

UNIVERSITÁ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÁ DI INGEGNERIA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ENERGETICA

**Integrazione di tecnologie per lo sfruttamento di fonti di
energia rinnovabili nella progettazione di un eco-
villaggio – Progetto Lebensdorf**

Relatore: Prof. Anna Stoppato

Laureando: Riccardo Barana

ANNO ACCADEMICO 2013-2014

Indice

1	Introduzione	4
1.1	Dall'energia solare alle fonti fossili	4
1.2	La crisi attuale	6
1.2.1	La crisi sociale	6
1.2.2	La crisi energetica	7
1.2.3	La crisi ambientale	8
1.3	La sostenibilità	9
1.3.1	I tre pilastri della sostenibilità	10
1.3.2	Sfide per la sostenibilità	10
1.3.3	Sostenibilità e tecnica	11
2	Eco-villaggi	12
2.1	Storia	12
2.2	Uno sguardo da vicino	14
2.3	Pratiche sostenibili	15
2.3.1	Impronta ecologica	15
2.3.2	Utilizzo di risorse locali	16
2.3.3	Edifici	16
2.4	Scelte energetiche	17
2.4.1	Energia rinnovabile Vs. energia sostenibile	17
2.4.2	High-tech Vs. low-tech	18
2.4.3	Produzione centralizzata Vs. produzione distribuita	20
3	Tecnologie e software utilizzati	23
3.1	Solare fotovoltaico	23
3.2	Eolico	25
3.3	Cogenerazione	27
3.3.1	Ciclo Rankine a fluido organico - ORC	30
3.3.2	Externally Fired Gas Turbine - EFGT	32
3.3.3	Gassificazione + motore a combustione interna	34
3.3.4	Motore Stirling	36
3.3.5	Gassificazione + motore Stirling	38
3.4	HOMER	38
3.5	RETScreen®	40
3.6	T*SOL®	40
4	Caso pratico: Lebensdorf ecovillage	41
4.1	Caratteristiche	41
4.2	Il luogo: Liebfrauenberg kloster	43

4.3	Domanda energetica	45
4.4	Scenari	47
4.4.1	Scenario 1	48
4.4.2	Scenario 2	48
4.4.3	Scenario 3	49
4.4.4	Scenario 4	50
4.5	L'energia ora	51
4.6	Risorse energetiche	52
5	Analisi del sistema	54
5.1	Metodo	54
5.2	Scenari	57
5.2.1	Scenario 1	58
5.2.2	Scenario 2	61
5.2.3	Scenario 3	64
5.2.4	Scenario 4a	66
5.2.5	Scenario 4-b	68
5.2.6	Scenario 4b-100 "off-grid"	70
5.3	Emissioni di CO2	70
5.4	Analisi economica	74
5.4.1	Dimensione degli insediamenti secondari	75
5.4.2	Utilizzo di biomassa interna all'eco-villaggio	77
6	Conclusioni e sviluppi futuri	79
A	Appendice	83
A.1	Scenario 1	83
A.2	Scenario 2	84
A.3	Scenario 3	85
A.4	Scenario 4a	85
A.5	Scenario 4b	85

Sommario

Con l'inizio del XXI secolo, l'impossibilità di proseguire secondo il modello di sviluppo seguito finora, è sostenuta da molte istituzioni internazionali ed è un concetto largamente accettato nella società occidentale. I problemi rilevati dagli esperti nei vari settori sono molteplici ed è difficile additarne le cause ed individuarne le soluzioni. Spesso è però possibile ricondurre tutte le criticità ad un modo di operare non sostenibile.

Di fronte a questo scenario il movimento degli eco-villaggi si presenta come laboratorio di innovazione, dove la sostenibilità ad ogni livello possa essere sperimentata. L'obiettivo è di divulgare le conoscenze sviluppate in questi ambienti protetti, fungendo da facilitatori di cambiamento.

L'eco-villaggio è un luogo in cui un gruppo di persone ha deciso spontaneamente di vivere in comunità. Attuando pratiche e comportamenti atti ad introdurre la sostenibilità in ogni aspetto della loro vita, sia dal punto di vista personale che sociale. Al contrario di ciò che si pensa comunemente in molti eco-villaggi la qualità della vita non è sacrificata ed è in molti casi maggiore a quella presente al di fuori della comunità.

In questo progetto di tesi sono state vagliate alcune soluzioni tecnologiche per l'eco-villaggio di Lebensdorf. Il progetto, nato nel 2007, raggruppa molte persone e conoscenze attorno a se, con l'obiettivo di stabilire un eco-villaggio presso Bad Bergzabern, nella regione della Renania-Palatinato in Germania. Il lavoro si è concentrato sul lato energetico, il che corrisponde a studiare domanda e produzione di energia elettrica e termica.

Mediante il software di calcolo HOMER, sono state studiate delle soluzioni tecnologiche per soddisfare il fabbisogno energetico dell'eco-villaggio, attraverso lo sfruttamento delle fonti rinnovabili presenti nell'area; ponendo particolare attenzione agli aspetti economico ed ambientale.

Supponendo uno sviluppo graduale del progetto a partire dalla struttura già presente in loco, e ipotizzando fabbisogni "pro capite" differenti, sono stati sviluppati diversi scenari energetici. Questo ha permesso di studiare le differenze in termini di: costi, emissioni e tecnologie energetiche, al variare del fabbisogno energetico.

Durante lo svolgimento delle simulazioni è stato osservato il comportamento di diversi cogeneratori, cercando legami fra la composizione della domanda energetica e la tecnologia più efficace.

1 Introduzione

Stiamo affrontando in questo momento la più grande sfida collettiva globale della storia dell'umanità. Il nostro uso di terra, acqua, energia e materie prime, insieme alla produzione di rifiuti grava sull'ambiente. Anche se a livello globale le popolazioni stanno prendendo sempre più coscienza di questa situazione, i governi locali si stanno muovendo molto lentamente. Una soluzione di questi problemi che sia completamente "dall'alto" non si sta dimostrando possibile, dimostrando come per cambiare direzione serva un ampio cambio di mentalità e cultura.

In questo contesti gli eco-villaggi si pongono come luoghi dove sperimentare nuovi modi di vivere. Ciò si traduce in utilizzo differente di risorse, fra le quali particolare attenzione è riservata a quelle energetiche.

Questa ricerca nasce dall'incontro con il "Lebensdorf". "Lebensdorf" è un progetto volto alla creazione di una comunità intenzionale. Si distingue da altre realtà per un'approfondita fase di progettazione dell'eco-villaggio che ha coinvolto e coinvolgerà esperti in molti settori.

Attraverso questo lavoro, miro a sviluppare un insieme di conoscenze riguardanti l'utilizzo dell'energia all'interno dell'eco-villaggio. In modo da "costruire" uno strumento che possa portare scelte più consapevoli in fase della effettiva progettazione dell'eco-villaggio.

1.1 Dall'energia solare alle fonti fossili

La storia dell'uomo su questo pianeta è fortemente legata alle risorse disponibili, fra le quali l'energia è stata ed è tutt'ora fondamentale. Attualmente con questo termine individuiamo cioè che ci permette di soddisfare alcuni nostri bisogni: scaldarsi, illuminare, spostarsi, utilizzare apparecchiature elettroniche, ecc... In questo modo dimentichiamo, come la nostra specie attraverso i secoli abbia saputo utilizzare forme di energia differenti rispetto a quelle a cui siamo abituati.

La prima fonte fu il cibo, successivamente il fuoco e lo sfruttamento degli animali per il lavoro. Queste tre fasi coprono un lasso temporale molto lungo, dalla comparsa dell'uomo attorno a 7 - 10 milioni di anni fa arrivando all'introduzione del lavoro degli animali in agricoltura attorno al 3000 A.C. Il consumo energetico giornaliero in quell'epoca è stimabile fra le 2000 Cal additabili al consumo umano alle 20000 Cal in presenza di sfruttamento animale e del fuoco. Visti gli scarsi rendimenti dati dal fuoco libero e dal corpo umano per trasformare l'energia in lavoro è possibile ipotizzare un utilizzo finale di energia trasformabile in lavoro attorno a 3000 Cal. Durante la storia diverse tecnologie hanno visto la loro nascita, come mulini azionati dal flusso di acqua e vento. Anche se quest'ultimi rappresentano importanti sviluppi tecnologici il loro contributo energetico totale non ha mai sorpassato l'1-2 % del totale.[?]Anche se diverse fra loro, queste fonti hanno tre caratteristiche fondamentali in comune.

1. Riproducibilità: essendo il ciclo di vita delle risorse vegetali dipendente dal sole, fin che l'esistenza del sole viene garantita le risorse sono considerate riproducibili. Altri fattori rilevanti sono lo sfruttamento del suolo e delle risorse idriche.
2. Dipendenza climatica: la crescita dei vegetali è fortemente influenzata da temperature ed energia solare disponibile. Zone con un clima più adatto avevano un vantaggio energetico rispetto altre parti del pianeta. I cicli climatici provocavano un cambiamento di condizioni lungo i secoli variando di conseguenza le risorse energetiche disponibili nello spazio e nel tempo.
3. Bassa potenza: considerando l'energia di un cavallo inferiore ad un kW è immediato notare la limitatezza della potenza disponibile, soprattutto se paragonata alle grandi potenze a disposizione nel mondo industrializzato attualmente.

Queste tre principali caratteristiche delle fonti vegetali non sono presenti nelle fonti che più ha cambiato il rapporto fra l'uomo e l'energia durante la storia dell'umanità, ovvero le fonti fossili. Durante il carbonifero, circa 300 milioni di anni fa, grandi quantità di materia organica hanno intrapreso un processo di trasformazione verso composti via via più stabili. La conoscenza di questa fonte è molto antica, è però sempre rimasta in secondo piano ed utilizzata solamente in piccola parte per il riscaldamento. Questa grande quantità di energia solare immagazzinata nel suolo sotto forma di carbone, petrolio e gas naturale è però rimasta in gran parte inutilizzata fino al diciannovesimo secolo. E' difficile porre una data in cui i combustibili fossili hanno preso il sopravvento rispetto all'energia vegetale fino ad allora dominante. E' invece possibile individuare le due cause fondamentali che hanno portato a questo cambiamento. In primis l'incremento senza precedenti della popolazione mondiale fra il diciassettesimo ed il diciottesimo secolo. La superficie di terra pro capite, soprattutto in Europa, diminuiva, andando a ridurre la quantità di energia pro capite disponibile con le "fonti convenzionali". Ancor più decisivo è stato il cambiamento nella trasformazione dell'energia in lavoro. Con l'invenzione della macchina a vapore la potenza disponibile aumentò di diversi ordini di grandezza. Quando Sadi Carnot nel 1824 pubblica "Riflessioni sulla forza motrice del fuoco", dando basi teoriche ai motori a vapore la rivoluzione energetica è ormai una realtà.

Le caratteristiche delle fonti fossili sono per molti versi in contrapposizione con le fonti vegetali utilizzate fino a quel momento. Esse sono: non riproducibili, indipendenti al clima e permettono, insieme allo sviluppo di adeguate tecnologie, lo sviluppo di elevate potenze. Un'ulteriore e molto importante caratteristica di questa tipologia di fonte è la possibilità di aumentare il regime di estrazione. Essendo risorse stoccate nel sottosuolo ed indipendenti da cicli naturali è possibile aumentare la loro quantità semplicemente aumentando il tasso di estrazione. Oltre ad un passaggio da una situazione di scarsità energetica ad una di abbondanza, vi è un cambio completo di prospettiva. Se

fino a questo momento nella storia dell'essere umano, lo sviluppo era stato limitato da un approvvigionamento energetico, ora questo vincolo è in un certo modo sorpassato.

1.2 La crisi attuale

Lo sfruttamento delle risorse energetiche fossili, accompagnato da un'esponenziale crescita tecnica-scientifica, ha portato ad un eccezionale incremento demografico; accompagnato nei paesi occidentali ai livelli di benessere molto alti. E' difficile mettere in discussione come in pochi decenni grandi parti dell'umanità siano state sottratte a condizioni esistenziali precarie, aumentando durata e qualità della vita. Già da qualche decennio però, parte della comunità scientifica ha individuato l'impossibilità del protrarsi della situazione attuale. Nel 1972 il Rapporto sui limiti dello sviluppo commissionato dal Club di Roma al MIT sostiene l'insostenibilità dello sviluppo umano. In particolare lo studio idealizza un andamento esponenziali di cinque variabili correlate con lo sviluppo attualmente in atto, con lo scopo di prevedere i possibili impatti in un futuro prossimo. Queste variabili erano: popolazione mondiale, industrializzazione, inquinamento, produzione alimentare e consumo di risorse. In estrema sintesi, le conclusioni del rapporto furono:

1. Se l'attuale tasso di crescita della popolazione, dell'industrializzazione, dell'inquinamento, della produzione di cibo e dello sfruttamento delle risorse continuerà inalterato, i limiti dello sviluppo su questo pianeta saranno raggiunti in un momento imprecisato entro i prossimi cento anni. Il risultato più probabile sarà un'improvviso ed incontrollabile declino della popolazione e della capacità industriale.
2. È possibile modificare i tassi di sviluppo e giungere ad una condizione di stabilità ecologica ed economica, sostenibile anche nel lontano futuro. Lo stato di equilibrio globale dovrebbe essere progettato in modo che le necessità di ciascuna persona sulla terra siano soddisfatte, e ciascuno abbia uguali opportunità di realizzare il proprio potenziale umano.

A più di quarant'anni dalla stesura di quel rapporto, i limiti del nostro sistema attuale non sono più solo oggetto di dibattito da parte di una minoranza accademica, bensì rappresentano alcuni fra i problemi che ogni società si trova ad affrontare.

1.2.1 La crisi sociale

Collegato all'aumento dell'utilizzo di risorse energetiche ed ambientali si ha avuto un'esponenziale crescita economica[1]. Se è vero che questo fenomeno sembra diminuire i livelli di povertà nei paesi in via di sviluppo[2], non è possibile dire lo stesso per per i paesi con economie fortemente sviluppate. Anche se è difficile affermarlo con

certezza, il benessere nelle società occidentali tende a diminuire tanto lievemente quanto costantemente negli ultimi anni. Uno studio elaborato da un gruppo di accademici australiani e statunitensi ha recentemente introdotto un indicatore basato su ventiquattro indicatori differenti; il GPI (Genuine Progress Indicator) si pone come obiettivo la misurazione del benessere effettivo delle persone. Analizzando buona parte delle maggiori economie mondiali attraverso questo indicatore sono arrivati ad affermare che:

"la soddisfazione in quasi tutti i paesi non è aumentata significativamente a partire dal 1975. Globalmente il PIL "pro capite" non incrementa il livello di benessere al di sopra dei 7000\$. Se distribuissimo più equamente la ricchezza nel mondo, il PIL mondiale attuale (67 mila miliardi di dollari) potrebbe supportare 9,6 miliardi di persone con un PIL pro capite di 7000\$"[3].

Questa asserzione ci porta a ripensare le nostre priorità che, attraverso il cambiamento del sistema produttivo, avranno un impatto a livello energetico; sia nella quantità dei consumi che nei modi di produzione.

1.2.2 La crisi energetica

Il consumo energetico mondiale è passato dalle 3755 milioni di TEP del 1965 alle 12476,6 del 2012; nel 1990 il consumo è stato di 8110,1 TEP [4]. I due fenomeni concorrenti a questo incremento sono la crescita della popolazione mondiale e l'aumento di energia pro capite consumata; nell'ordine 27% e 10% fra il 1990 ed il 2008.

Mentre nei paesi dell'OCSE si assiste ad un lieve calo nei consumi energetici dopo il 2007 la crescente richiesta energetica è concentrata in alcune regioni. Gli incrementi maggiori, sempre nel lasso temporale 1990 - 2008 si hanno avuto in oriente: il Medio oriente ha aumentato del 170%, la Cina del 146%, l'India del 91%, l'Africa 70%[5][6]. Secondo proiezioni dell'IEA la domanda energetica globale crescerà di un terzo da qui al 2035, con un calo dei combustibili fossili nel mix energetico globale dall'82% al 76%. Circa un mezzo dell'energia primaria per la produzione di energia elettrica sarà coperta nel 2035 da energie rinnovabili.

Da questa situazione deriva uno stress sempre maggiore sull'estrazione di combustibili fossili. Anche se difficile da valutare molti esperti concordano sul fatto che dell'"oil-peak" sia stato raggiunto e sorpassato, determinando un andamento crescente dei prezzi. Questo fenomeno è ritenuto una importante causa della crisi dell'Europa del sud nell'ultimo decennio [7]. Mentre le scorte di Carbone sembrano destinate ad assicurare la reperibilità di questa materia prima per per molte decadi, più contrastato è il ruolo del gas naturale, per il quale vi è molta incertezza a riguardo delle effettive riserve e possibilità di nuove scoperte. Secondo alcuni autori il picco di produzione si

avrà attorno al 2020 [8]. Al contrario l'agenzia per l'energia americana non prevede battute d'arresto della produzione di gas naturale fino al 2030[9].

Petrolio, gas naturale e Carbone compongono attualmente l'82% della domanda mondiale energetica, di queste tre fonti le prime due molto probabilmente incontreranno una crisi nel prossimo futuro. Scarsità e prezzi crescenti potrebbero avere un notevole impatto sul benessere mondiale. Grazie allo sviluppo di nuove tecnologie e all'aumento del costo del greggio due nuovi "prodotti" sono comparsi sul mercato globale mondiale: "shale gas" e "shale oil". Nonostante le grandi aspettative riposte su queste due risorse fossili, entrambe presentano molte incertezze e complicazioni.; in particolare per via dell'elevato costo energetico per la loro estrazione ed i grandi impatti ambientali.

In questo scenario l'Europa si trova in una posizione molto scomoda dovuta alla dipendenza energetica dall'estero. Basti pensare che la dipendenza dell'unione dei 27 dalle importazioni ha raggiunto il 55% nel 2010. In particolare Spagna, Italia e Germania presentano un tasso di dipendenza energetica rispettivamente dell'80, 85 e 60 per cento[10].

1.2.3 La crisi ambientale

"Dal 1966 la domanda di risorse naturali è raddoppiata e attualmente la specie umana utilizza l'equivalente di un pianeta e mezzo per sostenere le proprie attività." ... "I paesi ad alto reddito hanno un'impronta 5 volte più elevata che i paesi a basso reddito" ... "Lo scenario business as usual mostra come entro il 2030 avremo bisogno dell'equivalente di 2 pianeti per soddisfare la domanda annuale di risorse"

Queste parole tratte dal "2012 Living planet report" evidenziano le caratteristiche principali del problema ambientale odierno, ovvero: l'insostenibilità del nostro modello di sfruttamento delle risorse, le differenze nell'utilizzo del pianeta da parte delle diverse nazioni e l'immobilismo nell'agire per contrastare il fenomeno. Oltre ad intaccare la qualità della vita, il declino ambientale del nostro pianeta interferisce con la possibilità della vita stessa in diverse aree del globo. Il rapporto fra ambiente e vita umana è più forte nei paesi in via di sviluppo, in quanto questa parte del mondo l'uomo dipende fortemente dall'ambiente in cui vive per molti bisogni essenziali. Proprio nei paesi poveri si sta riducendo sempre più la biodiversità, con una perdita del 60% dal 1971 ad oggi.

Se il degrado ambientale per ora colpisce maggiormente le parti più povere del mondo, leggendo il V rapporto dell'IPCC (Intergovernmental panel on climate change) emergono nuovi dati sul "Cambiamento climatico", che al contrario è un fenomeno di interesse globale. Il V rapporto stabilisce la sicura esistenza del cambiamento climatico e mette per la prima volta in rapporto diretto le attività umane ed in riscaldamento

in atto lungo l'ultimo secolo, individuando la causa antropica come "estremamente probabile"[11]. L'aumento della CO₂ presente in atmosfera è additata come la principale causa dell'aumento dell'"Effetto serra", il quale a sua volta provoca un aumento delle temperature. Le due cause principali dell'incremento di anidride carbonica in atmosfera sono la deforestazione e la combustione di combustibili fossili. Le nostre scelte energetiche possono quindi essere collegate direttamente con il cambiamento climatico.

L'obiettivo della comunità internazionale è quello di limitare l'aumento delle temperature in atmosfera a 2 gradi centigradi, stabilizzando la concentrazione di anidride carbonica a 450 p.p.m.. Per molti scienziati 2 gradi rappresentano il limite per evitare di innescare cambiamenti climatici profondi e duraturi. Per stabilizzare a 450 p.p.m. di CO₂ in atmosfera sono necessari investimenti per circa 10mila miliardi di dollari e l'inserimento di grandi paesi come Cina ed India in un sistema "cap-and-trade" entro il 2020. Visti i deludenti risultati degli ultimi congressi internazionali sul clima sembra ad oggi difficile il raggiungimento di questo obiettivo.

1.3 La sostenibilità

Come visto nel paragrafo precedente ci troviamo a fronteggiare una serie di situazioni critiche, provocate dal nostro modello di sviluppo sociale e produttivo seguito negli ultimi due secoli e più marcatamente nelle ultime tre decadi.

Gran parte della comunità scientifica riconosce il merito a questo tipo di sviluppo di aver portato la nostra generazione a conquiste che solo all'inizio del XX secolo sembravano impossibili. Anche se non distribuito in modo egualitario, ne socialmente ne geograficamente, il benessere derivante da questo modello ha incrementato la qualità della vita in ogni continente. Vedendo la situazione da una differente angolatura tutto ciò che ha composto la colonna spinale del nostro sistema rischia ora di distruggerlo. Cosa produciamo, con che materiali produciamo, come produciamo l'energia da noi utilizzata, con che metodi cresciamo in cibo che mangiamo e come trattiamo i rifiuti derivanti dalle nostre attività; la combinazione di questi elementi causa il problema ambientale attuale, il quale si ripercuote sull'economia e sulla società.

La realtà precedentemente descritta può essere definita come il frutto di uno sviluppo non sostenibile; concetto che, utilizzato nella forma corrente, nasce nei primi anni del 1970. Il libro "Blueprint for survival" definisce: "una società stabile quella per cui ogni intento e proposito può essere sostenuto indefinitamente, dando nel contempo la soddisfazione massima ad ogni suo membro"[12]. Negli anni 80 il concetto di sviluppo sostenibile appare nelle pubblicazioni delle Nazioni Unite, oltre ad essere discusso per la prima volta anche nel settore privato, come dal "Worldwatch Institute" attraverso il libro "Building a sustainable society" [13]. Attualmente per la legislazione europea lo sviluppo sostenibile è definito come "uno sviluppo che risponde alle esigenze

del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare le proprie"[14].

Nonostante la lunga storia del termine e la sua uscita dagli ambiti accademici avvenuta negli ultimi anni, secondo una ricerca apparsa sul settimanale tedesco "Süddeutsche Zeitung" riguardante il termine "sostenibilità", solo il 4% degli intervistati collega il concetto di sostenibilità alla responsabilità verso le future generazioni attraverso la protezione dell'ambiente. Nessuno degli intervistati ha collegato la parola con gli aspetti sociali di soddisfazione dell'individuo implicati nel termine.

1.3.1 I tre pilastri della sostenibilità

Nel Vertice di Copenaghen e il Trattato di Amsterdam del 1997 l'Unione Europea fissa i tre pilastri della sostenibilità. Il "modello dei tre pilastri della sostenibilità" non si limita ad affermare la nostra responsabilità nel preservare sufficienti risorse per le generazioni future, ma individua un modello in cui le componenti ecologiche, economiche e sociali sono strettamente interconnesse. Venendo meno uno dei pilastri tutta la costruzione è destinata a crollare. Il legame fra l'aspetto ecologico, economico e sociale possono essere intesi in maniera "debole", accettando che i pilastri di bilancino a vicenda. Il legame è "forte" nel momento in cui tutti e tre i pilastri avanzano nella stessa direzione e con velocità simili. L'aspetto ambientale è il più sottolineato attualmente, forse perché rappresenta un problema che tocca tutte le classi sociali ed è piuttosto nuovo nella nostra storia. Senza tenere conto gli altri due pilastri ogni soluzione ambientale è però con ogni probabilità destinata a fallire nel lungo termine[16].

1.3.2 Sfide per la sostenibilità

Una volta chiariti i problemi che hanno portato ad una crisi ed individuata la direzione verso cui muoversi per una sua soluzione rimangono sempre delle resistenze. Il cambio di rotta che la teoria della sostenibilità prescrive alla società moderna è di grandi dimensioni, foriero quindi di grandi cambiamenti. E' difficile prevedere ora quali saranno le problematiche maggiori che si presenteranno, alcune sono però già evidenti.

- Interi settori industriali sono destinati a perdere ampie fette di mercato, ponendo in crisi industrie fino ad ora definite "vincenti". Anche se queste realtà saranno sostituite da delle nuove vi saranno delle grandi resistenze da chi vedrà ridotti i propri introiti.
- La perdita di lavoro derivante dalla crisi delle "industrie vincenti" sarà ingente, creando un ostacolo alla sostenibilità sociale.
- Alcune nazioni soffriranno un declino provocato da uno sviluppo sostenibile, venendo a mancare le basi su cui hanno basato la loro forza; mentre altri paesi

trarranno un vantaggio dal cambiamento. Se non vengono previsti incentivi per le nazioni "perdenti" a favorire il cambiamento ovviamente queste cercheranno di ostacolarlo.

- La competizione globale obbliga sia i paesi che le industrie a favorire successi economici nel breve periodo impedendo una pianificazione di sostenibile a lungo termine.
- La penetrazione del concetto di sostenibilità deve essere a tutti i livelli, dai decisori pubblici e privati fino a coinvolgere i consumatori. Il ruolo del consumatore è fondamentale ed una ridefinizione delle sue urgenze è necessaria per permettere la diffusione della sostenibilità in tutti i campi.
- Molti problemi e soluzioni relazionati con la sostenibilità sono di carattere globale, e su scala globale vanno combattute. Le differenze fra le diverse aree del mondo rappresentano un ostacolo. Per esempio risulta difficile applicare standard ambientali con costi tecnologici elevati in paesi con il costo del lavoro molto basso.[17]

1.3.3 Sostenibilità e tecnica

Sebbene le tecnologia viene additata come fonte di molti problemi, rappresenta un'opportunità chiave per la soluzione di molti di essi. Lo sviluppo tecnologico aumenta la produzione e produttività, anche se a fronte del grande processo tecnologico degli ultimi anni la crescita di benessere è risultata stagnante nelle economie sviluppate.

