecnologia di riferimento	Inquinanti (g/kWh _{el})									Condizioni di test	Riferimento	
	CO _{2eq}			SO ₂			NO _x					
Si-m (1997)	75	-	-	0,3 (somma di NO _x e SO ₂)			-	-	-	-	-	Krauter et al., 2004
Si-m (2010) (stima)	30	-	-	0,1 (somma di NO _x e SO ₂)			-	-	-	-	-	Krauter et al., 2005
Pannelli Si-m (2004) installati sul tetto e connessi alla rete	41	-	-	-	-	-	-	-	-	I=1700; PR=0,75; E=13,7%	Alsema e Scholten, 2006	
Pannelli Si-m (2000) installati sul tetto e connessi alla rete	60	-	-	-	-	-	-	-	-	I= 1700; L = 30 anni	Pacca et al., 2006	
Si-m (2006)	35	-	-	-	-	-	-	-	-	I=1700; R=0,75; L= 30 anni; E=14%	Pacca et al., 2007	
	Modulo	Telaio	BOS	Modulo	Telaio	BOS	Modulo	Telaio	BOS			
Pannelli Si-m (2004-2006) installati al suolo (caso 1)	27	35	5	0,05	0,061	0,008	0,074	0,008	0,01	I=1700; PR=0,8; L= 30 anni; E=14%	Fthenakis et al., 2008	
Pannelli Si-m (2004-2006) installati al suolo (caso 2)	36	43	4	0,069	0,002	0,01	0,122	0,147	0,016	I=1700; PR=0,8; L= 30 anni; E=14%	Fthenakis et al., 2008	
Pannelli Si-m (2004-2006) installati al suolo (caso 3)	45	54	6	0,15	0,186	0,02	0,306	0,38	0,038	I=1700; PR=0,8; L= 30 anni; E=14%	Fthenakis et al., 2008	
Pannelli Si-m (2006) integrati nel tetto (nell presente)	28,5	35	3							I=1700; PR=0,75; E=14%	Alsema et al., 2006	
Pannelli Si-m (2006) integrati nel tetto (nel futuro)	13	15,5	2,5							I=1700; PR=0,75; E=19%	Alsema et al., 2006	
Si-m sul tetto		43								I=1700	Alsema e Fthenakis, 2004	

Tabella 12- Fattori di emissioni inquinanti per i pannelli fotovoltaici monocristallini (Si-m) nel corso dell'intera durata di vita dei pannelli

Secondo Fthenakis et al. (2008), i fattori di emissione dei metalli pesanti nell'ambiente, nel corso del ciclo di vita dei pannelli Si-m è stimato nella tabella 11.

Metalli pesanti emessi in atmosfera	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
(g/GWh)	2,3	1	6	9,8	1	26

Tabella 13 – Emissioni metalli pesanti nel corso della produzione dei pannelli fotovoltaici monocristallini

Le emissioni di metalli pesanti consistono in emissioni dirette ed emissioni indirette; per l'impianto fotovoltaico non ci sono emissioni dirette di metalli pesanti, salvo durante la fase di rottamazione a fine vita dell'impianto. Tuttavia molti materiali sono recuperabili in tale fase. Considerando che l'energia elettrica che ci si attende venisse prodotta dall'impianto fotovoltaico RAMseS è circa 482,500 kWh (equazione 2). Il calcolo delle emissioni nell'arco dell'intero ciclo di vita del fotovoltaico del RAMseS è mostrato nella tabella successiva:

Emissioni	CO _{2eq}			SO ₂			NO _x		
	Modulo	Telaio	BOS	Modulo	Telaio	BOS	Modulo	Telaio	BOS
	17,37	1448	1930	33	1	5	57	4	8
Totale		20,748			39			71	

Tabella 14 – Emissioni inquinanti (in kg)

Infine anche per i gas inquinanti, il fotovoltaico di per se, non è causa diretta di emissioni in atmosfera.

5.4.2 Valutazione dell'impatto ambientale delle Batterie

Le batterie possono essere considerate come il serbatoio di carburante (energia chimica – elettrica) del veicolo RAMseS o VEM. A differenza dei serbatoi dei veicoli con motore a combustione interna o VCCI, il serbatoio del VEM non deve essere completamente scaricato. Infatti in condizioni di massimo utilizzo del veicolo o nel caso in cui il veicolo è lasciato in sosta per un tempo più o meno lungo, la profondità di scarico o DOD accettabile non deve superare l'80%, anche se la politica migliore da scegliere (per mantenere il ciclo di vita delle batterie intorno ai 3 anni) è quella di non scaricare le batterie oltre il loro 50% di carica.

Come già accennato nel capitolo 5.1 (pagina 63), il sistema RAMseS utilizza due tipi diversi di batterie. Il primo tipo è formato da 16 batterie al piombo gel, installate sul veicolo VEM, ricaricabili e con una durata di vita totale di 3 anni, ma normalmente la loro efficienza dura 2 anni. Inoltre, esse non necessitano manutenzione. Avendo considerato che il ciclo di vita totale del RAMseS è di 30 anni, queste batterie dovranno, in media, essere sostituite almeno 15 volte in 30 anni ($N_{SBVE} = 15$ volte).

Il secondo tipo di batterie è rappresentato da 24 batterie stazionarie (fisse nel locale di controllo dell'azienda), piombo acido e capace di immagazzinare abbastanza energia elettrica da fornire all'azienda per 3 a 5 giorni, prima della ricarica. Generalmente un DOD di 50% per le batterie stazionarie è considerato ragionevole (3 giorni senza ricarica). Queste batterie hanno una durata di servizio abbastanza lunga di circa 20 anni in condizioni di carichi elettrici anche instabili (Exide, 2008).

Dunque queste batterie dovranno essere sostituite al massimo 2 volte in 30 anni di vita del sistema RAMseS ($N_{SBS} = 2$ volte).

Per le batterie al piombo-acido, i fattori di valutazione del ciclo di vita WTW (dal pozzo alla ruota) sono stati estrapolati da due diversi riferimenti sono riportati nella tabella 14. Questi fattori mostrano le emissioni di inquinanti per kg di peso netto della batteria. Le emissioni risultanti dalle batterie (al piombo-gel) RAMseS sono anche esse indicate nella tabella 14.

Abbiamo anche tenuto conto del fatto che l'estrazione e quindi lo sfruttamento del piombo nel processo di produzione delle batterie è associato ad emissioni significative di arsenico (Rantik, 1999). Purtroppo, questo inquinamento non è quantificabile per la mancanza di adeguati dati in letteratura.

Per quanto riguarda la batteria del VCCI, non l'abbiamo prese in considerazione a causa delle sue piccole dimensioni.

5.4.3 Valutazione dell'impatto ambientale dei Veicoli

Gli LCA sia dei veicoli a combustione interna (VCCI) che di quelli elettrici multifunzionali (VEM) sono stati valutati applicando il modello della United State's Environmental Protection Agency (EPA, 2004).

L'agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente (United State's Environmental Protection Agency, EPA) ha riferito nel 2004 (EPA, 2004) che le principali emissioni dei veicoli fuori-strada (trattori) sono dovuti principalmente alle combustioni del motore, dalle evaporazioni del tubo di scarico ed anche dalle evaporazioni durante il rifornimento di carburante.

Per la valutazione dell'impatto ambientale dei trattori VEM e VCCI presso il sito pilota, è stato assunto che l'energia totale prodotta durante il ciclo di vita dell'intero processo, per il VEM del RAMseS e per il VCCI è uguale. L'energia media prodotta quotidianamente dall'impianto fotovoltaico è stimata a 44 kWh; dato che i veicoli elettrici sono capaci di convertire il 75% dell'energia chimica dalle batterie in energia meccanica per muovere le ruote (USDE, 2008), il consumo quotidiano di energia sia del VEM che del VCCI è dunque stimato a 33 kWh/giorno.

I motori diesel sono capaci di convertire soltanto il 23% dell'energia chimica (Larsen et al., 1966) del combustibile in energia meccanica utile per muovere le ruote (e quindi il veicolo). Se il 2,2% di tale energia è consumato per gli altri componenti del veicolo allora soltanto il 20,8% di energia rimane disponibile per muovere il veicolo (USDE, 2008).

La società americana per l'ingegneria agricola (ASAE, 1998) ha stimato che in un trattore tipico, la media delle perdite di energia nella trasmissione è dell'82%, quindi l'efficienza energetica finale del diesel nel VCCI si riduce a 17%. Dunque un VCCI dovrebbe consumare quotidianamente circa 222 kWh di combustibile per produrre 33 kW/giorno di energia. Considerando che la densità energetica del diesel è 13,76 kWh/kg il VCCI consumerebbe in media 16,11 kg/giorno di combustibile. La quantità totale di combustibile consumata in 30 anni dal VCCI sarà di 176 Tonnellata.

Il trattore agricolo tipo il Massey Ferguson MF130 presente presso il sito pilota ha una Potenza di 27 CV, che in altitudine vengono ridotti ad appena 21 CV. Il motore diesel è meno efficiente all'aumento dell'altitudine perché l'ossigeno è inferiore rispetto ai siti meno elevati di conseguenza la combustione del diesel si riduce. Il

VEM del RAMseS che ha una Potenza costante di 16 CV (elettrici), la cui efficienza non cambia con la variazione dell'altitudine. Questo fatto rappresenta un punto di forza per il VEM in agricoltura di montagna che caratterizza I paesi del Mediterraneo.

Nella tabella 13 sono indicati i principali dati tecnici di trattori a combustione interna da comparare con il RAMseS:

Modello Veicolo	Anno Produzione	Coefficiente di conversione dell'energia chimica/elettrica in energia meccanica	Potenza in CV	Tipo di Alimentazione	Peso medio in kg	Ruote motori	Press di Forza (PTO) in rpm	Attacco 3 punti	Batterie e bordo
VEM-RAMseS	2008	75%	16,1	Elettrica	1750	2 - 4	540 -1000	Categoria I, fino a 1000 kg	16 batterie 6 V, 180 Ah per la trazione elettrica + Una batteria 12 V, 80Ah per altri usi
VCCI-Massey Ferguson MF 130	1972	23%	27	Diesel	1789	2	540	Categoria I, fino a 1011 kg	12 V, 80 Ah
VCCI-John Deere 3120	2008	23%	29,5	Diesel	1316	4	540	Categoria I	12V, 40 AH

Tabella 15 – Confronto tecnico tra trattori convenzionali e trattore (VEM) RAMseS

Il trattore VCCI-John Deere 3120 al 100% di carico consuma una media di 7,18 litri/ora di carburante diesel (www.tractordata.com), tuttavia il motore non lavora sempre a carico pieno. Secondo l'EPA (2004), il fattore di carico dei motori diesel relativi ai veicoli agricoli e per una gamma di potenze definite, è uguale a 0,59. Di conseguenza, il consumo di carburante (diesel) a tale fattore di carico si ridurrebbe a 4,24 litri/ora. Tenendo in considerazione che la densità del diesel è circa 0,85kg/litro (Wikipedia, 2009), il consumo di carburante sarà di 3,6 kg/ora. Quindi con 11,6 kg/giorno di carburante, il VCCI potrebbe lavorare per 4,47 ore/giorno.

Per quanto riguarda le emissioni di inquinanti, EPA (2004), aveva proposto le equazioni (16) a (20) per il loro calcolo a zero - chilometri e in condizioni di veicolo fermo, considerando gli aggiustamenti da apportare per le operazioni, il deterioramento di varie parti (gomme, motore, ecc.), variazioni del livello di zolfo nel carburante. Con tale approccio, i fattori di emissione della CO₂ e dell'SO₂ sono calcolati sulla base del consumo specifico dell'olio dei freni (CSOF).

Il calcolo dei PM è effettuato per i PM₁₀ e PM_{2,5}; un fattore di aggiustamento dello 0,97 è usato per le uscite di PM₁₀.

$$EF_{rett} (HC,CO,NO_x) = EF_{ss} \times TAF \times DF \quad (19)$$

$$EF_{rett} (PM) = EF_{ss} \times TAF \times DF - S_{PMagg} \quad (20)$$

$$EF_{rett} (CSOF) = EF_{ss} \times TAF \quad (21)$$

$$CO_2 = (CSOF \times 453,6 - HC) \times 0,87 \times (44/12) \quad (22)$$

$$SO_2 = (CSOF \times 453,6 \times (1 - soxcnv) - HC) \times 0,01 \times soxdsl \times 2 \quad (23)$$

Il CSOF (consumo specifico di olio dei freni) è calcolato in litri olio/CV-ora. Nelle equazione riportate sopra, l'unità di misura CO₂ e SO₂ è indicata in g/CV-ora, HC è un valore rettificato (rett) delle emissioni di idrocarburi misurato in g/CV-ora. Nell'equazione (24) S_{PMagg} è calcolata in relazione all'equazione (23):

$$S_{Pret} = CSOF \times 453,6 \times 7,0 \times soxcnv \times 0,01 \times (soxbas - soxdsl) \quad (24)$$

Dove 7,0 è il fattore che considera i grammi di solfato di PM per grammi di zolfo PM. Il termine "soxcnv" rappresenta la frazione di zolfo del gasolio convertito PM. Di solito questo parametro viene assunto pari a 0,02247 per i veicoli diesel fuori-strada. Il "soxbas" è un valore pari a circa (3300 ppm) 0,33 percentuale di massa del veicolo; lo stesso per "soxdsl" (500 ppm) che è pari 0,0500 percentuale di massa. Sostituendo questi parametri per "S_{Pret}" nell'equazione (24) si ottiene 0,0812g/CV-ora.

Applicando le equazioni (21) e (22) rispettivamente per CO₂ e SO₂ per 30 anni si hanno i valori riportati nella tabella 14 (EPA, 2004).

Emissioni	CO ₂	SO ₂	NO _x	CO	PM	HC
Valori in kg	726,093	222	5824	1963	178	345

Tabella 16 – Valori delle emissioni dal trattore John Deere 3120 su un periodo di 30 anni

Il fattore di deterioramento (DF) varia in funzione dell'età del motore. È definito come:

$$\begin{aligned} DF &= 1 + A \times (\text{Fattore Età})^b && \text{per un Fattore età} \leq 1 \\ DF &= 1 + A && \text{per un Fattore età} > 1 \end{aligned} \quad (25)$$

“A” e “b” sono delle costanti relative ad un determinante inquinante e tipo di tecnologia ($b \leq 1$). Per i VCCI “b” è sempre uguale a 1. Ciò si traduce in un modello di deterioramento lineare, in cui il tasso di degrado del mezzo è costante per tutta la durata media del suo motore. Il fattore età (Age Factor) può essere calcolato dall'equazione (25):

$$\text{Age factor} = \text{fraction of median life expended} = \frac{\text{cumulative hours} \cdot \text{load factor}}{\text{median life at full load in hours}} \quad (26)$$

In base a questo modello dell'EPA (2008), per veicoli fuori strada (trattori) da 29,5 CV con 4 ruote motrici, si hanno i risultati delle emissioni presentati in tabella 15:

Parametri di emissione	CSOF	NO _x	CO	PM	HC
Ore zero-Fattori di emissione- Efss (g/CV-ore)	-	4,7279	1,5323	0,2	0,2789
Coefficiente del fattore di deterioramento (A)	-	0,008	0,151	0,473	0,027

Tabella 17 – Parametri di emissione di un trattore da 29,5 CV

EPA (2004), ha valutato che il fattore di emissione di HC del carburatore rappresenta il 2 % del totale degli scarichi di HC per tutti i motori dei veicoli fuoristrada. Quindi per il periodo di tempo considerato, le emissioni di gas idrocarburi sono circa 6,9 kg.

Per quanto riguarda le emissioni di gas durante i rifornimenti di carburante, queste si suddividono in due tipi: fuoriuscita e evaporazione. In entrambi i casi, una parte del carburante finisce vaporizzata in aria, sotto forma di idrocarburi. A causa dell'alto punto di ebollizione del diesel, l'EPA nel suo “*Non-Road 204 report*” utilizza un singolo fattore di emissione pari a 0,0108 g/litri vapore diesel in tutte le condizioni. Altre perdite possono anche verificarsi in caso di fuoriuscite accidentali che l'EPA quantifica in 3,6 gr per rifornimento. Quindi se il volume del serbatoio di un ICEV è pari a 51 litri, le fuoriuscite sia per evaporazione che per fuoriuscite, è pari a 0,0183 g/litro. E se consideriamo il consumo stimato a 176 tonnellate (nell'arco dell'intero ciclo di vita del mezzo) possiamo stimare le emissioni di HC dovuti al rifornimento, pari a 17 kg.

