

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Dipartimento di Ingegneria Industriale

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ENERGETICA

Tesi di Laurea Magistrale in

Sistemi Energetici Avanzati e Cogenerazione

**‘ANALISI DELL’IMPATTO DELLA DIFFUSIONE DI TECNOLOGIE
INNOVATIVE DISTRIBUITE PER LA GENERAZIONE ELETTRICA SU
PICCOLE ISOLE’**

CANDIDATO
Sofia Pavanello

RELATORE
Prof. Ing. Francesco Melino

CORRELATORE
Ing. Francesco Baldi

Sessione V

Indice

ABSTRACT	3
ABBREVIAZIONI.....	4
INTRODUZIONE	5
CAPITOLO 1 – Fabbisogni energetici mondiali e prospettive europee al 2050.....	7
CAPITOLO 2 – Smart Grid	12
CAPITOLO 3 – Progetto piccole isole	16
CAPITOLO 4 – Modello di calcolo.....	20
4.1 – EnergyScope TD.....	21
4.2 – Modello base per la realtà isolana	22
4.3 – Dati indipendenti dai Typical Days	29
4.4 – Dati dipendenti dai Typical Days	31
4.5 – Aggiunta del dissalatore al modello	39
4.6 – Aggiunta della mobilità al modello	41
CAPITOLO 5 – Risultati.....	45
5.1 – Caso Test: verifica del modello	45
5.2 – Prima parte (modello base).....	45
5.3 - Seconda parte (con dissalatore).....	53
5.4 - Terza parte (con mobilità)	62

CAPITOLO 6 – Analisi dei risultati	72
6.1 – Metodologia utilizzata	73
6.2 – Risultati ottenuti.....	74
CAPITOLO 7 – Conclusioni.....	76
APPENDICE – Dati relativi agli andamenti orari dei Typical Days.....	79
BIBLIOGRAFIA.....	97

ABSTRACT

Il mio lavoro di tesi è inserito nel progetto denominato *Analisi energetica dei contesti isolani non interconnessi e individuazione di nuove tecnologie per l'efficientamento energetico degli utenti finali* [1]. Mi sono occupata di creare un modello matematico del sistema energetico dell'isola di Lampedusa (risorse energetiche, tecnologie di produzione, serbatoi di stoccaggio, perdite, consumi annuali) per studiare come modificare, attraverso la diffusione di tecnologie innovative distribuite, l'attuale gestione energetica.

Il modello matematico si è basato sull'ottimizzazione lineare, adattando un software già esistente, *EnergyScope TD* [2]. Lampedusa è stata presa come isola campione per svolgere l'analisi, in quanto è una tipica isola mediterranea ed ENEA è qui impegnata in lavori di ricerca su questo tema. Lo scopo ultimo dello studio è quello di capire come ottimizzare il sistema di produzione energetica, nell'ottica di una futura progressiva decarbonizzazione dell'isola, al contempo riducendo i costi di esercizio. La situazione degli attuali consumi energetici dell'isola è una riproduzione in scala ridotta di come sono evolute le richieste energetiche anche a livello nazionale.

La riduzione delle emissioni di anidride carbonica è un obiettivo perseguito a livello mondiale e viene associato alla creazione di impianti di produzione di energia rinnovabile, i cui costi sono un elemento condizionante del processo di decarbonizzazione. Nell'ambito di un modello isolano i costi di trasporto del combustibile sono un elemento che pesa a favore di una produzione energetica rinnovabile in loco, perché incidono negativamente sul costo di esercizio attuale del sistema energetico.

Esaminando la situazione attuale dell'isola emerge come investendo in nuovi impianti e sulle fonti rinnovabili, si otterrebbe una riduzione importante dei costi e delle emissioni annue di anidride carbonica, questo focalizzandosi sulla riduzione del costo energetico totale annuo e non sulle emissioni.

ABBREVIAZIONI

TD	Typical Day	GW	Giga Watt
RO	Reverse Osmosis	GWh	Giga Watt Hour
MED	Multi-Effect Distillation	H	Hour
MSF	Multi-Stage Flash	CHF	Franco svizzero
DHW	Domestic Hot Water	ktCO _{2eq}	Chilo tonnellate di CO ₂ equivalente
BEV	Battery Electric Vehicle	pkm	Passeggeri per chilometro
HEV	Hybrid Electric Vehicle	% _{net loss}	Percentuale di perdite di rete
Btu	British thermal unit	F _{max%}	Percentuale massima di utilizzo
ppm	Parts per million	F _{min%}	Percentuale minima di utilizzo
t _{op}	Time operative	U	Trasmittanza [W/m ² K]
GWP	Global Warming Potential	\dot{m}	Portata in massa [kg/s]
GWP _{constr}	Global Warming Potential construction	ACS	Acqua Calda Sanitaria
GWP _{op}	Global Warming Potential operative	GG	Gradi Giorno
TECH	Technology	F	Potenza dimensionata
TECH OF	Technology of End use type	c _{p,t}	Capacità produttiva oraria
EUT		η	Rendimento
S	Storage	C _{maint}	Costo mantenimento
TS	Thermal Storage	C _{op}	Costo operativo
TS OF DEC	Thermal Storage of		
TECH	Decentralized Technology	C _{inv}	Costo d'investimento
RES	Resources	A _{ST}	Area Solar Thermal
STO	Storage	A _{p_v,roof}	Area PV sui tetti
STO _{out}	Storage output	N _{tur,m}	Numero turisti al mese
STO _{in}	Storage input	N _{gg,m}	Numero giorni al mese
STO _{level}	Storage level	WASTE	Termovalorizzatore
BIOW TO	Bio-waste To Fuel	TO	
FUEL		ENERGY	
W TO	Waste To Fuel		
FUEL			
EUT	End Use Type		
T H TD	Time - Hour - TypicalDays		

INTRODUZIONE

L'emergenza globale dovuta al surriscaldamento terrestre è argomento di attualità e di discussione nella comunità scientifica. Il costo del cambiamento climatico in termini di vite umane, danni economici e ambientali, è diventato esorbitante e spinge tutti i governi a ricercare delle soluzioni per ridurre la produzione di gas serra.