Negli ultimi trent'anni, molti miglioramenti tecnologici hanno migliorato la sostenibilità ambientale: la riduzione degli SO₂ e delle polveri sottili nella generazione di energia elettrica ne sono forse l'esempio migliore. La strada dell'aumento tecnologico in molti processi produttivi si è rivelata vincente sotto molti aspetti, suggerendo possibili positivi sviluppi futuri.

Se di fronte agli sviluppi tecnologici un certo ottimismo è motivato, il terzo dei pilastri fondamentali sostenenti il concetto di sostenibilità, ovvero l'aspetto sociale, non ha quasi per nulla beneficiato di questi miglioramenti. Nelle nazioni industrializzate l'alto costo delle tecnologie più avanzate può essere uno sbarramento per l'ingresso di molte aziende sul mercato, accentrando la produzione nelle mani delle poche compagnie che possono affrontare alti costi tecnologici. Su scala globale il differente sviluppo tecnologico rappresenta uno dei fattori che tiene i paesi in via di sviluppo in una condizione di sottosviluppo. Dalle ultime considerazioni si può dedurre il duplice carattere della tecnologia, che può essere sia fattore di sostenibilità sociale che di ineguaglianza.

In letteratura sono stati individuati due elementi fondamentali per indirizzare lo sviluppo tecnologico verso la sostenibilità:

1. La penetrazione della sostenibilità nella società. dato che l'innovazione tecnologica è spinta dalle aspettative sulle future domande del mercato. La selezione del mercato determina il successo o il fallimento delle nuove tecnologie. Di conseguenza un ruolo principale è dei consumatori. Se essi considerano la sostenibilità un criterio per le loro decisioni individuali, queste influenzano le scelte tecnologiche attraverso un processo di "feed back" lungo la catena produttiva. Si definisce quindi l'importanza della creazione di una "Cultura della sostenibilità"[18] all'interno della società comprendente il sistema educativo, il sistema di valori, il sistema scientifico, fino alla pratica ingegneristica e commerciale[19].
2. La formazione di nuovi criteri nel processo di "decision-making" e per gli agenti coinvolti, sia pubblici che privati.

Le strategie finora individuate finora per stimolare la sostenibilità tecnologiche sono quattro:

- Una "technology driven strategy", corrispondente all'approccio tradizionale in cui un sistema di normative seguono gli sviluppi tecnologici. Questo approccio si è rivelato vincente anche se solo sotto il punto di vista ambientale
- Una "Demand oriented and regulatory strategy", che usa degli standard ambientali insieme a degli strumenti economici. Questo è il caso della strategia di incentivi utilizzata negli ultimi anni dall'Unione Europea nel campo delle energie rinnovabili.
- Una strategia in cui, in aggiunta alla presenza di misure economiche e normative si operi per modificare il sistema commerciale e finanziario.
- Una strategia orientata alla definizione di criteri ben precisi per chi deve prendere le decisioni in questo campo. Spesso infatti risulta essere più importante il processo in cui una tecnologia viene inserita che la tecnologia in se.

In conclusione, la tecnologia fornisce l'elemento legante i tre elementi fondamentali per uno sviluppo sostenibile ed uno degli strumenti fondamentali per il raggiungimento della sostenibilità. Può rappresentare un'arma a doppio taglio se la si vuole utilizzare come sola forza per il raggiungimento degli obiettivi.

2 Eco-villaggi

2.1 Storia

Bill Metcalf, pioniere nello studio degli eco-villaggi, individua in Homakoeion la prima comunità intenzionale. Il villaggio costituito nel 525 A.C. da Pitagora nell'attuale

Italia del sud, raggruppava diverse centinaia di persone unitesi volontariamente. Li ispiravano uno stile di vita strettamente vegetariano, l'assenza di proprietà privata e l'ambizione di creare una società ideale. Da quell'esperimento fino ad oggi è possibile individuare una serie di realtà che fanno da ponte fra Pitagora e gli eco-villaggi dei giorni nostri. L'esempio di comunità intenzionali più diffuso e duraturo è rappresentato dai monasteri cristiani, i quali dal IV sec. D.C. perdurano fino ad oggi[20].

Dagli anni ottanta del ventesimo secolo i problemi discussi nel capitolo precedente hanno cominciato ad essere tangibili. Ed allo stesso tempo le risposte dai governi centrali sono diventate sempre più deboli ed insufficienti. Questa combinazione ha generato una serie di mobilitazioni che possono essere definite "dal basso"; dai movimenti di protesta politica ad organizzazioni per la difesa dell'ambiente. Da questo ambiente scaturì una nuova fase di spinta per la formazione di comunità internazionali di cui gli eco-villaggi sono oggi l'espressione maggiore. Attraverso alcune tappe fondamentali negli ultimi trent'anni si è assistito al formarsi di una rete che coinvolge buona parte degli eco-villaggi disseminati sul globo.

Nel 1990 Robert and Daine Gilman, incaricati da GAIA Trust, una organizzazione senza scopo di lucro con obiettivi ambientalisti, redigono un rapporto volto a "mappare" lo stato dell'arte delle comunità sostenibili nel mondo occidentale. Ne uscì un quadro composto da villaggi tradizionali, comunità di cohousing, comunità alternative operanti sia in realtà cittadine che rurali ed un insieme di "network" per lo sviluppo di pratiche ambientali sostenibili.

Negli stessi anni nascono movimenti per la collaborazione nord-sud fra eco-villaggi. Sarvodaya, in Sri Lanka, raggruppa 15000 villaggi tradizionali permettendo loro di migliorare la loro condizione adottando nuove pratiche sostenibili, mantenendo allo stesso tempo le proprie tradizioni. Mentre nel mondo Kibbutz nasce il "Green kibbutz movement".

È in un piccolo villaggio nel nord della Scozia, nel 1995, con la nascita del Global Ecovillage Network (GEN) che si arriva all'unione sotto un'unica organizzazione dei maggiori eco-villaggi presenti nel mondo. Con una conferenza che vide la partecipazione di più di quattrocento persone da tutto il mondo. La maggior parte dei quali coinvolti in eco-villaggi.

Attualmente GEN opera attraverso tre associazioni: "GEN Europe", "GEN Oceania and Asia" e "The Ecovillage Network of the Americas"[21].

Negli ultimi anni nella penisola Iberica si ha un gran fermento, con la nascita di molti eco-villaggi, chiamati "eco-aldeas" ogni anno. La "Red Iberica de ecoaldeas" (RIE), istituita nel 1997 è più giovane rispetto ai progetti del centro - nord Europa, ed ha peculiarità che, in parte, distinguono la storia di quest'area dal resto del continente.



Figura 1: Mappa degli ecovillaggi europei associati con GEN.

2.2 Uno sguardo da vicino

Cercando in internet la parola "ecovillagge" si viene rimandati a moltissime realtà differenti. Fra i quali: comunità rurali nel sud del mondo, progetti di convivenza in grandi città, "residence" di lusso in isole paradisiache, centri educativi e molto altro. Aver voluto raccogliere molte iniziative sotto il termine unico di "eco-villaggio" ha permesso di far conoscere questo mondo al grande pubblico, a discapito di chiarezza nella definizione.

Un eco-villaggio è per prima cosa una comunità intenzionale, di cui viene fornita una definizione semplice e chiara dall'associazione "Fellowship for intentional community":

"Una "comunità intenzionale" è un gruppo di persone che hanno scelto di vivere insieme con uno scopo comune, cooperando per creare uno stile di vita che rifletta i loro valori condivisi"

Un eco-villaggio attraverso la formazione di una comunità intenzionale adotta una serie di misure per raggiungere la sostenibilità ambientale. Nel rapporto del 1990 Gilman da una definizione piuttosto articolata che definisce un eco-villaggio come:

"Un insediamento a misura d'uomo in cui le attività umane sono integrate nel mondo naturale in un modo che supporti lo sviluppo della salute umana e che possa continuare con successo indefinitamente nel futuro".[22]

È importante capire come gli eco-villaggi non si riconoscano in un ritorno al passato, ma si definiscono invece come un modello di post-modernità.

Nonostante l'utilità di definire queste realtà è difficile raggrupparle in schemi precisi. Tipicamente gli eco-villaggi si basano su tre componenti: sociale, ecologica e spirituale. Questi elementi si combinano fra di loro dando luogo a progetti molto differenti fra loro. Per esempio, l'aspetto spirituale è molto forte in alcuni casi e praticamente assente in altri.

Ciò che unisce tutti gli eco-villaggi è la volontà di tutti i membri di supportare un ambiente sociale di condivisione ed uno stile di vita a basso impatto. Per raggiungere questo integrano varie pratiche, come la costruzione di edifici a basso impatto, produzione organica del cibo, l'utilizzo di energie rinnovabili e pratiche volte allo sviluppo di ogni persona sotto tutti i suoi aspetti.

A livello europeo la storia differente del movimento in Spagna e Portogallo permette di individuare caratteristiche a sé. Il movimento degli eco villaggi vede in queste due nazioni un grande sviluppo, anche a livello mediatico, durante la crisi economica. Accanto agli ideali di condivisione e sostenibilità ambientale prende molta forza l'aspetto "politico", con un rifiuto della società capitalistico-consumista che ha portato a questa crisi.

2.3 Pratiche sostenibili

2.3.1 Impronta ecologica

Gli eco-villaggi si pongono l'obiettivo della sostenibilità ambientale, per questo la prima misura adottata è la riduzione dell'impatto sull'ambiente. Lo studio dell'impatto ambientale di una persona è un processo complicato nella società moderna, a causa delle molteplici interconnessioni fra i diversi settori produttivi. Da molto tempo si è capito come, sia necessario seguire un processo "dalla culla alla tomba" per ogni bene ed attività.

Un approccio di questo genere è stato effettuato per stimare l'impronta di anidride carbonica (carbon footprint) dell'eco-villaggio di Sieben Linden, nel centro-nord della Germania. Lo studio paragona l'impronta di CO₂ di Sieben Linden con due unità abitative definite "eco-friendly", ovvero con abitazioni in cui i processi costruttivi e le abitudini degli abitanti siano rispettosi dell'ambiente per lo standard attuale. Attraverso una comparazione con l'impronta ecologica media tedesca i risultati evidenziano una produzione di Anidride Carbonica da parte dell'eco-villaggio del 72% rispetto la media nazionale.

In Scozia, presso Findhorn, uno degli eco-villaggi tecnologicamente più avanzati è stato analizzato con la tecnica dell'impronta ecologica [23]. Un abitante di Findhorn utilizza 2.71 gha rispetto ai 6.30 del vicino villaggio di Inverness.

Questi risultati sono raggiunti attraverso tre vie: l'utilizzo di fonti energetiche efficienti e rinnovabili, avendo uno stile di vita differente e grazie alla condivisione. Un ruolo cardine è dato dall'utilizzo di case con ottime prestazioni energetiche. Inoltre l'utilizzo del "car-sharing" o "car-pooling", di elettrodomestici in comune e di zone comuni riduce fortemente la domanda di energia elettrica. Secondo uno studio presentato al "Word habitat awards 2006" ["Ecovillage Sieben Linden with straw bale construction", Freundskreis Oekodorf e.v.], questi studi "sciogliono" il legame fra utilizzo di beni e benessere sopra un certo limite di consumo.

2.3.2 Utilizzo di risorse locali

Per avere un'impronta ambientale ridotta viene data molta importanza all'utilizzo di risorse locali. In molte ecovillaggi il cibo viene coltivato all'interno dello stesso, oppure acquistato localmente. I materiali da costruzione sono il più possibile locali, adattando quindi le costruzioni alla zona. Nei casi in cui venga utilizzata biomassa essa è di origine locale ed il più possibile compatibile con uno sfruttamento sostenibile delle foreste.

Oltre a ridurre l'impatto sull'ambiente, l'utilizzo di risorse locali favorisce lo sviluppo della comunità locale; soprattutto in termini di occupazione. Attraverso la creazione di reti di mutuo supporto locale si cerca di sviluppare il più possibile l'economia locale, cercando di dipendere il meno possibile da quella globale.

Per raggiungere questi obiettivi il GEN si è reso conto della difficoltà di uscire dall'economia su scala planetaria per realtà di piccole dimensioni. Per questo motivo negli ultimi anni si cerca di favorire sempre più lo scambio di prodotti e conoscenze fra realtà sostenibili, che possono appartenere o no alla rete degli eco-villaggi.

2.3.3 Edifici

Le soluzioni presentate dai diversi eco-villaggi ad oggi presenti per costruire sostenibili sono molto varie. In alcuni casi si utilizzano unità abitative simili a quelle tipiche del luogo, ponendo però l'attenzione all'isolamento termico ed all'uso di fonti rinnovabili. In altri casi le scelte sono più estreme, comprendenti principi stringenti sull'utilizzo dei materiali.

Presentiamo sotto un elenco dei principali principi di edilizia sostenibile che è possibile individuare nelle varie realtà:

- L'utilizzo di materiali da costruzione naturali.
- L'uso di materiali che non rilascino tossine nel tempo.
- L'uso di materiali da costruzione a bassa radioattività
- Studio dell'acustica e prevenzione dell'eccesso di vibrazioni per l'essere umano.

- Regolazione naturale dell'umidità dell'aria interna utilizzando materiali adeguati.
- Ottimizzazione dell'isolamento e stoccaggio termico.
- Temperature delle superfici e dell'aria ottimali.
- Buona qualità dell'aria, ottenuta con ricircolo naturale.
- Minimizzare il consumo di energia non rinnovabile.
- Utilizzo di materiali da costruzione locali.
- Evitare l'utilizzo di materiali rari o in via di esaurimento.
- Esame delle misure armoniche, le proporzioni e le forme
- Favorire l'illuminazione naturale.
- Costruire le case lontano da fonti di rumore.

Negli ultimi anni vengono sempre più utilizzati legna e paglia per la costruzione delle case. Mentre la legna assicura longevità e stabilità alla struttura la paglia assicura caratteristiche isolanti di alto livello, insieme al costo contenuto ed al basso impatto ambientale[24].

2.4 Scelte energetiche

Nel capitolo precedente si è vista l'importanza dei metodi costruttivi. Il panorama è ancora più variegato nel campo delle scelte energetiche, con diverse questioni emerse solo negli ultimi anni. Posta la sostituzioni delle fonti fossili con energie rinnovabili come elemento comune, vi sono diversi modi per metterla in atto.

2.4.1 Energia rinnovabile Vs. energia sostenibile

"Le risorse rinnovabili, sia di materia sia di energia, sono risorse naturali che, per caratteristiche naturali o per effetto della coltivazione dell'uomo, si rinnovano nel tempo e risultano, quindi, disponibili per la sopravvivenza umana pressoché indefinitamente cioè non esauribili."[25]

Mentre: "L'energia sostenibile è quella che provvede ai fabbisogni attuali senza compromettere la possibilità delle future generazioni di soddisfare i propri bisogni"[25]. Inoltre, come visto precedentemente è difficile scollegare la sostenibilità energetica da quella economica e sociale. É quindi possibile estendere la definizione precedente aggiungendo come la fonte debba favorire o conservare la sostenibilità sociale della comunità in cui viene utilizzata e garantire la sostenibilità economica.

Il concetto di energia sostenibile è quindi più ampio rispetto a quello di energia rinnovabile. La condizione di rinnovabilità dell'energia è necessaria ma non sufficiente per essere sostenibile.

La sostenibilità di un'energia non è intrinseca in se ma dipende dalla tecnologia utilizzata, la quantità utilizzata ed il contesto socio-ambientale in cui viene utilizzata.

Ad esempio la biomassa è definita come energia rinnovabile, dato che trasforma per la sua formazione sono sufficienti elementi rinnovabili come la radiazione solare, l'acqua e gli elementi presenti nel suolo. Spesso però non è considerabile sostenibile, come nel caso in cui provenga dalla deforestazione, sia in competizione con la coltivazione di alimenti o vengano usati prodotti di origine fossile per velocizzarne la crescita e la rendita.

Tecnologie con alti costi iniziali e di O&M in alcuni contesti sociali possono intaccare la sostenibilità sociale ed economica; a causa dell'indebitamento della comunità locale e l'assenza di ricadute positive sul territorio. Da questo punto di vista risulta insostenibile un grosso parco eolico in un villaggio povero in cui non vi sia un adeguato servizio di manutenzione non a carico del villaggio.

Vanno inoltre valutati i processi produttivi, in modo che il risparmio in termini di impatto ambientale che si ha presso l'utente finale non sia solamente spostato nel luogo di produzione. Dal punto di vista prettamente ambientale le tecniche utilizzate per cercare di conoscere l'impatto effettivo di una risorsa energetica sono il *life cycle assessment* (LCA) ed *l'energy returned on energy invested* (EROEI). Quest'ultimo definito come:

$$EROEI = \frac{\text{Energia effettivamente utilizzabile acquisita dalla fonte}}{\text{Energia utilizzata per ottenere la suddetta energia}}$$

permette di conoscere l'energia "netta" derivante da una risorsa energetica. Per EROI >1 non si ha una risorsa, bensì un utilizzatore di energia.

2.4.2 High-tech Vs. low-tech

La ricerca nel settore delle energie rinnovabili ha migliorato in modo rilevante l'efficienza e la facilità di impiego di queste tecnologie. La maggior parte delle quali è caratterizzata da un alto tasso di tecnologia, venendo quindi comunemente classificate come "high-tech". Classico esempio sono i pannelli solari fotovoltaici, nella produzione dei quali sono utilizzati metalli rari, alte tecnologie e personale con grandi competenze tecniche.

Accanto a queste vi sono tecnologie "low-tech", come stufe a legna o tecniche di raffrescamento naturale degli edifici.

I sostenitori dell'high-tech vedono in queste tecnologie l'unico modo di ottenere gli stessi standard di vita ottenibili attraverso l'utilizzo di fonti fossili. Potendo così

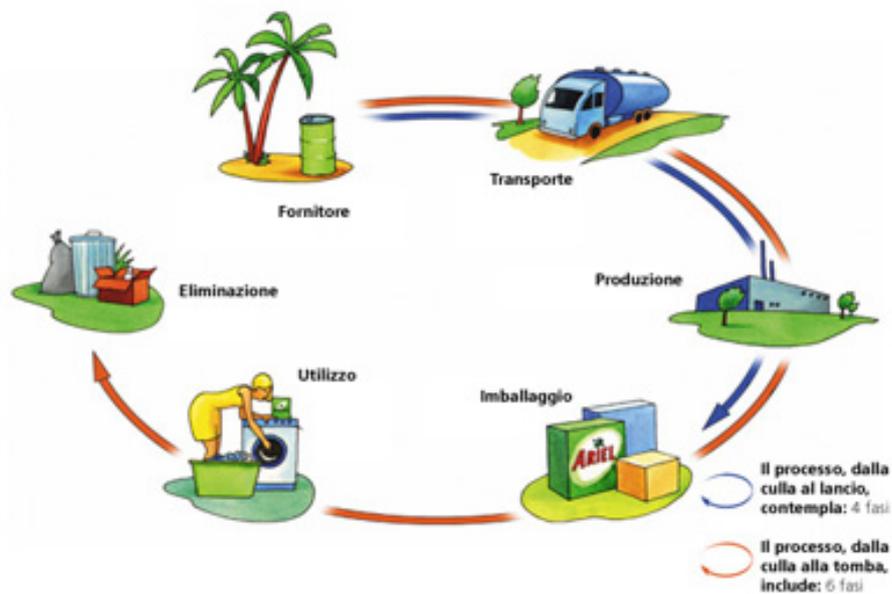


Figura 2: Esempio del processo concettuale sottostante ad un'analisi LCA per un detersivo.

rappresentare un'alternativa reale ai combustibili fossili, anche sul piano del prezzo. Alle tecnologie ad alta tecnologia sono in genere associati i seguenti concetti positivi:

- alta efficienza;
- durata nel tempo;
- alto livello di comfort;
- basse emissioni di inquinanti.

I sostenitori del low-tech criticano i prodotti ad alta tecnologia per:

- l'alto costo iniziale;
- la necessità di manutenzione da parte di personale altamente specializzato;
- l'impatto ambientale nella fase di produzione delle tecnologie;
- la produzione delle macchine in luoghi remoti rispetto quelli di applicazione della tecnologia.

L'approccio degli eco-villaggi alla questione è molto vario. In Europa in generale si cerca di far coesistere bassi costi iniziali e bassi impatti ambientali con l'utilizzo di tecnologie, anche di tipo avanzato.

All'interno del movimento degli eco-villaggi vi sono esempi di tecnologie ad alto e basso tasso di tecnologia, e si cerca di far convivere le due visioni. In generale è ben

chiaro in tutte le realtà come non sia possibile mantenerne gli stessi livelli di consumo ottenibili attraverso l'uso di fonti fossili. Viene però spesso sottolineato dalle comunità come a questo non corrisponda una diminuzione degli standard di vita.

Per questo motivo nello studio delle tecnologie da utilizzare nel progetto "Lebensdorf" si sono analizzati di volta in volta i pro e contro delle tecnologie, seguendo i principi di sostenibilità esposti precedentemente in questo capitolo.

2.4.3 Produzione centralizzata Vs. produzione distribuita

"L'Europa ha iniziato una transizione da un sistema centralizzato basato su combustibili fossili ed energia nucleare, fornente energia a consumatori passivi, ad uno più decentralizzato; il quale si affida ad una estesa rete di generazione basata su fonti rinnovabili (RES) e cogenerazione (CHP); permettendo la partecipazione dei consumatori. I quali divengono essi stessi produttori e responsabili di una organizzazione più intelligente della loro stessa domanda di energia"[26].

L'Unione Europea descrive con queste parole la transizione in atto a livello europeo e che con modalità simili sta avvenendo in tutto il mondo industrializzato. Il sistema energetico odierno è infatti frutto della visione centralizzata, la quale ha portato storicamente dei grandi vantaggi: efficienza energetica, affidabilità del sistema e diffusione su tutto il territorio nazionale.

Ad oggi, una serie di fattori convergenti mette in crisi l'approccio di tipo centralizzato favorendo la decentralizzazione della produzione energetica, fra i quali:

- impegno della U.E. a ridurre entro il 2012 del 20% le emissioni causanti l'effetto serra rispetto al 1990;
- crescita delle risorse energetiche rinnovabili (RES): obiettivo 20% RES nel mix energetico europeo entro il 2020;
- aumento dell'efficienza e del risparmio energetico: aumento del 20% nell'efficienza energetica entro il 2020, rispetto al 1990;
- aumento della domanda di energia elettrica in Europa;
- liberalizzazione del mercato energetico.

É in particolare lo sviluppo dei tecnologie rinnovabili applicabili su piccola e media scala a permettere questo tipo di sviluppo. In tale sistema la taglia degli impianti di generazione decentralizzati è al di sotto dei 20 MW, senza nessun limite di potenza teorico verso il basso.

La direttiva europea 2009/72/EC definisce con DG (decentralized generation) una centrale di generazione connessa alla rete di distribuzione, dove la rete è di alto, medio e basso voltaggio.

La definizione è molto generica. Esistono descrizioni più restrittive, con il contro di variare molto una dall'altra. Tutte le definizioni definiscono una rete di produzione di energia decentrata come:

- non connesse all'alta ed altissima tensione;
- forti connessioni col territorio locale;
- la risorsa energetica è presente localmente;
- la cogenerazione è dipendente dalla domanda locale di calore;
- la produzione di energia è destinata all'autoconsumo o comunque il proprietario deve essere un attore con poca importanza nel mercato elettrico.

Dal punto di vista sociale la generazione distribuita di fonti rinnovabili, permette in molti casi di risolvere il problema della resistenza dei cittadini alla costruzione di impianti di produzione energetica sul loro territorio; cioè che gli Americani chiamano "*Not In My Backyard*". Letteralmente "non nel mio giardino".

Le proteste contro impianti ad energia rinnovabile sono spesso contro impianti eolici di grandi dimensioni. Viene criticato l'impatto visivo delle pale ed il consumo di territorio fino ad allora intatto. Soprattutto in nazioni ad alta densità abitativa e di cementificazione, come ad esempio l'Italia.

In realtà i cittadini riconoscono la differenza fra energie rinnovabili e non. Trovano però frustrante vedere una "nuova risorsa" controllata secondo il vecchio paradigma, e posseduta dalle stesse grandi compagnie che hanno governato fino ad ora il mercato energetico mondiale.

Da uno studio emerge come le persone quanto si parla di energie rinnovabili vogliono: evitare il danneggiamento dell'ambiente e trarre profitto dalle risorse[27].

Un sondaggio nella popolazione dei villaggi tedeschi di Nossen and Zschadraß ha valutato l'atteggiamento delle due popolazioni rispetto l'energia eolica sul loro territorio. Il villaggio in cui la proprietà è della comunità la popolazione è, in maniera evidente, più propensa ad investire in energie rinnovabili.

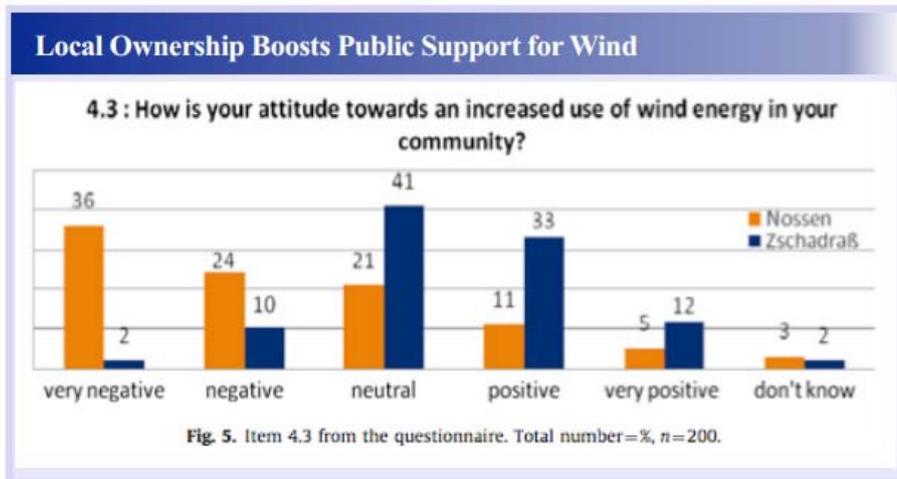


Figura 3: Attitudine delle persone allo sviluppo dell'eolico nel proprio territorio. In arancione il comune dove la proprietà del parco eolico è della comunità ed in blu quello in cui il parco è privato.[27]

Il passaggio da un sistema decentralizzato ad uno distribuito presenta, come tutti i cambiamenti, delle barriere:

Tecniche: i problemi più complicati sono dati dall'intermittenza della fonti: stoccaggio dell'energia e previsioni meteorologiche. Mentre la sicurezza del servizio ed il miglioramento del servizio necessitano di investimenti ingenti.