Un'altra fonte di emissione di gas serra ed altri inquinanti da non ignorare è quella che si manifesta durante le fasi di produzione del carburante (estrazione, trasporto, raffinamento, trasporto, ...). La tabella 16 mostra i tassi di emissione durante

ciascuna delle quattro fasi della catena di produzione del combustibile diesel (IEA, 2000).

g/GJ	CO₂	NO_x	CO	PM	HC
Estrazione petrolio	2,54	8,74	3,2475	0	25,93
Trasporto in raffineria	0,6	17,52	1,038	0	13,515
Produzione diesel	4,98	6,47	0,399	0	33,533
Distribuzione diesel	0,45	6,052	0,55	0,1	0,691
Totale emissioni	8,57	38,782	5,2345	0,1	73,669
Valori di emissione (kg)	75	339	46	0,9	644

Tabella 18 – Emissioni di inquinanti durante le fasi di produzione del Diesel

Per la valutazione dell'inquinamento dovuto ai processi di produzione dei veicoli VCCI, abbiamo preso in considerazione tutte le fasi che vanno dall'estrazione delle materie prime (metalli, plastica, vetro, ecc.) alla produzione/costruzione, fino alla fine del ciclo di vita del veicolo che corrisponde con la rottamazione. L'impatto dei vari parametri è calcolato utilizzando i valori dei materiali da costruzione dei veicoli. I fattori di emissione di un semplice VCCI e di un VEM sono definiti come variabili dell'unità di riduzione di peso del veicolo (Dhingra et al, 1999). I dati valutati sono riportati nella tabella 17:

kg/kg di riduzione di peso	CO_{2eq}	NO_x	CO	PM	HC
Estrazione e trasformazione del materiale grezzo	3,644	0,00506	0,012	0,00416	0,0011
Produzione	2,2453	0,0024	1,893x10 ⁻⁴	5,966x10 ⁻⁴	-
Fine vita	0,0135	3,58x10 ⁻⁵	1,77x10 ⁻⁶	4,09x10 ⁻⁶	-
Totale	5,9	0,00749	0,012191	0,00476	0,0011
Emissioni (kg)					
VCCI	30,735	39	64	25	6
VEM (RAMseS)	10,478	13	22	8	2

Tabella 19 – Emissioni ottenuti per VEM (RAMseS) e VCCI

Secondo il modello dell'EPA (2004) la vita media di un VCCI fuori strada (trattore) è di 1,5 anni circa; ma visto che tali veicoli (trattori) di solito vengono revisionati, non è cosa comune sostituirli dopo questo periodo.

Se il trattore viene revisionato almeno quattro volte nel corso del suo ciclo di vita, la sua durata di vita sarà un po' più di 7,5 anni.

Dato che il VEM non ha molti ingranaggi in movimento come nel VCCI, allora abbiamo ipotizzato che dovrebbe essere sostituito al massimo due volte nel corso del periodo considerato ossia 30 anni ($N_{SVE} = 2$ volte).

5.4.4 LCA ambientale con SimaPro

Per valutare gli effetti dei inquinanti sull'ambiente e di conseguenza sulla salute umana (considerando i vari effetti ad es. tumori, eco-tossicità, cambiamento climatico ...) abbiamo comparato due sistemi che sono stati in confronto due sistemi modellati con il software SimaPro®.

SimaPro (figura 34) è un programma elettronico molto usato per la valutazione del ciclo di vita di sistemi energetici ed il loro impatto sull'ambiente inteso come aria, suolo, acqua, e salute umana e/o animale. Il software dispone originalmente di un modello per la simulazione dell'impatto di un veicolo agricolo (trattore) che abbiamo sfruttato senza apportarne nessuna modifica. Inoltre, nel programma sono presenti delle routine per il calcolo delle emissioni dovute alla combustione del diesel. Per quanto riguarda il RAMseS abbiamo impostato SimaPro per simulare tre sottosistemi: il VEM, le batterie e l'impianto fotovoltaico. Per quanto riguarda le batterie l'impatto parziale derivante dal materiale utilizzato (in particolare il piombo) è stato determinato sulla base dello studio LCA di Rantik (1999). Tutti gli altri parametri applicati derivano dai dati determinati o ottenuti nei paragrafi precedenti. Abbiamo anche presupposto che alla fine della loro vita, tutti i materiali dei sistemi considerati saranno smontati e quindi riciclati.

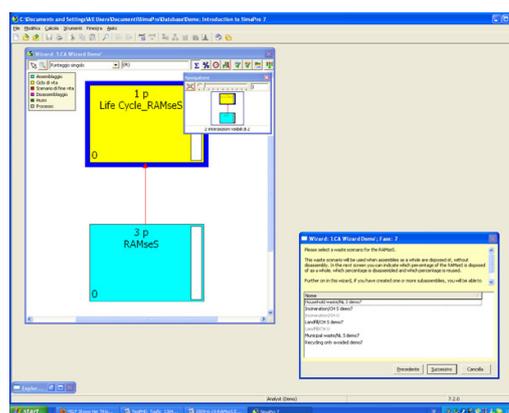


Figura 36 – SimaPro

Si presume inoltre che alla fine della vita del sistema, tutti i sistemi dovranno essere smontati ed i materiali vengono riciclati. SimaPro produrrà risultati su più di 700 inquinanti, compreso rumori e vibrazioni. I dati ottenuti a seguito delle simulazioni

SimaPro comparati con quelli ottenuti nel sottocapitolo precedente, mostrano alcune delle piccole differenze tra i sei principali inquinanti che tuttavia i risultati sono coerenti.

6 Risultati e Discussione

6.1 Valutazione Economica – Finanziaria e Indicatori di Convenienza

L'efficienza finale del combustibile di un VCCI può essere stimata in base alle numerosi perdite che si verificano quando l'energia chimica viene trasformata in energia meccanica necessaria per muovere le ruote. Quindi in media, circa il 18% - 23% dell'energia del combustibile è trasmessa alle parti rotanti del veicolo (USDE, 2008). Secondo la ASABE (2006), l'efficienza energetica della trasmissione di un trattore tipico è pari ad un massimo 82% portando a 15% l'efficienza finale del combustibile. A 100% di carico (il pieno di carburante) il consumo del VCCI era stato stimato pari a 7,18 litri/ora (John Deere Company), ma secondo l'EPA (2004) possiamo considerare un fattore di carico pari a 0,59 per lo stesso veicolo (in questo capitolo consideriamo il trattore modello John Deere).

Pertanto il consumo medio di carburante di un veicolo VCCI da comparare al RAMseS è approssimativamente di 4,2 litri/ora, pari a 3,6 kg/ora, dato che la densità del diesel è $D = 0,85$ kg/litro (Wikipedia, 2008)

Dal momento che il diesel ha una densità energetica di 13,76 kWh/kg, la quantità di diesel consumata quotidianamente e annualmente dal VCCI può essere stimata rispettivamente di 16 kg/giorno e 5900 kg/anno. Con 16 kg/giorno un VCCI può lavorare in media 4,47 ore/giorno. EPA dimostra che per questi trattori la vita media utile prevista è di 2500 ore (EPA, 2004). Pertanto, possiamo presumere che la vita utile del nostro VCCI è di circa 1,5 anni alla fine dei quali il trattore dovrebbe essere revisionato o sostituito. Se il trattore viene revisionato quattro volte nell'arco dei 30 anni considerati in questo lavoro, allora in teoria dovremmo sostituirlo almeno 3 volte ($N_{SVCCI} = 3$ volte).

Come avevamo già rilevato nel capitolo precedente, il VEM del RAMseS non ha molte parti in movimento (soggette a usura) come un VCCI. Questo fa sì che la sua vita utile sia più lunga di quella di un trattore convenzionale. La durata di vita del VEM è presupposta pari a 15 anni. Hunt (2001) ha stimato che dopo 8 e 15 anni, il costo del VCCI si deprezzerà del 61% e 73% rispettivamente. Questa stima tiene conto anche dell'effetto dell'inflazione.

Quindi possiamo presupporre che dopo 8 anni, il "Salvage Value" (equazione (4)) del VCCI, è del 39% rispetto al suo costo iniziale, mentre "Salvage Value" del VEM dopo 15 anni è del 27% del costo iniziale.

Descrizione	Costi e parametri RAMseS	Valori di riferimento (Bibliografia)							
		Bhuiyan et al, 2000	Oparaku et al, 2003	Granovski et al, 2006	Nouni et al, 2006	Celik, 2006	Diaf et al, 2008	Daniele et al, 2008	Mousazadeh et al, 2009
Costo unità FV (€/Wp), C_{UV}	3	3,2	2,2	-	2,3	4,8	2,6	4,3	-
Costo unità batteria stazionaria (€/kWh), C_{UBS}	182	80	54	-	-	81	96	-	-
Costo del BOS (% del C_{UV}), C_{BOS}	10+40	4	-	5-10	17-47	8	3,2	-	-
Costo unità CPU (€/kWp), C_{UCPU}	700	590	-	-	515-955	920	964	750	-
Durata vita FV (anno), N	30	20	30	-	20	25	25	30	20
Indice costi O&M per FV (% di C_{UV}), m	1,2	2	3	2	3	1	1	1-3	1,3
Tasso di sconto (%), d	12	7-15	8	10	10	5	4	5	10
Tasso d'Inflazione (%), i	5,6	3-8	4	-	-	-	1,4	-	-
Durata vita batterie stazionarie* (anno), L_{BS}	15	-	5	-	7	7	5	-	-
Durata di vita del PCU, L_{PCU}	10	-	-	-	10	13	10	-	7
Tasso di inflazione carburante in %, i_f	5,6	5-10	-	0	-	-	1,4	-	5
Costo unità batteria VEM (€/kWh), C_{UVEM}	262	-	-	-	-	-	-	-	-
Prezzo stimato veicolo elettrico (€), C_{VE}	15000	-	-	-	-	-	-	-	-
"Salvage value" del costo del VEM (% del C_{VE}), S_{VE}	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Tasse, ricovero e assicurazione (% del C_{VE}), TSI	2,45	-	-	-	-	-	-	-	-
Durata vita VEM (anni), L_{EV}	15	-	-	-	-	-	-	-	-
Durata vita batterie VEM (anni), L_{BVE}	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Tasso di inflazione dell'energia (%), i_e	5,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Durata vita VCCI (anni), L_{VCCI}	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Prezzo del VCCI (€), C_{VCCI}	11250	-	-	-	-	-	-	-	-
Costi esercizio e manutenzione VCCI (% del C_{VCCI}), $C_{O&MVCCI}$	0,5/100 ore	-	-	-	-	-	-	-	-
"Salvage value" del costo del VCCI (% del C_{VCCI}), S_{VCCI}	39	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 20 – Valori di riferimento

Per calcolare il LCC dobbiamo determinare i valori dell'equazione (3). Applicando i dati presenti nella tabella 20, possiamo stimare il costo iniziale del sistema RAMseS. Questi dati sono stati ottenuti dai partners del progetto, quindi sono prezzi

corrispondenti al mercato locale (Libano per il Fotovoltaico, Spagna per le batterie). In questo capitolo, il costo del Veicolo elettrico è stato stimato base ai dati relativi a veicoli elettrici commerciali. Tuttavia, rispetto ai veicoli elettrici presenti sul mercato, il VEM ha caratteristiche notevolmente uniche (3 motori, cassone posteriore, presa di forza, sistema idraulico, ecc.) e ciò potrebbe incrementare il suo costo del 50% . Rimane un aspetto fondamentale: il costo delle batterie incide in modo considerevole sul costo totale del veicolo e quindi C_{BVE} si somma C_{VE} ottenendo il prezzo approssimativo del VEM.

$C_{FV} = 3 \text{ (€/Wp)} * 1000 * 12 \text{ (kWp)}$	= 36.000 €
$C_{BS} = 182 \text{ (€/kWh)} * 108,1 \text{ (kWh)}$	= 19.674 €
$C_{BVE} = 262 \text{ (€/kWh)} * (17280 \text{ (Volt*Ah)/1000})^{11}$	= 4.527 €
$C_{VE} = \text{(Stima approssimativa)}$	= 15.000 €
$C_{BOS} \text{ (dalla pagina 69)} = (40\% + 10\%) C_{FV}$	= 18.000 €
$C_{PCU} = 700 \text{ (€/kWp)} * 12 \text{ (kWp)}$	= 8.400 €
$C_{Suolo} \text{ (rif. pagina 69)}$	= 0.00 €
$S_{VE} = 27\% C_{VE}$	= 4.050 €

Quindi l'**investimento iniziale** è (equazione 4): $C_{ini} = 97.551 \text{ €}$

Quando questa parte della ricerca era stata iniziata, il tasso di sconto "d" in Libano era del 12% (Business and Economy database, 2008); il tasso di inflazione, sempre per il 2008, dei vari componenti era pari a 5,6% (World Factbook, 2008). Secondo la Banca Mondiale (World Bank, 2008), il prezzo dell'energia elettrica in Libano era di 0,06 €/kWh.

Utilizzando i valori riportati della tabella 20, sostituendoli nelle equazioni (7) e (8) ($N_{SBVE}=15$; $N_{SBS}=2$; $N_{SPCU}=1$; e $N_{SVE}= 2$ sono rispettivamente i numeri di sostituzioni, delle batterie del veicolo elettrico, delle batterie stazionarie, del PCU e del veicolo elettrico) e quelli calcolati nel paragrafo precedente, otteniamo che:

Il **Costo di sostituzione** (equazione 8): $C_R=102.016 \text{ €}$

I **Costi di esercizio e manutenzione** (equazione 7): $C_{O\&M}= 8.096 \text{ €}$

Sostituendo tutto nell'equazione (3): $LCC = 97.551+102.016+8.096 = 207.663 \text{ €}$

¹¹ 1kWh = 1Ah x 1 Volt/1000

Di tutti i componenti del costo iniziale C_{ini} del sistema RAMseS, il 36% è rappresentato dai costi del sistema fotovoltaico, il 15% dal costo del veicolo elettrico VEM (tuttavia questa cifra rimane sempre una stima prudenziale, dato che il mezzo potrebbe anche arrivare a coprire il 36% dell'investimento iniziale), il 20% dal costo delle batterie stazionarie, il 4% dalle batterie del VEM, 8% e 17% dai costi relativi a PCU e BOS, rispettivamente.

Il costo di sostituzione (C_R) è dovuto alla somma dei fattori derivanti dal numero (e relativi costi) di sostituzione delle BVE, del VE, del PCU e delle BS, rispettivamente, che è del 90%, 2,5%, 5% e il 2,5%. Il costo relativo alle batterie del sistema RAMseS e quello relativo alla loro sostituzione (2 volte per le BS, e 15 volte per le batterie del VEM nell'arco di 30 anni) coprono in media il 52 - 53% del valore totale del LCC del RAMseS.

In questo senso la riduzione dei costi delle batterie rimane una priorità per incrementare l'efficienza economica di sistemi multifunzionali e stand-alone come è il caso del RAMseS.

La valutazione economica del RAMseS può essere esaminata secondo due scenari o ipotesi. Nel primo scenario i calcoli prendono in considerazione l'energia netta prodotta dal sistema RAMseS escludendo la presenza del veicolo elettrico (ossia 44 kWh/giorno); nel secondo scenario prende in considerazione l'energia consumata dal veicolo elettrico VEM (quindi l'energia netta rimasta disponibile è di 33 kWh/giorno). La seconda ipotesi è stata confrontata con la condizione convenzionale ossia la presenza di un veicolo a combustione (VCCI) e di un generatore elettrico convenzionale (generatore diesel).

La figura 37 mostra il LCC del veicolo RAMseS paragonato al VCCI. Il valore totale del LCC RAMses è quasi € 207.000 per il periodo considerato. Mentre la somma dei costi non ricorrenti ed il costo iniziale di un VCCI è 31.000 € (tabella 20); i costi ricorrenti e di conseguenza il LCC del VCCI dipendono fortemente dal costo del carburante (quindi dalle fluttuazioni del mercato del Petrolio e dei suoi derivati). Incrementi del costo del carburante (diesel) hanno portato ad una crescita lineare del LCC del VCCI. La parità del $LCC_{VEM-RAMseS}$ e LCC_{VCCI} si ottiene quando il costo del carburante si avvicina a 1,8 €/litro.

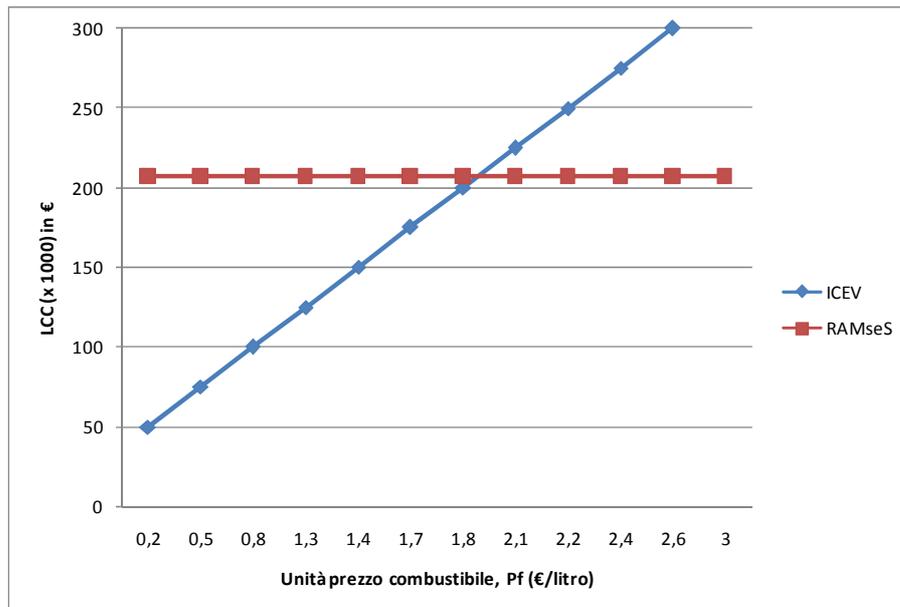


Figura 37 – Confronti tra i Life Cycle Costs (LCC)

Dalla figura 37 possiamo constatare che il Life Cycle Cost (LCC) del veicolo RAMseS è leggermente superiore rispetto a quello del trattore tradizionale VCCI, tenendo conto anche del fatto che il carburante in agricoltura è ancora incentivato.