L'ottimizzazione di un sistema di produzione energetico è il primo passo per ridurre il fabbisogno energetico di un qualunque sistema energetico (inteso sia come comunità isolata che come grande nazione) per perseguire una politica di eco sostenibilità economica/ambientale in grado di ridurre il consumo di combustibili fossili e di conseguenza le emissioni di gas serra. Pur ottimizzando al massimo i sistemi di gestione energetica, la riduzione dei consumi che si può ottenere non è sufficiente per ridurre significativamente l'emissione di gas serra, perché il consumo energetico pro-capite dei paesi sviluppati è così elevato che una produzione basata solo sulle fonti rinnovabili, attualmente disponibili anche se utilizzate su larga scala, non è sufficiente a coprire la domanda. Quindi una quota di domanda energetica non coperta dal rinnovabile deve essere ancora garantita da sistemi di produzione basati su combustibili fossili (o sull'energia nucleare).

I limiti della produzione energetica da fonti rinnovabili si fanno sentire maggiormente, fino a diventare elementi critici del sistema, soprattutto nelle piccole reti di distribuzione, quali quelle delle isole, che sono scollegate dalla rete elettrica continentale. Le fonti rinnovabili non possono da sole garantire una copertura della domanda energetica perché la produzione è variabile nel tempo, non è programmabile e quindi non può assicurare il soddisfacimento delle richieste, che anch'esse sono soggette a possibili fluttuazioni importanti a seconda delle esigenze delle utenze finali.

Al contempo nelle isole l'approvvigionamento del combustibile fossile è soggetto a molteplici variabili, che sono causa di una minore affidabilità dei rifornimenti e un aumento del costo unitario. Le variabili sono di carattere geografico o geopolitico. Questo suggerisce l'opportunità di utilizzare le fonti rinnovabili accanto a quelle tradizionali che sono necessarie per garantire la continuità del servizio. Un sistema ibrido che sfrutta la sinergia tra fonti rinnovabili e non, è in teoria la combinazione di produzione energetica migliore per minimizzare i costi di esercizio e le emissioni, come descritto in [3] per una rete completamente autonoma come quella presente su un'isola.

Per tutti questi motivi, studi sulla gestione dell'energia nelle isole sono argomento di elevato interesse negli ultimi decenni, in quanto l'isola si presta per effettuare delle analisi di sistema e dei modelli matematici che poi sono scalabili per ambiti più grandi. In sostanza l'isola si presta come laboratorio reale per simulare una gestione efficiente dell'energia. In aggiunta a ciò, su un'isola, soprattutto se di piccole dimensioni e non localizzata in un'area geografica particolarmente piovosa, occorre considerare, come importante variabile del sistema, la produzione di acqua dolce. Essendo un problema comunque molto diffuso anche in paesi non insulari che si affacciano sul mare, sono stati sviluppati numerosi modelli di impianti di desalinizzazione, basati sull'energia elettrica e termica in diverse combinazioni a seconda del processo utilizzato.

Il modello dell'isola di Lampedusa riassumendo, oltre alle esigenze energetiche presenti sulle isole oggetto dei lavori già presentati in letteratura, e cioè soddisfacimento delle richieste di base di energia elettrica e termica per uso abitativo, di raffrescamento, di riscaldamento, di approvvigionamento di acqua potabile dal dissalatore, aggiunge la dipendenza di esse dalla variabile percentuale di presenze turistiche nel corso dell'anno, lo smaltimento dei rifiuti organici e non, e la quota di energia necessaria per i trasporti. Dati gli elevati standard abitativi per l'attività turistica e le strutture ricettive del terziario presenti, i consumi per il raffrescamento e il riscaldamento, nonché per la mobilità, presentano delle peculiarità importanti, in quanto vanno a variare notevolmente le richieste energetiche durante l'anno, sicché occorre dimensionare il sistema energetico locale in modo tale da garantire sempre la copertura della domanda.

L'obiettivo della tesi è analizzare, dopo una ricerca dei dati quanto più accurata possibile dei consumi reali di Lampedusa, come sia possibile produrre l'energia necessaria all'isola, minimizzando i costi e le emissioni di gas serra, tenendo anche in conto degli impianti già presenti. Il sistema attuale di produzione energetica sull'isola vede una centrale termoelettrica a gasolio, costituita da 8 motori diesel per una potenza complessiva di 22 MW, affiancata da pochi impianti fotovoltaici privati. Quindi in questa situazione c'è un margine importante di implementazione delle fonti rinnovabili, fondamentale per ridurre le emissioni.

Il lavoro è stato sviluppato per gradi: si è partiti valutando lo stato dell'arte riguardo agli obiettivi stabiliti a livello europeo per ottenere una decarbonizzazione entro il 2050, fino a giungere all'ottimizzazione del sistema energetico della nostra isola presa come campione. In particolare, questo testo si articola nei seguenti capitoli:

1. panorama internazionale dei consumi, con particolare attenzione agli obiettivi dei paesi europei riguardo alla lotta al cambiamento climatico;
2. smart grid, o rete intelligente, rete virtuale di gestione dell'energia, tale da poter minimizzare i costi e/o le emissioni di produzione e distribuzione energetica;
3. progetto di smart grid applicato a una realtà isolana;
4. descrizione del modello lineare utilizzato per valutare come ottimizzare la produzione energetica minimizzando costi ed emissioni sull'isola (Lampedusa);
5. presentazione dei risultati ottenuti durante le simulazioni;
6. analisi dei risultati;
7. conclusioni sul lavoro svolto.

CAPITOLO 1 – Fabbisogni energetici mondiali e prospettive europee al 2050

I fabbisogni energetici globali sono stati incrementati a partire dalla rivoluzione industriale nel Regno Unito 1760 e sono andati crescendo per la diffusione dei processi di industrializzazione, che hanno interessato via via i principali paesi europei, poi i grandi paesi extra europei (Russia, Stati Uniti, Giappone) fino a diventare un fenomeno mondiale, con l'eccezione di un ristretto gruppo di paesi nel continente africano e in sud America.