Economiche: fin che Kyoto non viene ratificato da tutte le nazioni, permettendo quindi la presenza di esternalità ambientali internazionali da parte degli utilizzatori di combustibili fossili, il fattore costo rimane un limite allo sviluppo verso la generazione energetica del futuro. Sempre la Comunità Europea ricorda però come spesso il costo delle DG siano sovrastimati, con un trend in discesa. Al contrario del costo dei combustibili fossili che vede un aumento pressoché costante.

SMEs: Ovvero "Small and Medium-sized enterprised". Le piccole e medie imprese rappresentano il 99% delle imprese sul territorio europee. Anche se la DG si presta molto bene in realtà di piccole dimensioni alcune delle loro caratteristiche rappresentano un limite:

- l'alto investimento iniziale delle DG;
- nelle piccole realtà manca la conoscenza delle possibilità che la DG rappresenta;
- nessun premio economico di corto raggio;

- gli investimenti si concentrano su altri investimenti per avere un ritorno di competitività nel breve periodo.

3 Tecnologie e software utilizzati

In accordo con il concetto di sostenibilità energetica espresso precedentemente sono state analizzate diverse tecnologie, adatte a soddisfare il fabbisogno energetico locale. Attraverso l'utilizzo del software HOMER, insieme ad altri strumenti, è stato possibile osservare il comportamento di queste tecnologie.

Attraverso la combinazione di: sfruttamento di fonti rinnovabili, pianificazione in sede di costruzione degli edifici ed adozione di un modello di vita differente, si mira a ridurre in modo sostanziale l'impatto sull'ambiente.

Per garantire la effettiva possibilità di implementazione delle suddette tecnologie è necessario valutare i costi associati al loro utilizzo. Prescindendo completamente da una valutazione economica è possibile seguire strade molto affascinanti, ma verrebbero a mancare i concetti di sostenibilità economica e di replicabilità su vasta scala delle soluzioni impiantistiche individuate.

3.1 Solare fotovoltaico

L'elemento base di un impianto fotovoltaico è la cella solare (tipicamente 10*10cm). Una fotocella consiste in un sottile strato di Silicio drogato con Fosforo (drogaggio N) a contatto con uno strato di Silicio drogato con Boro (drogaggio P). L'accoppiamento di questi due strati prende il nome di "giunzione p-n", la quale produce un campo elettrico. La produzione di energia elettrica è possibile grazie all'effetto fotoelettrico: un fenomeno fisico caratterizzato dall'emissione di elettroni da una superficie, solitamente metallica, quando questa viene colpita da una radiazione elettromagnetica, qui specificatamente da fotoni aventi una certa lunghezza d'onda. Quando la luce solare colpisce la cella l'effetto fotoelettrico viene attivato con una conseguente generazione di corrente elettrica. Una cella solare è composta inoltre da una copertura trasparente (tipicamente vetro), uno strato anti-riflettente ed un contatto per il trasferimento della corrente elettrica. Un modulo fotovoltaico è realizzato assemblando più celle fotovoltaiche. La corrente prodotta è di tipo continuo ed è quindi necessario l'utilizzo di un convertitore in caso si sia connessi alla rete o si utilizzino carichi sfruttanti corrente alternata.

Dal principio di funzionamento è facile intuire come la produzione di corrente elettrica sia fortemente condizionata dalla quantità di radiazione solare incidente sulla cella e sia quindi molto variabile: sia su scala stagionale che giornaliera.

Vantaggi

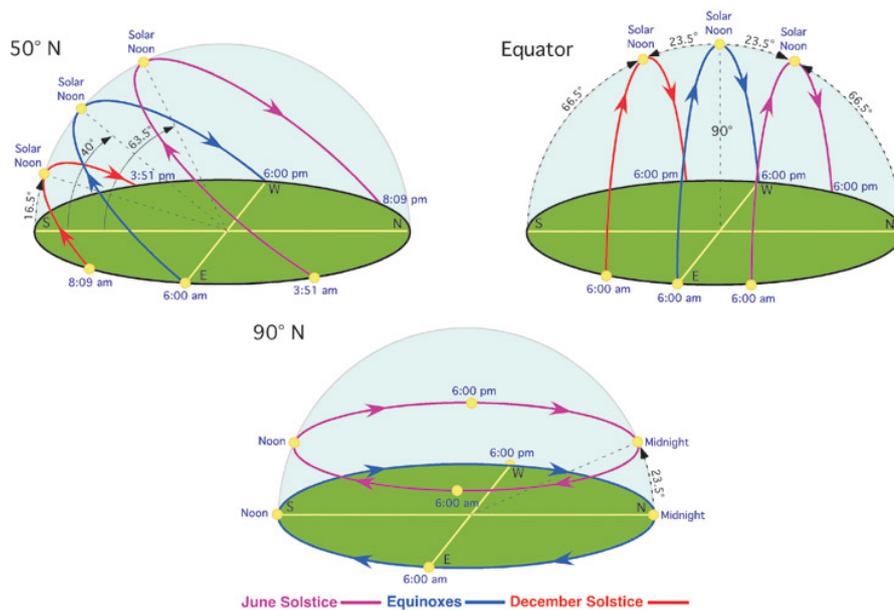


Figura 4: Variazione dell'altezza del sole durante l'anno a diverse latitudini.

- *Grande affidabilità e bassi costi di manutenzione*: l'assenza di parti in movimento ed il fatto che sia una tecnologia prodotta su larga scala da molti anni riduce al minimo guasti ed opere di manutenzione.
- *Modularità*: grazie alla composizione modulare dell'impianto è teoricamente possibile coprire qualsiasi potenza richiesta.
- *Zero emissioni*: all'energia prodotta non corrisponde nessun tipo di inquinamento durante il funzionamento; nessuna emissione né di sostanze nocive né di rumore.
- *Alta qualità dell'energia prodotta*.
- *Longevità*: la vita dei nuovi pannelli è stimata intorno ai 25 - 30 anni, con un calo dell'efficienza inferiore al 15%.
- *Sviluppo*: la tecnologia è in costante sviluppo, con grandi investimenti, sia pubblici che privati, in tutto il mondo. Le efficienze paiono destinate a migliorare ed i costi a scendere.

Svantaggi

- *Investimento iniziale*: data la bassa efficienza e quindi la bassa concentrazione di energia convertibile dalla radiazione solare l'investimento iniziale è ancora piuttosto elevato.

- *Materie prime*: nella produzione dei pannelli fotovoltaici vengono utilizzati molti metalli, i quali non sono in definitiva disponibili, come: Indio, Gallio e Tellurio, ed in un futuro potrebbero creare dei colli di bottiglia nella produzione dei pannelli.
- *Intermittenza*: la generazione di elettricità non può essere continua e programmata. Nonostante questo la bontà delle attuali previsioni meteorologiche permette di prevedere con tre o quattro giorni di preavviso il contributo energetico del solare alla rete nazionale.

Il prezzo dei pannelli è in forte e costante discesa. Nel breve termine le previsioni indicano un andamento dei prezzi costante, con un graduale rallentamento del calo dei prezzi che si manterranno però al ribasso.

Va tenuto conto che il prezzo di questa tecnologia è legato a scelte politiche. Infatti la presenza o meno di incentivi all'uso del fotovoltaico, in particolare presso il mercato europeo, si ripercuote fortemente sul prezzo stesso della tecnologia. Negli ultimi anni il forte calo dei prezzi fu determinato in parte dalla sovrapproduzione cinese che male ha interpretato il mercato tedesco.

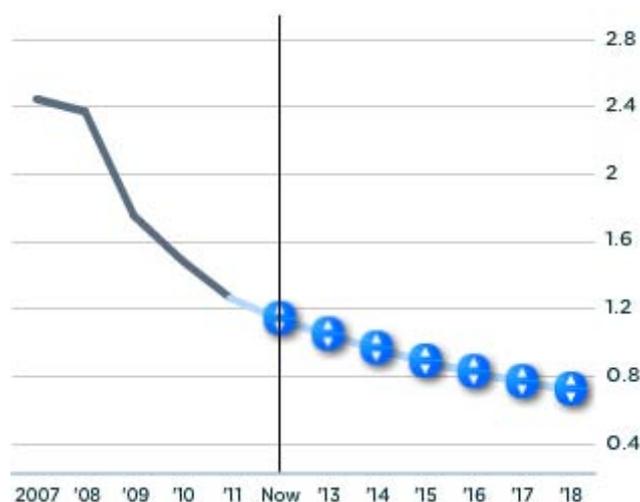


Figura 5: Andamento del prezzo dei pannelli solare per watt di picco.

3.2 Eolico

Le turbine eoliche trasformano l'energia cinetica del vento in elettricità. Quasi tutte le turbine installate nel mondo sono ad asse orizzontale e presentano due o tre pale. Le pale sono fissate ad un rotore il quale è solidale con l'asse principale che pone in rotazione in generatore; normalmente attraverso delle riduzioni meccaniche. Tutti gli

elementi necessari alla conversione dell'energia cinetica del vento in energia elettrica sono all'interno della navicella. Questa è montata in cima ad una struttura che ha il compito di elevarne l'altezza d'installazione. Per preservare la turbina da guasti dovuti alla velocità eccessiva del vento è possibile far perdere di portanza le pale variandone l'angolo di attacco.

L'intervallo di potenza nominale per la singola unità va dalle poche centinaia di Watt ad alcuni Mega-watt. Il parametro cruciale è il diametro del rotore: più lunghe sono le pale e maggiore sarà l'aria spazzata da esse e quindi maggiore sarà la massa d'aria trasferente il moto al rotore. Allo stesso tempo turbine con dimensioni maggiori spazzano aree ad altezze maggiori, là dove la velocità del vento è più elevata. Sia per questi motivi che per l'effetto scala le turbine più grandi hanno efficienze maggiori. Questo ha portato negli ultimi anni ad utilizzare turbine di dimensioni sempre più elevate.

La potenza generata dalle moderne turbine, è grosso modo dipendente dal quadrato della velocità del vento, nonostante teoricamente l'energia sfruttabile del vento dipenda dal suo cubo. Di conseguenza risulta molto importante la velocità del vento nel luogo in cui viene installata la turbina. Nonostante siano disponibili mappe del vento piuttosto dettagliate per ogni zona del globo terrestre è indispensabile effettuare una specifica campagna di misurazione; a maggior ragione se la morfologia del terreno non è regolare. La presenza di rilievi, o bacini d'acqua causa una variazione di velocità del vento piuttosto elevata anche solo a distanza di alcune centinaia di metri. Oltre alla velocità annuale media è fondamentale conoscere la distribuzione temporale della velocità. A parità di velocità media annuale del vento in due località differenti, l'energia che può essere ricavata dal vento fissata l'area spazzata dalla turbina, può essere molto diversa.

Tutte le turbine hanno una velocità per cui entrano in funzione ("cut-in") ed una velocità a cui vengono poste fuori funzionamento ("cut-off). E' importante che la velocità istantanea del vento stia per il più possibile entro i due estremi.

Vantaggi

- *Spazio*: dato lo sviluppo verticale delle turbine il terreno occupata è molto ridotto. E' possibile svolgere qualsiasi attività in sicurezza e comfort al di sotto della turbina.
- *Zero emissioni*: all'energia prodotta non corrisponde nessun tipo di inquinamento durante il funzionamento; nessuna emissione ne di sostanze nocive e bassa produzione di inquinamento acustico.
- *Longevità*: la vita delle nuove turbine può superare i 30 anni ed è possibile cambiare solo le parti soggette a maggior usura.

- *Produzione locale*: turbine di piccole dimensioni possono essere prodotte a livello locale da realtà con un buon grado di specializzazione.

Svantaggi

- *Ventosità*: data la forte dipendenza fra generazione di potenza e velocità del vento l'installazione di turbine eoliche non è possibile in ogni area geografica ed in ogni posizione. Rispetto la tecnologia "concorrente", ovvero il fotovoltaico sono necessarie relativamente alte velocità del vento per rendere questa tecnologia concorrenziale.
- *Impatto visivo*: rispetto altre tecnologie di produzione di energia l'impatto visivo è piuttosto elevato e varia fortemente con le dimensioni delle turbine.

Il prezzo specifico di installazione di questa tecnologia è in lento calo e soffre fortemente dell'effetto scala. Per i prossimi anni è lecito aspettarsi una riduzione interessante dei costi per quanto riguarda il micro-eolico (< 20 kW).

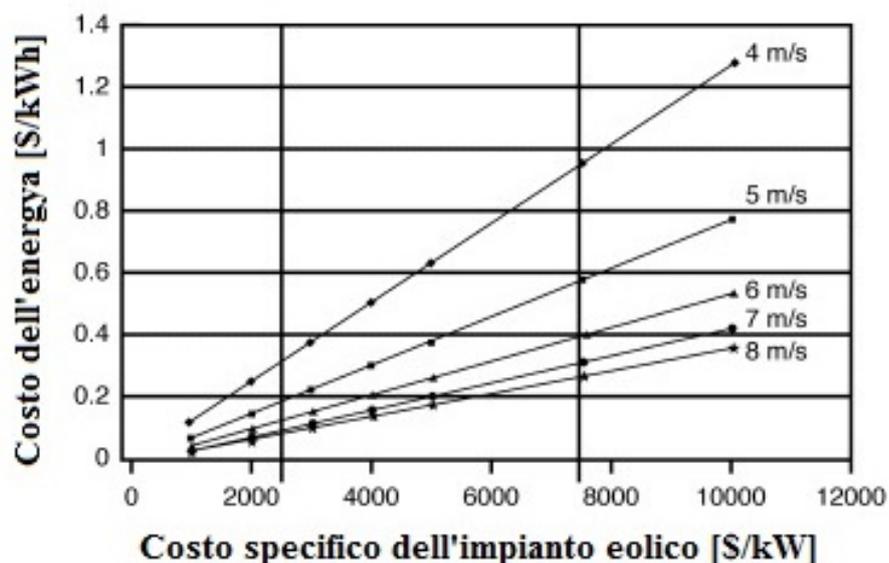


Figura 6: L'andamento del prezzo al kW dell'eolico dipende fortemente dalla velocità del vento. Piccole variazioni possono generare grandi variazioni del costo di installazione.

3.3 Cogenerazione

In ogni ciclo termodinamico che mira ad estrarre del lavoro utile da una risorsa energetica, che sia sotto-forma di energia meccanica o elettrica, una parte del calore entrante

nel ciclo ad alta temperatura deve essere ceduto a temperatura più bassa. Questo calore, che per le leggi della termodinamica non viene convertito in lavoro, rappresenta una perdita. Nel caso in cui questa energia termica possa essere utilizzata si ha un processo di cogenerazione, ovvero una produzione ed utilizzo congiunto di energia meccanica/elettrica e termica. Il beneficio che si trae da questo tipo di produzione sta nel minor consumo di energia primaria, rispetto al caso in cui, si abbia una separazione separata delle stesse quantità di lavoro ed energia termica.

Nel caso di utenze residenziali la cogenerazione rappresenta la produzione congiunta di energia elettrica e di calore, mentre l'utilizzo dell'energia sotto forma di energia meccanica è interessante in caso di utenze industriali.

Mentre l'energia elettrica può essere trasportata a grande distanza con lievi perdite, il calore non è conducibile per lunghi tragitti, se non con grandi costi e grandi perdite. E' necessario quindi produrre energia elettrica vicino all'utenza termica e con un certo grado di contemporaneità.

Se effettuata in modo efficiente la cogenerazione può dare grandi risparmi di energia primaria. Il che si traduce in un minor utilizzo di risorse energetiche ed anche in una riduzione delle emissioni. I vantaggi della produzione cogenerativa dell'energia raggiungono il loro massimo in un sistema di produzione de-localizzata dell'energia. All'aumentare della delocalizzazione della produzione di energia elettrica, aumenta la possibilità di effettuare cogenerazione senza costruire grandi infrastrutture per la distribuzione del calore.

Allo stesso tempo, seguendo un modello di produzione di energia elettrica il più possibile de-localizzato si riducono le dimensioni delle macchine. Questo porta alla riduzione di efficienza, soprattutto elettrica, della cogenerazione ed all'aumento dei costi. Per gli impianti di cogenerazione l'effetto scala, sia sulle prestazioni che sui costi è piuttosto importante. Insieme a problemi di tipo tecnologico per la riduzione delle taglie dei cogeneratori, l'aumento dei costi specifici rappresenta il maggior problema per il successo della cogenerazione in campo residenziale e terziario.

In base alla potenza elettrica nominale generata dall'impianto di cogenerazione si parla di micro-cogenerazione al di sotto dei 50 kWel e di mini-cogenerazione per potenze fino ad 1 MWel.

Cogenerazione da biomassa

Secondo la Direttiva Europea 2009/28/CE si definisce biomassa: "la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani". Quasi la totalità della biomassa così definita è di origine vegetale.

Grazie al processo di fotosintesi, i vegetali convertono la radiazione solare in energia chimica sotto forma di molecole ad alto contenuto energetico. I vegetali fungono

quindi da convertitori di energia solare in energia chimica; per questo la biomassa viene annoverata fra le fonti rinnovabili.

Per quanto riguarda le emissioni di gas a effetto serra, la biomassa è una fonte energetica considerata neutrale. L'anidride carbonica emessa durante la combustione, è pari a quella assorbita dalla pianta durante il processo di crescita, con un bilancio finale di CO₂ pari a zero. Recenti studi hanno posto in discussione la neutralità del bilancio di rilascio ed assorbimento della CO₂ da parte delle biomasse. Nel breve periodo l'utilizzo della biomassa su larga scala potrebbe portare ad un aumento di CO₂ in atmosfera [28]. L'attenzione va posta in particolare sulla gestione del patrimonio boschivo, assicurando un approvvigionamento graduale della biomassa. Vi è il rischio che tagliando in pochi anni foreste secolari e sostituendole con colture a rapido accrescimento, si contraggano dei "prestiti", spostando di decenni il riassorbimento della CO₂ utilizzata ora.

Per la commissione europea la biomassa rimane comunque un componente fondamentale del mix energetico rinnovabile continentale. Sempre più attenzione va però posta sulle modalità di utilizzo di questa risorsa.

La conversione delle biomassa segue tre strade fondamentali:

- *Biochimica*: attraverso la fermentazione, la digestione aerobica ed anaerobica si ottengono bioetanolo, biogas ed energia termica.
- *Termochimica*: attraverso la combustione, la gassificazione e la pirolisi si ottengono energia termica e gas di sintesi.
- *Fisica-chimica*: attraverso procedimenti di estrazione e di trans-esterificazione di ottengono oli vegetali e biodiesel.

I processi su cui si basano le tecnologie analizzate in questo lavoro sono di tipo termochimico, per il quale si utilizzano specie vegetali ligneo-cellulosiche.

Il parametro fondamentale di cui tener conto nel momento in cui si valuta l'utilizzo della biomassa a scopi energetici è la qualità di questa, in particolare:

- *Contenuto di Acqua*: livelli troppo alti di umidità abbassano enormemente il potere calorifico e rendono difficile una buona combustione.
- *Concentrazione di elementi naturali*: la presenza di minerali può provocare la formazione di composti quali: NO_x, SO₂, HCl e diossine, che danno gravi problemi ambientali.
- *Contenuto di ceneri*: una elevata formazione di ceneri riduce il potere calorifero e può dare problemi di sporcamento.
- *Analisi della composizione*: il bilancio lignina-cellulosa influenza il potere calorifico.

E' importante specificare che l'approvvigionamento di biomassa per questo progetto è di tipo a filiera corta, definita dalla Commissione Europea come: *“filiera di approvvigionamento formata da un numero limitato di operatori economici che si impegnano a promuovere la cooperazione, lo sviluppo economico locale e stretti rapporti socio-territoriali tra produttori e consumatori”*[29]. Per quanto sarà possibile, tutta la biomassa verrà prelevata nella proprietà dell'eco-villaggio ed in caso di richiesta eccedente la produzione interna si provvederà all'acquisto da produttori locali.

3.3.1 Ciclo Rankine a fluido organico - ORC

Il ciclo Rankine è sicuramente uno dei sistemi di generazione di energia elettrica più noto ed utilizzato fino ad oggi, soprattutto nel campo della produzione di energia elettrica da fonte termica. Storicamente il fluido utilizzato nel ciclo è l'acqua, grazie alle sue ottime proprietà alle temperature e potenze generalmente utilizzate, oltre alla grande disponibilità. Negli ultimi anni viene valutato positivamente l'utilizzo di fluidi organici, come gli idrocarburi leggeri ed i clorofluorocarburi, la caratteristica principale di questi fluidi è di essere basso-bollenti.

L'utilizzo di questo tipo di fluidi risulta vantaggioso in due ambiti operativi:

1. quando l'impianto richiesto è di piccola taglia.
2. quando la fonte di calore è a bassa e media temperatura.

Nelle applicazioni superiori ai 100-150 °C è previsto l'utilizzo di olio diatermico per trasportare il calore dalla caldaia al fluido organico che compie il ciclo, assicurando una maggior sicurezza e grado di automazione dell'impianto. In quasi tutte le soluzioni costruttive è prevista la rigenerazione con uno scambiatore di calore fra il fluido diretto al condensatore e quello in ingresso in caldaia.

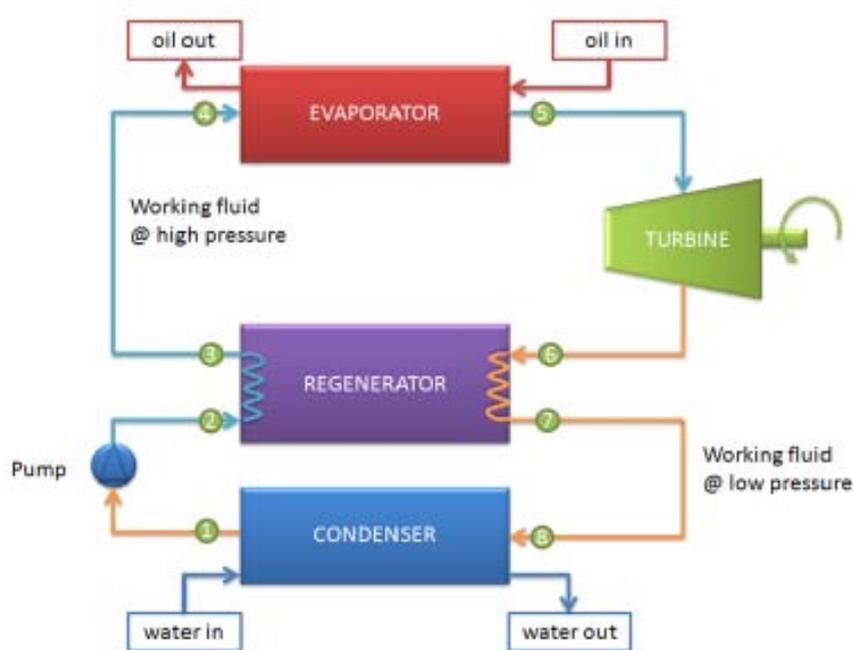


Figura 7: Ciclo ORC. In rosso l'olio diatermico che introduce il calore di evaporazione, in blu ed arancione il fluido organico quando rispettivamente ad alta e bassa pressione. Ed in azzurro l'acqua che rimuove il calore garantendo la condensazione[30].

Vantaggi

- *Manutenzione e vita della macchina:* grazie alla bassa velocità periferica della turbina ed all'assenza di condensato in turbina la turbina, che rappresenta l'elemento più sensibile del ciclo presenta una lunga vita utile e bassa manutenzione.
- *Tecnologia consolidata.:* in campo industriale le macchine basate sui cicli ORC vengono utilizzate da più di 20 anni.
- *Combustibile:* grazie alla combustione esterna è possibile utilizzare tipologie differenti di biomassa con parametri qualitativi meno stringenti rispetto ad altre tecnologie.
- *Solare:* vi è la possibilità teorica di utilizzo della stessa macchina utilizzando calore derivante dalla tecnologia solare a concentrazione.

Svantaggi

- *Efficienza:* rispetto ad altre tecnologie concorrenti il rendimento elettrico è piuttosto basso, con valori che vanno dal 20% per le taglie maggiori al 12-11% per gli esemplari più piccoli.

- *Costo iniziale*: per piccole taglie (<100 kWel) il costo specifico risulta essere più alto rispetto ad altre tecnologie e crescente rapidamente con il diminuire della taglia.
- *Produttori* : i sistemi ORC di piccola taglia sono ancora pochi, ma sono usciti dallo stadio di prototipi.
- *Smaltimento fluidi*: i fluidi organici utilizzati nel ciclo sono spesso piuttosto tossici, anche se la ricerca sta mettendo a disposizione fluidi non tossici per quasi tutti gli utilizzi. Negli impianti ad alta temperatura a fine vita dell'impianto va smaltito l'olio diatermico.

Mentre come detto precedentemente questa tecnologia è disponibile da molti anni, la ricerca verso dimensioni per la piccola e micro-generazione a biomassa è un fenomeno piuttosto nuovo. Questo si ripercuote sui costi e sulla disponibilità di macchine a livello commerciale.

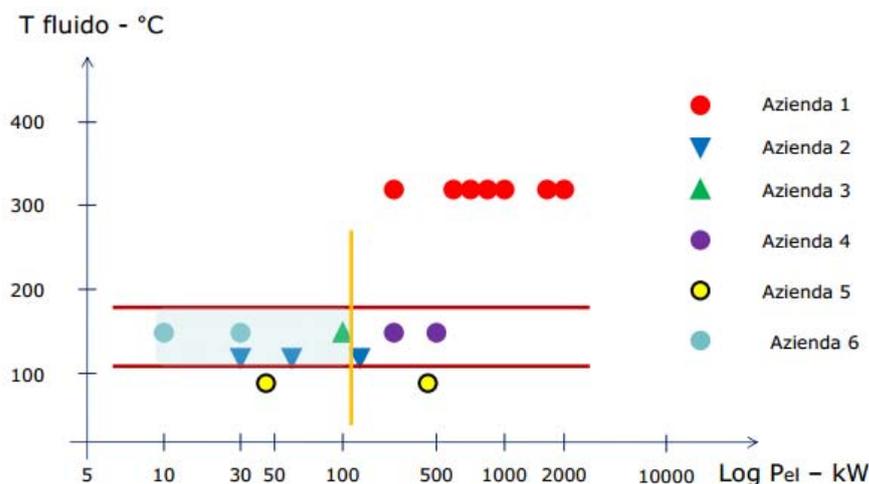


Figura 8: I produttori di macchine a ciclo ORC non sono ancora molti ed ognuno comprende range di potenza piuttosto limitati[30].