In altri termini, l'efficienza economica del RAMseS cresce al crescere del prezzo del carburante e diventa fortemente conveniente quando il prezzo del litro di gasolio è superiore a 1,5 – 1,6 €.

Nel grafico della figura 38 riportiamo le valutazioni del “Levelized Costs of Energy o LCE” (equazioni 14 e 15) per le due ipotesi o scenari indicati alla pagina 94. Nel primo caso, cioè il veicolo elettrico multifunzionale del RAMseS (o VEM RAMseS) non è stato valutato. Si assume che tutta l’energia prodotta dal sistema fotovoltaico (stimata a 44 kWh/giorno) è consumata solo dal sito pilota. Di conseguenza il confronto è fatto con la condizione antecedente all’arrivo del RAMseS cioè quando l’azienda si riforniva di elettricità per la maggior parte prodotta dal generatore diesel. In questo caso i costi del veicolo elettrico e delle relative batterie non sono stati considerati.

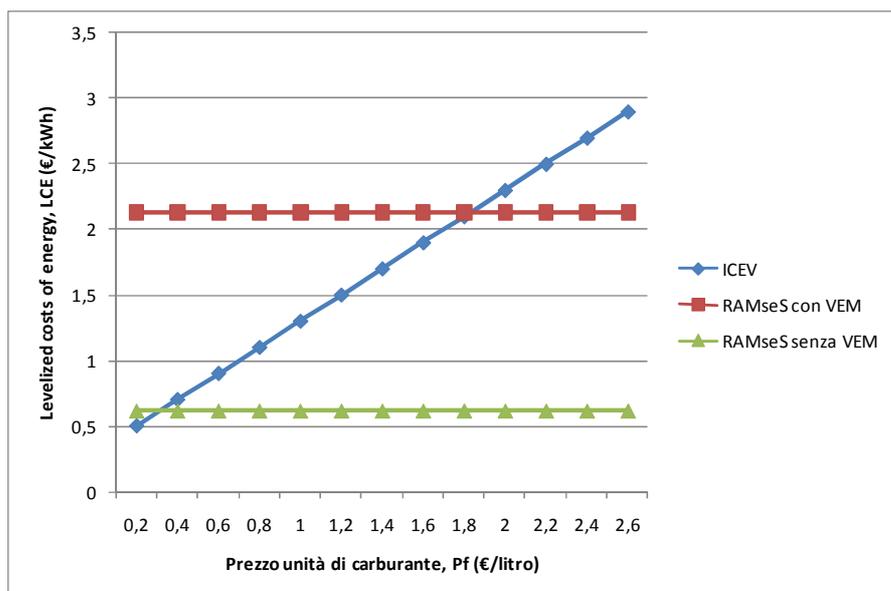


Figura 38 – Confronti tra i Levelized Cost of Energy (LCE)

Il valore del “Levelized Costs of Energy” – LCE ottenuto per il sistema RAMseS considerare la presenza del veicolo elettrico è pari a 0,62 €/kWh. Nel secondo caso (ipotesi sistema fotovoltaico abbinato al veicolo elettrico) e che è quello paragonabile al sistema convenzionale incluso il VCCI, abbiamo incluso i costi stimati per il veicolo VEM e le rispettive batterie, portando ad un LCE pari a 2,13€/kWh. Ugualmente al LCC, il LCE per i VCCI è una funzione lineare del prezzo del carburante, il cui incremento porta ad un aumento del LCE. La curva del LCE del VCCI, interseca con le curve LCE del sistema con e senza il VEM, quando il prezzo unitario del diesel è approssimativamente pari a 0,3 €/litro 1,8 €/litri rispettivamente.

Pertanto, rispetto al trattore tradizionale, se il veicolo VEM-RAMseS viene sfruttato per le attività agricole, la sua efficienza economica cresce al crescere del prezzo del carburante. La convenienza cresce dal momento che il prezzo del diesel inizia a superare 1,5 – 1,6 €/litro. Tuttavia già ad un Pf = 0,2 €/litro , l'impianto fotovoltaico è economicamente molto più competitivo di un generatore diesel o dell'energia fornita dalla rete.

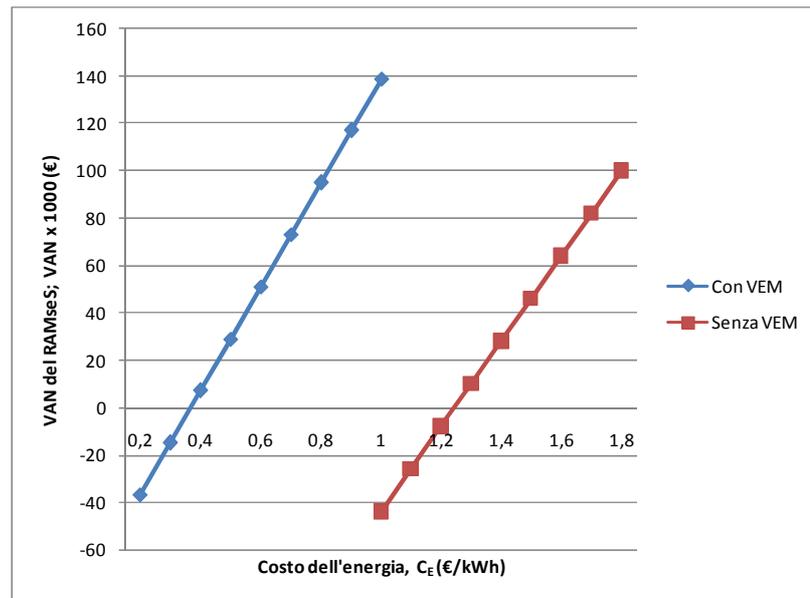


Figura 39 - VAN del RAMseS

Nel grafico della figura 39, sono riportati i valori del VAN del RAMseS; aumenti nei prezzi dell'energia elettrica prodotta dal sistema, portano ad un incremento dei flussi di cassa e conseguentemente del VAN. Anche in questa valutazione, abbiamo preso in considerazione i due scenari iniziali: l'energia prodotta è utilizzata esclusivamente dall'azienda in assenza del veicolo elettrico, e nel secondo scenario, la maggior parte dell'energia elettrica prodotta è fornita per alimentare il veicolo elettrico.

Il VAN è maggiore nel caso del sistema RAMseS (sistema fotovoltaico è accoppiato al VEM) e questo è dovuto agli elevati costi di investimento per l'acquisto e/o sostituzione delle batterie. E' stato trovato che nel caso del RAMseS formato soltanto dall'impianto fotovoltaico, se il prezzo netto dell'energia è inferiore a 0,35 €/kWh il VAN è negativo; perciò l'imprenditore agricolo non sarà mai in grado di recuperare il suo investimento. Dunque per avere un VAN positivo bisognerebbe che il prezzo dell'energia sia superiore a 1,3 €/kWh. Anche in questo caso i calcoli non prendono in considerazione eventuali risparmi o profitti dovuti all'uso agricolo del VEM.

Sulla base dei dati della figura 38, è chiaro che ad un prezzo del carburante superiore a 1,8 €/litri l'uso del trattore tradizionale VCCI diventa inconveniente o non economico.

L'analisi ha mostrato che per compensare gli incrementi del costo del carburante, il prezzo dell'energia utilizzata dovrebbe aumentare a sua volta in modo da consentire un aumento del VAN del trattore convenzionale VCCI.

I risultati della determinazione del tempo di rientro dell'investimento o Pay Back Period (PBP) del RAMseS come funzione del costo energetico è presentato nella figura 40.

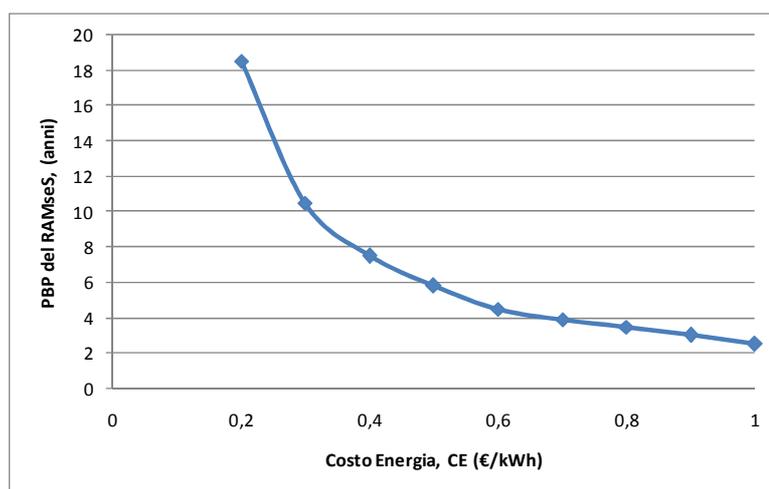


Figura 40 - Analisi di sensitività del PBP del RAMseS

Il PBP è la somma di anni necessari per il recupero di un investimento; l'imprenditore preferisce di norma un PBP piuttosto corto soprattutto se è a corto di liquidità. Principalmente, il PBP del RAMseS dipende dai costi energetici (in particolare dai prezzi del barile di petrolio e quindi dei suoi derivati, il diesel per esempio). Aumenti nel prezzo netto di energia fossile abbasseranno il PBP. Come già accennato prima, per evitare un VAN negativo, il costo energetico netto del RAMseS non deve essere inferiore a 0,35 €/kWh. Con tale prezzo di energia (fotovoltaica) l'imprenditore che investe nel RAMseS recupera il suo investimento dopo almeno 9 anni, questo dato è in accordo con quelli ottenuti dallo studio di Daniele et al. (2008).

6.2 Valutazione Energetica - Economica

6.2.1 Valutazione delle performance energetiche

La stima del bilancio energetico del sito pilota fatta con il RETscreen dà i risultati presenti nella figura 41 nella quale sono paragonate la misura della produzione fotovoltaica del sistema ottenuta con la lettura degli inverter via “Sunny Portal”, con quella stimata dal RETscreen per il periodo di monitoraggio considerato. La differenza media ottenuta tra le produzioni è stata del 15%, che corrisponde al valore del 13% ottenuto dalla differenza della radiazione solare misurata nel medio e lungo termine (come mostrato nella figura 34 a pagina 88).

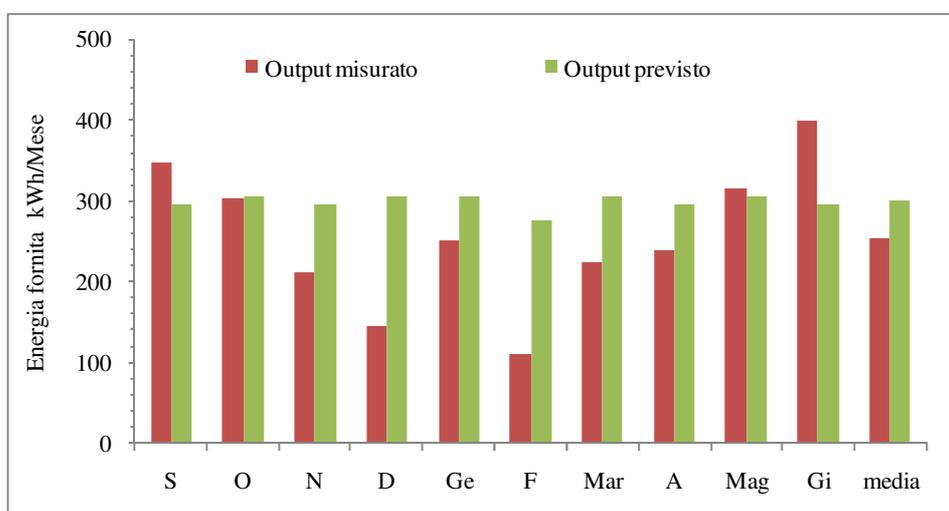


Figura 41 Confronto tra l'energia prodotta dal FV e quella stimata via RETscreen

Le misure ottenute via il “Sunny Portal” sono state inserite nel RETscreen al fine di stimare le performance energetiche dell'impianto fotovoltaico del RAMseS. La figura 42 abbiamo rappresentato le produzioni mensili dell'energia fotovoltaica come previste dal RETscreen; dunque, il sistema fornirebbe in media 13162kWh/anno di energia elettrica.

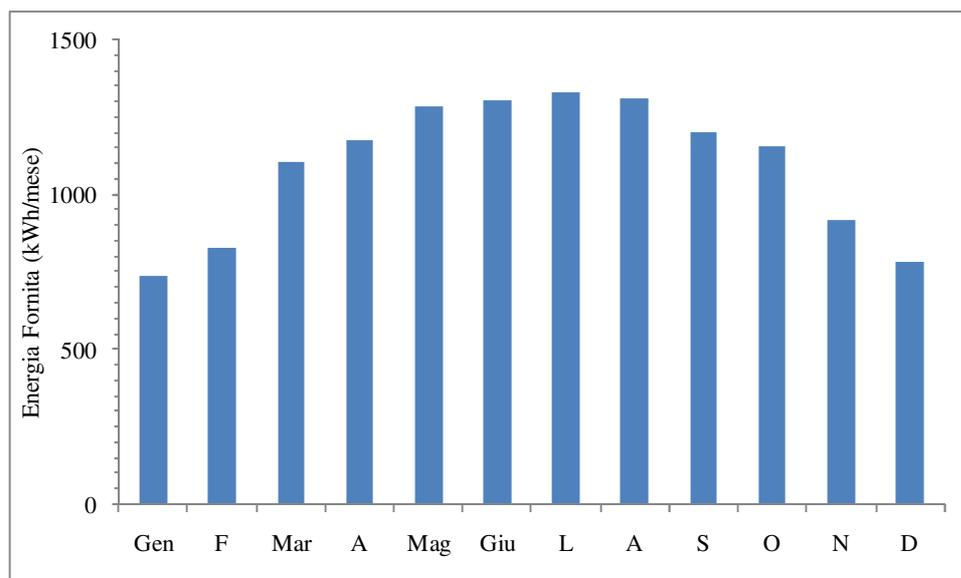


Figura 42 – Energia elettrica fotovoltaica fornita all'azienda usando i dati RETScreen

Nei capitoli precedenti avevamo affermato che un motore endotermico ha un'efficienza piuttosto bassa, del 23%, mentre un motore elettrico è più efficiente, dato che egli trasforma la maggior parte dell'energia elettrica (75%) in energia meccanica per muovere le ruote. Dunque il VEM sfrutterebbe efficientemente ($13162 \text{ kWh/anno} * 0,75$) = 9871,5 kWh/anno di energia elettrica. Comparativamente, per ottenere 13162 kWh/anno di energia meccanica (che dovrebbe sfruttare il trattore convenzionale) e assumendo che il suo fattore di conversione è del 23% saranno necessari quindi $13162/23*100 = 57226 \text{ kWh diesel}$, dunque $57226/10,75^{12} = 5323$ litri/anno diesel.

Ciò vuole dire che sostituendo il trattore convenzionale con il VEM del RAMseS nel sito pilota avremmo un risparmio di 5323 litri diesel all'anno. Il prezzo del litro diesel in Libano, nel Novembre 2009 era circa 0,63 €/litro, il risparmio economico che corrisponde ad un risparmio economico di circa 3354 €/anno. Se consideriamo che nel 2010 il prezzo del diesel alla pompa, in Italia, oscilla intorno a 1,15 €/litro (anche in Libano il prezzo del diesel nel 2010, ha superato 1€/litro) allora il risparmio è maggiore (approssimativamente tra 5000 e 6000 €).

6.2.2 Valutazione delle performance economiche

Come già descritto nella pagina 89, in questo capitolo faremo una prima valutazione

¹² Si ricorda che in 1 litro di diesel sono presenti 10,75 kWh di energia chimica.

delle performance del sistema RAMseS rispetto alla situazione originale prima della introduzione dell'innovazione, determinando sia il VAN che il PBP.