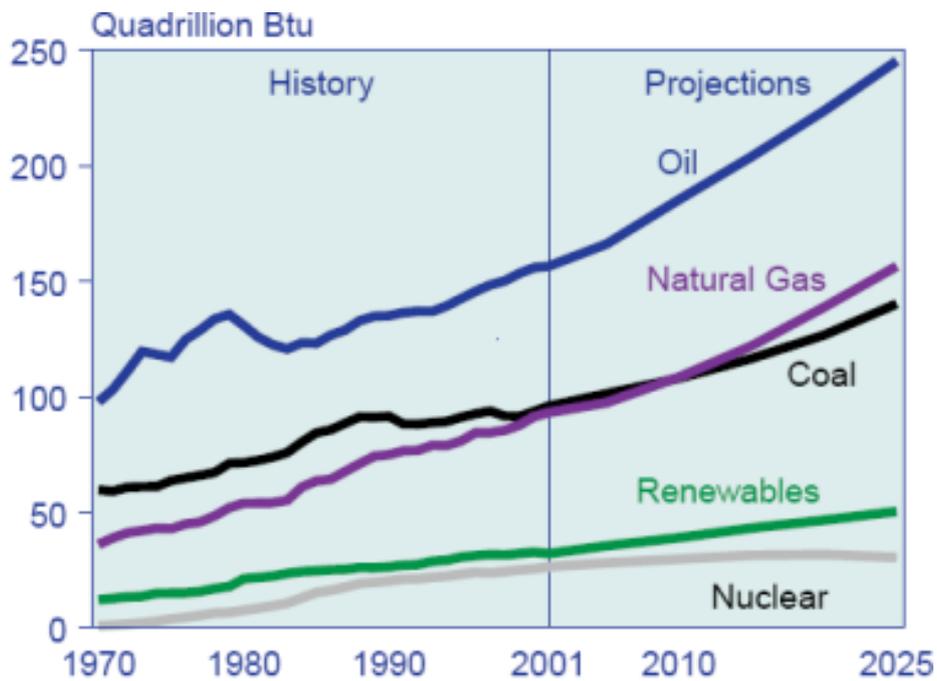


Figura 1: Consumo mondiale di energia, 1970-2025. Fonte: International Energy Outlook 2004

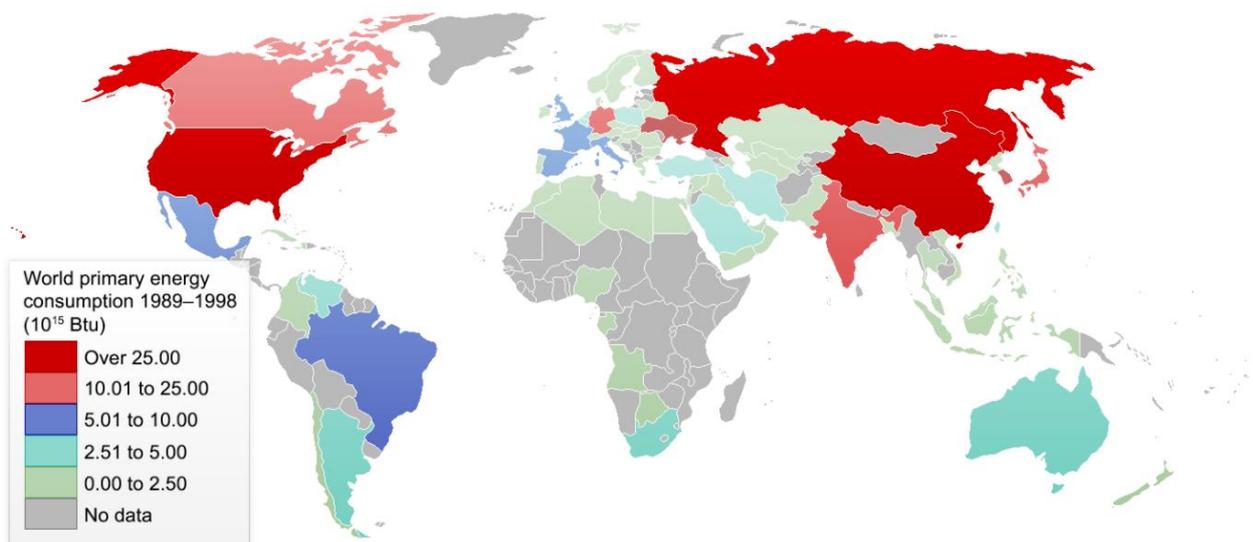


Figura 2: Consumo di energia primaria nel mondo, 1989-1998. [Wikipedia]

Parallelemente alla diffusione dell'industrializzazione c'è stato uno sviluppo demografico che soprattutto negli ultimi cento anni ha contribuito in maniera importante ad aumentare il fabbisogno energetico mondiale. Attualmente la popolazione mondiale è stimata pari a 7,834 miliardi. Come emerge dalla Tabella 1, l'incremento della popolazione negli ultimi 70 anni è stato pari al 300%.

<i>Anno</i>	<i>Mondo</i>	<i>Africa</i>	<i>Asia</i>	<i>Europa</i>	<i>Sud America</i>	<i>Nord America</i>	<i>Oceania</i>
<i>1800</i>	978	107	635	203	24	7	2
<i>1900</i>	1 650	133	947	408	74	82	6
<i>1950</i>	2 519	221	1 398	547	167	172	12,8
<i>2000</i>	6 070	796	3 670	728	520	316	31,0

Tabella 1: Popolazione mondiale suddivisa per continente negli ultimi due secoli.