3.3.2 Externally Fired Gas Turbine - EFGT

Questa tecnologia sfrutta il ciclo Brayton-Joule, largamente utilizzato per la generazione di energia elettrica. Nella tecnologia EFGT la combustione avviene esternamente ed il calore viene apportato al fluido operante nel ciclo attraverso uno scambiatore di calore. Il fluido che compie il ciclo è in tal modo è aria. Con questa soluzione si evitano i problemi di purezza del combustibile che caratterizzano i generatori utilizzando i cicli Brayton-Joule a combustione interna. Vincoli di purezza impossibili da raggiungere con la combustione di biomasse solide e che richiedono trattamenti di pulizia in caso di gas derivanti da gassificazione della biomassa.

Il cuore dell'impianto è il turbocompressore, costituito da un compressore centrifugo ed una turbina radiale centripeta, operante ad elevate velocità di rotazione - nell'ordine dei 70 000 - 100 000 RPM. Il calore è fornito da un combustore, che non presenta significative differenze rispetto alla tecnologia utilizzando la turbina a gas, attraverso uno scambiatore di calore. Per evitare l'impiego di riduttori, il generatore è solidale all'albero della turbina e genera energia elettrica ad alta frequenza, che viene successivamente riportata a 50 Hz con un raddrizzatore ed un inverter.

Vantaggi

- *Combustibile:* grazie alla combustione esterna è possibile utilizzare tipologie differenti di biomassa con parametri qualitativi meno stringenti rispetto ad altre tecnologie.
- *Manutenzione:* nonostante le alte velocità periferiche della turbina la macchina necessita di poca manutenzione rispetto ad altre tecnologie come i motori a combustione interna.
- *Semplicità costruttiva:* l'impianto è composto da pochi e molto compatti elementi.
- *Efficienza elettrica:* anche a taglie molto piccole il rendimento elettrico risulta sempre relativamente elevato. I valori vanno dal 25-27% per unità superiori ai 100 kWel e scende a 20-19% per i 30 kW che rappresentano l'attuale limite inferiore per questa tecnologia.

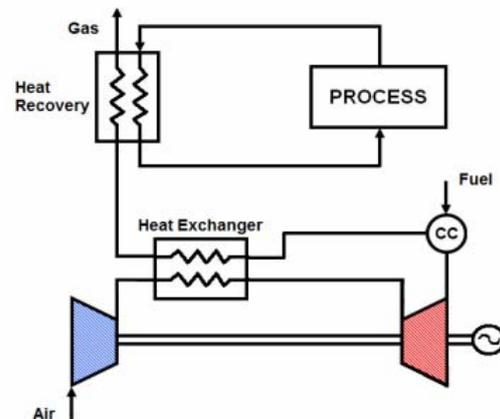


Figura 9: Schema di micro-turbina cogenerativa con combustione esterna

Svantaggi La tecnologia non presenta nessuno svantaggio evidente. Rispetto alla tecnologia sfruttante il ciclo ORC ha comunque costi di manutenzione maggiori.

La disponibilità di micro-turbine a combustione interna sul mercato copre un intervallo fra i 30 ed i 300 kWel.

3.3.3 Gassificazione + motore a combustione interna

Con gassificazione si intende un processo di conversione di un combustibile solido o liquido in uno o più gas. Questa trasformazione è attuata tramite la parziale ossidazione del combustibile. La miscela che si ottiene alla fine del processo è composta principalmente da:

- monossido di carbonio (CO);
- anidride carbonica (CO₂);
- idrogeno (H₂);
- metano (CH₄);
- acqua (H₂O);
- azoto (N);

L'agente gassificante utilizzato può essere:

- aria;
- ossigeno;
- vapore acqueo;
- una miscela di questi.

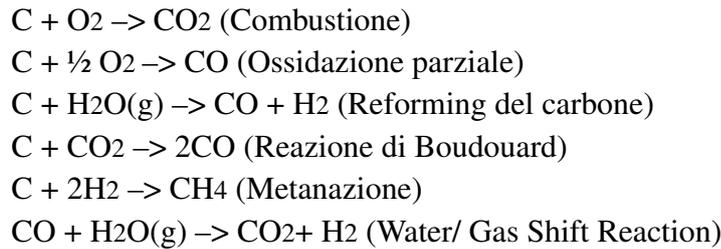
Il processo di gassificazione si svolge completamente all'interno di un reattore ed è composto da due stadi principali.

In una prima fase si ha un insieme di processi che prendono il nome di pirolisi, dove per mezzo di una serie di complesse reazioni a temperatura moderata (<600°C) si ha una volatilizzazione di parte del combustibile. I vapori volatili sono composti da idrocarburi gassosi, idrogeno, monossido di carbonio, anidride carbonica, tar e vapore acqueo.

La seconda fase del processo è costituito dalla gassificazione dei prodotti della pirolisi: nel momento in cui i prodotti della pirolisi reagiscono con l'agente gassificante si ha la decomposizione dei gas ottenendo la conversione del carbone solido che essi contengono. Quest'ultima fase è la reazione più importante dello stadio di gassificazione; essendo la fase più lenta, condiziona tutta la cinetica dell'intero processo e conseguentemente anche le prestazioni del reattore.

La miscela ottenuta al termine del processo di gassificazione prende il nome di syngas. Tutto il processo è endotermico, il calore necessario alle reazioni è fornito dall'esterno o più comunemente viene reso disponibile dalla combustione di parte dei prodotti della pirolisi con una reazione fortemente esotermica.

Le principali reazioni che avvengono durante la gassificazione sono:



I gas di sintesi ottenuti presentano una composizione differente in base ai processi di gassificazione, all'agente gassificante utilizzato ed alla natura della biomassa utilizzata. Il combustibile gassoso ottenuto può essere utilizzato in un motore alternativo a combustione interna. I motori sfruttanti il ciclo Otto rappresentano una delle tecnologie più adottate per l'utilizzo del syngas. Essendo motori progettati per l'utilizzo di gas naturale possono venire facilmente adattati per la combustione del syngas attraverso modifiche alla carburazione. Si tratta prevalentemente di motori concepiti per la combustione di gas naturale e come tali possono generalmente essere adattati per bruciare syngas, attraverso semplici modifiche.

Vantaggi

- *Investimento iniziale:* soprattutto alla grande diffusione di questi motori i costi di acquisto di una unità sono molto inferiori rispetto alle altre tecnologie.
- *Ingombri:* a parità di potenza le dimensioni dei motori alternativi sono minori rispetto ai generatori concorrenti.
- *Grande diffusione MCI:* la diffusione di questo tipo di generatori permette di avere conoscenze riguardo il loro funzionamento molto diffuse sul territorio, oltre al facile reperimento di pezzi di ricambio.
- *Efficienza:* il rendimento elettrico è molto alto, con valori globali fra il 20% ed il 30%.
- *Range di potenza coperto:* I motori a combustione interna possono coprire un range di potenza elettrica che va dai pochi kWel fino a diversi MWel.

Svantaggi

- *Impurità:* il processo di gassificazione dà luogo ad una miscela che può essere ricca di impurità. Può essere necessario un impianto di pulizia dei gas, innalzando fortemente il prezzo specifico della tecnologia per piccole dimensioni.
- *Manutenzione:* data la combustione interna e l'abbondanza di parti in movimento, rispetto alle altre tecnologie gli stop per la manutenzione sono più numerosi ed anche i costi risultano essere maggiori.

- *Mercato*: l'offerta di impianti comprendenti la combinazione di gassificazione e motore a combustione interna è piuttosto bassa sul mercato, soprattutto per le taglie minori.

3.3.4 Motore Stirling

Il motore Stirling è un motore a combustione esterna, inventato da Robert Stirling nel 1816.

All'interno dello Stirling un fluido (generalmente aria o elio per avere alti rendimenti) segue un ciclo termodinamico chiuso. Il moto è generato dalla differenza di temperatura fra due punti, che corrispondono alla caldaia ed all'impianto di asportazione del calore. La macchina è composta da due scambiatori di calore, due cilindri, un organo di rigenerazione ed il dislocatore. Il ciclo ideale è composto da quattro trasformazioni:

1. Dal punto 1 al punto 2: espansione isoterma. Il vano di espansione è a contatto con la fonte di calore esterna ed il gas all'interno espande isotermicamente.
2. Dal punto 2 a punto 3: trasferimento del gas caldo a volume costante, o trasformazione isocora. Il gas passa attraverso il rigeneratore cedendo a questo una parte del calore, che verrà riassorbito successivamente.
3. Dal punto 3 a punto 4: nel lato refrigerato avviene una compressione isoterma con sottrazione di calore.
4. Dal punto 4 a punto 1: trasferimento del calore a volume costante; il fluido scorre indietro attraverso il rigeneratore, recuperando il calore dal rigeneratore stesso.

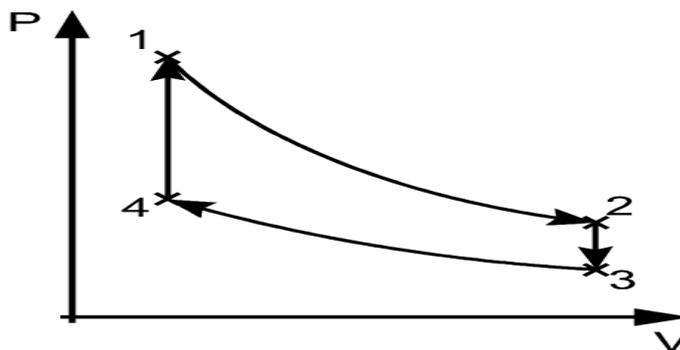


Figura 10: Trasformazioni componenti il ciclo effettuato dal motore Stirling sul diagramma P-V.

5.

Il motore Stirling ha sempre esercitato un certo fascino grazie alla possibilità di raggiungere il rendimento massimo da un ciclo operante fra due temperature, ovvero quello del ciclo di Carnot. Se il ciclo Stirling dà la possibilità di raggiungere il rendimento massimo possibile il generatore Stirling si allontana molto da questi valori, soprattutto a causa della non perfetta rigenerazione ed alla non reversibilità delle trasformazioni reali.

Essendo un motore a combustione esterna lo Stirling può essere facilmente accoppiato ad una caldaia a biomassa con il trasferimento del calore assicurato da uno scambiatore di calore.

Vantaggi

- *Combustibile*: grazie alla combustione esterna è possibile utilizzare tipologie differenti di biomassa con parametri qualitativi meno stringenti rispetto ad altre tecnologie.
- *Efficienza*: in base alla taglia ed alle soluzioni costruttive il rendimento elettrico va da valori intorno al 10% fino a superare il 20%.
- *Manutenzione*: la semplicità di funzionamento e la ridotta quantità di organi meccanici in movimento assicura intervalli di funzionamento elevati fra una manutenzione e l'altra.
- *Solare*: il motore può essere utilizzato anche con tecnologia solare a concentrazione.
- *Taglia*: rispetto alle tecnologie concorrenti garantisce prestazioni interessanti a partire da dimensioni minime (1 kWel) e grazie all'accoppiamento di più macchine (facile grazie alla compattezza) può coprire potenze di alcune centinaia di kWel (anche se le sue caratteristiche lo rendono competitivo per potenze <100 kWel).

Svantaggi

- *Investimento iniziale*: lo Stirling ha costi specifici al kWel più alti rispetto i suoi concorrenti. Questo è in parte dovuto al ridotto numero di impianti prodotti ed è prevista una rapida discesa dei costi di produzione corrispondente ad un possibile aumento di produzione ed ad una più elevata concorrenza fra i produttori.
- *Affidabilità*: nonostante in linea teorica la macchina non dovrebbe andare incontro a grande usura nel tempo permangono problemi, in particolare con l'utilizzo della biomassa. I problemi principali sono stati riscontrati sugli scambiatori di calore, con eccessivo sporco e corrosione.

- *Mercato*: i dispositivi adatti all'utilizzo con biomassa hanno superato lo stato prototipale ma la disponibilità sul mercato permane scarsa, sia come numero di impianti installati che come numero di produttori.

3.3.5 Gassificazione + motore Stirling

Il motore Stirling, come esposto precedentemente può funzionare anche con syngas proveniente da un processo di gassificazione. In tal modo alcuni problemi tipici del motore Stirling a combustione diretta di biomassa vengono oltrepassati.

Vantaggi

- *Manutenzione ed affidabilità*: utilizzando un combustibile gassoso in caldaia si riducono i problemi di erosione e di sporcamento.
- *Efficienza*: il rendimento elettrico di questa soluzione è mediamente più elevato di 1,5 - 3 punti percentuali rispetto alla soluzione a combustione diretta di biomassa solida.

Svantaggi

- *Investimento iniziale*: a causa del necessario impianto di gassificazione l'investimento iniziale risulta ancora più elevato che per lo Stirling a combustione diretta.
- *Manutenzione ed affidabilità*: se da un lato l'utilizzo della gassificazione permette di ottenere risultati migliori da questo punto di vista, la stessa soluzione può dare dei problemi.

3.4 HOMER

Il lavoro svolto è stato possibile soprattutto grazie al programma di calcolo HOMER. Questo programma è stato sviluppato dall'U.S. National renewable energy Laboratory (NREL), con l'ambizione di proporre uno strumento per l'analisi di sistemi energetici ibridi, in cui è possibile simulare il comportamento di generatori di energia utilizzando sia risorse fossili che rinnovabili.

E' possibile creare degli scenari in cui inserire domanda termica ed elettrica da un lato e sistemi di produzione dell'energia dall'altro. Per ogni scenario è possibile inserire differenti valori, sia per la domanda di energia che per la produzione di energia (p.es. superficie fotovoltaica, richiesta di energia elettrica, dimensioni di un generatore diesel) ed affidare al programma il compito di scegliere quale sia il migliore.



Figura 11: In alto- Stato degli scambiatori di calore nella versione a combustione diretta dopo 300 ore di funzionamento. In basso - Stato degli scambiatori di calore con la gassificazione dopo 4000 ore di funzionamento.

Vista la grande varietà di sistemi implementabili nel programma per ogni scenario, per limitare la complessità di utilizzo ed i tempi di calcolo, i modelli matematici che descrivono gli elementi hanno un grado di dettaglio inferiore ad altri programmi. HOMER si colloca fra i programmi stazionari come RETScreen ed i codici dinamici come TRNSYS.

Il grande pregio di HOMER è di poter ottimizzare l'intero sistema, definendo le fonti da utilizzare, le taglie degli impianti e le modalità di funzionamento di questi. Il programma ottimizza tutti i componenti secondo il "life-cycle cost", ovvero la somma fra il costo iniziale ed i costi che si hanno durante l'arco di vita del sistema. E' possibile simulare il collegamento alla rete elettrica nazionale del sistema energetico simulato. In questo caso l'energia venduta viene sottratta al "life-cycle cost". Anche se l'ottimizzazione è di tipo economico è possibile imporre una serie di vincoli di funzionamento, che permettono di raggiungere obiettivi in termini ad esempio di contenimento delle emissioni di CO₂ oppure di frazione rinnovabile generata.

La funzione forse più interessante è la possibilità di effettuare analisi di sensibilità sui parametri chiave del progetto (p.es. costo dell'energia elettrica, velocità media del vento), potendo quindi individuare quali sono i fattori che più influenzano il comportamento del sistema energetico.

Le caratteristiche sopra elencate rendono il programma adatto allo scopo del lavoro qui esposto, il quale non consiste in una progettazione particolareggiata degli impianti, bensì vuole creare uno strumento che aiuti le scelte progettuali future.

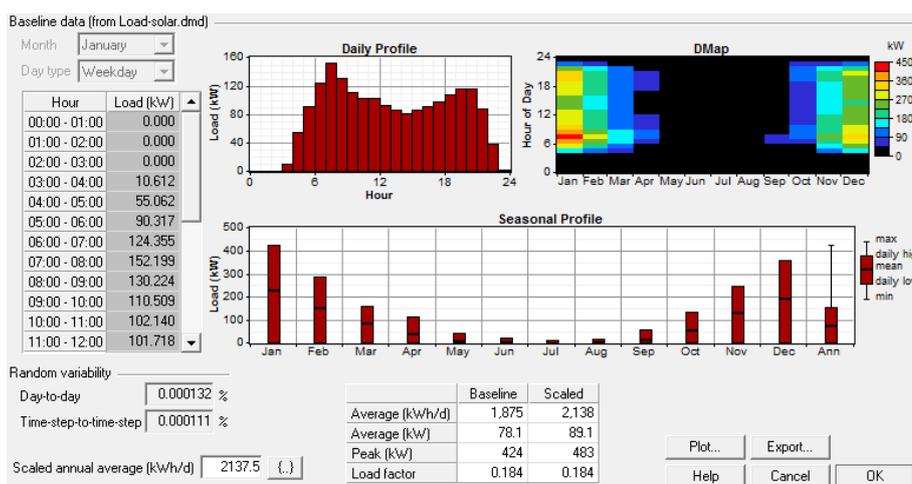


Figura 12: Interfaccia di implementazione di Homer per la richiesta di energia termica. E' possibile creare dei giorni tipo per ogni mese, in cui il fabbisogno di energia è suddiviso ogni 60 minuti. A sinistra è possibile, modificando lo "Scaled annual average" variare il fabbisogno medio giornaliero mantenendo la stessa distribuzione sia giornaliera che mensile.

3.5 RETScreen®

RETScreen è sviluppato e costantemente aggiornato dal governo canadese, il quale lo distribuisce a titolo gratuito direttamente dal sito ufficiale[31]. Al momento attuale è il programma di calcolo per l'analisi di progetti energetici più diffuso al mondo, ed ha modalità di utilizzo semplici ed immediate. Il codice di calcolo è di tipo statico e non permette di considerare la variazione della domanda energetica giornaliera e mensile.

La precisione ed il grado di profondità delle valutazioni rese possibili da RETScreen non sono sufficienti per lo scopo del presente studio. Ciò nonostante il programma è risultato molto utile per una valutazione preventiva degli scenari successivamente implementati in HOMER.

Grazie a questo programma è stato inoltre calcolato l'andamento mensile del fabbisogno di energia termica, soprattutto grazie alla banca dati con le caratteristiche climatiche per moltissimi luoghi in tutto il pianeta.

3.6 T*SOL®

T*SOL è un programma per il dimensionamento e la simulazione di impianti solari termici con: produzione di acqua calda, integrazione al riscaldamento, riscaldamento piscina, calore di processo e grandi impianti. Il calcolo è basato sul bilanciamento dei flussi di energia e fornisce stime di rendimento grazie al "database" contenente dati meteorologici con frequenza oraria.

L'ottimizzazione della superficie solare termica, può essere fatta per soddisfare la domanda di acqua calda sanitaria oppure prevedendo una integrazione del riscaldamento. La copertura di acqua calda sanitaria non è mai del 100%, perché in questo modo l'impianto risulterebbe molto sovrastimato nei mesi estivi con dei conseguenti problemi di funzionamento. Il programma suggerisce di coprire il 60% del fabbisogno di a.c.s. annuale. E' possibile impostare valori diversi per l'integrazione del riscaldamento.

4 Caso pratico: Lebensdorf ecovillage

Il progetto "Lebensdorf", in Italiano "villaggio vivente", intende formare una comunità che sia allo stesso tempo socialmente, economicamente ed ecologicamente sostenibile. Il villaggio, una volta completamente sviluppato, mira a raggiungere i mille abitanti. L'obiettivo non è costruire un'"isola", bensì una realtà fortemente legata col territorio e la società in cui è immersa.

Attraverso la costante riflessione ed analisi scientifica verranno studiati stili di vita alternativi, i quali potranno essere trasferibili in altri contesti sociali. Attraverso la costante sperimentazione, si cerca di dare un impulso alla società; agendo direttamente nella trasformazione sociale.

4.1 Caratteristiche

Posta la sostenibilità come il concetto attorno al quale ruotano tutti gli sforzi, dal 2002 ad oggi sono state delineate le linee guida per l'implementazione effettiva di questi ideali.

Dal punto di vista giuridico l'eco-villaggio sarà una fondazione senza scopo di lucro. La proprietà della terra non è privata ma è assegnata alla fondazione. All'interno dell'insediamento sarà possibile lo svilupparsi di altre forme associative per la regolazione di attività lavorative, come l'artigianato e l'agricoltura.

Dal punto di vista economico viene garantita la proprietà privata dei beni. A tutti gli abitanti viene garantiti cibo, alloggio, energia, acqua e la copertura sanitaria. In cambio di queste garanzie, ogni abitante deve svolgere delle ore di lavoro all'interno del villaggio. I lavori vengono decisi in base alle capacità dell'individuo.

Dato l'obiettivo di essere parte integrante della società ed avere continue contaminazioni, Lebensdorf verrà costruito in una zona in cui sia raggiungibile una città (>100.000 abitanti) in un'ora attraverso i mezzi pubblici. L'insediamento sarà formato da un agglomerato centrale, in cui si troveranno le prime unità abitative e gli edifici comuni, attorno al quale vi saranno diversi "quartieri" abitati da sottogruppi, ognuno costituito da dieci a cento individui.

Il meccanismo decisionale verrà basato sul sistema del consenso e sull'affronto dei problemi in maniera comunitaria, con un sistema consensuale e non maggioritario.

L'attività produttiva principale sarà l'agricoltura, verranno applicati i principi dell'agricoltura biologica e della permacultura per un uso sostenibile del terreno. Il cibo sarà auto-prodotto e saranno privilegiati gli scambi con la comunità locale. L'alimentazione sarà di tipo prevalentemente vegetariana, con particolare attenzione al benessere degli animali utilizzati nella produzione del cibo.

L'eco-villaggio si pone come un campo di ricerca e per questo è aperto a collaborazioni con enti sia privati che pubblici. Attualmente vi è una collaborazione con "RIC eV" (Research in Comunità eV) e la fondazione "Heinrich Böll".

A fianco della ricerca, l'educazione è un elemento fondamentale del progetto. Attraverso l'associazione "Lebensdorf eV" fondata nel 2008 vengono organizzati corsi ed incontri nel contesto dell'educazione allo sviluppo sostenibile. Nel settembre del 2011 l'associazione è stata premiata dalle Nazioni Unite appunto per l'educazione nel campo dello sviluppo sostenibili.

L'attualizzazione del progetto segue un percorso temporale stabilito nel 2002:

Fase I - 2002-2007

In questa fase è stata effettuata una serie di viaggi in realtà già affermate con l'obiettivo di raccogliere informazioni e stabilire una rete di contatti. La conoscenza di altre realtà è fondamentale per individuare difficoltà ed opportunità che si palesano solo nel momento della messa in pratica del progetto. Negli ultimi anni, il progetto ha già visitato L'Europa centrale, meridionale ed occidentale, Nord America ed India.

Fase I -2007 - 2012

Dal 2007 sono state poste le basi per l'attuazione del progetto. Attraverso eventi pubblici la comunità è stata allargata ed i criteri base in cui tutti i partecipanti si riconoscono sono stati definiti con maggior precisione. In particolare sono stati definiti i criteri di scelta della località adibita ad ospitare l'eco-villaggio. È stato steso un realistico piano di finanziamento economico per il progetto. Il terreno in cui costruire il progetto è stato individuato al termine di questa fase, l'acquisto dei terreni è in fase terminale.

Fase II - Dal 2012

Attualmente il progetto si trova nella seconda fase, la quale prevede:

- la costruzione e sviluppo delle prime infrastrutture
- l'implementazione della produzione agricola ed artigianale
- lo sviluppo di scambi locali e globali

- l'integrazione con le persone non facenti parte del progetto (WOOofing, laboratori, festival, visitatori, ecc...)

Fase III

Sviluppo di servizi di consulenza nell'ambito di tutti i campi della sostenibilità. Creazione di una propria scuola interna e collaborazione con scuole ed università, attraverso scambi, stage e convegni.

Fase IV

Maggior attenzione all'integrazione con il mondo esterno ed apertura alle persone con difficoltà.

Fase V

Aiuto alla creazione di realtà simili, sia in Germania che all'estero. Trasferimento delle conoscenze acquisite in contesti sociali differenti e su scala maggiore.

4.2 Il luogo: Liebfrauenberg kloster

Il luogo individuato per insediare l'eco-villaggio si trova nell'abitato di Bad Bergzabern: una città di 7.652 abitanti della Renania-Palatinato.

La località si trova vicino a molte città di medie dimensioni con la presenza di molte università:

Le città con più di 100.000 abitanti più vicine sono:

- Karlsruhe (297.488): 37km
- Kaiserslautern (99.790): 57km
- Mannheim (314.931): 67km
- Heidelberg (149.633): 83km
- Freiburg (229.144): 151km

Quelle con meno di 100.000 abitanti:

- Landau (43.957): 16km;
- Neustadt an der Weinstraße (52.941): 39km;
- Haguenau (34.648): 42km;

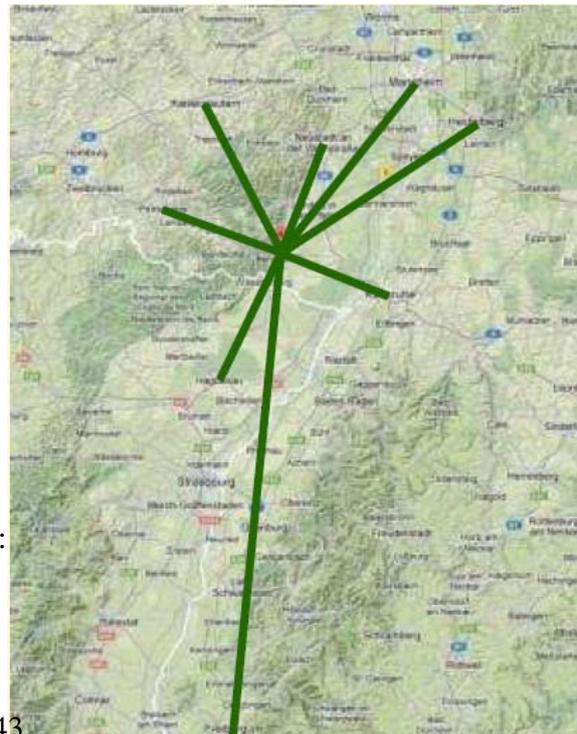




Figura 13: A sinistra l'intera tenuta. A destra un particolare della proprietà collegata alla "Liebfrauenberg kloster", con in arancione l'area edificabile in cui è prevista la costruzione del villaggio.