Rispetto ad un sistema fotovoltaico "tradizionale" nella valutazione delle performance economiche del sistema RAMseS dobbiamo considerare che i costi sono diversi da quelli del mercato, perché si tratta prima di tutto di un progetto finanziato per la maggior parte dalla Commissione Europea, quindi tutto il material acquistato era esente dalle tasse. Le batterie erano stati sviluppato dall'azienda Tudor – Exide che è partner nel progetto, dunque il loro costo è stato agevolato; I pannelli fotovoltaici erano stati acquistati dal partner ADMelectric, direttamente in Libano mentre il veicolo elettrico è stato appositamente sviluppato e dimensionato in base agli obiettivi del progetto, e tale veicolo è unico nel suo genere in tutto il mondo. Possiamo pertanto soltanto stimare il suo costo in base alle indicazioni del progettista e della ditta che ha costruito lo scheletro del veicolo (Oelle Costruzione Meccaniche s.r.l.).

Di conseguenza, sulla base del ragionamento precedente, in questo capitolo abbiamo considerato un costo del fotovoltaico pari a 4,23 €/Wp (Solarbuzz, 2009). Il VAN ed il PBP del RAMseS sono stati valutati rispetto al prezzo del carburante, e considerando variazioni del tasso di inflazione "i" del carburante: di 2,5%; 5%, 7,5% e 10%; e variazioni del tasso di sconto "d" del 2%, 5%, 8% e 10%. Il rapporto costi/benefici del sistema RAMseS è stato determinato applicando l'equazione del calcolo del VAN, usata da Duffie et al. (2006) dove il VAN è conosciuto come "Present Worth of the costs" (equazione 18). Il risultato finale ci ha dato gli eventuali risparmi in carburante ed i corrispondenti risparmi economici o guadagni dell'azienda che investe in RAMseS.:

$$PW = \frac{A(1+i)^{N-1}}{(1+d)^N} \quad (18)$$

A = rendite annuali; N = numero anni

I Costi utilizzati in questo capitolo sono quelli indicati nella seguente tabella 21:

Descrizione	Euro
Pannelli FV + Batterie	63552
PCU & BOS	53358
Batterie	7600
VEM	10000
Costo totale	135000

Tabella 21 - Valori assunti per il sistema RAMseS

Come indicato in pagina 104, il prezzo del litro diesel in Libano e nel Novembre 2009 era circa 0,63 €/litro. Basandoci su questo prezzo (che è basso rispetto ai valori attuali) e dato che l'efficienza del generatore elettrico (diesel) presente in azienda prima del RAMseS è del 35% a pieno carico, il contenuto di energia del suo combustibile è pari a 10.8 kWh/litro: quindi per produrre 1kWh di energia elettrica il l'azienda spenderebbe 0,17€ per il diesel. Precedentemente avevamo calcolato che le lavorazioni meccaniche necessarie all'azienda di Ashkout per la coltivazione dell'oliveto e del vigneto presso il sito pilota, richiedono un consumo pari 31.567 litri diesel per l'oliveto e 29.767 litri per il vigneto.

Il PBP semplice calcolato per il RAMseS al costo di carburante sopra indicato risulta di 56 anni. Dalla figura 39, il calcolo del PBP del RAMseS per un costo di carburante che varia tra 0,5 €/litro e 3 €/litro rispetto al periodo di vita di 30 anni, osserviamo che il PBP semplificato è inferiore a 30 anni quando il costo del combustibile supera 0,9 €/litro.

Dato che il costo del diesel ed i tassi di interesse difficilmente non cambiano durante i 30 anni di vita del fotovoltaico RAMseS diversi scenari di cicli di vita sono stati esaminati con RETscreen con un VAN che è stato calcolato per incrementi del costo del carburante dell'2,5%, 5%, 7,5% e 10% e per tassi di sconto di 2%, 5%, 8% e 10%. Abbiamo valutato che le batterie del veicolo elettrico sarebbero state sostituite almeno 5 volte mentre quelle stazionarie una sola volta, durante i 30 anni considerati.

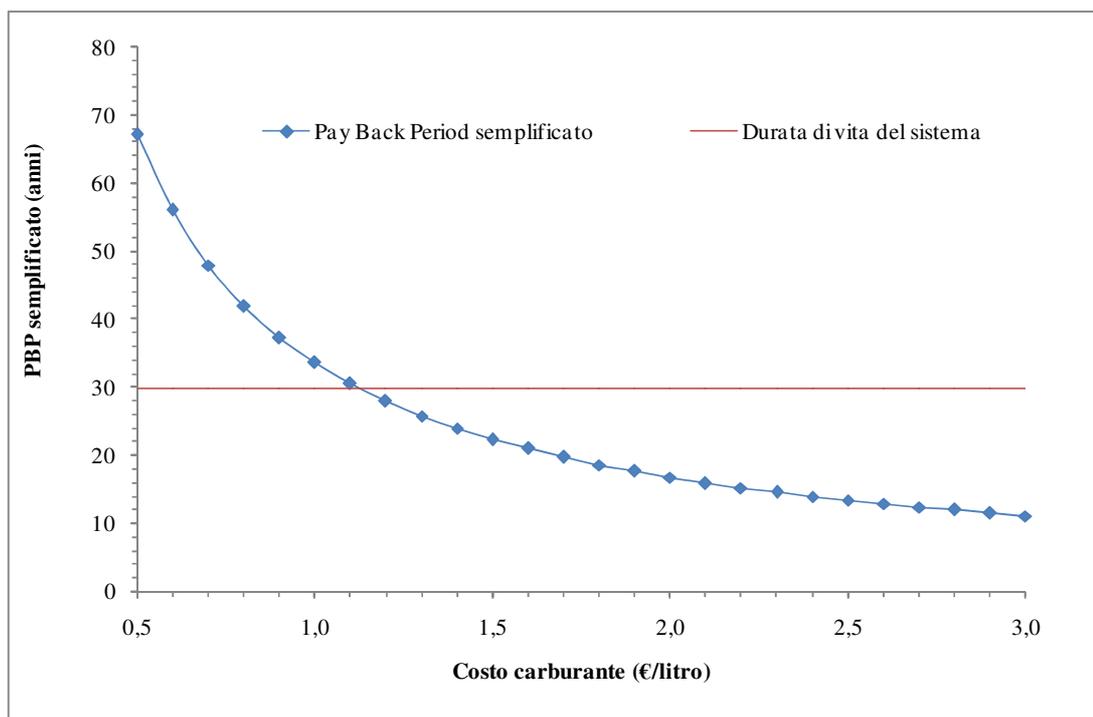


Figura 43 - PBP semplificato del RAMseS considerando i prezzi del diesel tra 0,5 e 3 €/litro

Si osserva che il PBP semplificato del RAMseS diminuisce al crescere del prezzo del carburante. Il prezzo attuale del diesel in Libano oscilla tra 0,5 e 0,8 €/litro quindi il PBP del RAMseS rimane ancora piuttosto alto tra 67 e 42 anni; in Europa invece il prezzo del diesel varia (Euorpe's Energy Porta, 2010) da 0,99 €/litro (Cipro) a 1,41 €/litro (Regno Unito), dunque il PBP è più corto variando tra 37 anni (Cipro) e 24 anni (regno Unito).

Questa differenza nei prezzi dei carburanti è dovuta principalmente, oltre che dalla distanza dalle aree di produzione del greggio, dalle politiche dei governi. In Libano il governo ha optato per una politica di incentivazione del prezzo del diesel mantenendone il prezzo sotto i valori Europei. Un incremento del prezzo del diesel in Libano farebbe crescere i costi di produzione dell'energia elettrica che normalmente è assicurata dai generatori diesel (data l'inefficienza della rete nazionale) e questo potrebbe provocare il malcontento anche violento della popolazione. In Europa la situazione è diversa dato che il prezzo dei combustibili è fortemente tassato.

Il VAN relativo a costi e risparmi in carburante è stato calcolato applicando l'equazione 18, ed i risultati sono presentati nella figura 44:

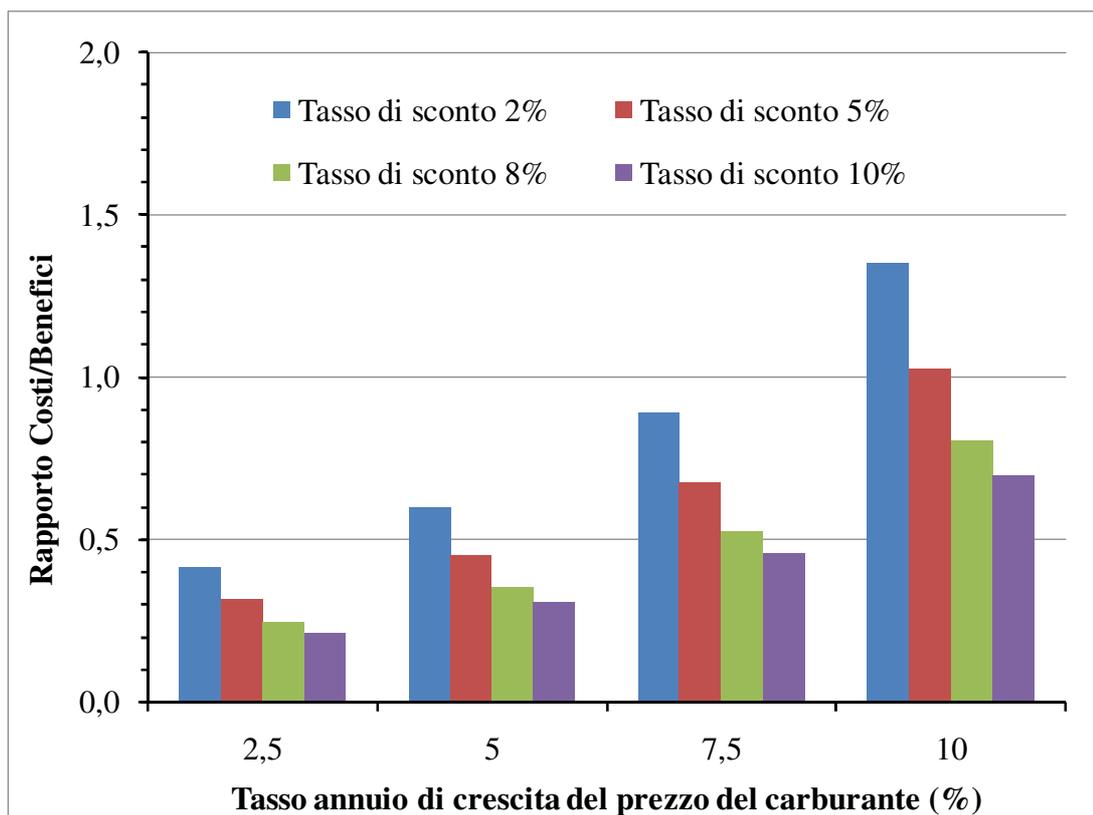


Figura 44 - Rapporto Costi/Benefici del RAMseS per differenti incrementi % del costo del carburante

Durante gli ultimi 10 anni, il tasso medio di inflazione nell'insieme della Unione Europea è stato di 1,9% (EUROSTAT, 2009); questo vuol dire che se tale tendenza dovesse continuare a verificarsi i risultati della nostra valutazione saranno più precisi ad un tasso del 2%. Osservando l'incremento storico del prezzo del carburante nell'ambito della UE per il periodo 2002 – 2008, si nota che il prezzo medio del diesel alla pompa (senza dazi) è cresciuto in media, ogni anno, del 7,1%. Pertanto se le attuali tendenze economiche, in particolar modo i prezzi del carburante e l'inflazione, dovessero continuare a crescere, possiamo affermare che il sistema RAMseS è economicamente conveniente e sostenibile per le aziende agrarie; come infatti lo mostra il grafico della figura 40 e i dati delle tabelle 21.a, b, c, d: dove il rapporto costi benefici è superiore a 1.

Tasso di sconto 2%		
Tasso di crescita del costo del carburante	PW totale dovuto al rispartmio da FV	Rapporto Costi Benefici
(%)	(€)	
2,5	76809	0,42
5	110721	0,60
7,5	164329	0,89
10	249902	1,35

a

Tasso di sconto 5%		
Tasso di crescita del costo del carburante	PW totale dovuto al rispartmio da FV	Rapporto Costi Benefici
(%)	(€)	
2,5	76809	0,32
5	110721	0,45
7,5	164329	0,67
10	249902	1,03

b

Tasso di sconto 8%		
Tasso di crescita del costo del carburante	PW totale dovuto al rispartmio da FV	Rapporto Costi Benefici
(%)	(€)	
2,5	76809	0,25
5	110721	0,36
7,5	164329	0,53
20	249902	0,80

c

Tasso di sconto 10%		
Tasso di crescita del costo del carburante	PW totale dovuto al rispartmio da FV	Rapporto Costi Benefici
(%)	(€)	
2,5	76809	0,21
5	110721	0,31
7,5	164329	0,46
10	249902	0,70

d

Tabella 22 - Calcolo del PW (o VAN) e del rapporto Costi/Benefici

6.2.3 Valutazione delle performance per aree e tecnologie alternative

Utilizzando con il modello RETscreen i risultati della figura 35, che mostrano le previsioni relative alle produzioni di energia dal fotovoltaico RAMseS, per diverse aree del Mediterraneo, e considerando che nel sistema RAMseS utilizziamo le batterie al litio-titanio invece che quelle al piombo-acido, abbiamo ottenuto la seguente valutazione del PBP semplificato per ciascuno di questi paesi (figura 41):

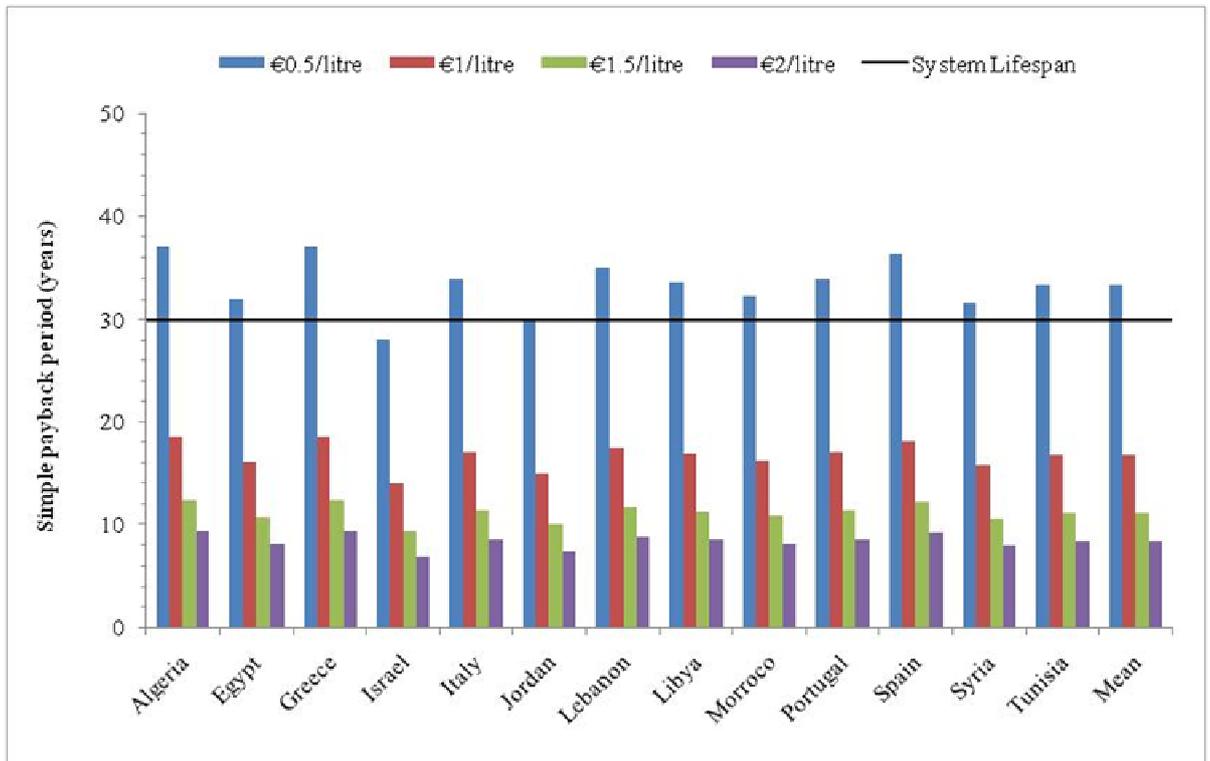


Figura 45 - PBP semplificato del RAMseS per diverse aree del Mediterraneo

Il VAN relativo ai costi ed al risparmio di carburante è stato calcolato applicando l'equazione 18; il rapporto costi benefici calcolato nella tabella 22, per i differenti tassi di sconto già considerati precedentemente è rappresentato nella figura 42, assumendo un prezzo del diesel pari a 1 €/litro (EU Energy & Transport, 2009).