All'aumento della domanda energetica, fino agli anni immediatamente seguenti la Seconda guerra mondiale si è risposto con un costante incremento dell'attività estrattiva di combustibile fossile. Con l'avvento dell'era dell'energia nucleare (1951 prima centrale elettronucleare) alle fonti tradizionali si è aggiunta l'energia prodotta dalla fissione nucleare. Nonostante i progressi fatti in questo settore la produzione nucleare ha avuto molti problemi nella sua diffusione dovuti al rischio elevato di incidenti catastrofici (1979 Three Mile Island, 1986 Chernobyl, 2011 Fukushima), il problema dello smaltimento delle scorie, il costo di investimento e mantenimento delle centrali, così che ancora tutt'oggi la quota coperta dell'energia nucleare resta marginale, essendo stata negli ultimi anni ulteriormente ridotta anche in conseguenza del diffondersi di impianti da fonte rinnovabile.

Ovviamente l'uso di combustibili fossili ha spinto per molti secoli un comparto industriale, quello dell'industria estrattiva, che è stato la base per lo sviluppo economico di molti paesi, possiamo citare l'esempio dei paesi produttori di petrolio, risultando un volano fondamentale per tutto lo sviluppo industriale, ma ha ovviamente comportato un progressivo incremento delle emissioni in atmosfera dei gas di scarico della combustione (anidride carbonica, ossidi di azoto e altri).

L'immissione in atmosfera di queste sostanze inquinanti ha determinato localmente effetti dannosi sulla popolazione ma anche sul territorio, inteso come flora e fauna ma anche falde acquifere e terreni agricoli. In un primo tempo questi effetti erano gli unici considerati come nocivi e hanno attirato l'attenzione delle comunità politiche nazionali, un esempio è stato la decarbonizzazione portata avanti dal governo inglese tra gli anni '50 e il 2000 per ridurre il livello di smog nelle aree industriali del paese e a Londra.

Dagli anni '80 sono iniziate le prime osservazioni scientifiche sulla variazione degli equilibri degli ecosistemi dovuti ad un aumento della temperatura globale del pianeta e all'aumento

di alcuni gas in atmosfera, principalmente CO₂ (Figura 3), riconosciuti essere i responsabili dell'effetto di riscaldamento, detto comunemente effetto serra.

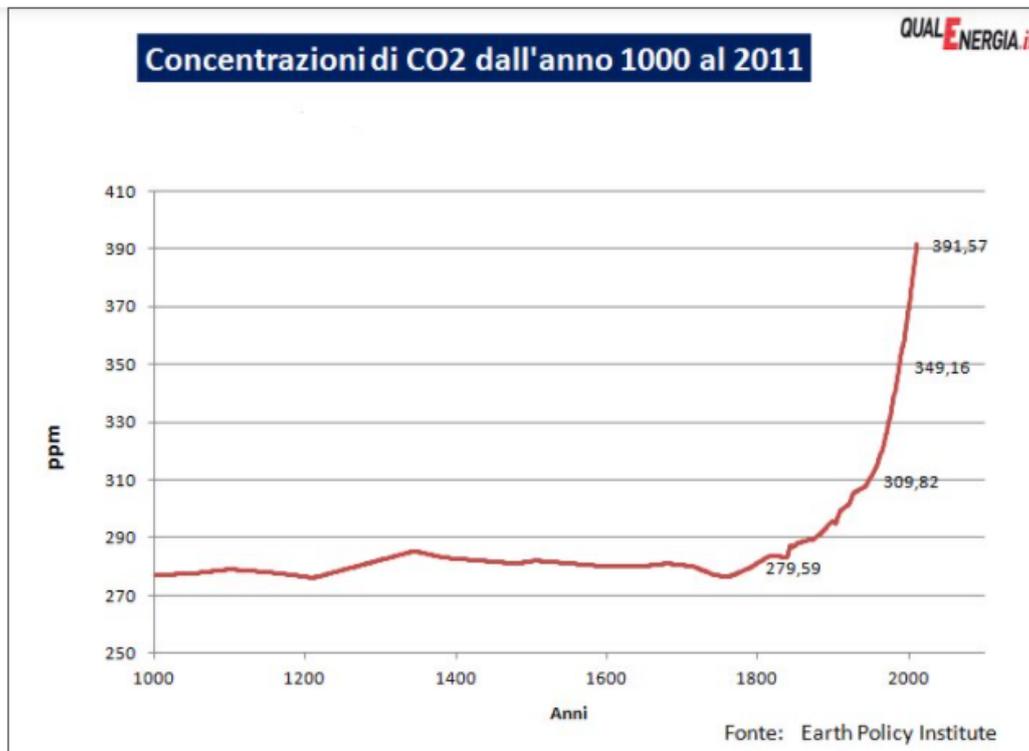


Figura 3: Concentrazione di anidride carbonica in atmosfera dal 1000 al 2011.

Con l'espressione *effetto serra* si intende quel fenomeno per cui le radiazioni solari infrarossi una volta entrate nell'atmosfera terrestre rimangono imprigionate rimbalzando tra la superficie terrestre e lo strato di gas presente nella prima parte dell'atmosfera, andando così ad aumentare la temperatura terrestre (Figura 4Figura 5).



Figura 4: Raffigurazione dell'effetto serra, immagine presa dal web.

Questo fenomeno è stato inizialmente fondamentale per lo sviluppo delle prime forme di vita sulla Terra, ma l'attuale aumento della concentrazione dei gas responsabili di questo effetto, aumentando la temperatura, danneggia l'equilibrio degli ecosistemi esistenti. Un esempio eclatante è quello della calotta polare artica che si sta sciogliendo minacciando di estinzione di numerose specie animali che vivono in quell'ecosistema. Un'altra conseguenza altrettanto grande per la vita sul pianeta, in particolare per l'essere umano, è l'innalzamento del livello degli oceani che ne consegue, essendo il 90% della popolazione collocato in aree che rischiano di essere inondate nei prossimi secoli.

Correlati alla variazione della temperatura della Terra (Figura 5) è ormai enormemente accertato l'effetto sull'intensità, la prevalenza, la diffusione delle precipitazioni con effetti che vanno dalle inondazioni periodiche di vasti territori agricoli e la desertificazione per l'assenza di piogge per altrettante aree, con complessiva riduzione della quota di terreni disponibili per le attività umane.