- Pirmasens (40.006): 44km.

La proprietà è situata su di una collina a breve distanza da Bad Bergzabern. Vi è presente una struttura chiamata "Liebfrauenberg kloster" che negli anni è stata adibita a diverse funzioni, fra le quali, quella di monastero.

La parte più antica risale al 1840 e negli anni ha cambiato proprietari numerose volte, i quali hanno apportato molti cambiamenti nella struttura. Durante il XX secolo le strutture originali sono state ampliate, in particolare nel 1963 venne costruita una nuova struttura di grandi dimensioni con il compito di ospitare il crescente numero di suore affluite al monastero. Il risultato di questo processo di costruzione, durato più di un secolo, è un complesso di edifici con una superficie di circa 5000 m^2 .

L'area in cui sorgerà il nucleo principale di Lebensdorf è di 275 300 m^2 ed è composta da:

- 16200 m^2 di area edificabile;
- 137000 m^2 di foresta;
- 117100 m^2 di pascolo;
- 5000 m^2 di costruzioni.

Nell'area edificabile verranno costruite delle abitazioni, che insieme all'edificio esistente costituiranno il nucleo centrale dell'eco-villaggio. Le nuove abitazioni presenteranno una alta efficienza energetica, con livelli di isolamento piuttosto elevati. Ci

sarà una disomogeneità nei consumi fra gli edifici di nuova costruzione e l'edificio storico.

Come già detto l'edificio storico presenta caratteristiche costruttive differenti nelle diverse parti, non è quindi semplice definire le sue prestazioni energetiche senza un accurato studio. Grazie a delle opere di ristrutturazione effettuate negli ultimi anni l'edificio non ha prestazioni energetiche particolarmente basse. È però sicuramente molto distante da un'efficienza tale da presentare valori di consumo vicini a quelli che l'eco-villaggio si è prefissato.

Per questo motivo sono previsti dei lavori di efficientamento dell'edificio, soprattutto per quanto riguarda le dispersioni termiche e l'illuminazione. Il raggiungimento di un'alta efficienza termica è però ostacolato da delle limitazioni date dalla natura storica di parte dell'edificio. Poco meno di un terzo dell'edificio è considerato monumento di interesse storico. Gli interventi di ristrutturazione su questo tipo di edifici devono rispettare vincoli legislativi più stringenti. Alla luce di questi motivi l'edificio in questo studio verrà considerato migliorabile per quanto riguarda l'efficienza energetica, senza però poter raggiungere i valori possibili per le nuove costruzioni.

Dai lati ovest e nord della proprietà si estendono ampie zone boschive. Il progetto prevede l'acquisto di queste zone per sfruttarne il legname. In queste aree verranno inoltre costruiti i nuovi insediamenti, i quali faranno sempre parte dell'eco-villaggio, ma dotati di una loro autonomia.



Figura 14: Veduta dall'alto del luogo in cui sorgerà Lebensdorf.

4.3 Domanda energetica

In questo paragrafo vengono presentate le modalità con cui la domanda energetica di Lebensdorf è stata stimata. Prevedere il fabbisogno energetico di un villaggio prima della sua costruzione, rende necessario adottare alcune semplificazioni, ed accettare

intervalli di confidenza delle stime ottenute piuttosto elevati. L'analisi ha lo scopo di ottenere dei dati in base ai quali poter effettuare delle valutazioni in sede di progettazione dell'eco-villaggio. La particolarità dell'eco-villaggio è quella di ottenere consumi ridotti, sia dotandosi di tecnologie a risparmio energetico che grazie a codici comportamentali. In entrambi i casi le stime non possono essere basate sui dati provenienti da edifici residenziali "convenzionali", per i quali si ha un'ampia letteratura scientifica. I dati sono stati ottenuti da realtà affini in situazioni socio-ambientali simili.

Domanda elettrica Il fabbisogno elettrico è molto variabile con le abitudini e gli stili di vita delle persone. Il futuro fabbisogno di "Lebensdorf" è stato equiparato a quello dell'eco-villaggio di "Sieben Linden": costituito da circa 140 abitanti e situato nella parte occidentale della Sassonia-Anhalt, è uno dei principali eco-villaggio in Europa.

Il consumo di energia in Sieben Linden di circa 500 kWh all'anno per abitante, e se viene confrontato con la media nazionale risulta essere inferiore ad un suo terzo. Questa differenza è data principalmente da tre fattori: stile di vita differente, tecnologie efficienti e condivisione. Il minor consumo di energia elettrica non si ripercuote sul livello di comfort garantito dalla vita all'interno di Sieben Linden.

Sebbene la comunità abbia in progetto di abbassare ulteriormente il fabbisogno di energia elettrica nei prossimi anni, per Lebensdorf il valore annuale pro capite è stimato in 547,5 kWh; corrispondenti a 1,5 kWh giornalieri; effettuando in questo modo stime conservative.

Oltre al consumo annuale di energia elettrica è necessario conoscere la distribuzione annuale e giornaliera dei consumi. Per far questo sono stati utilizzati dei valori tipici abitativi tedeschi per creare delle "curve di consumo giornaliera" tipiche per ogni mese, per poi scalare il consumo elettrico stimato lungo queste curve.

Domanda termica La domanda termica è stata stimata per tre differenti scenari:

- edificio già presente;
- edificio già presente ristrutturato;
- nuove costruzioni.

L'edificio già presente (Liebfrauenberg kloster), come già detto, presenta caratteristiche costruttive disomogenee. Una diagnosi energetica completa dell'edificio non è stata possibile, sia per motivi di tempi che per mancanza di dati. Attraverso una prima sommaria analisi si è assegnato un valore di dispersione termica annuo di 190 kWh/m². Attraverso ampi lavori di ristrutturazione è stimata una possibile riduzione delle perdite nell'ordine dei 50 kWh/m².

La tipologia delle nuove costruzioni non è stata ancora decisa nello specifico. Di certo vi è la volontà di ottenere un alto valore di isolamento termico utilizzando per



Figura 15: Abitazioni di paglia presenti nell'eco-villaggio di Sieben Linden. Da sinistra a destra: Strohbund , 2003; Strohpolis, 2005; Brunnenwiese 2007 [35].

quanto è possibile materiali naturali reperibili localmente. Edifici con queste caratteristiche possono essere accomunati alle nuove costruzioni presenti a Sieben Linden, e tenendo conto del minor numero di gradi giorno di Bad Belgzabern rispetto a dove sorge Sieben Linde: da 2.884 a 3.248, è possibile stimare un valore di perdite annue di 40 kWh/m^2 .

Anche per la domanda termica sono state "costruite" delle curve giornaliere caratteristiche per ogni mese. Partendo dalle perdite annue, attraverso il software di calcolo RETScreen si è individuata la potenza termica media giornaliera richiesta per ogni mese. Successivamente questi valori sono stati scalati sulle curve giornaliere tipiche per ogni mese. Fino ad ottenere l'energia termica richiesta ogni ora durante un anno tipo.

4.4 Scenari

Dato che per l'eco-villaggio è previsto uno sviluppo progressivo, in questo lavoro sono stati sviluppati degli scenari rappresentanti fasi evolutive diverse. Ad ogni scenario sono associati una numero di abitanti, una domanda termica ed elettrica ed una differente distribuzione degli abitanti.

In un primo momento verrà abitato l'edificio già presente (Liebfrauenberg kloster), il quale sarà sottoposto a dei lavori di efficientamento energetico, soprattutto per limitarne le dispersioni termiche. Per questa prima fase gli scenari sviluppati sono tre, che differiscono per la diversa domanda energetica, in conseguenza di usi diversi dell'energia elettrica e di lavori di efficientamento dell'edificio.

In un secondo momento l'eco-villaggio prevede di espandersi fino a raggiungere i mille abitanti. In questo caso gli scenari sono stati sviluppati in base alle scelte progettuali dell'insediamento, che si ripercuotono a loro volta sulle possibili scelte di tipo energetico.

L'utilizzo di questi scenari ha permesso di analizzare le differenze in termini di possibilità tecniche, di costi e di impatto sull'ambiente in base alle scelte progettuali dell'eco-villaggio.

In particolare gli scenari 1,2 e 3 studiano le differenze derivanti dal variare della richiesta energetica da parte degli abitanti dell'edificio; grazie ad un uso differente

dell'energia e a miglioramenti tecnici.

Lo scenario 4, suddiviso a sua volta in 4a, 4b-100 e 4b-10, è stato sviluppato per dare uno strumento in più per decidere la dislocazione e la dimensione degli insediamenti secondari dell'eco-villaggio.

Nel prossimo capitolo per ogni scenario verranno simulate diverse soluzioni energetiche basate sullo sfruttamento di risorse rinnovabili. I risultati verranno messi a paragone con soluzioni energetiche utilizzando fonti rinnovabili, denominate "situazioni di riferimento". Il fabbisogno termico per i primi tre scenari viene coperto dalle caldaie ad olio combustibile già presenti, mentre per lo scenario 4 è soddisfatto da una caldaia a gas naturale. Per tutti gli scenari, nelle situazioni di riferimento la domanda di energia elettrica viene coperta acquistando energia elettrica dalla rete.

Qui di seguito vengono illustrati gli scenari sviluppati, mettendone in evidenza il fabbisogno energetico.

4.4.1 Scenario 1

In questo scenario l'edificio non ha subito nessun opera di efficientamento energetico ed il consumo di energia elettrica giornaliera è pari a 4,3 kWh, uguale a quello medio nazionale tedesco. Questo scenario funge da paragone rispetto ai successivi.

Abitanti	Dispersioni annuali [kWh/m ²]	Termico annuale [MWh]	Elettrico annuale [MWh]
200	190.00	1127.00	313.9

Tabella 1: Scenario1.



Figura 16: Fabbisogno energetico corrispondente allo scenario 1 lungo l'arco dell'anno. In rosso il fabbisogno termico ed in verde quello elettrico.

4.4.2 Scenario 2

E' uno scenario intermedio, in cui l'edificio non è ancora stato ristrutturato ma il consumo di energia elettrica pro capite è quello stimato per l'eco-villaggio. Il consumo giornaliero di energia elettrica scende rispetto allo scenario 1, con 1,43 kWh giornalieri

“pro capita”; i quali corrispondono al consumo medio presso l’eco-villaggio di “Sieben Linden”. Questa equiparazione può essere considerata lievemente conservativa, in quanto “Sieben Linden” dichiara di poter diminuire la domanda elettrica attraverso l’utilizzo di sistemi di illuminazione più efficienti.

Questo scenario oltre che mettere in evidenza la differenza di domanda energetica che potrebbe avere l’eco-villaggio rispetto la media nazionale è possibile che sia quello che si verrà a creare nella prima fase nello sviluppo di “Lebensdorf”.

L’applicazione di tecnologie efficienti e stili di vita volti al risparmio energetico sono attuabili in modo più rapido rispetto all’efficientamento energetico dell’edificio.

Abitanti	Dispersioni annuali [kWh/m2]	Termico annuale [MWh]	Elettrico annuale [MWh]
200	190.00	1127.00	104.4

Tabella 2: Scenario 2.



Figura 17: Fabbisogno energetico corrispondente allo scenario 2 lungo l’arco dell’anno. In rosso il fabbisogno termico ed in verde quello elettrico.

4.4.3 Scenario 3

Il terzo scenario prevede la ristrutturazione dell’edificio ed il consumo di energia elettrica pro capite stimato per l’eco-villaggio. Rappresenta il consumo energetico dell’edificio già presente una volta che i principi di risparmio energetico sono stati implementati, sia a livello di stile di vita che di costruzioni.

Abitanti	Dispersioni annuali [kWh/m2]	Termico annuale [MWh]	Elettrico annuale [MWh]
200	50	300	104.4

Tabella 3: Scenario 3.

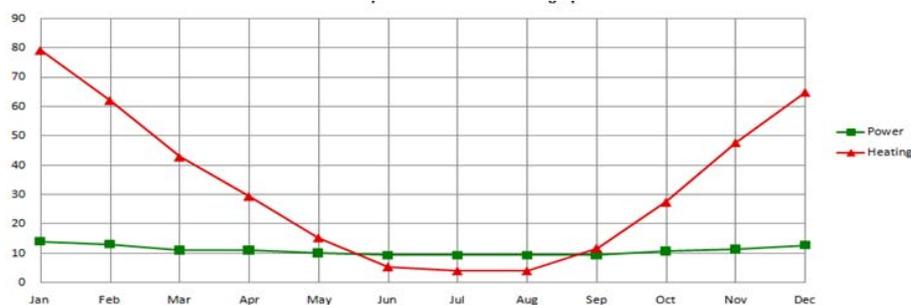


Figura 18: Fabbisogno energetico corrispondente allo scenario 3 lungo l'arco dell'anno. In rosso il fabbisogno termico ed in verde quello elettrico.

4.4.4 Scenario 4

Nel quarto scenario l'eco-villaggio ha superato la fase di transizione raggiungendo i mille abitanti preventivati. Rispetto agli scenari precedenti si distingue quindi per il numero di abitanti che è quadruplicato. Il progetto Lebensdorf prevede un nucleo centrale attorno al quale si sviluppino degli insediamenti secondari chiamati "quartieri". In base alla dimensione ed alla dislocazione dei quartieri è possibile avere una gestione più o meno centralizzata dell'energia.

La dimensione dei suddetti "quartieri" sarà fra i cento ed i dieci abitanti. Vengono simulati i due estremi, cercando di trarre indicazioni generali sulle differenze principali dovute alle dimensioni.

Scenario 4a

L'insediamento è costituito da un nucleo centrale attorno al Liebfrauenberg kloster, con degli insediamenti secondari piuttosto vicini in modo che la domanda energetica possa essere gestita a livello centralizzato. Questa scelta, come si vedrà più avanti, offre dei vantaggi ma presenta dei vincoli di progettazione dell'eco-villaggio piuttosto stringenti.

Abitanti	Dispersioni annuali [kWh/m2]	Termico annuale [MWh]	Elettrico annuale [MWh]
1000	50 (vecchio)-40 (nuovo)	1100	521.95

Tabella 4: Scenario 4a.



Figura 19: Fabbisogno energetico corrispondente allo scenario 4a lungo l'arco dell'anno. In rosso il fabbisogno termico ed in verde quello elettrico

Scenario 4b-100

L'insediamento è costituito da un nucleo centrale di cinquecento persone e da cinque insediamenti secondari abitati da cento persone. Gli insediamenti secondari sono energeticamente indipendenti dal nucleo centrale. Il carico termico ed elettrico pro capite è uguale a quello ipotizzato per i nuovi insediamenti dello scenario 4a.

A variare sono le soluzioni energetiche implementabili ed i costi specifici delle tecnologie utilizzate dovuti all'effetto scala.

Scenario 4b-10

L'insediamento è costituito da un nucleo centrale di cinquecento persone e cinquanta insediamenti secondari abitati da dieci persone. Ogni insediamento è energeticamente indipendente dall'altro.

4.5 L'energia ora

Attualmente non vi è nessun impianto di generazione in funzione. In quanto il complesso non è abitato stabilmente dal 2006.

Sono presenti due locali caldaie ubicati presso i due edifici principali. Si ha quindi quindi due circuiti di riscaldamento differenti, costruiti in periodi diversi.

Il locale caldaie collocato nell'edificio più antico costa di tre generatori ad olio combustibile. Installati nel 2000, questi generatori risultano quindi relativamente recenti. L'ultima revisione è stata effettuata il 4.12.09. Dalla quale risulta un'efficienza del 95,4 %..

L'altro locale caldaie è composto sempre da tre generatori ad olio combustibile. Questo parco macchine è più datato, risulta infatti operativo dal 1988. L'ultima revisione risale sempre al 29.10.04, con un'efficienza media dei generatori del 91.7%.



Figura 20: Gruppo caldaia più datato.

Purtroppo mancano molti dati relativi a questi sistemi, in particolare la potenza di ciascun generatore. Anche se, con ogni probabilità, le caldaie non sono state dimensionate per i consumi effettivi degli edifici ma in previsioni di un loro ulteriore ampliamento. La condizione generale degli impianti è buona, anche se per le caldaie più vecchie è prevedibile la necessità di una sostituzione nell'arco di alcuni anni.

Per lo studio effettuato si è deciso di prendere gli attuali generatori come situazione di riferimento, senza valutare gli ulteriori investimenti che andranno fatti nel tempo. L'impianto viene quindi con-

siderato adatto a soddisfare pienamente la domanda di calore e con una efficienza del 93.5 %.

Il fabbisogno di energia elettrica è soddisfatto completamente grazie al collegamento col la rete nazionale. L'impianto è stato sottoposto ad un test funzionale nell'Agosto del 2009 secondo la normativa DIN 14677.

4.6 Risorse energetiche

Data l'ubicazione dell'abitato di Bad Bergzabern l'eco-villaggio di Lebensdorf non ha una fonte energetica privilegiata. In Europa a livello macroscopico la radiazione solare risulta ovviamente maggiore nel sud mentre il vento presenta valori di velocità media fortemente maggiori nel nord. Bad Bergzabern si trova in una situazione intermedia, con valori di radiazione solare e velocità del vento intermedi fra il nord ed il sud del continente europeo. La velocità media annua del vento è di 4,44 m/s, con valori che variano fra i 5 m/s dei mesi invernali ai 3,8 m/s dei mesi estivi[31]. Mentre la radiazione media giornaliera lungo l'anno è di 3,06 kWh/m², andando dagli 0,78 kWh/m² di Dicembre ai 5,28 kWh/m² di Giugno[32].

I valori di radiazione e velocità del vento sono dati macroscopici. Fattori locali possono incidere in maniera rilevante. In particolare la velocità del vento è fortemente influenzata dalla morfologia del terreno. Il posizionamento dell'eco-villaggio in una posizione rialzata rispetto alla piana circostante implica la possibilità di una forte discrepanza fra i dati provenienti dall'atlante eolico e quelli effettivi in loco. Se la velocità del vento aumenta generalmente con la quota e può incrementare fortemente dove

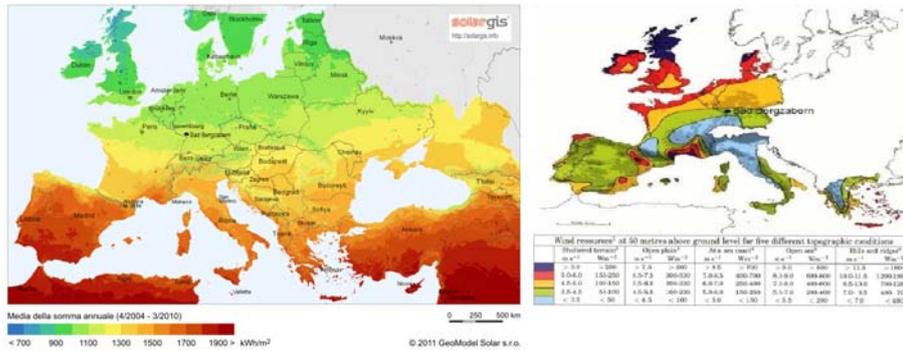


Figura 21: A sinistra la mappa europea della velocità media annua del vento a 50 metri di altezza. A destra la radiazione media annuale che colpisce un m^2 di superficie terrestre.

la massa d'aria si trova a dover superare un ostacolo quale un rilievo, la presenza di un territorio collinoso ad ovest della località può dar luogo a turbolenze del flusso d'aria, che penalizzano la resa delle turbine eoliche. Anche se le considerazioni possibili sono numerose è comunque lecito aspettarsi valori generalmente più elevati, rispetto a quelli provenienti dall'atlante eolico, da una campagna di misurazione rispetto a quelli utilizzati per questo lavoro. Possiamo quindi considerare le stime riguardanti l'eolico conservative.

Altra risorsa molto importante per la regione è la biomassa. Nonostante la Germania sia una delle regioni più densamente popolate ed industrializzate d'Europa, la superficie boscosa è di 11 milioni di ettari su 36 milioni di territorio; arrivando a coprire quasi il 30% del territorio. La regione della Renania-Palatinato è la seconda per copertura boschiva del paese, alle spalle solamente dell'Assia. La regione presenta inoltre una forte vocazione per il settore primario con il 36% della superficie della regione destinata all'agricoltura. In particolare circa 65 000 ettari sono dedicati alla coltivazione della vite, la cui coltivazione produce ingenti quantità di scarti legnosi.

L'eco-villaggio ha a disposizione una superficie boscosa di circa 13,7 ettari, che è possibile utilizzare come fonte di biomassa. Stabilire la produzione di cippato da una foresta è molto difficile e dipende da molti fattori, come: la tipologia di piante presenti, le modalità di gestione e le condizioni climatiche. Il bosco deciduo del centro Europa, rappresentante la maggior parte della superficie boschiva di Lebensdorf, è in grado di fornire annualmente fra i 2400 Kg/ha ed i 6000 Kg/ha di cippato[34]. Di conseguenza il bosco di proprietà può garantire fra i 32,880 kg ed 82,220 kg di cippato all'anno. A questo quantitativo di biomassa si aggiungono anche gli scarti derivanti dalle produzioni agricole, che in questo momento sono difficilmente stimabili.

5 Analisi del sistema

Gli scenari descritti nel capitolo precedente vengono ora simulati attraverso il software di calcolo HOMER. Per ogni scenario si creano una serie di sistemi energetici basati su fonti rinnovabili, composti da impianti energetici volti a soddisfare il fabbisogno termico ed elettrico.

I sistemi creati vengono analizzati e confrontati fra di loro con l'obiettivo di:

- valutare come il variare della domanda influenzi le scelte progettuali;
- valutare in modo qualitativo le relazioni fra i costi e l'adozione di tecnologie energetiche per lo sfruttamento di risorse rinnovabili;
- individuare le migliori tecnologie per l'eco-villaggio in base alle differenti richieste energetiche.

Per ogni scenario viene inoltre simulato il sistema basato sui combustibili fossili e l'acquisto di energia elettrica dalla rete elettrica nazionale, in modo da avere un termine di paragone per i sistemi energetici rinnovabili studiati. Per gli scenari 1,2 e 3 il sistema il fabbisogno termico è soddisfatto dalle caldaie ad olio combustibile già presenti, mentre per lo scenario 4 viene utilizzata una moderna caldaia a gas naturale.

5.1 Metodo

Nonostante l'obiettivo dell'analisi non sia quello di progettare il sistema energetico di Lebensdorf, si è rivelato necessario prendere alcune decisioni, in riguardanti in particolare: il dimensionamento degli impianti, la gestione degli stessi e su cosa basare il confronto fra le varie tecnologie.

In questo paragrafo vengono esposte le scelte effettuate per ogni elemento, mettendone in evidenza pregi, difetti e motivazioni.

Carico termico Si è scelto di lasciare al cogeneratore, quando possibile, il compito di soddisfare la richiesta energetica di base, utilizzando una caldaia integrativa per i picchi di richiesta ed i carichi ridotti. Questo tipo di scelta permette di ridurre di molto le dimensioni del cogeneratore ed allo stesso tempo evitare un suo funzionamento intermittente; il quale mal si sposa con molti tipologie di cogeneratori.

Ponendo un rapporto minimo fra il carico istantaneo ed il carico massimo per permettere l'utilizzo del cogeneratore, è stato possibile ottenere un suo funzionamento piuttosto continuo. In questo modo è stato inoltre possibile dimensionare la macchina, ponendosi nel punto di massimo del rapporto di copertura del carico termico totale da parte del cogeneratore.

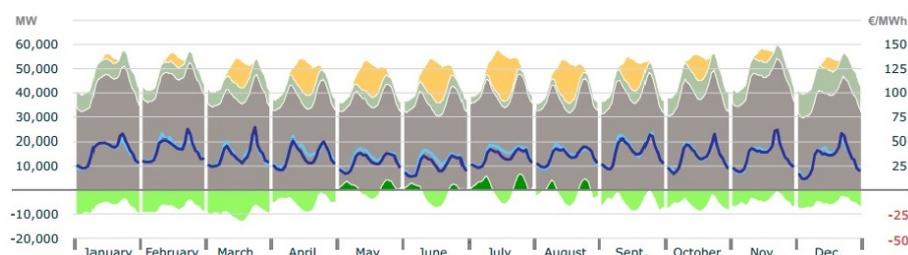


Figura 22: In blu scuro l'andamento dei prezzi durante la ventiquattrore del prezzo dell'energia sul mercato elettrico tedesco. Rispettivamente in giallo, verde e grigio è rappresentata la potenza immessa in rete da fonte solare, eolica e fossile. In verde le esportazioni-importazioni.

Carico elettrico Il carico elettrico viene soddisfatto dai generatori di corrente elettrica o attraverso l'acquisto dalla rete. La scelta fra le due opzioni è puramente economica. L'energia elettrica ha un costo d'acquisto ed un prezzo di vendita differente, che varia in base alla fascia oraria: prezzo di punta e prezzo fuori punta.

Si è scelto di equiparare i prezzi di vendita ai quelli di mercato, imponendo come prezzo le medie di punta e fuori punta lungo il 2013 sul mercato energetico tedesco. Tale scelta ha due motivazioni. In primo luogo è così possibile svincolare i risultati ottenuti dalle scelte politico-economiche nazionali, in secondo luogo si rende valido lo studio per un arco di tempo più lungo, dato che i prezzi sul mercato elettrico variano più lentamente che quelli derivanti da incentivi o tariffe "feed-in".

Cogeneratore Per le simulazioni vengono simulate cinque tipologie di cogeneratori, utilizzando come carburante principale biomassa:

- turbina a ciclo Rankine organico: ORC;
- motore a combustione interna previa gassificazione di biomassa: Gass+MCI;
- motore Stirling con combustione diretta: Stirling;
- motore Stirling previa gassificazione di biomassa: Gass+Stirl.;
- turbina a combustione indiretta: EFGT (externally fired turbine);

La macchina entra in funzione solo quando vi è un carico termico richiesto, in modo che la produzione di energia elettrica avvenga solo in "assetto cogenerativo". Al contrario il cogeneratore può entrare in funzione per soddisfare un carico termico vendendo l'energia elettrica prodotta alla rete. In quest'ultimo caso l'entrata in funzione o meno dipende solamente dalla convenienza economica rispetto ad utilizzare il boiler.