Tasso di sconto 2%				
Tasso di crescita del costo del carburante	PW totale dovuto al risparmio da FV	Total present worth Costs	Rapporto Costi Benefici	€/kWh
(%)	(€)	(€)		
2,5	121936	81803	1,49	0,67
5	175763	81803	2,15	0,47
7,5	260855	81803	3,19	0,31
10	396686	81803	4,85	0,21

a

Tasso di sconto 5%				
Tasso di crescita del costo del carburante	PW totale dovuto al risparmio da FV	Total present worth Costs	Rapporto Costi Benefici	€/kWh
(%)	(€)	(€)		
2,5	121936	110980	1,10	0,91
5	175763	110980	1,58	0,63
7,5	260855	110980	2,35	0,43
10	396686	110980	3,57	0,28

b

Tasso di sconto 8%				
Tasso di crescita del costo del carburante	Total present worth of solar saving	Total present worth Costs	Rapporto Costi Benefici	€/kWh
(%)	(€)	(€)		
2,5	121936	144534	0,84	1,19
5	175763	144534	1,22	0,82
7,5	260855	144534	1,80	0,55
20	396686	144534	2,74	0,36

c

Tasso di sconto 10%				
Tasso di crescita del costo del carburante	Total present worth of solar saving	Total present worth Costs	Rapporto Costi Benefici	€/kWh
(%)	(€)	(€)		
2,5	121936	167876	0,73	1,38
5	175763	167876	1,05	0,96
7,5	260855	167876	1,55	0,64
10	396686	167876	2,36	0,42

d

Tabella 23 - Calcolo del PW (o VAN) e del rapporto Costi/Benefici per diverse aree del Mediterraneo

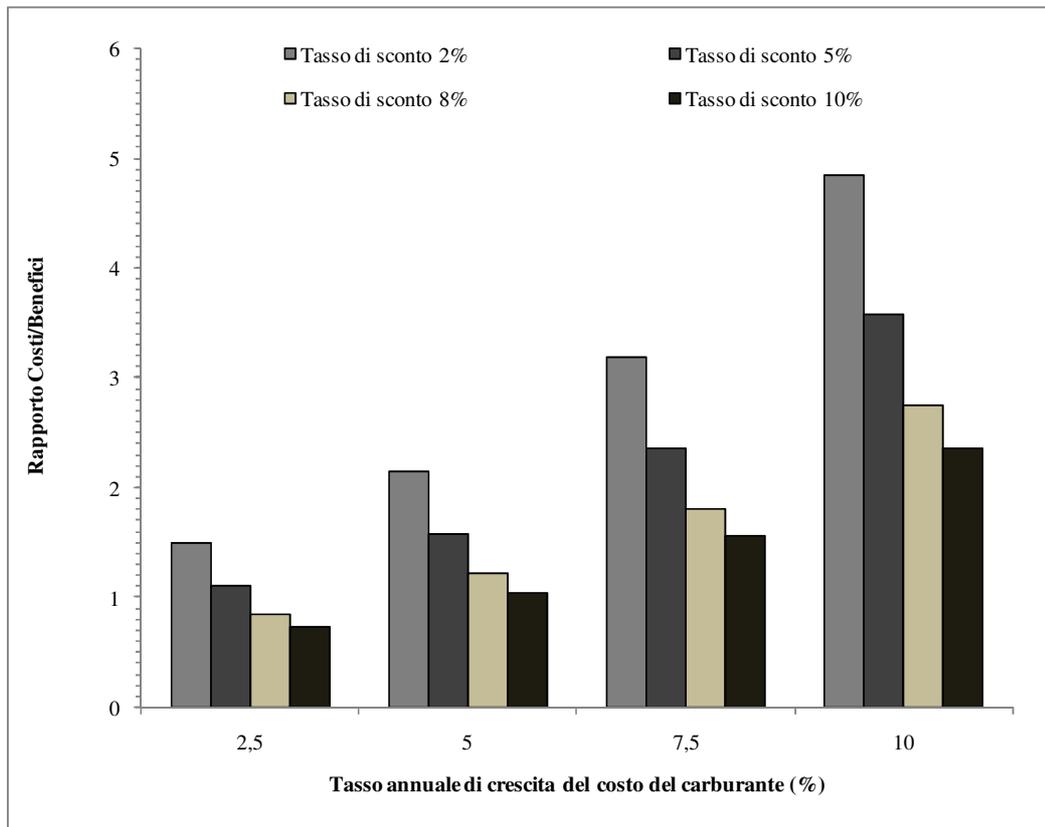


Figura 46 – Rapporti Costi/Benefici del RAMseS in diverse aree del Mediterraneo e per differenti tassi di sconto

Il costo per kWh dell'energia prodotta dal fotovoltaico RAMseS per gli stessi scenari relativi alla figura 42 sono presentati nel grafico della figura 43 dopo applicazione dell'equazione 19 (Coiante, 2004) dove il costo dell'energia elettrica prodotta è calcolato dal rapporto tra il VAN dei costi ed il VAN dell'unità di energia elettrica:

$$C_E = \frac{(VAN_{costi})}{(VAN_E)} \quad (19)$$

C_E = Costo unità di energia in €/kWh;

VAN_{Costi} = unità di costo (livellato sulla vita operativa dell'impianto)

VAN_E = VAN dell'unità di energia prodotta

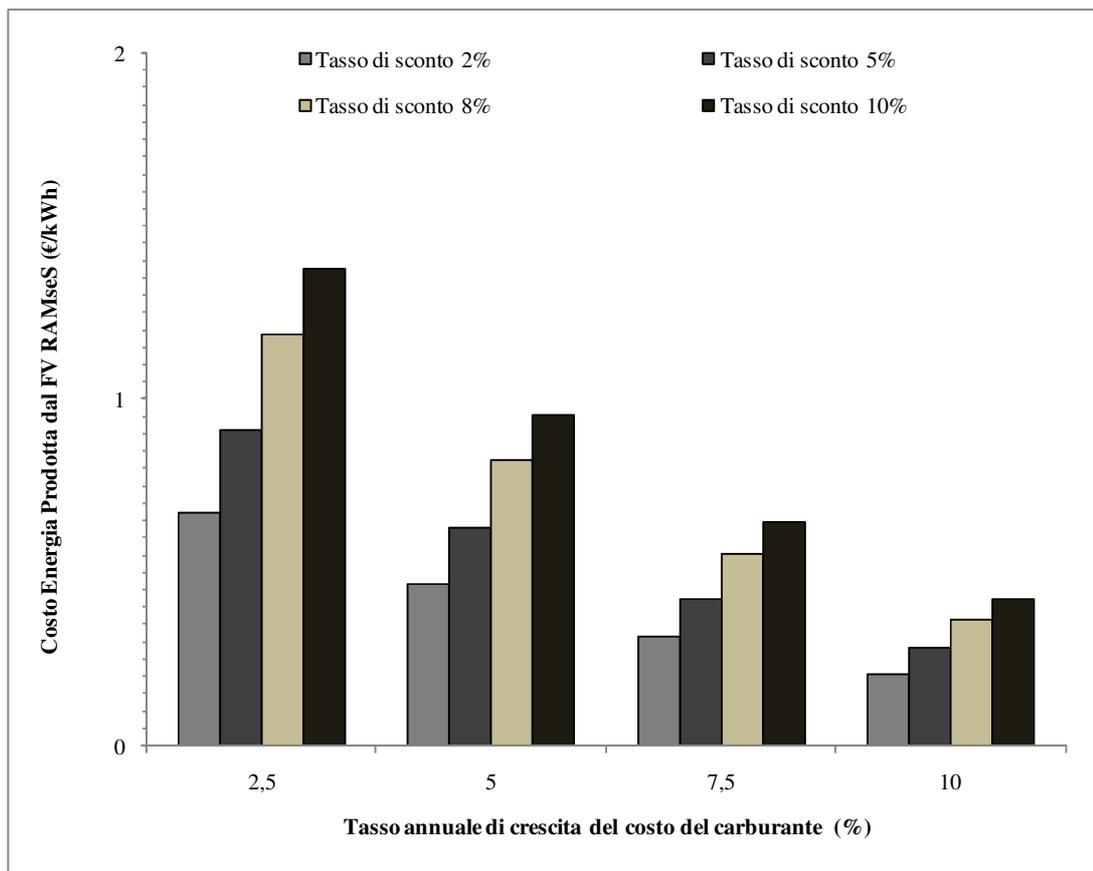


Figura 47 – Costo dell'energia prodotta da batterie Litio-Titanio per diversi tassi di crescita del prezzo del carburante

6.3 Valutazione dell'Impatto Ambientale

6.3.1 I costi esterni dovuti alle emissioni di Inquinanti

L'analisi degli impatti ambientali dei due sistemi presi in considerazione (convenzionale e RAMseS) ci fornisce i dati presentati nella tabella 24. Nel complesso, il progetto o sistema RAMseS rilascerà in atmosfera 57 tonnellate di CO_{2eq} durante i suoi 30 anni di vita, 46% dei quali sono dovuti alle batterie (sia stazionarie che quelle del veicolo elettrico). La maggior parte delle emissioni di metalli pesanti sono dovute soprattutto all'impianto fotovoltaico (ovviamente a seguito dell'usura del materiale e alla dismissione dell'impianto a fine vita utile). Le batterie ed il veicolo elettrico potrebbero emettere metalli tuttavia non disponiamo di dati certi per determinare tali emissioni, comunque abbiamo assunto che queste emissioni sarebbero state minime.

Emissioni (kg)	CO _{2eq}	SO ₂	NOx	CO	PM	HC	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
RAMseS												
Pannelli FV	20748	39	71	-	-	-	1,1	0,5	2,9	4,7	0,5	12,5
Batterie	25926	178	178	34	-	-	-	-	-	-	-	-
VEM	10478	-	13	22	8	2	-	-	-	-	-	-
Totale	57152	217	262	56	8	2	1,1	0,5	2,9	4,7	0,5	12,5
VCCI												
Prod. Carburante	75	-	339	46	1	644	-	-	-	-	-	-
Uso Carburante	726093	222	5824	1963	178	369	-	-	-	-	-	-
Veicolo	30735	-	39	64	25	6	-	-	-	-	-	-
Totale	756903	222	6202	2073	204	1019	-	-	-	-	-	-

Tabella 24 – Emissioni dovute a RAMseS e VCCI

Per quanto riguarda il VCCI, la combustione del carburante è la principale causa di emissioni in atmosfera. Durante tutta la durata della sua vita (assunta di 30 anni), il trattore tradizionale emetterà 757 tonnellate CO_{2eq} in atmosfera. Questo valore corrisponde a 24,2 tonnellate CO_{2eq}/anno, 96% dei quali emessi dal tubo di scappamento. La produzione totale di NOx è di 6,2 tonnellate in 30 anni, che è rilasciato durante la combustione del carburante (94%), l'estrazione, raffinazione, trasporto di carburante (5.4%) e in parte anche durante la costruzione del trattore (0,6%).

L'impatto ambientale di un sistema può essere calcolato in termini monetari, tenendo conto i costi esterni dovuti a ciascun inquinante. Per tale calcolo i dati sono stati quantificati in termini di coefficienti, e riportati nella tabella 20. In questa tabella

abbiamo riportato i costi esterni dei inquinanti (espressi in €/tonnellata) da diverse recensioni bibliografiche.

	CO _{2eq}	SO ₂	NOx	CO	PM	HC	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni	Rif. Biblio
VCCI €/tonnellata	-	2895	2020	0,7	87671	-	-	-	-	-	-	-	Bickel et al, 2001
	29	2200	1500	-	22000	-	-	-	-	-	-	-	Funk et al, 1999
	18 - 48	9500	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mayeres et al, 2001
	3 - 14	5000	4400	-	12000	-	-	-	-	-	-	-	VictoriaTPI, 2007
<i>Media</i> €/tonnellata	32,5	5000	2480	0,7	40557	-	-	-	-	-	-	-	
Costo (Euro)	24596	1110	15381	1,45	40557	-	-	-	-	-	-	-	
RAMseS €/tonnellata	19	2939	2908	-	19539	-	8*10 ⁴	39*10 ³	31500	16*10 ⁵	-	3800	Alsema et al, 2005
Costo (Euro)	1086	638	756	-	164	-	88	19	88	7520	-	48	

Tabella 25 – Paragoni dei costi dovuti alle emissioni VEM-RAMseS e VCCI

Le differenze tra i dati presentati nella tabella 25, sono dovuti al fatto che questi erano stati determinati in regioni diverse e sulla base di ipotesi diverse. Monzone et al. (2004) avevano controllato numerosi studi relativi ai costi esterni dovuti alla CO_{2eq}, trovando che i valori proposti variavano tra 19 – 32,5 e 46 €/tonnellata; tali autori avevano proposto il valore di 32,5 €/tonnellata come quello più ragionevole. Per quanto riguarda ai costi dovuti alle emissioni di HC, non abbiamo trovato dati disponibili in letteratura, per cui il loro effetto inquinato non stato valutato.

Il totale dei costi ambientali del VCCI (trattore convenzionale) durante il suo ciclo di vita utile, è quasi di 49.000 €; in confronto, il costo ambientale dovuto al RAMseS è molto inferiore, circa 10.000 € ed è per la maggior parte imputabile al piombo (delle batterie in particolar modo).

Paragonando i costi dovuti ai due sistemi, possiamo dire che l'impatto ambientale di un VCCI in altre parole di un sistema tradizionale rifornito con combustibile fossile (diesel) è in media di 4,9 superiore a quello del RAMseS. Anche la simulazione per mezzo del SimaPro ha mostrato che per il RAMseS il 62% dell'inquinamento è principalmente dovuto alle batterie (piombo-gel e piombo-acido), il 36% all'impianto fotovoltaico ed 2% è dovuto al veicolo elettrico.

6.3.2 Confronto economico dei cicli di vita – Simulazioni con SimaPro

I valori di alcuni dei parametri e indicatori utilizzati in questa ricerca sono stati presentati nella tabella 18, anche i vari costi erano stati determinati nel capitolo 6.1 (rif. Pagina 93 -100). Anche il modello SimaPro mostra che il 64% dei costi ambientali è dovuto in particolar modo alle batterie ed in minima parte al veicolo elettrico.

Tale risultato conferma che per i sistemi come il RAMseS, il miglioramento delle prestazioni tecniche-economiche e ambientali delle batterie rimane una priorità per rendere il RAMseS più conveniente e competitivo.

Nella figura 48, il LCC_{RAMseS} è presentato come funzione dell'inflazione (i) e del tasso di sconto (d), i quali mostrano una dipendenza inversa rispetto al LCC_{RAMseS} . Aumenti nei valori di "d" porta a una diminuzione del LCC, mentre una diminuzione del "i" porta ad una diminuzione del LCC. Dai valori del grafico della figura 43 possiamo ottenere il LCC del RAMseS come funzione di "i" e "d" per diversi paesi. Per il Libano, abbiamo $i = 0.056$ e $d = 0.12$, ed il LCC totale calcolato è di 217.000 €.

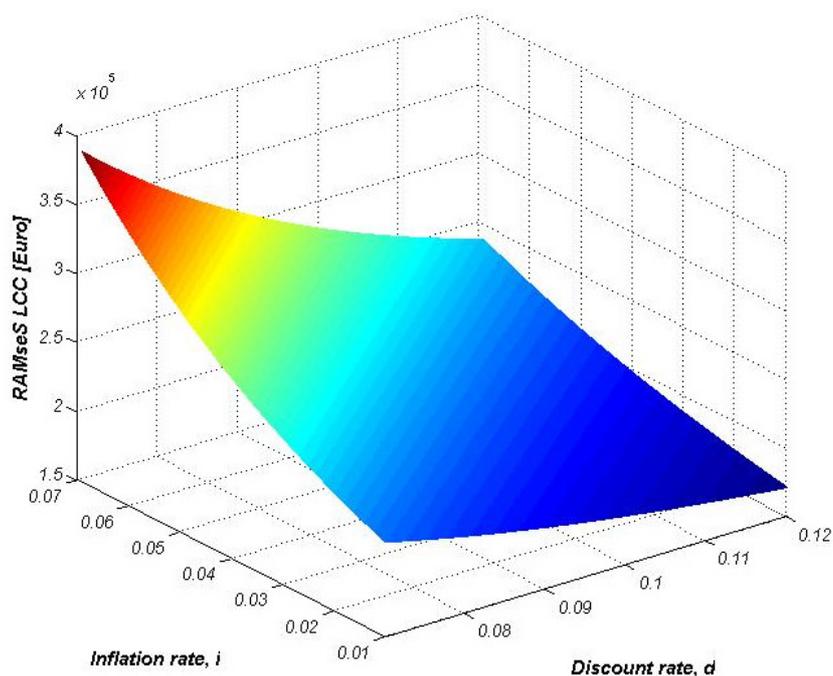


Figura 48 - LCC del RAMseS contrapposto a differenti tassi di inflazione "i" e di sconto "d" - (SimaPro)

Come già riferito nel capitolo precedente, il LCC totale del VCCI, dipende fortemente dal prezzo del carburante, Pf). La figura 49, mostra gli incrementi del Pf

che portano ad un incremento lineare dell' LCC_{VCCI} . Aumentando il tasso "d", la pendenza diminuisce, mentre incrementando il tasso "i" (non mostrato nel grafico) aumenta la pendenza.