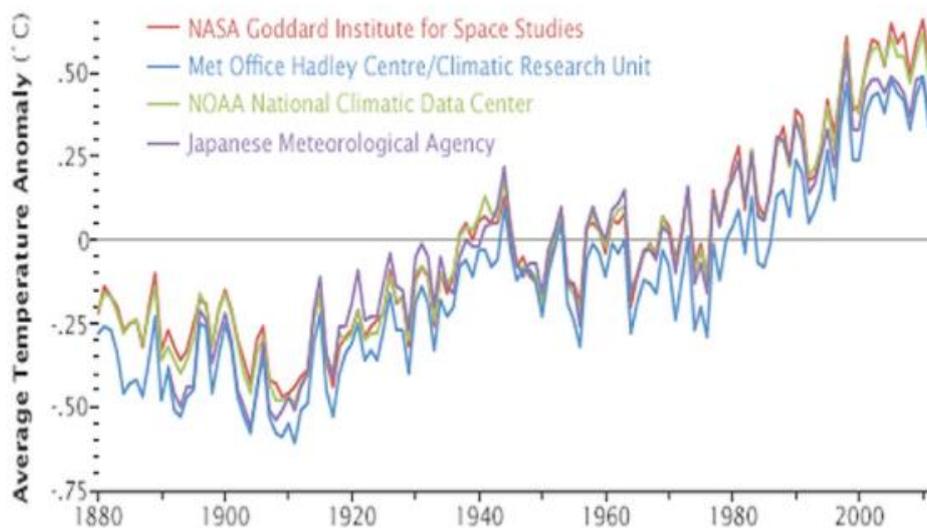


Figura 5: Andamento della variabilità della temperatura espressa come varianza da quella media mondiale secondo la NASA, Met Office Hadley Centre, NOAA e Japanese Meteorological Agency.

Dagli anni '90, in Europa e in Italia sono stati introdotti leggi e decreti allo scopo di limitare il consumo energetico e ridurre il rilascio in atmosfera degli inquinanti derivati dal consumo di combustibili fossili, in primis l'anidride carbonica.

Nel dicembre 1990 l'Assemblea Generale dell'ONU approvò l'istituzione di un Comitato Intergovernativo con il compito di organizzare una Convenzione di Programma sul Cambiamento Climatico. Solo nel giugno del 1992 si svolse il primo summit mondiale sul clima a Rio de Janeiro dove si discusse tra gli argomenti quello del cambiamento climatico, correlando l'aumento dell'anidride carbonica (CO₂) in atmosfera con l'effetto serra.

La tappa successiva fu la firma del Protocollo di Kyoto del 1997, sottoscritto da 180 paesi, per ridurre i consumi energetici, le emissioni di gas serra e l'inquinamento.

Tappe successive furono la Conferenza di Copenaghen (2009), la Conferenza di Cancun (2010), quella di Durban (2011) e quella di Parigi (2015) dove 195 paesi aderenti all'ONU si sono impegnati, su base volontaria, a adottare misure restrittive sulle emissioni allo scopo di limitare l'aumento della temperatura di 1,5 °C, dagli attuali valori. Secondo alcuni scienziati l'obiettivo di un aumento contenuto in +1,5 °C, richiederà l'inizio della fase "delle emissioni zero" a partire da un momento compreso tra il 2030 e il 2050.

A seguito dell'Accordo sono stati determinati i nuovi obiettivi chiave dell'Unione Europea per i 2020, il 2030 e il 2050.

Per il 2020: Obiettivo 20-20-20

- -20% emissioni di gas serra rispetto al 1990;
- -20% dei consumi energetici rispetto al 1990;
- +20% del fabbisogno energetico coperto da fonti rinnovabili.

Per l'anno 2030: Obiettivo Quadro per il clima e l'energia

- -40% emissioni di gas serra rispetto al 1990;
- -27% dei consumi energetici rispetto al 1990, incrementando l'efficienza energetica;
- +27% del fabbisogno energetico coperto da fonti rinnovabili.

Entro il 2050: Obiettivo "Economia a Basse Emissioni di Carbonio"

- -80% emissioni di gas serra rispetto al 1990, da ottenere puntando su efficienza energetica e fonti rinnovabili.

Per raggiungere tali obiettivi bisogna puntare sulla generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili, le quali per definizione sono non programmabili inoltre creano dei disturbi nella rete di distribuzione. Quindi, bisogna prevedere un sistema di gestione e controllo in grado di riequilibrare il sistema energetico ogni volta che subisce una perturbazione, da qui è nata l'idea della smart grid per gestire una produzione energetica non più centralizzata in poche centrali di grosse dimensioni ma sempre più orientata verso molteplici sistemi di produzione distribuiti sul territorio, per lo più basati su fonti rinnovabili.

Un ulteriore aspetto del problema, per cui si giustifica il ricorso a sistemi di controllo digitali, è che la presenza di fonti rinnovabili distribuite sul territorio si associa alla presenza di produttori privati di energia che nello stesso tempo possono essere utilizzatori almeno in parte dell'energia prodotta. Questo fatto complica enormemente la gestione perché, da una rete centralizzata composta da uno o più centrali di produzione e una miriade di consumatori, si passa ad una rete composita dove devono convivere accanto alle centrali e ai grandi sistemi di distribuzione anche diversi utenti che possono essere produttori e/o consumatori.

CAPITOLO 2 – Smart Grid

Con la realizzazione delle prime centrali elettriche nel 1880 iniziò a svilupparsi in tutto il mondo una serie di reti di distribuzione dell'elettricità, dapprima a livello locale collegate ad una singola unità di produzione, poi su territori più ampi fino a giungere alla dimensione nazionale. In questa fase di evoluzione dell'energia elettrica, sul territorio erano presenti diversi sistemi energetici locali basati sulla combustione di materiale organico e inorganico per produrre calore, sfruttando il moto dell'acqua e del vento per la produzione di energia meccanica, sulla forza muscolare animale e umana per i restanti impieghi. L'avvento dell'elettricità ha sostituito progressivamente la fonte energetica di molte attività, solo nei trasporti con l'avvento dei motori a combustione interna si è affermato il combustibile fossile come fonte primaria di energia.