La scelta di questo tipo di funzionamento permette di generare elettricità solo nel momento in cui si ha effettivamente bisogno di generare anche calore ed aumenta l'autoconsumo di energia. D'altro canto è possibile che l'utente voglia "comandare in

termico" il cogeneratore. Ovvero soddisfare sempre quando possibile il carico termico mediante il cogeneratore.

Il sistema non fa uso di stoccaggio dell'energia termica giornaliera attraverso serbatoi di acqua calda, al di fuori del serbatoio del solare termico. Viene qui sfruttata la concomitanza fra la domanda termica ed elettrica.

Impianto fotovoltaico Per il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico si è scelto il raggiungimento della parità dell'energia elettrica scambiata con la rete. Se questa parità è valutata lungo tutti i dodici mesi dell'anno viene denominata parità annuale, mentre se è ponderata per il mese estivo con maggior produzione elettrica si parla di *parità invernale*.

La parità fra consumo e produzione di energia elettrica è un obiettivo verso cui l'eco-villaggio mira. La *parità annuale* risulta quindi un obiettivo utile a paragonare i vari sistemi e stimare i costi necessari per il suo raggiungimento.

La parità estiva vuole favorire lo sfruttamento totale del "potenziale fotovoltaico" del sito. Questo obiettivo è più arbitrario rispetto al precedente. E' però molto più interessante in un'ottica di aumento dell'autoconsumo, a prescindere dal bilancio annuale.

La configurazione valutata come "migliore" deve soddisfare entrambe le condizioni.

Impianto solare termico L'impianto solare termico viene dimensionato a parte attraverso il software T*SOL, con l'obiettivo di soddisfare il 90% del carico termico durante il mese in cui i pannelli producono più energia termica. La curva termica giornaliera in HOMER viene quindi rimodellata ed inserito come costo fisso il costo dell'impianto.

Per gli scenari 1 e 2 tutti i sistemi sono stati simulati sia con che senza l'impianto solare termico. Dato il grande risparmio sia in termini di emissioni che di costi riscontrato in tutti i sistemi simulati negli scenari successivi non sono stati simulati scenari senza i pannelli.

Impianto eolico L'eolico viene simulato grazie alla funzione "sensitivity" di HOMER, e confrontato con l'impianto fotovoltaico. Al variare della velocità del vento media annuale è possibile conoscere la potenza fotovoltaica ed eolica installata.

L'energia prodotta dal mix energetico eolico-fotovoltaico è pari a quella per ottenere la parità con la rete elettrica, che sia estiva o annuale.

5.2 Scenari

In questa sezione vengono presentati i dati più significativi per le configurazioni simulate per ogni scenario. Dopo di che, viene individuata la “miglior configurazione”, scelta secondo il metodo esposto precedentemente.

Le configurazioni presentano l'utilizzo di: coeneratori, impianti fotovoltaici, impianti solari termici ed eolico; non necessariamente utilizzati contemporaneamente. Dei cogeneratori presentati al capitolo 3 sono stati presi in considerazione solo quelli adatti ad ogni particolare scenario, non essendo alcune tecnologie disponibili per taglie troppo piccole.

Il comportamento dei cogeneratori si è rilevato spesso molto simile, con le differenti caratteristiche che si sono bilanciate l'un l'altra. Pertanto la configurazione migliore è solo un'indicazione. I dati per tutte le configurazioni sono disponibili in Appendice A.

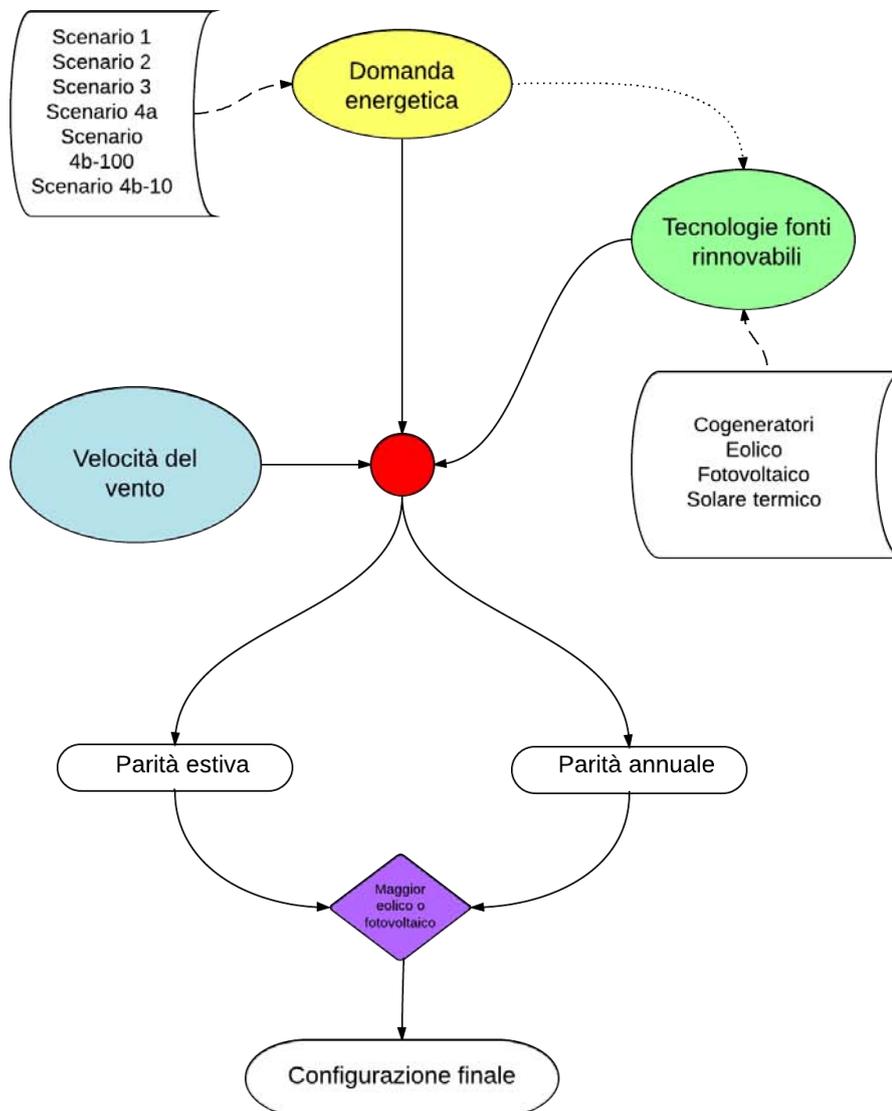


Figura 23: Metodo di costruzione di ogni configurazione.

5.2.1 Scenario 1

Per lo scenario 1 sono state simulate diverse configurazioni, prendendo in considerazione tutte e cinque le tipologie di cogeneratori.

I sistemi energetici per il raggiungimento della parità annuale differiscono per mol-

te configurazioni analizzate. In particolare, le configurazioni con l'utilizzo dei cogeneratori con i più alti rendimenti elettrici subiscono le differenze maggiori. Ad esempio la configurazione utilizzante MCI, che ha maggior la maggior efficienza elettrica, aumenta di molto la superficie fotovoltaica necessaria installata.

Si passa dai 40 kWp per la parità annuale ai 180 kWp per la parità estiva. Questo aumento incide fortemente sui costi iniziali ed anche sul NPC, rendendo la configurazione con il MCI la meno vantaggiosa sul piano economico. Si assiste quindi a prestazioni economiche migliori per i cogeneratori con rendimento elettrico migliore per la parità annuale. La situazione si inverte ponendosi come obiettivo la parità estiva.

Dai dati forniti dalla simulazione tenente in conto l'utilizzo di pannelli solari termici si possono trarre tre considerazioni. Ovvero l'aggiunta del solare termico al sistema:

- alza in maniera importante il costo iniziale del sistema;
- migliora leggermente il NPC
- riduce in maniera importante il consumo di combustibile: sia di cippato che di olio combustibile.

Data la elevata richiesta di energia elettrica pro capite di questo scenario risulta piuttosto difficile il solo utilizzo di energia eolica: sia in termini di dimensioni e numero dei generatori, che per l'aumento importante dei costi rispetto al solo utilizzo del fotovoltaico.

L'utilizzo di turbine eoliche, risulta competitivo col fotovoltaico solo per velocità medie annuali del vento superiori a quelle stimate per la località. All'aumentare di tale fattore la competitività dell'eolico cresce velocemente. Fra i 5 ed i 6.5 m/s di velocità media annuale l'eolico sostituisce sempre più il fotovoltaico, fino a divenire economicamente più competitivo.

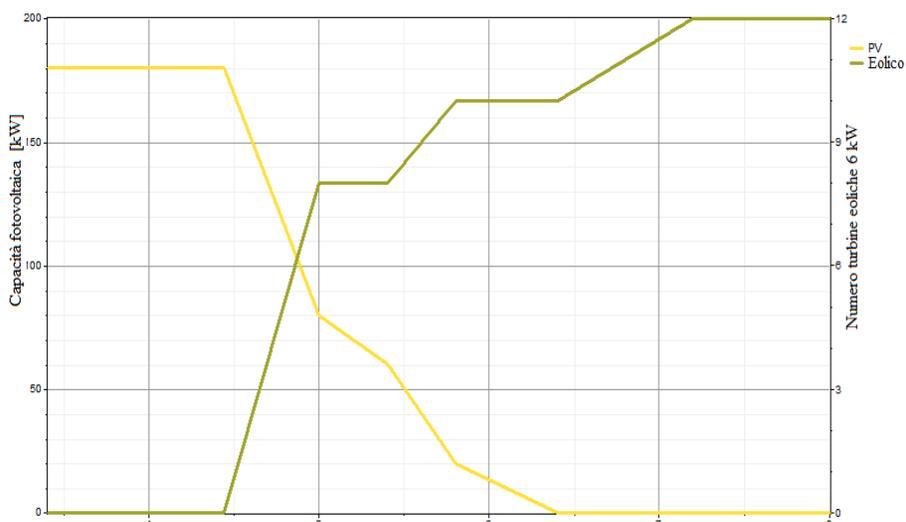


Figura 24: Potenza fotovoltaica (in giallo) ed eolica (in verde) installata al variare della velocità media annuale del vento.

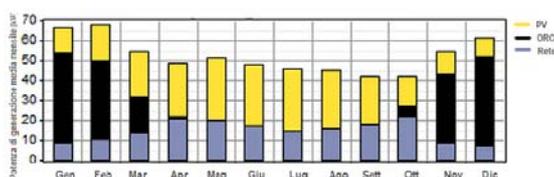
Miglior configurazione

In questo scenario le prestazioni dei vari cogeneratori sono piuttosto simili. Tenendo conto che a fine progetto il generatore EFGT presenta il costo totale più basso ed ha un costo iniziale intermedio fra le altre tecnologie, viene quindi inserito come cogeneratore nella configurazione migliore, le cui caratteristiche sono:

Tipo cogeneratore	Cogen. [kW]	Solar. termico [m^2]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]
EFGT	60	360	180	735 320	1 479 875

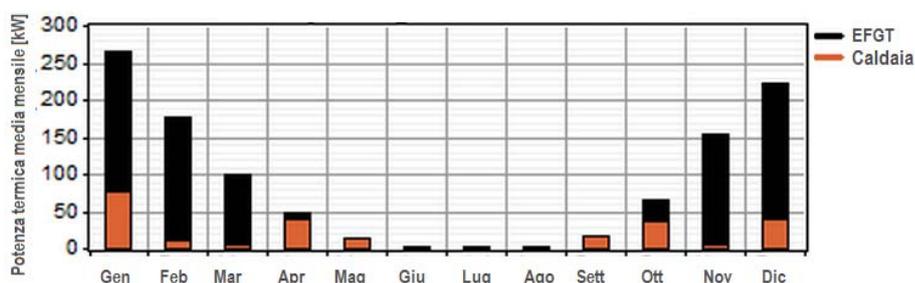
Osservando la copertura del carico elettrico, si nota la felice integrazione fra l'energia elettrica prodotta per cogenerazione durante i mesi invernali e quella proveniente dai pannelli fotovoltaici, i quali ovviamente forniscono una maggior potenza durante le giornate primaverili ed estive.

Si nota inoltre come, nei mesi estivi, nonostante la grande produzione del fotovoltaico l'acquisto di energia dalla rete è piuttosto importante. Questo deriva dallo sfasamento fra gli orari di produzione dell'energia di origine fotovoltaica ed i consumi, che d'estate sono concentrati particolarmente nelle ore serali e notturne.



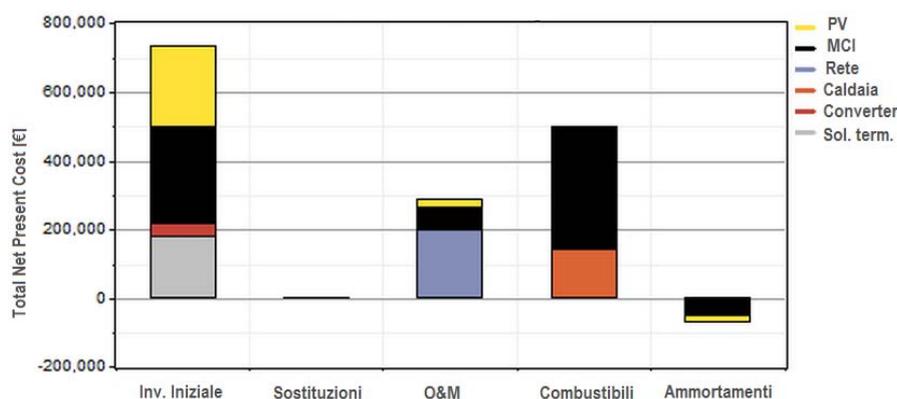
Osservando la produzione di energia termica durante l'anno da cogeneratore e boiler si nota il funzionamento diverso delle due macchine: il cogeneratore con funzione di base ed il boiler che copre i picchi di richiesta ed i carichi molto bassi, che spesso risultano molto brevi.

Nei mesi di Gennaio e Febbraio, i più freddi, il boiler copre quasi un terzo dei consumi. Nei mesi intermedi il cogeneratore copre quasi totalmente la richiesta, data la minor probabilità di picchi di richiesta. Il boiler ritorna ad avere una certa importanza nei mesi di Aprile ed Ottobre e nel periodo estivo dove integra la produzione del solare termico.



I costi più ingenti sono rappresentati dall'investimento iniziale, dove l'impianto fotovoltaico, il cogeneratore ed il solare termico sono le voci più importanti. L'altro costo iniziale è tipico dei sistemi basati su risorse rinnovabili, rappresentando uno dei problemi principali per la loro diffusione nel residenziale.

Durante la vita del sistema, come prevedibile i costi maggiori sono dati dal combustibile e dall'acquisto di energia elettrica.



5.2.2 Scenario 2

Data la diminuzione della domanda di energia elettrica rispetto allo scenario precedente, tutte le configurazioni raggiungono la parità annuale senza l'ausilio di un impianto fotovoltaico o eolico. Tutti i cogeneratori sono quindi in grado di soddisfare la domanda annuale di elettricità. Un'altra conseguenza del minor fabbisogno di energia

elettrica è la maggior economicità dei sistemi con rendimento elettrico minore. Per raggiungere la parità estiva è necessaria una superficie fotovoltaica di 60 kWp per tutte le configurazioni. Un valore molto inferiore ai 180 kWp necessari per lo scenario 1.

L'inserimento dell'impianto a solare termico porta le stesse conseguenze che per lo scenario precedente.

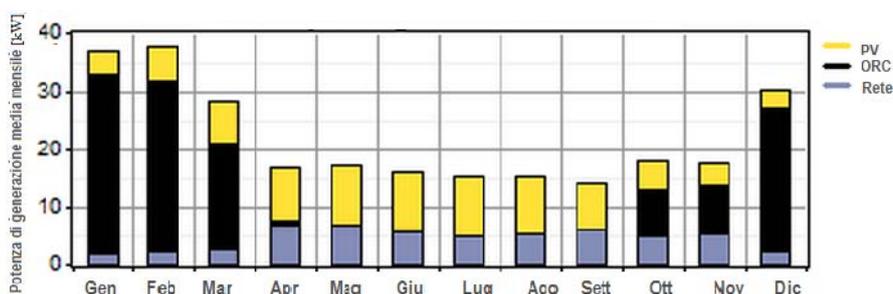
La configurazione necessaria a raggiungere la parità fra energia elettrica acquistata dalla rete e prodotta in loco, per i diversi cogeneratori, corrisponde ai seguenti valori:

Miglior configurazione

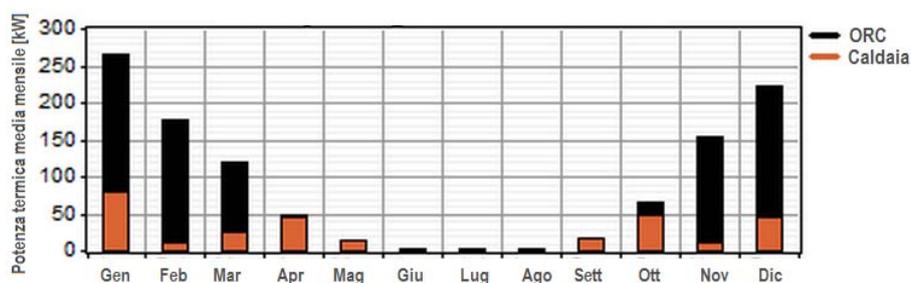
Il sistema con il cogeneratore ORC ha il costo totale ed iniziale più basso ed è in linea con gli altri in quanto a carburante consumato, viene quindi scelto per questo scenario e presenta le seguenti caratteristiche:

	Cogen. [kW]	Solar. termico [m^2]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]
ORC	40	360	60	525 620	1 110 166

Per quanto concerne la produzione di energia elettrica l'andamento è del tutto simile allo *scenario 1*, con una riduzione dei carichi data dalla minor domanda elettrica.

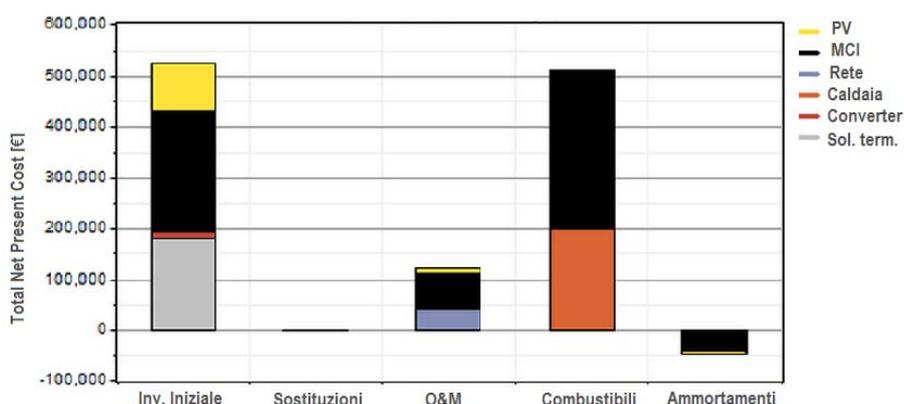


L'andamento della produzione di energia termica ricalca anch'esso lo scenario 1. Si nota però come la produzione di energia termica da parte del cogeneratore cali leggermente. Questo si può notare dal consumo di olio combustibile che passa dai 20 620 litri nel primo scenario ai 21 607 litri in questo scenario. A fronte di una riduzione di più di due terzi del fabbisogno di energia elettrica la riduzione di energia termica generata dal cogeneratore è comunque molto limitata.



Dal punto di vista economico la riduzione della domanda di energia elettrica corrisponde, come ci si poteva aspettare, ad un forte risparmio per quanto riguarda i costi operativi; con la riduzione principale per l'acquisto di energia elettrica dalla rete.

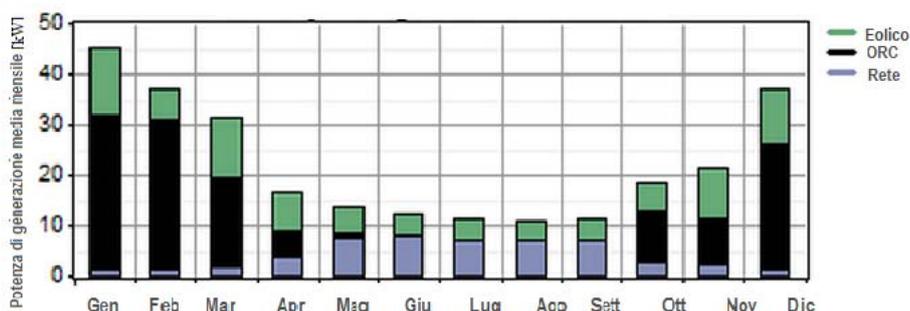
L'investimento iniziale si riduce del 24% rispetto allo *scenario 1*, a causa della riduzione della superficie fotovoltaica installata.



Volendo produrre, la medesima quantità di energia elettrica, che viene prodotta mediante la tecnologia fotovoltaica nella configurazione di *parità estiva* utilizzando la tecnologia eolica, il sistema ha la seguente configurazione:

Turbina 20 kW	Turbina 6 kW	ORC
4	3	40 kW

La distribuzione durante l'anno dell'energia prodotta segue un andamento contrario a quello ottenibile con il fotovoltaico, con il massimo nei mesi invernali per poi calare in quelli estivi:



Con l'utilizzo dell'eolico i costi hanno un incremento non trascurabile. L'investimento iniziale cresce del 26,1% rispetto il sistema basato sul fotovoltaico. Mentre i costi totali lungo l'arco di vita del sistema aumentano del 12,2%. Il fotovoltaico, date le condizioni di insolazione e velocità media annuale del vento della località, risulta essere più competitivo rispetto l'eolico.

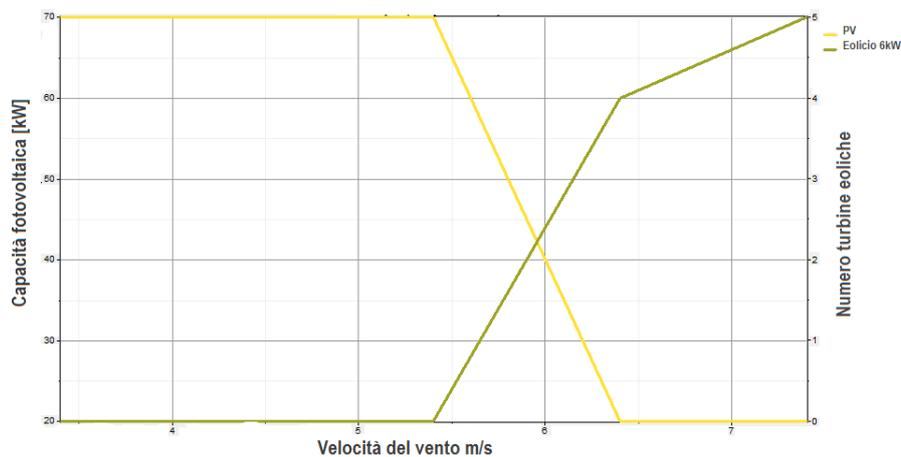
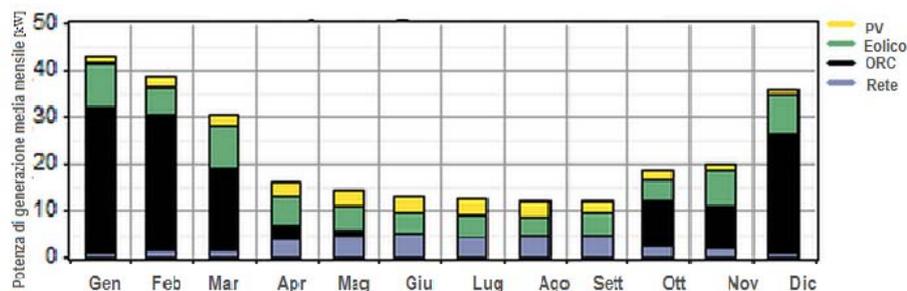


Figura 25: Competitività di eolico e fotovoltaico al variare della velocità media annua del vento.

All'incrementare della velocità media annuale del vento l'eolico entra però in competizione con il fotovoltaico, aumentando vistosamente la propria produzione a fronte della medesima potenza nominale installata.

Con una velocità di 5,44 m/s, corrispondente ad un aumento del 25,5%, l'installazione di turbine eoliche comincia a risultare conveniente. Fino a soppiantare completamente il fotovoltaico per velocità medie superiori a 7.5 m/s.

Fra questi due valori il sistema più conveniente è un mix energetico fra solare ed eolico. Questo sistema, scelto su parametri economici, permette inoltre di avere una generazione elettrica distribuita lungo i vari mesi dell'anno.



5.2.3 Scenario 3

E' lo scenario con la minor domanda energetica fra tutti quelli studiati. Dati i ridotti carichi termici durante l'anno sono stati presi in considerazione solo i cogeneratori basati su: motore Stirling e motore a combustione interna. Gli altri cogeneratori non sono attualmente disponibili per le taglie ridotte richieste da questo scenario ed è difficile prevedere un loro sviluppo in breve termine in questa direzione.

Nelle simulazioni effettuate per lo scenario 1 e lo si è visto che il comportamento fra il motore Stirling a combustione diretta di biomassa e quello con previa gassificazione sono molto simili. E' stata quindi utilizzata solo la macchina a combustione diretta di biomassa.

Dall'analisi delle simulazioni si nota come, al contrario degli altri scenari, per il sistema basato sul cogeneratore Stirling si ha una superficie fotovoltaica maggiore per la parità annuale che per la parità estiva. Ciò è spiegabile a causa del minor contributo della generazione di energia elettrica da parte dello Stirling, data la sua taglia ridotta rispetto gli altri scenari.