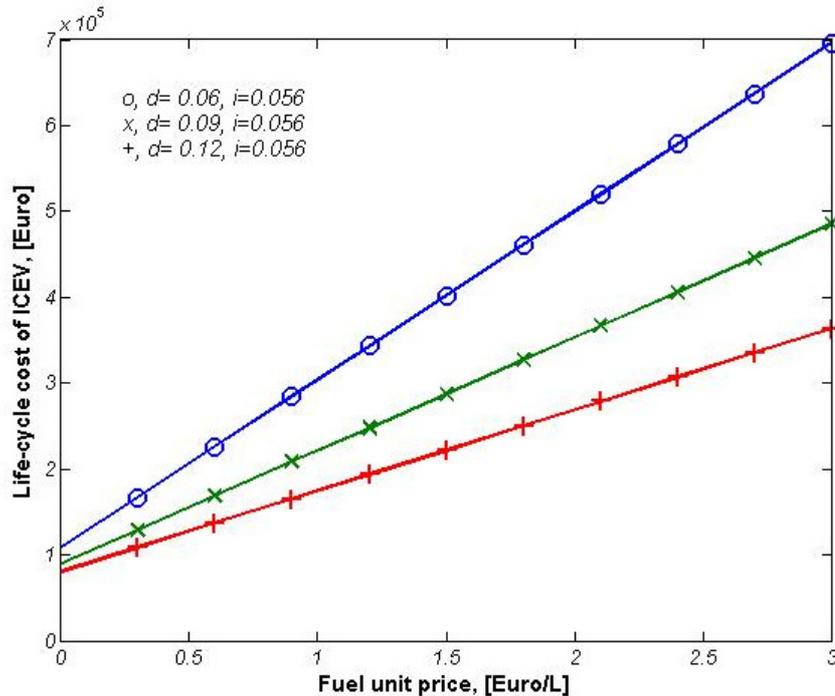


Figura 49 - LCC del VCCI per differenti tassi di sconto "d" contrapposto a differenti prezzi di carburante – (SimaPro)

Dal confronto tra i risultati delle figure 50 e 51, possiamo stabilire che per il Libano, LCC_{RAMseS} e LCC_{VCCI} coincideranno se P_f è quasi uguale a 1,45 €/litro (situazione che in pratica si sta verificando effettivamente alla data di oggi).

Per quanto riguarda il VAN, dato che l'incremento del costo (valore) dell'energia consumata (C_E) aumenta il flusso di cassa, allora C_E è il parametro più importante capace di influenzare il VAN. La figura 50 mostra il VAN del RAMseS (stimato con SimaPro) come funzione del tasso di sconto del "valore" dell'energia consumata (C_E). la variabile C_E è riportata soltanto per il confronto, in quanto dipende dai ricavi che il VEM e/o il VCCI portano all'azienda in termini di attività agricola. Il VAN RAMseS diventa negativo quando il valore dell'energia consumata dal VEM è inferiore a 1,1 €/kWh. Notiamo che modifiche del "d" ad un VAN = 0 non ha alcun tipo di effetto, mentre con un VAN positivo, incrementi di "d" fanno diminuire il VAN.

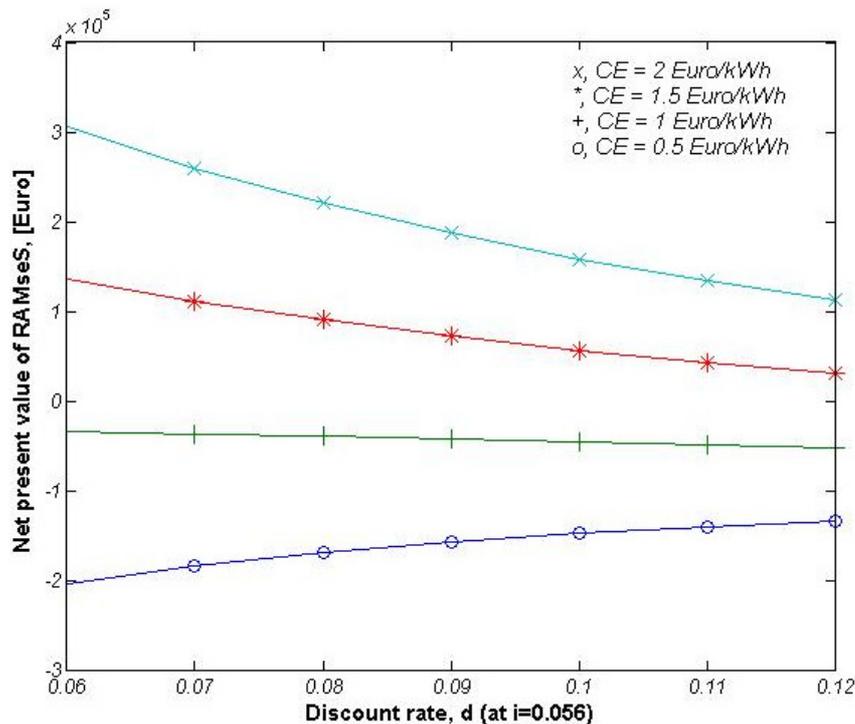


Figura 50 - VAN del RAMseS contro il tasso di inflazione "d" come funzione della differenza dei costi dell'energia consumata – (SimaPro)

La figura 51 mostra il VAN del sistema convenzionale (per semplicità VCCI), come funzione del prezzo del carburante (Pf) per la condizione particolare dove $d = 0.12$ e $i = 0.056$. Quando $C_E = 0.5 \text{ €/kWh}$ o inferiore, il VAN del VCCI inizia a diventare negativo anche nell'ipotesi che $P_f = 0 \text{ €}$. Considerando un valore di $1,1 \text{ €/kWh}$ del C_E (cioè pari a quello del RAMseS) il P_f dovrà essere inferiore a $1,2 \text{ €/litro}$ altrimenti il VAN risulterà negativo.

Come già indicato nei capitolo precedente, il Levelized Cost of Energy (LCE) è probabilmente il migliore indicatore economico per il confronto dei due sistemi (RAMseS e tradizionale). Il LCE del RAMseS è funzione di "i" e "d", come mostrato nella figura 46. L'effetto del tasso di inflazione "i" è maggiore di quello del tasso di sconto "d", mentre la differenza tra i valori massimo e minimo del LCE è pari a $0,8 \text{ €/kWh}$. Per quanto riguarda la situazione Libanese, il LCE del RAMseS è quasi uguale a $2,2 \text{ €/kWh}$.

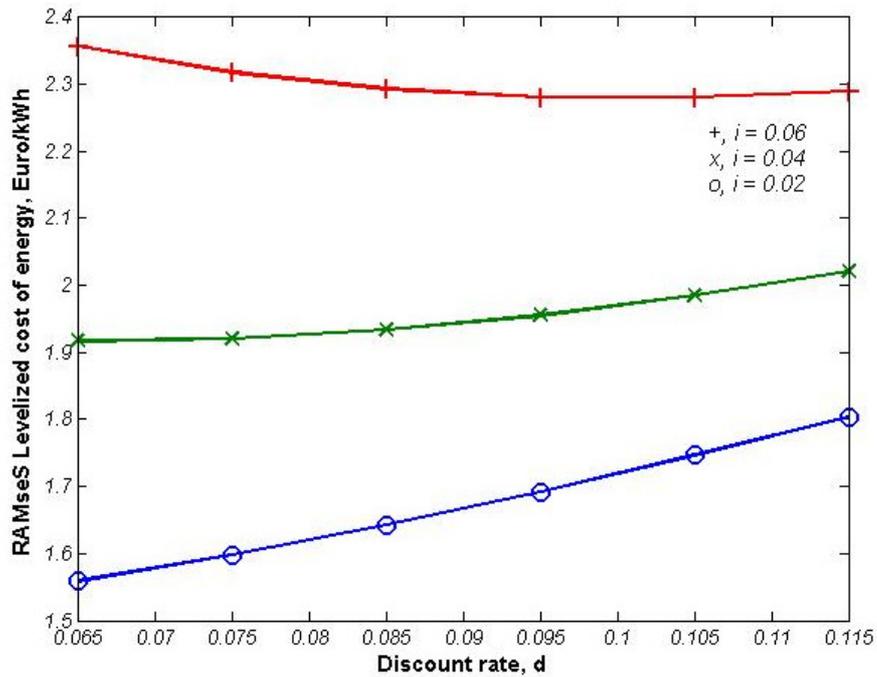


Figura 51 - LCE del RAMseS in funzione del tasso di sconto "d"

Nella figura 52 è presentata la valutazione del LCE per il sistema tradizionale VCCI insieme a quella del sistema RAMseS. La figura 52.a abbiamo il LCE in funzione del prezzo del diesel (Pf) e del tasso di sconto "d", il tasso di inflazione "i" è costante. Nel grafico della figura 52.b, il tasso di inflazione "i" è variabile mentre "d" è costante. Si osserva che entrambi i parametri hanno un effetto trascurabile sul Pf. Il risultato più importante che si osserva in questi grafici, è che la parità tra LCE_{VCCI} e LCE_{RAMseS} si ottiene ad un Pf ~ 1,45 €/litro. Pertanto, in queste condizioni il sistema RAMseS è economicamente molto più conveniente di quello tradizionale.

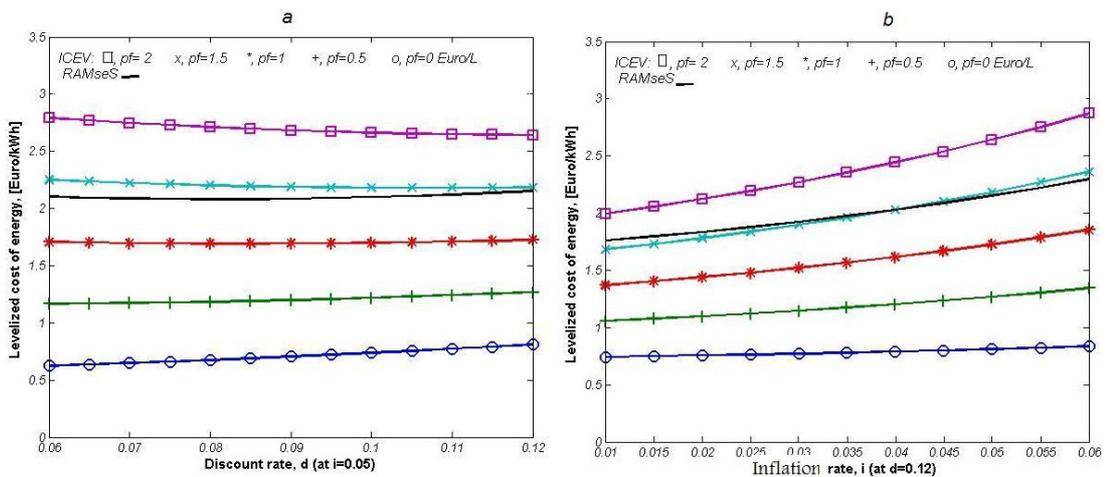


Figura 52 - LCE del RAMseS e del VCCI a differenti prezzi diesel, contrapposti ai tassi "i" e "d"- (SimaPro)

La figura 53 mostra il PBP del RAMseS contrapposto a differenti valori di “d” e del valore dell’unità di energia. L’effetto del tasso di sconto “d” è insignificante sul PBP mentre ha l’influenzato del Costo o valore dell’energia C_E è notevole. Costi energetici maggiori diminuiscono il periodo di rientro del capitale (o il PBP).

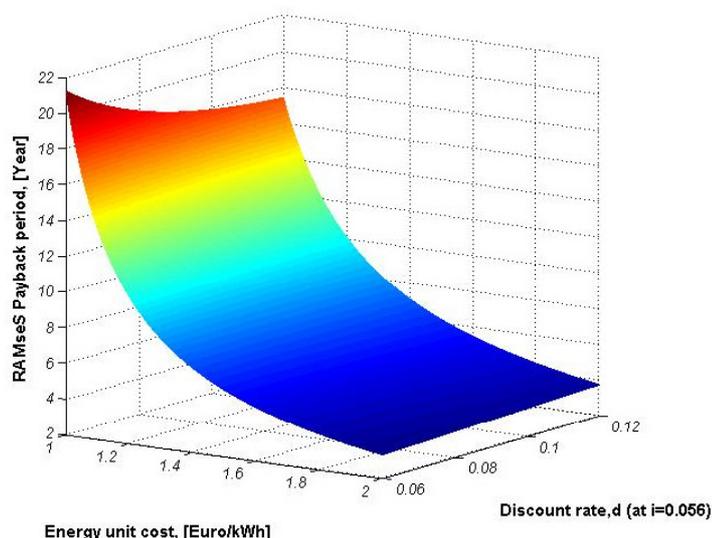


Figura 53 - PBP del RAMseS - (SimaPro)

Ritornando alla figura 51, abbiamo visto che per evitare un VAN negativo, il costo dell’energia C_E per il sistema RAMseS deve essere superiore a 1,1€/kWh; quindi, l’azienda agraria che investe sul RAMseS dovrebbe recuperare il capitale investito in non meno di 12 anni. Ma, qualora il C_E dovesse toccare i 2 €/kWh, il PBP sarà inferiore o uguale a 4 anni.

Come già accennato in altri parti del lavoro la frazione maggiore del costo del progetto RAMseS è dovuta ai costi iniziali e di sostituzione delle batterie. Dunque, una diminuzione del prezzo unitario delle batterie potrebbe portare ad un abbattimento importante del costo del ciclo di vita (LCC) del RAMseS.

Infine, la figura 49, mostra gli effetti della diminuzione dei costi rispetto al prezzo del carburante (confronti ottenuti sia per VEM vs VCCI, che per fotovoltaico vs generatore elettrico). Il grafico mostra che se l’unità di prezzo delle batterie dovesse ridursi del 50% e raggiungere valori pari a 131 €/kWh e 91 €/kWh rispettivamente per le batterie del VEM e per quelle stazionarie, allora il LCC del RAMseS sarà identico a quello del VCCI quando il prezzo del carburante è inferiore a 0,8€/litro.

Considerando che dal 28 febbraio 2010, il prezzo del diesel alla pompa è superiore a 1,2 €/kWh, ciò significherebbe, che ad un costo unitario ridotto delle batterie pari ai valori indicati, il LCC del VEM sarà inferiore e la scelta del sistema conveniente.

Considerando che dal 28 febbraio 2010, il prezzo del diesel alla pompa è superiore a 1,2 €/kWh, ciò significherebbe che ad un costo unitario ridotto delle batterie pari ai valori indicati il LCC del VEM sarà inferiore e la scelta del sistema conveniente.

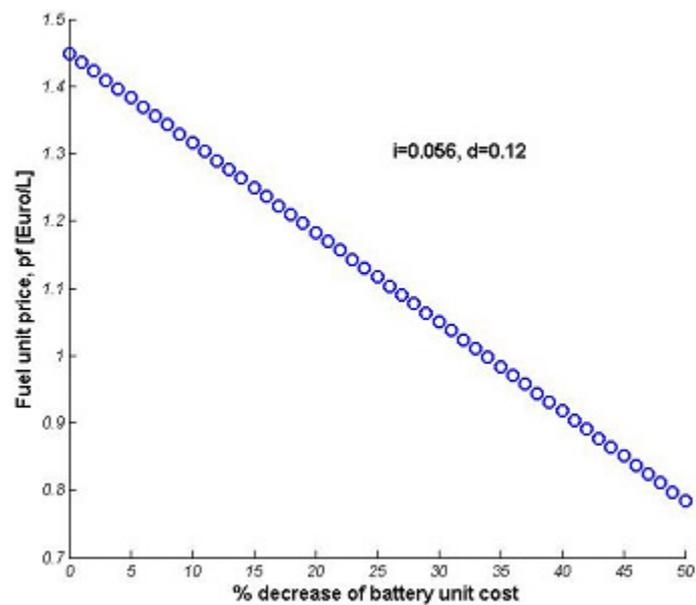


Figura 54 - Prezzo unità carburante contro diminuzioni dell'unità di costo delle batterie - (SimaPro)

7 Conclusioni

Attualmente, l'agricoltura nei Paesi industrializzati è un'attività portata avanti da una frazione minuscola della forza lavoro ossia le persone che operano macchine pesanti alimentate a combustibili fossili. Ma con l'arrivo del picco del petrolio, secondo che l' ASPO è già arrivato, vivremo importanti cambiamenti, dolorosi e/o meno. La meccanizzazione, di per se, non influenza la produzione agricola, ma gli elevati costi dei combustibili fossili stanno già influenzando negativamente i prezzi dei generi alimentari. E, senza l'energia dei motori delle macchine agricole l'attività agricola moderne tornerebbe ad essere praticata come ai tempi antichi, basandosi di nuovo sul lavoro dei muscoli di uomini e animali. Richard Heinberg (2006) nel suo saggio "*50 Million Farmers*" spiega che a seguito del picco del petrolio, negli USA saranno necessari "50 milioni di coltivatori" per la produzione agricola e alimentare. Ciò comporta la conversione di persone soprappeso abituate al lavoro dietro alle scrivanie, in contadini magri ed in forma che rappresentano la tipica forza lavoro di quei paesi dove la rivoluzione industriale non è ancora arrivata. Tale conversione non sarà facile (né possibile) né indolore soprattutto se saremo costretti a farlo in tempi brevi.