Le grandi reti nazionali che si sono sviluppate già a partire dal '900 erano basate su un numero elevato, ma limitato, di centrali elettriche tra loro interconnesse, e una capillare rete di distribuzione agli utilizzatori finali, istituzionali e privati. Oggi a livello europeo possiamo dire che esiste un'unica rete di distribuzione continentale seppur suddivisa tra diversi operatori. La tecnologia alla base della rete elettrica è evoluta nel tempo ma sostanzialmente è rimasta ancorata allo schema centrale di produzione, rete di distribuzione e utenti finali, fino a tempi relativamente recenti. La realtà attuale è in costante evoluzione e si sta spostando verso una rete di produzione elettrica distribuita e quindi a una rete elettrica molto più complessa, dove accanto a grosse centrali elettriche convivono numerosissime entità di produzione distribuite sul territorio. L'ingresso delle tecnologie digitali ha favorito questa integrazione e sta offrendo delle possibilità di riorganizzazione della rete fino a qualche tempo fa non realizzabili.

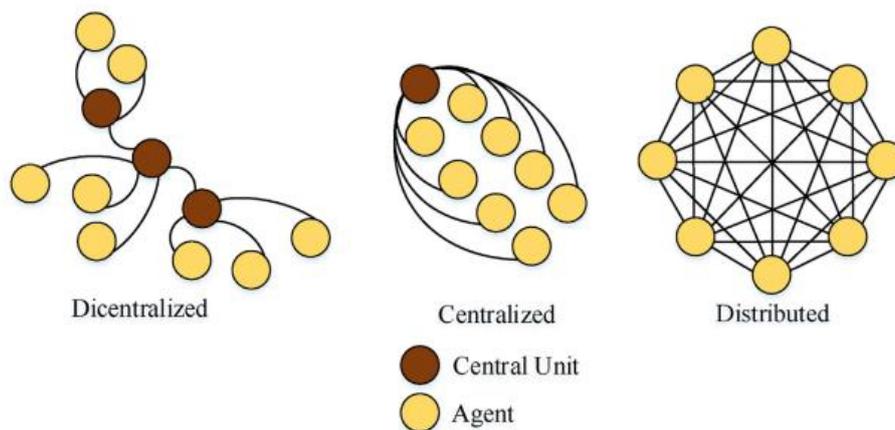


Figura 6: Illustrazione di un sistema decentralizzato, centralizzato e distribuito [4].

Accanto alla diffusione capillare dell'energia elettrica si sono sviluppate numerosissime tecnologie sempre più efficienti che hanno sostituito le precedenti basate essenzialmente

sull'utilizzo di combustibili fossili con basse efficienze. In particolare, la tecnologia digitale, che si è sviluppata negli ultimi decenni e che dipende completamente dalla disponibilità dell'energia elettrica, ha comportato un incremento della domanda stessa di energia, basta pensare ai numerosi centri di calcolo e stoccaggio di informazioni che richiedono un'elevata quantità di energia per il loro mantenimento.

La smart grid, tradotto rete intelligente, è un modello ideale in cui un insieme di diverse fonti di produzione di energia che alimentano una rete di distribuzione e accumulo, a cui sono collegati diversi tipi di utenti finali, è governato da un'intelligenza artificiale che gestisce la produzione, lo stoccaggio e il consumo dell'energia mediante software avanzati, in modo da ottimizzare tutti i processi coinvolti e assicurare che, in ogni momento, l'offerta soddisfi la domanda. Tutto questo garantendo, a seconda dell'impostazione scelta sul software di gestione, o il minimo dei costi di gestione possibile o la minor quota di produzione di gas serra o un qualunque altro assetto tra le due situazioni.

Il modello della smart grid può essere esteso a diversi ambiti territoriali. Tipicamente si tratta di ambiti non troppo estesi che mantengono una connessione fisica con la rete di distribuzione energetica principale (elettrica e gas), di cui però si aspira a renderli autonomi sfruttando il più possibile eventuali piccoli distributori locali. Ciò è soprattutto vero oggi a seguito dalla diffusione delle tecnologie rinnovabili sempre più economiche, installabili dai privati e dagli stessi utenti finali, spinti a questo investimento dalla riduzione dei costi operativi. Quindi, in questo contesto la smart grid è una rete virtuale, che gestisce una porzione più o meno piccola della rete principale in modo tale da alleggerire il carico globale che grava sulla stessa, razionalizzando i consumi e ottimizzando la produzione energetica locale qualora presente.



Figura 7: Illustrazione del modello di smart grid [5].

Inizialmente la smart grid fu concepita per la gestione e distribuzione dell'energia elettrica dopo l'avvento di sistemi di generazione distribuita sul territorio legati principalmente alle fonti rinnovabili (pannelli fotovoltaici, turbine eoliche). Attualmente il concetto di smart grid è stato ampliato prevedendo l'integrazione, accanto alla tradizionale distribuzione di energia elettrica, dei

sistemi di distribuzione di energia termica (teleriscaldamento) e di raffrescamento. In questo modo si creano delle reti intelligenti di gestione energetica globale sul territorio, che cercano di sfruttare le possibili sinergie tra diverse fonti energetiche, minimizzando le perdite e assicurando la copertura della richiesta. Tipicamente per garantire ciò è necessario adottare un sistema di produzione ibrido, ossia basato sia sulle fonti rinnovabili che su tecnologie tradizionali e sistemi di stoccaggio energetico.

Un'applicazione specifica del concetto di smart grid è che può essere sfruttata per rendere energeticamente indipendente una piccola realtà locale (produttiva e/o abitativa) che non possa essere efficacemente collegata a una rete energetica nazionale. Questo concetto si ritrova ampiamente sviluppato in letteratura, in particolare per un'applicazione che è quella dei sistemi energetici locali per le piccole isole, dove non sono giustificati insediamenti di produzione di energia di grande dimensione e dove non è possibile avere un collegamento con la rete nazionale.