Miglior configurazione

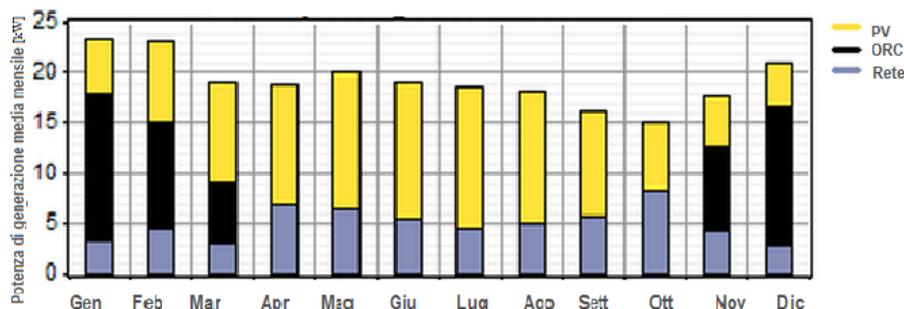
I due sistemi sono presentano caratteristiche molto simili, sia in termini di costi che di consumi; rendendo la scelta fra i due sistemi piuttosto arbitraria.

Viene privilegiato il sistema utilizzando il motore Stirling. Le cui caratteristiche per la parità annuale sono:

	Cogen. [kW]	Solar. termico [m^2]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]
Srirling	20	105	80	294 830	529 922

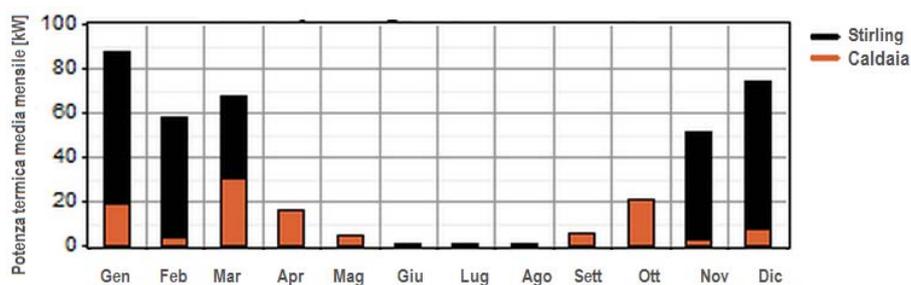
L'andamento della generazione elettrica si discosta dallo Scenario 2 ed in particolare dallo Scenario 2, sia per modalità di produzione che per la distribuzione. Si nota come, a causa della minor richiesta di energia termica, la produzione elettrica da cogenerazione sia minore di quella data dal fotovoltaico.

Inoltre il cogeneratore in questo caso entra in funzione solo nei cinque mesi più rigidi dell'anno, mentre precedentemente risultava funzionante anche nei mesi di Aprile ed Ottobre.

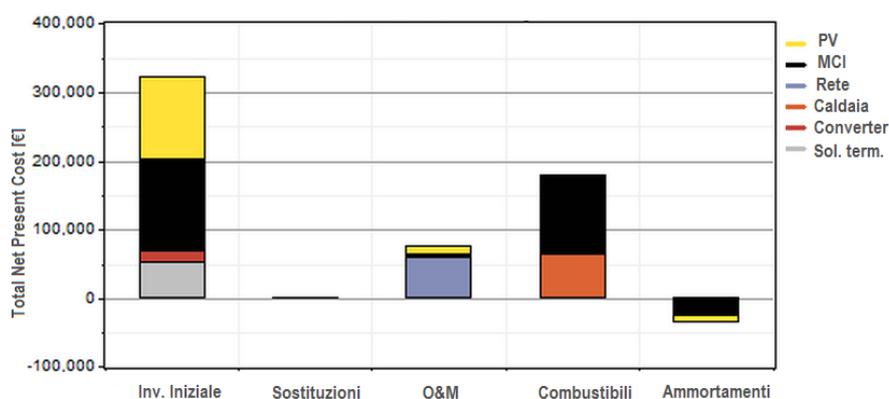


A livello di produzione termica si nota come il cogeneratore abbia un funzionamento più limitato durante l'anno, con appunto i mesi di Aprile ed Ottobre coperti interamente dal Boiler.

Marzo risulta anch'esso coperto in maniera minore dal cogeneratore rispetto gli scenari precedenti.



I costi totali lungo la vita del sistema rispecchiano la forte variazione del fabbisogno termico conseguente all'efficientamento dell'edificio. I costi più importanti non sono più rappresentati dal carburante ma dall'impianto di cogenerazione e fotovoltaico.



5.2.4 Scenario 4a

In questo scenario, in cui l'eco-villaggio raggiunge i mille abitanti, come nello scenario 3 per raggiungere la parità annuale è necessaria una superficie fotovoltaica maggiore che per la parità estiva. Le basse perdite termiche possibili grazie all'efficienza energetica degli edifici riducono la domanda di calore, riducendo di conseguenza la quantità di energia elettrica generata. Quindi nonostante la ridotta domanda elettrica pro capite è necessario installare una potenza superficie fotovoltaica tale da superare la parità estiva. Questa situazione suggerisce l'integrazione fra fotovoltaico ed eolico, per non avere un eccessivo surplus di produzione elettrica durante il periodo estivo.

L'utilizzo del solare termico ha i medesimi vantaggi e svantaggi degli scenari precedenti.

Miglior configurazione

Il sistema utilizzante il cogeneratore a gassificazione e MCI presenta costo capitale iniziale minore e costi totali nettamente minori rispetto alle altre tecnologie. Inoltre permette di ridurre di circa il 15% la superficie fotovoltaica e diminuire l'utilizzo dell'olio combustibile.

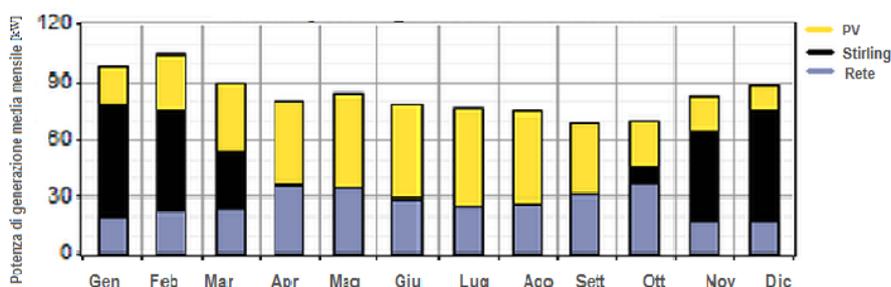
Per questi motivi la soluzione utilizzante il motore a combustione interna viene considerata vincente.

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]
Gass+MCI	75	2320	943 853	1 860 168

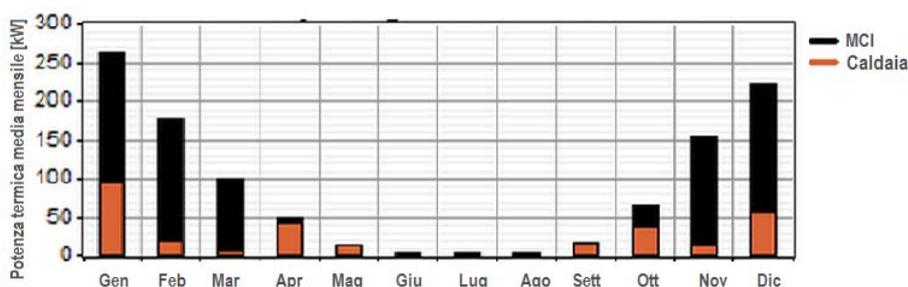
L'andamento della produzione elettrica lungo i mesi dell'anno non si discosta di molto rispetto ciò che è stato osservato per gli scenari precedenti. La percentuale di produzione del cogeneratore è molto simile a quella dello Scenario 1.

Va però tenuto in considerazione che in questo caso il sistema utilizza il cogeneratore con il rapporto fra energia elettrica e termica maggiore fra tutti, contrariamente al primo scenario.

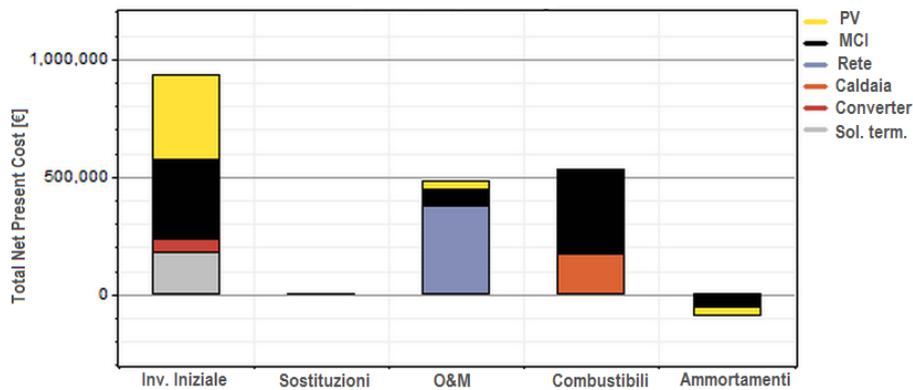
Si può dire che a: parità di carico termico durante l'anno la domanda elettrica influisce fortemente sulla tecnologia risultante vincente.



L'andamento della copertura del carico termico lungo l'anno risulta del tutto simile a quella dello scenario 1. Come d'altronde ci si aspettava, essendo il fabbisogno termico molto simile e la copertura percentuale del carico da parte del cogeneratore la stessa.

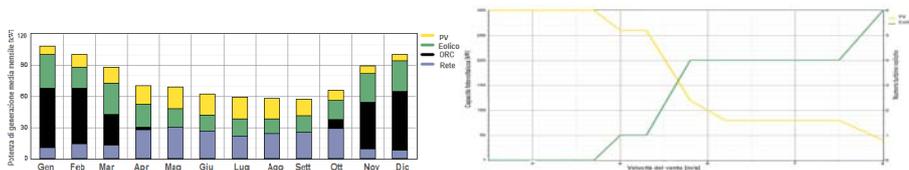


L'investimento iniziale risulta essere rappresentato per più del 50% dall'impianto fotovoltaico. Durante la vita degli impianti i costi operativi sono pressoché ripartiti egualmente per la produzione/acquisti di energia elettrica ed i combustibili.



Anche in questo scenario l'eolico, come è lecito aspettarsi, non è competitivo con il fotovoltaico per la velocità del vento stimata. Data l'elevata richiesta elettrica di questo scenario e la volontà di avere una produzione centralizzata, sono state svolte simulazioni solamente con turbine da 20 kW.

La prima turbina entra nel mix energetico sopra i 5.0 m/s di velocità media annuale. Il numero di turbine installate cresce velocemente fino ad arrivare ad un sistema con quattro turbine da 20 kW, il quale rimane pressoché invariato fino ad alte velocità del vento.



5.2.5 Scenario 4-b

I dati ottenuti mediante le simulazioni si riferiscono per entrambi gli scenari ad una popolazione di 1000 persone.

La più grande differenza che si evidenzia al variare delle dimensioni degli insediamenti secondari è l'utilizzo dei cogeneratori. La domanda energetica dello scenario 4b-100 permette l'utilizzo dei cogeneratori, mentre non è possibile per lo scenario 4b-10.

Scenario 4b-100

Il sistema simulato per il quartiere da cento persone utilizza un cogeneratore per il carico base più una caldaia a biomassa come "back-up" e per i picchi di richiesta. Il tipo di configurazioni simulate non varia molto rispetto agli scenari precedenti. I soli cogeneratori utilizzati sono: Stirling e gassificazione più motore a combustione interna. Questo perché sono gli unici cogeneratori disponibili per queste taglie.

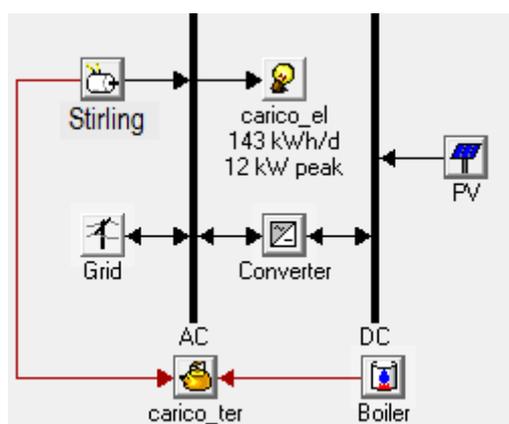


Figura 26: Configurazione del sistema energetico per lo scenario 4b-100.

Miglior configurazione

La configurazione utilizzante il cogeneratore Stirling offre le migliori prestazioni, sia in termini di consumi di carburante che economiche. La parità estiva per un insediamento da cento abitanti viene raggiunta con la seguente configurazione:

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Solar. term. [m^2]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]
Stirling	5	40	32.4	178 482	263 570

I costi totali per questo scenario sono:

Cap. iniz. [€]	NPC [€]
1 430 624	2 345 114

Scenario 4b-10

Il sistema simulato per il "quartiere" da dieci persone utilizza una caldaia a biomassa. Non vi sono infatti attualmente tecnologie cogenerative a biomassa mature e largamente disponibili sul mercato per un fabbisogno energetico così basso.

Il sistema è integrato da un impianto fotovoltaico dimensionato per la parità annuale, la quale richiede una superficie maggiore della parità estiva.

I costi per la soluzione abitativa meno concentrata risultano come prevedibile più elevati rispetto a quella più concentrata. I costi maggiori vengono dall'effetto scala per quanto riguarda gli impianti solari, e dal maggior acquisto di energia elettrica.

Il minor consumo di energia di carburante per la soluzione a dieci abitanti, non è data da una maggior efficienza di questa soluzione ma dall'assenza di cogenerazione; dato che la caldaia a biomassa presenta un rendimento termico maggiore rispetto ad un cogeneratore. La combustione del carburante viene quindi solamente esternalizzata e non evitata.

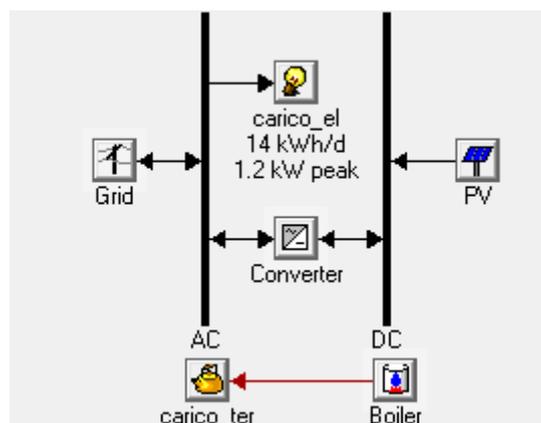


Figura 27: Configurazione del sistema energetico per lo scenario 4b-10.

5.2.6 Scenario 4b-100 “off-grid”

Nonostante l’eco-villaggio non abbia intenzione, almeno nel breve-medio periodo, di scollegarsi dalla rete elettrica nazionale si è voluta simulare una configurazione scollegata dalla rete (off-grid) per un insediamento secondario di cento abitanti.

La configurazione prevede l’utilizzo di un cogeneratore Stirling e batterie a Zinco-Bromo. A differenza di tutti gli altri casi fin qui simulati l’utilizzo dell’eolico si rivela fondamentale già per le velocità del vento stimate per la sede dell’eco-villaggio. La configurazione ha le seguenti caratteristiche:

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Solar. term. [m^2]	Eolico [kW]	Batterie [kWh]	Cap. iniz. [€]
Stirling	5	60	32.4	36	300	414 402

La tecnologia eolica è meno conveniente da un punto di vista economico rispetto al fotovoltaico, è però più costante durante l’arco dell’anno, permettendo una generazione di energia elettrica meno concentrata in solo alcuni mesi. Questo risulta evidente nella configurazione “off-grid” ed è interessante anche per sistemi connessi alla rete che vogliono incrementare l’autoconsumo.

Rispetto allo scenario 4b-100 connesso connesso alla rete si ha un netto aumento dei costi, a causa dell’aumento degli impianti a fonte rinnovabile e dal considerevole costo delle batterie.

5.3 Emissioni di CO₂

Per effettuare una valutazione dell’impatto ambientale dei diversi scenari è stato utilizzata come “metro” la quantità di CO₂ immessa in atmosfera annualmente. Oltre al paragone fra gli scenari è possibile paragonare le emissioni dei sistemi studiati con le

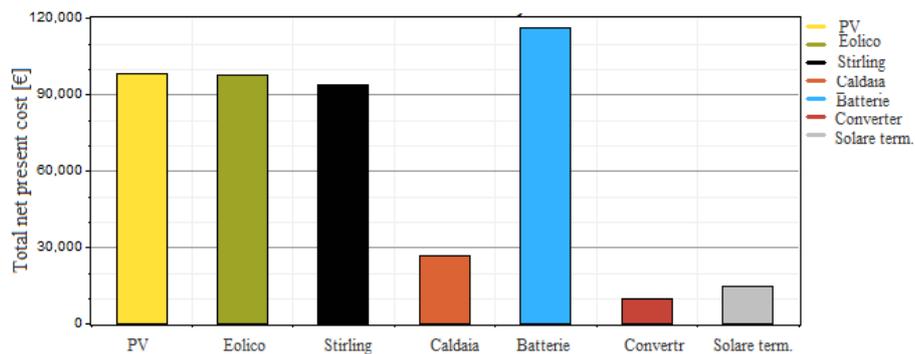


Figura 28: NPC per lo scenario 4b-100 “off-grid”. Si nota l’alto costo delle batterie.

situazioni di riferimento; dove, il fabbisogno di energia termica è soddisfatto dalle caldaie ad olio combustibile già presenti per gli scenari 1,2 e 3 e da una moderna caldaia a condensazione a gas naturale per gli scenari 4a e 4b.

Il risparmio di emissioni di CO₂ rispetto alle situazioni di riferimento è dato da:

- utilizzo della cogenerazione;
- minor acquisto di energia elettrica dalla rete;
- utilizzo di biomassa.

La vendita di energia alla rete, anche se in maniera indiretta, rappresenta un risparmio di emissioni di anidride carbonica e quindi le emissioni evitate vengono sottratte a quelle dello scenario.

Confrontando i primi tre scenari si nota come le emissioni di anidride carbonica scendano dallo scenario 1 allo scenario2 ed ancor di più dallo scenario2 allo scenario 3, a cui corrisponde rispettivamente il cambiamento negli usi di energia elettrica e l’efficientamento termico dell’edificio.

Rispetto alla situazione di riferimento le soluzioni energetiche studiate per i differenti scenari permettono un’importante riduzione di emissioni di CO₂.

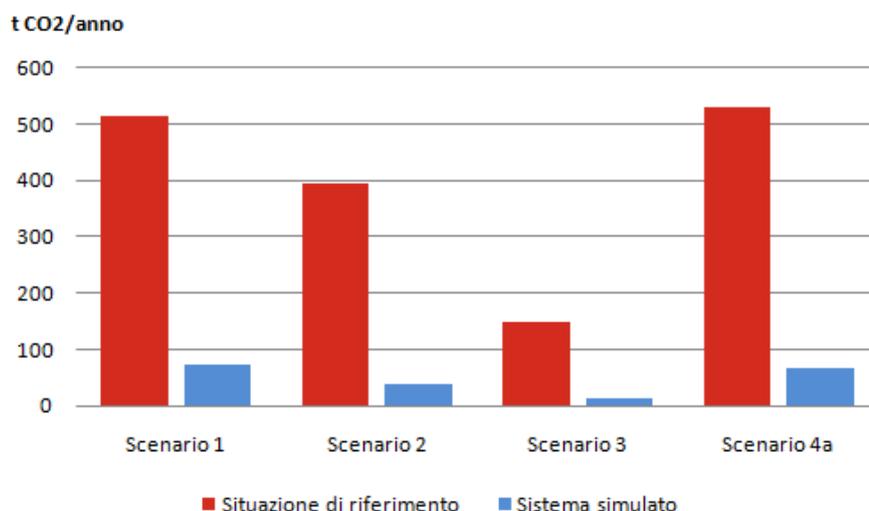


Figura 29: In rosso la riduzione delle emissioni di CO2 grazie all'utilizzo dell'energia elettrica (scenario1-scenario2) e grazie all'efficientamento termico dell'edificio(scenario2-scenario3). In azzurro le emissioni di CO2 con i sistemi energetici studiati sono molto minori rispetto alle situazioni di riferimento. Lo scenario 4a presenta livelli di emissioni simili allo scenario 1, nonostante il numero di persone per cui soddisfare il fabbisogno energetico sia quattro volte maggiore.

La produzione di anidride carbonica, per la situazione di riferimento in cui l'approvvigionamento energetico è basato sui combustibili fossili, è data per circa il 60% dalla produzione di energia termica e per la restante parte dalla produzione di energia elettrica. Eccezione è lo scenario 2, in cui ovviamente la produzione di energia termica rappresenta la maggior parte delle emissioni.

E' importante notare la forte riduzione di emissioni provenienti dalla generazione di energia elettrica passando dallo scenario 1 allo scenario 2. Questa riduzione dipende solamente da un utilizzo differente dell'energia elettrica, rappresenta quindi un risparmio di emissioni virtualmente a costo zero.

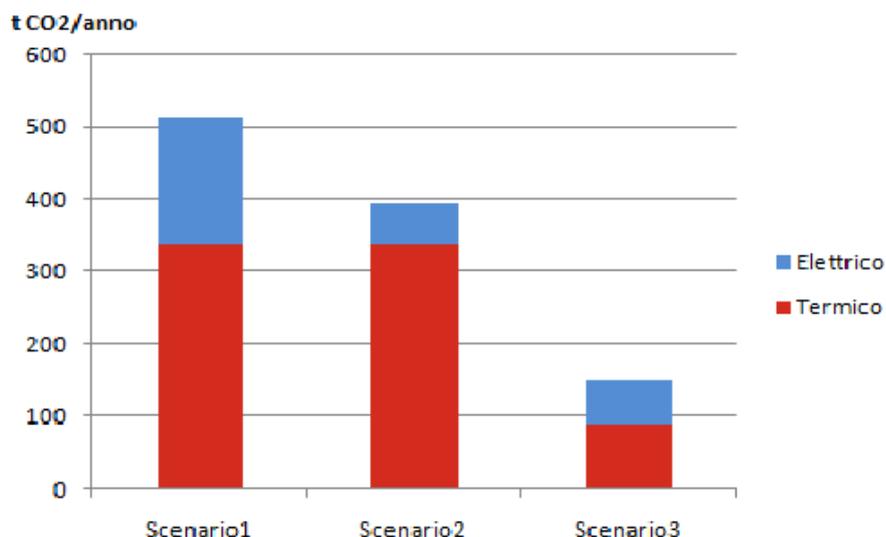


Figura 30: Per la situazione di riferimento sono rappresentate, rispettivamente in rosso ed azzurro, l'emissione di CO₂ per la produzione di energia termica e quella per la produzione di energia elettrica.

Con l'utilizzo dei sistemi energetici basati su fonti rinnovabili l'emissione di anidride carbonica come visto si riduce di molto. Le uniche emissioni sono date dai bruciatori a combustibili fossili utilizzati come integratori del sistema di riscaldamento. Nel secondo scenario la vendita di energia elettrica alla rete dà un forte contributo nella diminuzione delle emissioni. Questo perché, la forte richiesta termica proveniente dall'edificio non adeguatamente isolato permette la generazione di molta energia elettrica che non viene consumata dall'utenza.

Come rappresentato in figura 22, per lo scenario 4a l'emissione di energia di CO₂ è molto simile a quella dello scenario 1, ricordando che per lo scenario 1 il fabbisogno di energia è quello per duecento persone mentre quello per lo scenario 4a è per mille persone, è chiara la diminuzione in termini di emissioni derivanti da un utilizzo e generazione differente dell'energia.

Per quanto concerne lo scenario 4b si hanno due situazioni sostanzialmente differenti per la soluzione con insediamenti da cento abitanti e da dieci. Per quanto riguarda la prima le emissioni di anidride carbonica sono pressoché le stesse che per lo scenario 4b.

Lo scenario con insediamenti da dieci persone presenta emissioni di CO₂ pressoché nulle, dato che utilizza solamente biomassa per il riscaldamento e raggiunge la parità di scambi con la rete elettrica. Non è però corretto considerare questo scenario come il meno impattante sotto il punto di vista ambientale. Va infatti tenuto conto delle differenti scelte effettuate in questo scenario rispetto gli altri. Valutare le emissioni di anidride carbonica non ha molto senso, in quanto per la soluzione con insediamenti da dieci abitanti è prevista solamente una caldaia a biomassa; ottenendo in questo modo

zero emissioni per il fabbisogno termico. Di conseguenza risulta poco utile effettuare confronti dal punto di vista delle emissioni di sistemi tanto diversi.

I valori di emissione di CO₂ qui utilizzati non tengono conto delle emissioni indirette, quali: trasporto del carburante, costruzione e smaltimento e trasporto degli impianti energetici, perdite e spostamenti lavoratori.

Nonostante qui si sia utilizzata la quantità di emissioni di anidride carbonica per misurare l'impatto ambientale delle varie soluzioni energetiche, va detto che i fattori da considerare sono molto di più, come: emissioni nocive, materiali utilizzati e processi produttivi degli impianti.

5.4 Analisi economica

Dopo aver visto nel capitolo precedente l'ingente riduzione di emissioni di anidride carbonica consideriamo l'aspetto economico che tali soluzioni comportano. Si è deciso di considerare solo i costi per gli impianti per la produzione dell'energia, compresi i sistemi ausiliari. Per i primi tre scenari non sono stati considerati i costi di efficientamento energetico dell'edificio già presente. La ristrutturazione dell'edificio è già in programma e non è oggetto di valutazioni prettamente economiche-energetiche. In aggiunta il costo delle opere sulla struttura dipende molto dalle modalità con cui sono effettuate, essendo l'eco-villaggio una realtà molto particolare le modalità di lavoro possono essere molto diverse da quelle a cui si è soliti fare riferimento, dando luogo a costi molto differenti.

Le stime economiche sono state effettuate lungo un arco di tempo di venti anni, anche se molti impianti dureranno più a lungo.

Il TNPC (total net present cost) è il bilancio fra tutti i costi ed i ricavi durante il lasso di tempo del progetto. I ricavi vengono dalla vendita in rete di energia elettrica, mentre i costi sono dati dall'investimento iniziale, supposto concentrato nel primo anno, ed i costi da sostenere durante la vita del sistema, quali: acquisto energia elettrica dalla rete, acquisto carburante e manutenzione. Questo parametro è, per tutti gli scenari, sostanzialmente molto simile per la situazione di riferimento utilizzando i combustibili fossili e lo scenario basato sulle fonti rinnovabili.

Lo scenario 4a, grazie alle economie di scala, a fine progetto è più economico del sistema basato sui combustibili fossili.