Quando il problema dell'alimentazione energetica delle macchine agricole era stato sollevato, la risposta è sempre stata quella solita, ossia i biocombustibili. Eppure, tale soluzione in generale non è particolarmente valida soprattutto se non saremo in grado di sviluppare sistemi tecnologici nuovi e molto più efficienti di quelli attuali per la produzione dei biocombustibili. Nella loro forma attuale e per sopperire alla domanda elevata di carburante per alimentare i veicoli presenti in una particolare del mondo o di quella di tutto il mondo, i biocarburanti richiedono tanta terra, maggiori *input* in termini di fertilizzanti chimici, ed oltre tutto entrano fortemente in concorrenza con la produzione alimentare. Altre forme particolari di combustibili alternativi, come l'idrogeno, sono ancora troppo costosi e complessi per gli usi agricoli (e richiedono una logistica particolare) almeno per il momento.

Come spesso accade, la soluzione di un problema difficile può essere trovata soltanto "*ragionando fuori dal contenitore*" come dicono gli americani "out of the box" cioè ragionando fuori dagli schemi tradizionali. E qui ci troviamo spesso bloccati dal fatto che abbiamo bisogno di un particolare tipo di combustibile, meglio se in forma liquida, per poter fare funzionare i motori tradizionali a combustibili fossili. Purtroppo, i motori a combustione interna sono inefficienti (abbiamo già visto che l'efficienza varia a seconda del combustibile fossile tra 18 e 23%) e l'unica ragione per cui

questi motori hanno avuto successo è stato grazie ai combustibili fossili che sono stati fino ad oggi estremamente a buon mercato. Oggi a causa dell'insieme delle crisi che stiamo vivendo (riscaldamento globale, picco del petrolio, crisi economica e del lavoro,) i motori a combustione interna stanno per diventare obsoleti, e le nostre economie necessitano di passare verso sistemi energeticamente più efficienti.

Le moderne tecnologie che sfruttano le fonti naturali rinnovabili (principalmente il solare fotovoltaico, e l'eolico), sono molto più efficienti dei biocarburanti in termini di terreno occorrente per unità di energia prodotta. Le energie rinnovabili producono maggiori quantità di energia elettrica e sono compatibili con i motori elettrici (meno costosi e più efficienti dei motori tradizionali). Questi vantaggi sono in parte compensati dalla necessità di immagazzinare l'energia elettrica prodotta in eccesso, in batterie pesanti ma soprattutto ancora costose. A questo punto possiamo domandarci se i veicoli a motore elettrico sono capaci di assumere un ruolo sempre più importante in agricoltura.

Il RAMseS rappresenta una innovazione non tanto nelle tecnologie proposte quanto nella concezione del sistema. L'idea base è stata quella di sfruttare tecnologie consolidate, in continua evoluzione, facilmente compatibili l'una con l'altra e soprattutto replicabili in qualsiasi condizione ambientale e parte del mondo. Tuttavia, dato che si tratta ancora di un prototipo, è necessario porre delle domande e tentare di trovarne le risposte:

- 1- Il RAMseS è veramente ecocompatibile?
- 2- Il RAMseS è economicamente conveniente?
- 3- Può il RAMseS, un giorno, sostituire gli attuali sistemi convenzionali?

Il sistema RAMseS è tuttora in fase di prova in campo e sperimentazione e anche se i risultati che si stanno ottenendo sono incoraggianti, non possiamo rispondere con assoluta certezza alle domande poste prima. Comunque in questi tre anni di ricerca, sviluppo e simulazioni siamo già in grado di dare alcune risposte.

Per quanto riguarda l'impatto ambientale, non c'è il minimo dubbio che il sistema RAMseS sia vincente:

La valutazione LCA dell'impatto ambientale del sistema RAMseS e di quello convenzionale, ha mostrato che i motori a combustione interna (dei trattori tradizionali e dei generatori elettrici alimentati a diesel) emettono in atmosfera (aria, terra e acqua) un quantitativo notevole di inquinanti pari a 757 tonnellate di CO_{2eq} in 30 anni di vita, mentre il sistema RAMseS emette soltanto 57 tonnellate CO_{2eq} nello

stesso periodo di tempo. Questo significa che il sistema RAMseS può prevenire l'emissione di 23,3 tonnellate all'anno di gas ad effetto serra.

Per quanto riguarda gli effetti sulla salute umana, la simulazione del LCA con il modello SimaPro, ha dimostrato che i veicoli convenzionali (VCCI) sono approssimativamente 2,6 volte più pericolosi di un veicolo RAMseS. Abbiamo dimostrato che dal punto di vista dell'emissione dei gas serra più importanti e di alcuni metalli pesanti, i costi esterni dell'impatto di un VCCI sono 4,7 volte superiori a quelli del veicolo VEM del RAMseS. La valutazione con SimaPro ha dimostrato il maggiore impatto dal punto di vista dei costi esterni è dovuto all'impianto fotovoltaico (soprattutto nelle fasi di costruzione dei pannelli e di rottamazione di parte dell'impianto a fine vita) mentre i maggiori costi esterni sono quelli dovuti alle batterie sia stazionarie che del veicolo elettrico. Infatti, abbiamo dimostrato che 73% delle emissioni di inquinanti e/o metalli pesanti da parte del RAMseS è dovuto alle batterie. Se la tecnologia delle batterie dovesse migliorare, il contributo del RAMseS alla sostenibilità ambientale sarebbe notevole. I calcoli o le analisi effettuate, sono ovviamente caratterizzati da incertezze, tuttavia è evidente che l'approccio innovativo del RAMseS comporta notevoli vantaggi ambientali e di conseguenza risparmi sui costi esterni e sociali.

I costi o l'impatto economico rappresentano un problema critico:

Paragonandolo ad un sistema convenzionale, come si comporta il sistema RAMseS? Abbiamo visto che se consideriamo i costi esterni (inquinamento, riscaldamento globale, ecc.) il sistema RAMseS ha dei vantaggi significativi. Tuttavia, questi costi esterni non sono pagati direttamente dagli agricoltori e/o imprenditori agricoli e nonostante il fatto che RAMseS non richiede combustibili fossili, si presentano invece dei costi necessari, in termini di investimento e sostituzioni periodiche delle batterie e di altre parti del sistema. Le nostre valutazioni indicano che il sistema RAMseS, nella sua configurazione attuale e nel periodo di vita di 30 anni, è leggermente più costoso di un sistema convenzionale alimentato a diesel. Dunque al fine di ottenere lo stesso Life Cycle Cost (LCC) ossia una stessa economicità dell'investimento per entrambi i sistemi considerati (RAMseS e Convenzionale) è necessario che il costo del carburante diesel inizi a costare più di 1,45 – 1,50 €/litro. Tale valore è superiore all'attuale prezzo del diesel alla pompa anche senza considerare gli eventuali sussidi o sostegni economici alle aziende agricole. Tuttavia, tale risultato è incoraggiante, alla luce della crisi attuale e della continua crescita del prezzo del petrolio, nel futuro prossimo, l'efficienza economica

del sistema RAMseS può essere migliorata eliminando le batterie stazionarie sostituendole con altre più durevoli, efficienti e meno inquinanti (come le batterie Litio – Titanio) oppure appoggiandosi soltanto sulla rete esistente per lo stoccaggio dell'energia prodotta in eccesso. Tale seconda ipotesi rimane in sostanza impossibile nella maggior parte delle aree rurali dei Paesi a Sud Mediterraneo, o in Libano a causa della scadenza della rete stessa e delle normative locali attualmente vigenti che impediscono tale scambio.

Il vantaggio del sistema RAMseS, comunque, va al di là del semplice confronto dei costi: Esso si basa sul fatto che è indipendente dai combustibili fossili e quindi non risente delle eventuali interruzioni dei rifornimenti (dovuti a numerosi fattori geopolitici, economici, di sicurezza, e climatici) e dalle eventuali impennate dei prezzi del petrolio.

L'ultima domanda alla quale abbiamo tentato di rispondere è se il RAMseS può sostituire parzialmente o completamente i sistemi convenzionali: in particolare cerchiamo di capire se il veicolo RAMseS sia pratico per l'agricoltura.

Prima di tutto conviene affermare che con lo sviluppo del veicolo RAMseS (che avevamo chiamato per comodità VEM), non pretendiamo di paragonarlo con le macchine agricole di una certa grandezza (come ad esempio le mietitrebbia) nemmeno si ha la pretesa di usarlo per le coltivazioni intensive. Questo veicolo è stato concepito e progettato per essere utilizzato in ambienti specifici, nei vivai, nelle aziende agricole del Mediterraneo, presenti in aree particolari come quelle collinari o di montagna e dove la produzione principale è caratterizzata da specie pregiate come la vite e l'olivo. Qui il VEM può essere utilizzato proficuamente per numerose operazioni agricole leggere.

Inoltre, considerato che numerose aree geografiche del Mediterraneo (compreso quello Europee) hanno un clima simile a quello del sito pilota di Ashkout, questo progetto ha un grande potenziale di replica perché consente l'ottimizzazione dei sistemi, tipo il RAMseS, per l'agricoltura, contribuendo così a ridurre la dipendenza degli agricoltori dai combustibili fossili.

E' in ogni modo inevitabile che il futuro dell'agricoltura sia qualcosa di diverso da quello attuale. Il problema dell'agricoltura moderna non è soltanto quello di fornire energia (biocombustibili) ai trattori in particolare e ai veicoli in generale. Essa deve fornire cibo a 9 miliardi di persone e quindi ancora richiede maggiori input in fertilizzanti chimici, pesticidi, diserbanti, tutti dipendenti indirettamente dal petrolio.

Inoltre la produzione agricola è minacciata dall'erosione e dalla perdita della fertilità del suolo, dal riscaldamento globale (siccità, inondazioni, ecc.) dovuto alle emissioni di gas serra, e dall'inquinamento in generale.

Per il futuro dobbiamo pensare e programmare un'agricoltura che non distrugge la fertilità del suolo, che necessiterà (o meno) minori quantitativi di fertilizzanti e pesticidi, e che sarà in generale più sostenibile, generatrice di lavoro, reddito e benessere. Un'agricoltura meno intensiva, con una meccanizzazione ancora più efficiente e con operazione a scala ridotta, che si basa per la maggior parte sulle risorse locali.

I risultati ottenuti dal progetto RAMseS mostrano che l'utilizzo dei sistemi rinnovabili per la produzione di energia elettrica (ma anche del caldo e del freddo) è una possibilità concreta ed effettiva capace di rompere la dipendenza dell'agricoltura dalle costrizioni dell'economia del petrolio.

Glossario

- ✓ **CO_{2eq}**: Anidride carbonica equivalente
- ✓ **GJ (Giga Joule)**: Unità di misura dell'energia e corrisponde a 10⁹ Joules
- ✓ **KW (chilowatt)**: Unità di misura della potenza e corrisponde a 1000 Watt.
- ✓ **KWh (chilowattora)**: Unità di misura dell'energia, rappresenta l'energia fornita dalla potenza di 1 kW per un periodo di 1 ora. 1 MWh corrisponde a 1 milione di KWh; 1 GWh corrisponde a 1 milione di KWh; 1 TWh corrisponde a 1 miliardo di KWh.
- ✓ **MW (megawatt)**: Corrisponde a 1000 kW.
- ✓ **MtCO_{2eq}**: Milioni di tonnellate di anidride carbonica equivalente. Per calcolare quanto ciascun gas contribuisce all'effetto serra, nel Protocollo di Kyoto e nei documenti riguardanti il riscaldamento globale, l'anidride carbonica, il gas più importante, viene utilizzato come unità di misura. La tonnellata di anidride carbonica equivalente è l'unità di misura che permette di pesare insieme le emissioni dei vari gas serra.
- ✓ **Mtep**: Milioni di tonnellate equivalenti di petrolio. Una tonnellata equivalente di petrolio rappresenta la quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio grezzo. Si tratta di una unità convenzionale usata nei bilanci energetici per esprimere in una unità di misura comune tutte le fonti energetiche.
- ✓ **RETSscreen** è uno strumento per l'analisi dei progetti con energie pulite (rinnovabili o alternative); è uno strumento unico sviluppato grazie al contributo di numerosi esperti istituzionali, industriali ed accademici. Il software, fornito gratuitamente, può essere utilizzato in tutto il mondo per valutare la produzione ed il risparmio energetico, i costi gestionali, la riduzione delle emissioni, gli aspetti finanziari ed i rischi di vari tipi di tecnologie efficienti e rinnovabili. Il software comprende anche database prodotti, costi e dati climatici nonché un dettagliato manuale utente.
<http://www.retscreen.net/it/home.php>.
- ✓ **SimaPro**: SimaPro è lo strumento elettronico (software) di analisi LCA più diffuso nel Mondo.

Bibliografia

- Abbona E A, Sarandon S. J., Marasas M E and Astier M, , Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina, *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2007, volume 119, pp.335-345
- Ajan C. W., Ahmed S. S., Ahmad H. B., Taha F, Mohd-Zin A. A. B. On the policy of photovoltaic and diesel generation mix for an off-grid site: East Malaysian perspectives. *Solar Energy*. 2003; 74: 453–467
- Alsema E A, Fthenakis V M. PV energy payback and greenhouse gas emissions: 2004 status, fact sheet. 2005;
- Alsema E A, Wild-Scholten M J. The real environmental impacts of crystalline silicon PV modules: an analysis based on up-to-date manufactures data. 2006; www.solarworld.de
- Alsema E A, Wild-Scholten M J, Fthenakis V M. Environmental impact of PV electricity generation a critical combustion of energy supply options. 21st European photovoltaic solar energy conference, Dresden, Germany. 2006; www.sense-eu.net
- Altmann M., Huber A.. *Hydrogen production costs for fuel cell vehicle applications*. In: *Fuel cell systems for transportation, Annex X, Final Report 1997-1999*. IEA – International Energy Agency, Ottbrunn (Germany).
- Anon, , NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set, 2000. Disponibile su <http://www.retscreen.net/>, visitato il 10 Novembre 2009.
- Anon, Wine – Economy of the sector, EU: European Commission, Directorate General for Agriculture and Rural Development; 2006.
- Anon, World Vineyard acreage by country. San Francisco, California, USA: The Wine Institute; 2006.
- ASAE - American Society of Agricultural Engineers. Agricultural machinery management. EP496.2 MAR94. 45th ed., <http://asae.org/>; 1998.
- ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Agricultural machinery management data. D497.5 FEB ASABE Standards. 53rd ed.; 2006.
- Association for the Study of Peak Oil (ASPO) 2004, www.oilpeak.net
- ATENA – con l'agricoltura per coltivare il futuro: Filiera agro energetica: un modello innovativo efficiente. *Agricoltura, Tecnologia e Ambiente (ATENA)*, 2006.

- Altairnano, Nano Safe Battery Datasheet, disponibile su: http://www.b2i.cc/Document/546/50Ah_Datasheet-012209.pdf visitato il 25 Dicembre 2009
- Bakos G. C., Soursos M. Techno-economic assessment of a stand-alone PV/hybrid installation for low-cost electrification of a tourist resort in Greece. *Applied Energy*. 2002; 73: 183–193.
- Baldi F., Spugnoli P. and Zoli M. Energy efficiency in the vineyard, *Journal of Agricultural Research*, 1989 Volume 44, pp.301-310
- Bardi U. (2005). *Agrienergia: Coltivare il giardino planetario*. Sintesi dell'intervento al convegno "Forum Energia", Roma. www.agrienergia.it.
- Bardi U. "AGRIENERGIA" Un nuovo paradigma per le energie rinnovabili. Copyright Ugo Bardi. (2004) Pubblicato su www.agrienergia.it
- Bellerate E. *Efficienze globali ("Well to wheel") delle principali catene di combustibili per veicoli*. In: *Speciale ATA Fuel Cells 9/10* (2001) 348-355. ATA, Torino (Italia).
- Bickel P, Friedrich R. Environmental external costs of transport. Published by Springer. 2001; pp 231.
- Bindraban Wolf J., Luijten P.S., Vleeshouwers J.C., L.M., *Agricultural systems* 76 (2003) 841
- Bisson, L.. In search of optimal grape maturity. *Practical Winery & Vineyard*. Luglio/Agosto. 2001 Pp. 32-43.
- Bouzidia B., Haddadib M. and Belmokhtar O. Assessment of a photovoltaic pumping system in the areas of the Algerian Sahara. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier. Volume 13, Issue 4, May 2009, Pages 879-886
- Brandemuehl M.J., Beckman W.A. Economic evaluation and optimization of solar heating systems. *Solar Energy* 1979; 23:1-10.
- Business and Economy database of Lebanon, <http://www.databank.com.lb/> . Sito visitato nel febbraio 2008.
- Casini L.: Multifunzionalità e riforma della PAC, *Nuovo Diritto Agrario*, anno VIII, n.1, pp.17-36 (2003).
- Chandrasekar B., Kandpal T.C. Effect of financial and fiscal incentives on the effective capital cost of solar energy technologies to the user. *Solar Energy* 2005; 78:147-56.
- Chehab S. and Matar T. "Energy in Lebanon. Facing the 3rd Millennium", *ALMEE*, July 2001.