Per aumentare l'affidabilità di sistemi indipendenti dalla rete nazionale occorre sviluppare un sistema di gestione efficace che garantisca la copertura della richiesta in ogni momento dell'anno, creando una rete di comunicazione tra i diversi impianti di produzione di energia, come dimostrato in [5], dove si applica l'approccio PDMM (Primal Dual Method of Multipliers).

Per quanto riguarda quale modello di produzione energetica sia idoneo per una rete locale, nella letteratura sono state studiate varie combinazioni di produzione. Ad esempio, in [6] è stato effettuato uno studio di ottimizzazione energetica basato sull'algoritmo SAPSO (SA- Simulated Annealing + PSO- Particle Swarm Optimization) da cui risulta possibile coniugare una riduzione dei costi con una riduzione delle emissioni inquinanti nell'ambito di un sistema di produzione energetico ibrido. Analogamente è stato svolto uno studio per confrontare diverse combinazioni di produzione energetica sull'isola Pratas [7], per cercare di ridurre le emissioni la combinazione migliore in questo caso è un sistema composto da generatore Diesel, pannelli fotovoltaici e serbatoi di stoccaggio.

Lo studio di gestione di una smart grid risulta fondamentale per rendere energeticamente indipendente un settore, ma anche per poter andare a valutare come ridurre le emissioni, come illustrato in [8], sulle isole l'installazione di impianti da fonte rinnovabili incide positivamente sia sulla riduzione delle emissioni che dei costi annui, per quanto riguarda la richiesta di energia termica, elettrica e per il raffrescamento estivo. In questo studio il programma utilizzato per la valutazione energetica ed economica era basato su un approccio MILP (Mixed Integer Linear Programming algorithm).

Ulteriori ricerche sono state effettuate per cercare di rendere il più possibile energeticamente autosufficienti singole infrastrutture, ad esempio nell'articolo [9] è stato proposto una nano-grid, cioè una rete di distribuzione limitata al singolo edificio (università di Cipro) basata su pannelli fotovoltaici e batterie per lo stoccaggio energetico. È stato sviluppato questo sistema perché negli ultimi decenni la richiesta di corrente continua nelle apparecchiature elettroniche di uso quotidiano è aumentata rispetto alla richiesta di corrente alternata, sicché è apparso ragionevole produrre e distribuire corrente continua direttamente in loco, evitando così le perdite dovute alla conversione da corrente alternata, fornita dalla rete, in continua.

Finora i lavori citati si occupano di coprire le richieste di energia termica, elettrica e di climatizzazione dei locali, tuttavia andrebbe considerata la richiesta energetica per i trasporti, per ottenere un modello energetico completo di un'isola, in quanto la mobilità rappresenta una voce importante di consumo energetico annuale. Un modello che tiene conto anche della parte dei trasporti è stato studiato nel [4], utilizzando l'algoritmo PDMM, è stata dimostrata l'affidabilità e l'accuratezza del programma nel garantire la copertura della richiesta energetica mediante una gestione intelligente della rete.

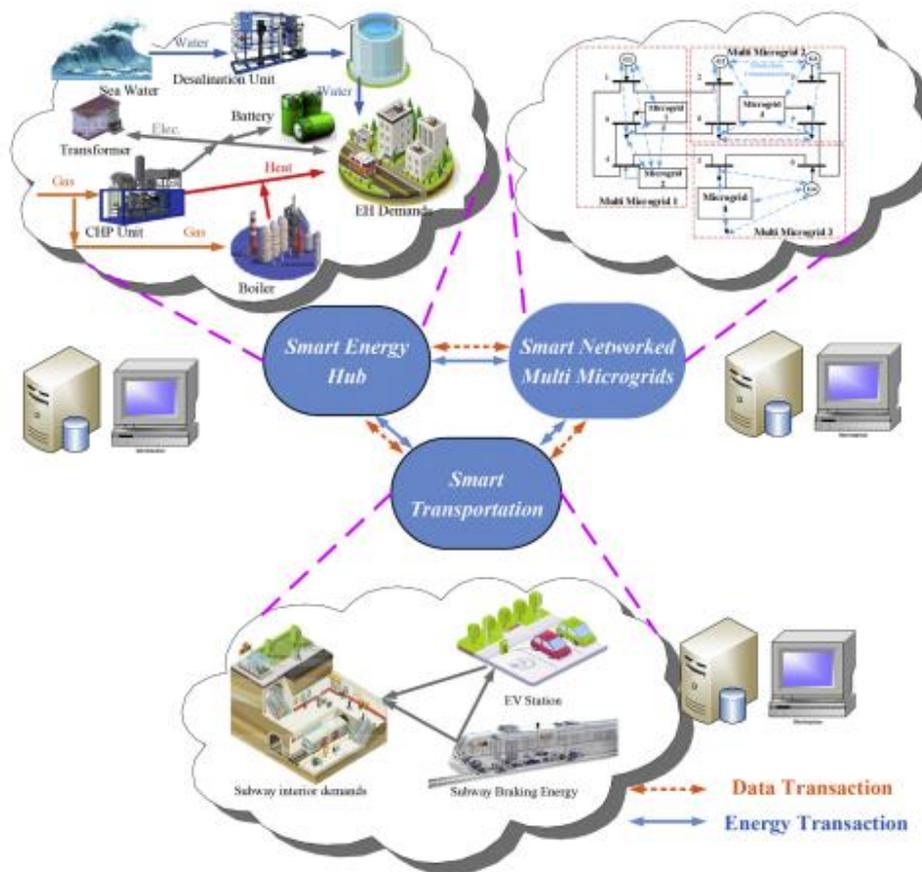


Figura 8: Rappresentazione della smartgrid studiata in [4].