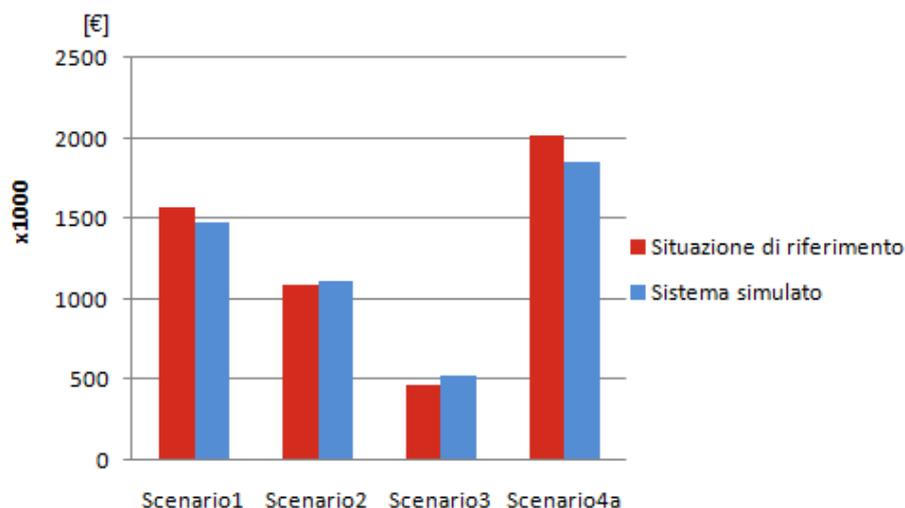


Figura 31: TNPC per le situazioni di riferimento e gli scenari utilizzando fonti fossili. Non vi è grande disparità fra le due situazioni.

Oltre ai vantaggi in termini di impatto sull'ambiente, la minor domanda di energia impatta fortemente sui costi, sia in termini di investimento iniziale che di costo di gestione.

Lo scenario 3, in cui la domanda energetica è quella a cui mira l'eco-villaggio, l'investimento iniziale incide fortemente sul TNPC, con un'incidenza circa del 50%.

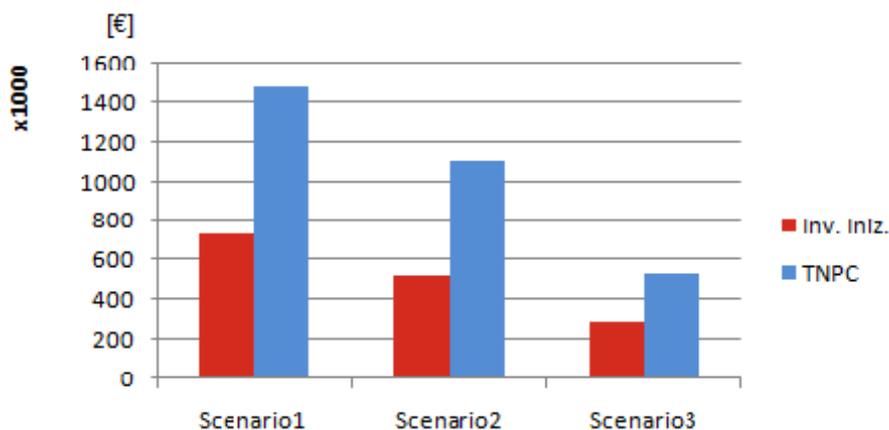


Figura 32: Investimento iniziale e TNPC dei tre scenari rappresentanti i diversi fabbisogni energetici dell'edificio esistente.

5.4.1 Dimensione degli insediamenti secondari

La decisione riguardante le dimensioni dei nuclei secondari dell'eco-villaggio ha ripercussioni sui sistemi energetici utilizzati e come prevedibile sui costi. Confrontando lo

scenario 4a in cui la produzione di energia è centralizzata, ed il caso in cui gli insediamenti secondari siano da cento o da dieci persone, si ottiene ciò che era preventivabile; ovvero i costi salgono con la diminuzione delle dimensioni dell'insediamento.

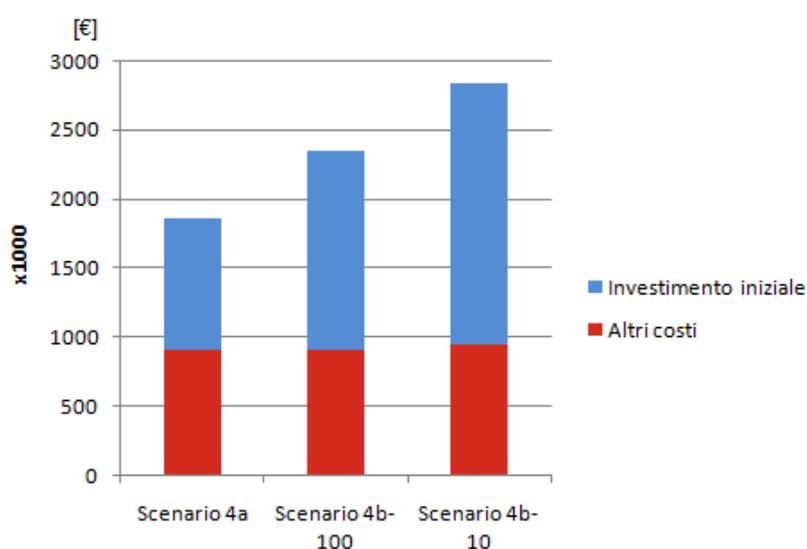


Figura 33: Investimento iniziale e TNPC per lo scenario a produzione di energia centralizzata (4a) e per i due con produzione de-localizzata (4b-100) e (4b-10).

L'aumento è causato sostanzialmente da due fattori: l'aumento di superficie fotovoltaica necessaria per raggiungere la parità con la rete in assenza di cogenerazione e la mancanza di economie di scala. A riprova di ciò si nota che l'aumento del TNPC è dato quasi interamente dai maggiori investimenti iniziali.

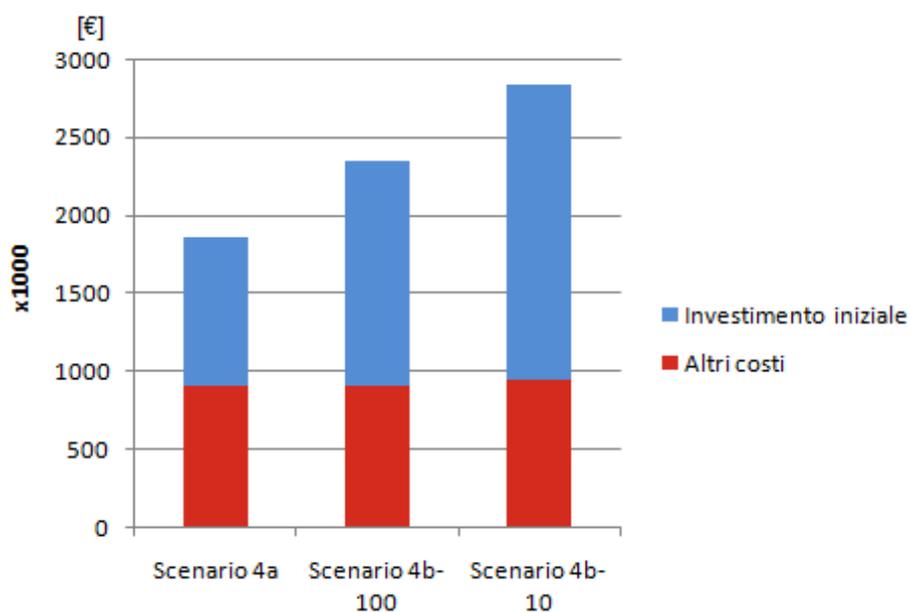


Figura 34: Composizione del TNPC dei tre scenari rappresentanti l'eco-villaggio completamente sviluppato con la presenza di mille abitanti. Si nota come l'aumento dei costi è determinato in massima parte dall'aumento dell'investimento iniziale.

5.4.2 Utilizzo di biomassa interna all'eco-villaggio

Come visto nel paragrafo riguardante le risorse energetiche disponibili l'eco-villaggio, l'eco-villaggio ha a disposizione fra i 32 880 e gli 82 220 kg di biomassa proveniente dai boschi di sua proprietà. Nel caso in cui questa risorsa venga sfruttata e l'eco-villaggio si incarichi direttamente della gestione della superficie boschiva attraverso il lavoro dei suoi abitanti, il costo di approvvigionamento del combustibile viene ridotto.

Nel caso dello scenario 3, per la stima meno conservativa della quantità di biomassa l'eco-villaggio risulta essere completamente indipendente per quanto riguarda l'approvvigionamento di biomassa. Negli altri casi la superficie boschiva attuale dell'eco-villaggio è ben lontana da azzerare l'acquisto di biomassa dall'esterno.

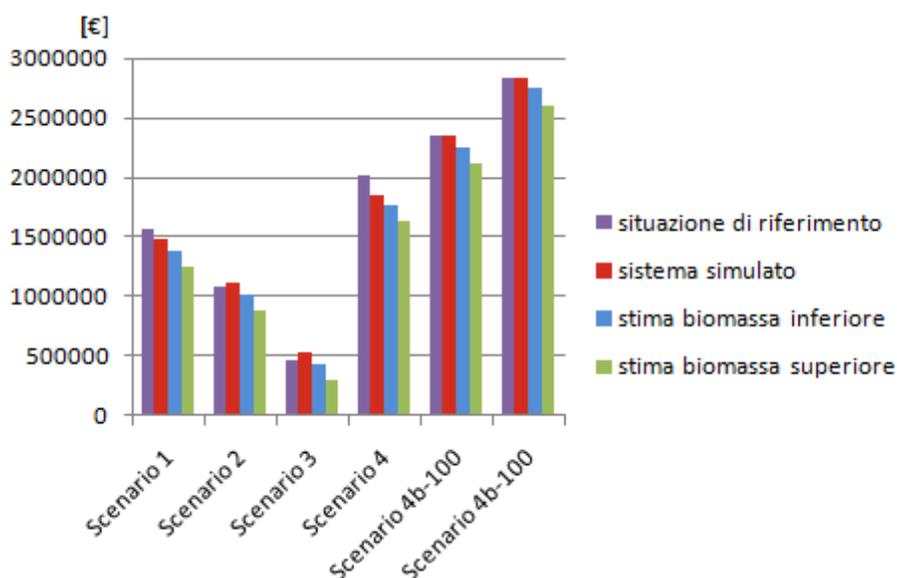


Figura 35: Riduzione dell'acquisto di biomassa utilizzando la risorsa ricavabile internamente all'eco-villaggio. In azzurro ed in verde sono rappresentate rispettivamente la stima più e meno conservativa della quantità di cippato ricavabile dalla superficie boschiva.

L'impatto dal punto di vista economico è rilevante per tutti gli scenari, con una diminuzione del TNPC in termini relativi ovviamente maggiore per lo scenario che presenta una domanda energetica minore, ovvero lo scenario 3.

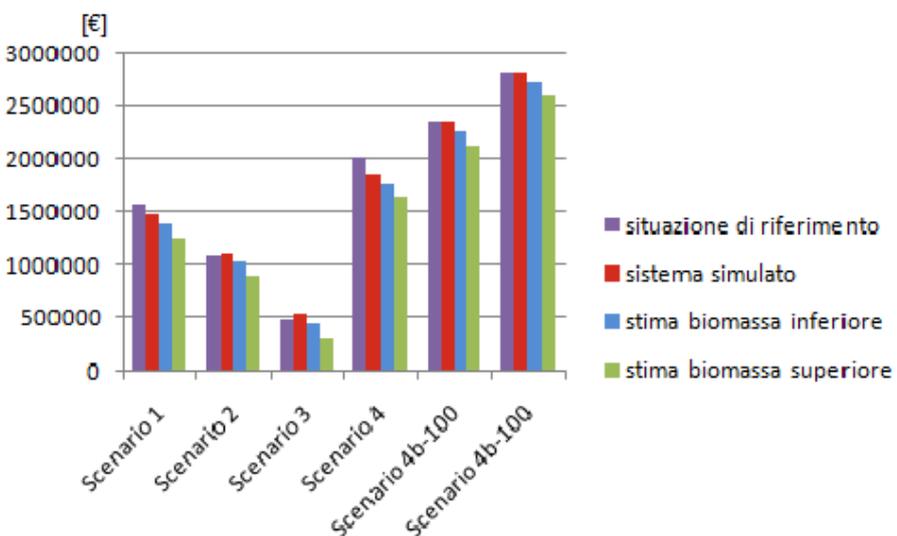


Figura 36: Valori del TNPC in base al tipo di fonte utilizzata. In viola è rappresentata la situazione di riferimento usano combustibili fossili, mentre in rosso il sistema basato su fonti rinnovabili. In azzurro e verde sono rappresentati i risparmi ottenibili utilizzando la biomassa interna all'eco-villaggio.

6 Conclusioni e sviluppi futuri

Questo lavoro di tesi è nato con l'intento specifico di acquisire delle conoscenze sulla possibilità di soddisfare il fabbisogno energetico dell'eco-villaggio di Lebensdorf mediante lo sfruttamento delle risorse rinnovabili presenti in loco. Allo stesso tempo molti risultati ottenuti possono essere considerati indicativamente validi per realtà simili.

I risultati ottenuti mettono in rilievo come, dal punto di vista economico, i sistemi energetici basati su fonti rinnovabili presentano costi totali lungo l'arco di vita del progetto paragonabili a quelli dei sistemi utilizzando solamente fonti fossili, risultando in molti casi anche lievemente inferiori. I sistemi a fonte rinnovabile sono caratterizzati da un maggior investimento iniziale, al quale seguono però minori costi di gestione.

Considerando il bilancio di CO₂ della biomassa come neutro durante il suo arco di vita, l'utilizzo di fonti rinnovabili permette di abbattere le emissioni in modo molto rilevante. La scelta di utilizzare un sistema di produzione di calore integrativo basato su fonti fossili, non permette all'eco-villaggio di avere un bilancio di anidride carbonica globale uguale a zero. Questo può essere raggiunto facilmente utilizzando un sistema integrativo anch'esso a biomassa.

L'idea dell'eco-villaggio di utilizzare la biomassa proveniente dai propri boschi è percorribile solo per lo scenario 3, il quale prevede un fabbisogno energetico "pro capite" fortemente ridotto rispetto la media nazionale, corrispondente a quello che l'eco-villaggio si pone come obiettivo. Grazie alla riduzione dei consumi è quindi possibile per Lebensdorf diventare "energeticamente indipendenti". Al contrario, con un livello di consumo energetico medio tedesco è necessario importare dall'esterno ingenti quantità di biomassa.

Per quanto riguarda la struttura finale dell'eco-villaggio sono state simulate tre configurazioni urbanistiche possibili, corrispondenti agli scenari 4a, 4b-100 e 4b-10. Le soluzioni sono via via meno centralizzate dal punto di vista dell'energia. In questi casi è risultato chiaro come i costi aumentino proporzionalmente con l'aumentare della dispersione delle scelte urbanistiche. In particolare, al diminuire delle dimensioni dei "quartieri" secondari aumenta l'investimento iniziale. Ciò è giustificabile dall'effetto scala agente sui prezzi, al quale per quanto riguarda gli insediamenti di dimensioni minori si aggiunge il venir meno della possibilità dell'utilizzo della cogenerazione.

Il paragone delle diverse tecnologie per la cogenerazione da biomassa ha portato ad una uniformità di prestazioni. E' molto interessante notare come la tecnologia che permette prestazioni economiche migliori non sia sempre quella con il rendimento elettrico maggiore. L'utilizzo dei prezzi di vendita effettivi sul mercato dell'energia elettrica, e non le tariffe incentivanti, mette in luce come spesso il cogeneratore più conveniente è quello che segue in maniera migliore la composizione della domanda energetica, dato che in questo modo viene privilegiato l'autoconsumo.

La generazione di energia elettrica da fonte rinnovabile più conveniente per tutti i casi esaminati è quella fotovoltaica. L'integrazione di questa con l'eolico è conveniente per valori di velocità del vento lievemente maggiori di quelli presi in esame. E' quindi evidente come una attenta campagna di misurazione del vento e di scelta della locazione è quantomai necessaria. L'integrazione del mix energetico mediante eolico permette inoltre di aumentare l'autoconsumo di energia e distribuire maggiormente nel tempo la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Gli elementi che introducono maggiori incertezze in questo lavoro sono i dati sui cogeneratori utilizzando biomassa. Dato che le tecnologie per la mini e micro-cogenerazione sono in fase di forte studio e sperimentazione, per molte di loro gli impianti effettivamente operanti sono molto pochi. Per questo è molto difficile stimare le prestazioni e soprattutto i costi dei vari cogeneratori. In particolare per molte tecnologie l'effetto scala sui prezzi è molto forte, facendo sì che si possa avere una stima effettiva sui costi dell'impianto solo in fase di effettiva progettazione dell'impianto.

Per gli stessi motivi vi è molta incertezza riguardo alle emissioni nocive da parte dei cogeneratori. Possono però esserci differenze piuttosto marcate, sia fra le varie tecnologie, sia che per le medesime tecnologie utilizzando configurazioni impiantistiche differenti.

Il lavoro esposto in queste pagine introduce studi futuri, fra i quali:

- approfondire l'utilizzo della cogenerazione da biomassa, studiando la possibile introduzione di stoccaggio termico di calore mediante serbatoi d'acqua: sia a livello giornaliero che su intervalli più lunghi;
- sviluppare un modello per il dimensionamento accurato del cogeneratore;
- determinare con maggior precisione la disponibilità delle fonti rinnovabili, attraverso campagne di rilevamento della radiazione solare e velocità e distribuzione del vento;
- impostare una filiera corta della biomassa;
- studiare e sviluppare soluzioni costruttive adatte al luogo ed agli obiettivi dell'eco-villaggio.

Riferimenti bibliografici

[1] <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>.

[2] Michael Roemer and Mary Kay Gugerty, Does economic growth reduce poverty?, Harvard Institute for International Development, March 1997.

- [3] Robert Costanza, Carol Francob, Philip Lawnc, John Talberthd, Tim Jacksone, Camille Aylmerf, Ecological Economics Volume 93, pag. 57–68. September 2013.
- [4] <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/statistical-review-1951-2011.html>
- [5] Energy – Consumption by fuel, 1965–2008).
- [6] Statistical Review of World Energy 2009, BP. 31 July 2006. Retrieved 24 October 2009
- [7] http://www.lescienze.it/news/2012/02/07/news/petrolio_il_punto_di_svolta_alle_nostre_spalle-834942
- [8] R.W. Bentley, Energy Policy 30, pag.189–205, 2002.
- [9] US Energy Information Administration: Table 5. World natural gas production by region and country, 2005-2030 Retrieved 7 December 2008.
- [10] http://ec.europa.eu/economy_finance/publications/occasional_paper/2013/pdf/ocp145_en.pdf.
- [11] IPCC Fifth Assessment Report.
- [12] Goldsmith, Edward, R. Allen, M. Allaby, J. Davoll, and S. Lawrence, Blueprint for Survival, Houghton Mifflin Co., Boston, 1972.
- [13] Brown, Lester R. (1981). Building a Sustainable Society. W.W. Norton, New York
- [14] http://europa.eu/legislation_summaries/environment/sustainable_development/index_it.html.
- [15] "Suddeutsche Zeitung" ,20 Ottobre 2011,
- [16] Dr. Pascal Bader,Sostenibilità-dalla teoria alla pratica, Goethe-Institut, Marzo 2008.
- [17] Matthias Weber and Gustavo Fahrenkrog, Susteinability and technology ,Rapport EUR 16457 - Paper presented for "Community policy for Research and Sustainable Development",1996.
- [18] Realizing Utopia, pag.58, Rachel carson Center, Perspectives, Munich, 2012
- [19] Matthias Weber andGustavo Fahrenkrog, Susteinability and technology, Rapport EUR 16457 - Paper presented for "Community policy for Research and Sustainable Development", pag. 16,1996.

- [20] Bill Metcalf - Realizing Utopia, Charson Center, Munich 2012.
- [21] <http://gen.ecovillage.org/>
- [22] http://gen.ecovillage.org/index_body.html
- [23] http://it.wikipedia.org/wiki/Impronta_ecologica.
- [24] Ecovillage Sieben Linden with straw bale construction, Freundskreis Oekodorf e.v.
- [25] Y.Cengel, M.Boles. Thermodynamics. An Engineering Approach.
- [26] Decentralized energy system, economic and scientific policy department, Brussels, © European Parliament, 2010.
- [27] Democratizing the Electricity System A Vision for the 21st Century Grid, John Farrell, June 2011, <http://www.ilsr.org/>
- [28] EEA Report No 6/2013.
- [29] Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale, FEASR, SEC 1153, 2011
- [30] Prof. Marco Marengo, Valorizzazione del calore di scarto mediante ciclo ORC di piccola taglia, Climaenergy, 2011.
- [31] <http://www.retscreen.net/>
- [32] <http://globalatlas.irena.org/>
- [33] RETScreen database
- [34] <http://www.fiper.it/it/chi-siamo/filiera-legno-energia.html>
- [35] Freundskreis Oekodorf e.V. and Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. (FASBA), Submission to the World Habitat Awards 2006 Building and Social Housing Foundation

A Appendice

A.1 Scenario 1

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	Olio comb. [l/a]	Cippato [kg/a]
ORC	45	180	538 000	1 498 512	30 958	315 368
EFGT	60	120	476 000	1 425 845	33 072	324 065
MCI	80	40	440 000	1 443 182	28 307	368 890
Sirling	60	160	511 657	1 446 525	35 233	307 066
Gass+Stirl.	65	150	514 585	1 485 990	40 849	290 615

Tabella 5: Configurazioni scenario 1 per la parità annuale.

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	Olio comb. [l/a]	Cippato [kg/a]
ORC	45	180	538 000	1 498 512	30 958	315 368
EFGT	60	180	568 000	1 472 587	33 072	324 065
Gass+MCI	80	180	627 000	1 511 254	28 307	368 890
Sirling.	65	180	554 629	1 471 562	31 934	320 495
Gass+Stirl.	60	180	574 319	1 465 439	36 807	305 625

Tabella 6: Configurazioni scenario 1 per la parità estiva.

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	Olio comb. [l/a]	Cippato [kg/a]
ORC	40	180	688 820	1 484 553	20 620	232 580
EFGT	60	180	735 320	1 479 875	22 517	237 520
Gass+MCI	75	180	784 820	1 492 309	24 963	225 486
Sirling.	65	180	685 000	1 483 754	28 046	214 732
Gass+Stirl.	60	180	734 749	1 510 011	25 031	239 665

Tabella 7: Cinfigurazioni scenario 1 per parità estiva con impianto solare termico.

A.2 Scenario 2

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	Olio comb. [l/a]	Cippato [kg/a]
ORC	45	0	267 500	1 106 984	31 163	310 387
Gass+IFGT	60	0	286 000	1 105 644	31 675	328 890
MCI	80	0	360 000	1 110037	29 754	361 943
Sirling.	65	0	391 429	1 137 502	31 934	320 025
Gass+Stirl.	60	0	391 266	1 399 012	40 368	290 0781

Tabella 8: Configurazione scenario 2 per parità annuale.

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	Olio comb. [l/a]	Cippato [kg/a]
ORC	45	60	375 500	1 150 452	31 163	310 387
IFGT	60	60	394 000	1 153 285	31 675	328 890
Gass+MCI	80	60	468 000	1 221 907	29 754	361 943
Sirling.	65	60	391 429	1 137 502	31 934	320 025
Gass+Stirl.	60	60	391 266	1 399 012	40 368	290 0781

Tabella 9: Configurazione scenario 2 per parità estiva.

Configurazione necessaria a raggiungere la parità fra energia elettrica acquistata dalla rete e prodotta in loco, per i diversi cogeneratori, corrisponde ai seguenti valori:

Dimensionando invece il parco fotovoltaico, per raggiungere quella che è stata definita la *parità estiva*, la configurazione per ogni cogeneratore risulta essere:

Inserendo nel sistema energetico l'impianto solare termico precedentemente dimensionato, e volendo ottenere la *parità estiva*, il sistema cambia ulteriormente:

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	Olio comb. [l/a]	Cippato [kg/a]
ORC	40	60	525 620	1 110 166	21 607	223 517
IFGT	60	60	572 120	1 133 535	22 578	236 906
Gass+MCI	75	60	784 120	1 270 368	23 740	235 271
Sirling.	65	60	538 406	1 114 802	23 550	219 025
Gass+Stirl.	60	60	531 679	1 054 742	25 226	233 274

Tabella 10: Cinfigurazioni scenario 2 per parità estiva con impianto solare termico

A.3 Scenario 3

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	Olio comb. [l/a]	Cippato [kg/a]
Gass+MCI	30	40	302 544	524 736	7 479	83 008
Sirling.	20	80	294 830	529 922	7 951	80 595

Tabella 11: Configurazioni scenario 3 per la parità annuale.

	Cogen. [kW]	PV [kWp]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	Olio comb. [l/anno]	Cippato [kg/a]
Gass+MCI	30	60	316 544	550 942	7 555	91 238
Sirling.	20	60	318 830	541 749	7 951	80 595

Tabella 12: Cifigurazioni scenario 3 per la parità estiva.

A.4 Scenario 4a

	Cog. [kW]	PV [kWp]	Sol. ter. [m^2]	Cap. in. [€]	NPC [€]	Ol.com [l/a]	Cipp. [kg/a]
ORC	40	380	355	952 220	1 968 727	24 679	2316 697
IFGT	60	360	355	972 344	1 919 297	22 636	237 188
Gass+MCI	75	320	355	943 853	1 860 168	20 863	240 175
Sirling	65	380	355	998 749	1 864864	284 098	239 103

Tabella 13: Configurazioni scenario 4a per la parità annule. In questo caso il raggiungimento della parità annuale richiede una superficie fotovoltaica maggiori rispetto a quella estiva.

A.5 Scenario 4b

	Cog. [kW]	PV [kWp]	Sol. term. [m^2]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	G.N.[Sm ³ /a]	Cipp. [kg/a]
Gass+MCI	15	35	32.4	194 000	260 566	3 652	17 471
Stirling	5	40	32.4	178 482	263 570	2 520	18 867

Tabella 14: Configurazioni scenario 4b-100 per la parità estiva.

	PV [kWp]	Solar. term. [m^2]	Cap. iniz. [€]	NPC [€]	Cipp. [kg/a]
Caldaia biomassa	50	32.4	270 000	360 964	20 038

Tabella 15: Configurazioni scenario 4b-10 per la parità estiva.