- Coiante D. Towards the photovoltaic farm, Photovoltaic Specialists Conference, 1990 – Conference Record of the Twenty First IEEE, Volume 2, pp 1095-1098.
- Coiante D., Le nuove fonti di energia rinnovabile: Tecnologie, costi e prospettive. Franco Angeli Ed.; 2004
- Colman T., Păster F. Red, white and “Green”: the cost of carbon in the global wine trade. New York, USA: American Association of Wine Economics (AAWE) Working paper (2007)
- Coombe, B.G. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. American Journal of Enology and Viticulture 43:101-110.
- Coombe, B.G. and P.R. Dry. 1992. Viticulture Volume 2 Practices. Wine titles. Adelaide, Australia.
- Daniele C., Lombardi G. V, El Asmar T. (2008): I sistemi fotovoltaici in agricoltura: un'analisi economica dell'investimento nel centro Italia, Rivista di Economia Agraria, anno LXIII, n. 2.
- Delucchi M.A. and Lipman T. E.. An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles. Pergamon, Transportation Research, (2001)Part D 6, pp:371-404.
- Delucchi M.A. et al. *Electric and gasoline vehicle lifecycle cost and energy use model*. (2001). California Air Resource Board, Davis (California, USA).
- Delucchi MA, Timothy EL. An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles. Journal of Transportation Research, Pergamon. Part D, 2001; 6:371-404
- Diaf S, Belhamel M, Haddadi M, Louche A. Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica island. Energy Policy. 2008; 36: 743–754.
- Dhingra R, Overly J G, Davis G A. Life-cycle environmental evaluation of aluminum and composite intensive vehicles. Oak Ridge National Laboratory. 1999; <http://eerc.ra.utk.edu>
- Duffie J. e Beckman W. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and sons, 2006New Jersey, USA, 3rd edition
- ENEA: *L'energia fotovoltaica, Collana “Sviluppo Sostenibile”*, Roma, Enea. (2006a)
- Enerpoint: Enerpoint e Sharp mettono la firma su tre aziende agricole “solari”, (2009) *energia24*, anno 2, n.11, pp. 41.

- EPA - United States Environmental Protection Agency. Exhaust and crankcase emission factors for non-road engine modeling—compression-ignition. EPA420-P-04-009. 2004; www.epa.gov
- EU Energy and transport figures, Luxembourg: Office for the Official Publications of the European communities, scaricabile dal sito: http://ec.europa.eu/energy/publications/statistics/doc/2009_energy_transport_figures.pdf, visitato il 15 Dicembre 2009
- Europe's Energy Portal, <http://www.energy.eu/> visitato nel Novembre 2009 e in Aprile 2010.
- EUROSTAT, 2009, Europe in figures-EUROSTAT year book 2008, scaricabile dal sito: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/publications/eurostat_yearbook, visitato nel 1° di Settembre 2009
- Exide technology industrial energy. OPzS Solar battery catalogue. [www.exidenordic.com/pdf/manualer/Classic%20Solar%20\(english\).pdf](http://www.exidenordic.com/pdf/manualer/Classic%20Solar%20(english).pdf).
- Faidley L. W., Energy and Agriculture, Chapter 1 Energy in World Agriculture, volume 16, pp.1-12, Energy in Farm Production, Edited by Fluck R. C., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 1992
- FAO, www.fao.org, Statistical Database, 2004
- Fischer M., Werber M. and Schwartz P. V. Batteries: Higher energy density than gasoline?, Energy Policy, 2009, Volume 37, pp.2639-2641
- Florio M. (2001), La valutazione degli investimenti pubblici. Franco Angeli Editore
- Funk K. and Rabl A. (1999): Electric versus conventional vehicles: Social costs and benefits in France. Transportation Research Part D4: 397-411.
- Fthenakis V M, Kim H C, Alsema E. Emissions from photovoltaic life cycles. Environmental science & technology. 2008; 42: 2168–2174.
- Gaibler D.W., Miller A.R. *Cost model for fuelcell mine vehicles*. Fuelcell Propulsion Institute, 1998Denver (Colorado, USA).
- Graditi G., Favuzza S., Sanseverino E. R.: Technical, environmental and economical aspects of hybrid systems including renewables and fuel cells. (2006) International Symposium on Power Electronics, Electrical drivers, Automation and Motion.
- Granovskii M., Dincer I., Rosen M. A.: Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. Journal of Power sources, (2006) 159: 1186 – 1193. Elsevier.

- Groumpos P.P, Papageorgiou G. An optimal sizing method for stand-alone photovoltaic power systems. *Solar Energy* 38 (5), 341-351. 1987.
- GSE (2007): *Le attività del Gestore dei Servizi Elettrici, Rapporto 2007*, Roma, GSE.
- Haas R. The value of photovoltaic electricity for society 1995; *Sol. Energy* 54 (1):25-31.
- Heinberg Richard. “The Fifty Million Farmers” *Energy Bulletin*, Archiviato il Novembre 17 2006; Pubblicato su <http://www.energybulletin.net/node/22584>; visitato il 30 Aprile 2009
- Hubbert M.K., Nat. Res. Council publ. 1000-D Washington DC, 54,1962.
- Hunt D. *Farm Power and Machinery Management*. Blackwell Publishing. 2001; pp: 75-97.
- Idda L., Furesi R., Pulina P. “Agricoltura multifunzionale”, in Idda L., (a cura di), *Alimentazione e turismo in Italia*, Atti dell’XI Convegno di Studi della Società Italiana di Economia Agro-Alimentare (SIEA), Alghero, 20-22 giugno 2002, Gallizzi, Sassari, pp.11-71
- IEA - *Automotive fuels for the future- the research for the alternatives*. 2000; www.iea.org;
- Iland, P., Ewart, A., Sitters, J., Markides, A., and N. Bruer. *Techniques for Accurate Chemical Analysis and Quality Monitoring During Winemaking*. Wine Promotions, Campbell Town, Australia. 2000
- International Energy Agency (IEA) www.iea.org. statistics on world energy, 2001
- ISTAT: *Le emissioni atmosferiche delle attività produttive e delle famiglie*, (2009) Roma, ISTAT.
- Janssen S. and Van Ittersum M.K.. *Assessing farm innovations and responses to policies: A review of bio-economic farm models*. In *Agricultural Systems* (2007) 94, 622 – 636. Elsevier.
- Jeong K.S. and Oh B. S.. *Fuel economy and life-cycle cost analysis of a fuel cell hybrid vehicle*. Elsevier, *Journal of Power Sources* (2002) 105; pp: 58-65
- John Deere Company, www.deere.com/en_US/ag/index.html. Sito visitato il 12 Giugno 2009.
- Jones K., *Australian wine industry. State of the environment 2003*. Australia: South Australian Wine Industry Association Incorporated. (2004)

- Kanellis, A.K. and K.A. Roubelakis-Angelakis.. Grape. Pp. 189-234. In: Seymour, G.B., J.E. Taylor, and G.A. Tucker (eds.). *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman and Hall, London. (1993)
- Kennedy, J.. Understanding grape berry development. Practical Winery & Vineyard. Luglio/Agosto 2002. Pp. 14-18.
- Kolhe M, Sunita Kolhe, Joshi JC. Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India. *Energy Economics* 2002; 24: 155-65.
- Koner P.K., Dutta V. and Chopra K. L. A comparative life cycle energy cost analysis of photovoltaic and fuel generator for load shedding application. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2000; 60: 309-322.
- Krauter S, Ruther R. Considerations for the calculation of greenhouse gas reduction by photovoltaic solar energy. *Renewable energy*. 2004; 29: 345–355.
- Larsen L F, Steinbruegge G. W., Sulek J. J., Lane D. E., , Test 949: Massey-Ferguson MF 130 (Diesel) University of Nebraska-Lincoln, USA. (1966)
- Lavagno E., Gerboni R.. *LCA of a PEM fuel cell*. Politecnico di Torino, (2002)Torino (Italia).
- Lazou A A, Papatsoris A D. The economics of photovoltaic stand-alone residential households: A case study for various European and Mediterranean locations. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2000; 62: 411-427.
- Lebanese Ministry of the Environment. State of the environment Report, 2001
- MacDiarmid A.G. and Venancio E.C. Agrienergy (Agriculture/Energy): What does the future hold? In *Experimental Biology and Medicine*. (2006)
- Meier P J. Life cycle assessment of electricity generation systems and application for climate change policy analysis. A Ph.D dissertation in the University of Wisconsin-Madison. 2002; <http://fti.neep.wisc.edu/pdf/fdm1181.pdf>.
- Ministero dello Sviluppo Economico: Bilancio Energetico Nazionale 2007.
- Ministry of Agriculture. Annual reports, 2003. (2004) Beirut, Lebanon.
- Monzon A, Guerrero M J. Valuation of social and health effects of transport-related air pollution in Madrid (Spain). *Science of the total environment*. 2004; 334– 335: 427–434.
- Mousazadeh H., Keyhani A., Mobli H., Bardi U., Lombardi G. V. and El Asmar T.: Technical and Economical Assessment of a Multipurpose Electric Vehicle for Farmers. *Journal of Cleaner Production*, 17 (2009), 1556 – 1562.

- Nouni M. R., Mullick S. C. and Kandpal T.C. Photovoltaic projects for decentralized power supply in India: A financial evaluation. *Energy Policy*. 2006; 34: 3727–3738.
- Nouni M.R., Mullick S.C., Kandpal T.C., providing electricity access to remote areas in India: An approach towards identifying potential areas for decentralized electricity supply, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume (2008) 12, pp. 1187-1220
- Newnham R. H. and Baldsing W. G. A, Advanced management strategies for remote area power supply systems, *Journal of Power Sources*, (2004) Volume 133, pp.141-146.
- Odeh I., Mahmoud M. Field results of photovoltaic water pumping systems. *Appl Solar Energy* 1995; 31(3):20-9.
- Ogden J. M. et al. Societal Lifecycle costs of cars with alternative fuels/engines. *Energy Policy* 32 (2004) 7-27. Elsevier
- Oparaku O. U. Rural area power supply in Nigeria: A cost comparison of the photovoltaic, diesel/gasoline generator and grid utility options. *Renewable Energy*. 2003; 28: 2089–2098.
- Ough C.S. and M.A. Amerine. *Methods for analysis of musts and wines*. 2nd Edition. 1988. John Wiley & Sons.
- Pacca S, Sivaraman D, Keoleian GA. Life Cycle Assessment of the 33 kW photovoltaic system on the Dana building at the University of Michigan: thin film laminates, multi-crystalline modules, and balance of system components. Report n° CSS05-09, http://css.snre.umich.edu/css_doc/CSS05-09.pdf; 2006.
- Padrò C.E.G. and Putsche V. (1999). *Survey of the economics of hydrogen technologies*. NREL – National Renewable Energy Laboratory, Golden (Colorado, USA).
- Pimentel D. *Journal of agricultural and environmental ethics*, vol. 4, pp 1-13, 1991
- Purohit P. Financial evaluation of renewable energy technologies for irrigation water pumping in India. *Energy Policy* 2007; 35 (6): 3134-44.
- Rapporti INEA sulla Politica Agricola Comunitari (2004 -2005);
- Rantik M. Life cycle assessment of five batteries for electric vehicles under different charging regimes. The Swedish transport and communications research board (KFB), www.kfb.se; 1999.

- R. M. Pool, , Energy requirements for grape production in the U.S., pp. 269-290, Handbook of Energy Utilization in Agriculture Edited by D. Pimentel, CRC press, Florida, USA. 1980
- SET-Plan, Strategic Energy Technology Plan (SET Plan), disponibile su http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm, Visitato il 24 Dicembre 2009.
- Shaahid S M, Elhadidy M A. Technical and economic assessment of grid-independent hybrid photovoltaic–diesel–battery power systems for commercial loads in desert environments. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2007; 11: 1794–1810
- Shaahid and Elhadidy, Economic analysis of hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for residential loads in hot regions-A step to clean future, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, Volume 12, pp. 488-503
- Shaahid S.M.and El-Amin I, Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for rural electrification in Saudi Arabia-A way forward for sustainable development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, Volume 13, pp.625-633
- Smart, R.E. and M. Robinson. *Sunlight into wine*. Winetitles, Adelaide. 1991
- Smith F. Wineries of the future, cutting energy use. The Australian & New Zealand Grapgrower and Winemaker. N° 497: 2005
- Smyth M. and Russel J.. “From graft to bottle” – Analysis of Energy use in viticulture and wine production and the potential for solar renewable technologies. In Renewable and sustainable Energy Reviews (2009) 13, 1985 – 1993. Elsevier.
- Solar Buzz, 2009, Solar Module Retail Price Environment, disponibile su: www.solarbuzz.com/Moduleprices.htm, visitato il 5 Dicembre 2009
- Soras C, Makios V. A novel method for determining the optimum size of stand alone photovoltaic system. 1988; Sol. Cells 25 (2):127-142.
- Stout B. A. and McKiernan M., , New technology-Energy implications, chapter 11, pp.131-171 Energy in World Agriculture, 1992, volume 16, Energy in Farm production edited by R.C. Fluck, Elsevier, Amsterdam, Holland
- Suwannakum T, Boonbumroong U, Tia S, Pongchawee D, Pewkaw K, Kirtikara K. Techno-economic assessment of PV/wind/diesel hybrid remote area power system installations at two national parks in Thailand. Technical Digest of the International PVSEC-14, Bangkok, Thailand, 2004; P-226.

- Swenson R. B. Solar Energy Meets the New Global Challenge. <http://www.ecotopia.com/apollo2/ises2000.htm> ISES Millennium Solar Forum, Mexico city, 2000.
- Thomas C.E. et al.. *Affordable hydrogen supply pathways for fuel cell vehicles*. DTI Direct Technologies, Arlington (Virginia, USA). (1998)
- Thomas M.G. Water pumping: the solar alternative. SAND8T-0804. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories Photovoltaic Systems Design center; 1993.
- Tiezzi E.. *Tempi Storici, Tempi Biologici, Vent'anni Dopo*. Donzelli Ed. Roma. (2001)
- Università L. Bocconi, per Centro Banca. La convenienza finanziaria per le imprese all'adozione di energie rinnovabili "pure": un'analisi degli *economics* aziendali; 2009.
- United States department of energy. www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml. (sito visitato nell'Ottobre del 2008)
- Van Campen B., Guidi D. and Best G. (2000), Solar photovoltaics for sustainable agriculture and rural development. 76 pp., 21 tables, 10 text boxes, 6 annexes Environment and Natural Resources Working Paper No. 2; FAO, Rome.
- Wagdy RA, Mertens RP, Van Overstraeten R. Economic feasibility of photovoltaic systems in the developing countries. *Sol. Wind Technologies* 1985; 2(1):9-14.
- Watson, B.. Evaluation of Winegrape Maturity. In: E.W. Hellman (ed.) *Oregon Viticulture*. Oregon State University Press. Corvallis, Oregon. (2003) Pp. 235-245.
- Weeks, S.. Measuring, maintaining, and trouble-shooting pH. *Practical Winery & Vineyard*. (2002) Settembre/Ottobre. Pp. 74-77.
- Werber M., Fischer M., Schwartz P. V. Batteries: Lower cost than gasoline?, *Energy Policy*, 2009, Volume 37, pp2465-2468
- Wenham S. R., Green M. A., Watt M. E. and Corkish R. *Applied Photovoltaic's*, 2nd edition, Earthscan press, United Kingdom. 2007
- White S.W. and Kulcinsky G.L.. *Fusion Engineering and Design* 48 (248) 473-481. 2000
- Wolf, T.K. and E.B. Poling. *The Mid-Atlantic Winegrape Grower's Guide*. North Carolina Cooperative Extension Service. 1995.

- World Bank. World Agriculture, 2007, disponibile su: www.worldbank.org, data di accesso 5 Gennaio 2008
- World Bank Sustainable Development Department, Middle East and North Africa Region, Republic of Lebanon Electricity Sector, Public Expenditure Review. Report N° 41421-LB, 2008
- World Factbook. <http://www.photius.com/rankings/economy>. Sito visitato nel febbraio 2008
- Wikipedia – the free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel>. (sito visitato nell'ottobre 2008)
- Zoecklein, B.W., Fugelsang, K.C., Gump, B.H., and F.S. Nury. Wine Analysis and Production. Chapman & Hall Enology Library. 1995.