Tuttavia, in un contesto isolato dai normali rifornimenti di energia, come su una piccola isola, le problematiche energetiche si fanno sentire assieme a quella dell'approvvigionamento di acqua dolce che è una risorsa scarsa o assente in numerosi contesti isolani. A questo proposito sono presenti da tempo impianti di dissalazione dell'acqua marina che hanno bisogno di energia per il loro funzionamento e costituiscono una voce importante di consumo per la rete di utenze locali. Allo stesso tempo però la risorsa idrica nell'ambito di un bilancio energetico globale, può anche costituire una forma di stoccaggio energetico alternativo, come succede per l'accumulo di acqua calda o di energia elettrica.

CAPITOLO 3 – Progetto piccole isole

Come già spiegato nel capitolo precedente, per smart grid si intende un modello di rete virtuale di connessione tra gli utilizzatori e produttori locali, solitamente di energia rinnovabile, in grado di rendersi il più possibile indipendente dalla rete nazionale a cui tuttavia è tipicamente connessa. Sulle isole invece viene meno questo fondamentale collegamento, che assicura di poter colmare i momenti di picco della richiesta, pertanto in un contesto isolano sganciato dalla rete energetica nazionale la smart grid si identifica con la rete locale, quindi deve essere necessariamente autosufficiente e in grado di garantire il soddisfacimento della richiesta energetica in ogni momento del giorno e dell'anno.

A questo proposito nasce il progetto piccole isole, che ha come obiettivo analizzare il sistema energetico nei contesti isolani, individuare nuove tecnologie per l'efficientamento energetico degli utenti finali, riducendo l'uso dei combustibili fossili ma garantendo le caratteristiche di affidabilità e autonomia necessarie agli utenti. Il tutto senza perdere di vista il problema dei costi che dovrebbe gravare su tali comunità. In particolare, si è studiato come ipotetico sistema innovativo per lo smaltimento dei rifiuti organici e la produzione di biogas l'installazione di un bio-digestore per abitazione. Inoltre, si prevede all'interno del progetto di approfondire le problematiche di generazione energetica dei pannelli solari a seconda delle variazioni climatiche, in quanto tale soluzione impiantistica è attualmente la più promettente per soddisfare le esigenze energetiche dei singoli utenti.

In sostanza per de-carbonizzare l'isola e ridurre i costi operativi occorre passare da un sistema di generazione centralizzato, basato su di una centrale termoelettrica a gasolio, ad uno distribuito di tipo ibrido, basato sulla coesistenza della centrale elettrica con nuovi molteplici sistemi energetici da fonti rinnovabili. Bisogna valutare una configurazione di generazione ibrida dell'energia, immaginando sistemi locali di accumulo elettrico, termico e anche idrico.

In questo lavoro si è applicato questo modello all'isola di Lampedusa, in quanto questa rappresenta bene la condizione tipica delle isole del Mediterraneo: clima mite durante tutto il tempo dell'anno, richiesta energetica fortemente dipendente dalla presenza turistica, che ne causa il triplicare dei consumi durante la stagione estiva rispetto al resto dell'anno.

Lampedusa è un'isola situata a Sud della costa centro meridionale siciliana (distante circa 205 km), è la maggiore delle isole dell'Arcipelago delle Pelagie, in quanto si estende per 20,2 km² in direzione Est-Ovest. È il lembo di terra italiana più a Sud, posizionata alla latitudine 35°30' 56"N. È un'isola prevalentemente rocciosa (altezza massima 133 m.s.l.m.) caratterizzata dalla scarsità delle risorse idriche, basate sulla raccolta dell'acqua piovana e sullo sfruttamento di alcuni pozzi artesiani. Dal punto di vista climatico, nell'isola si registrano 568 GG e pertanto è compresa nella fascia climatica A il cui periodo di riscaldamento va dal 1° dicembre al 15 marzo, ha sostanzialmente un clima mite durante tutto il tempo dell'anno in quanto d'estate non si raggiungono temperature troppo elevate (tipicamente < 35°C).

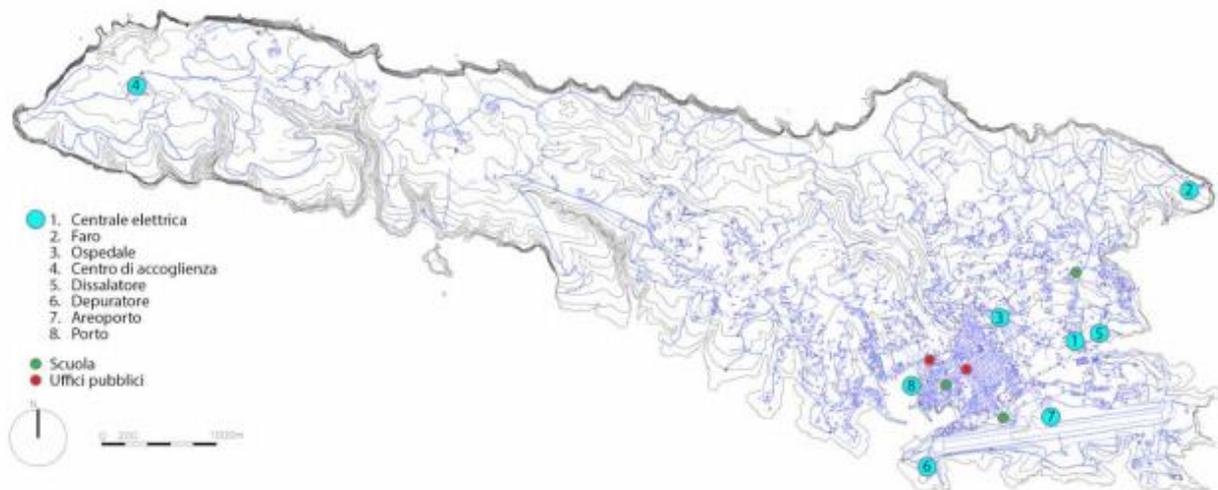


Figura 9: Quadro di unione delle due sezioni della carta regionale [10], Lampedusa.

Ha una popolazione residente di circa 6494 abitanti (densità 321.5 ab. / km²), concentrata nel centro urbano dell'isola sviluppato su una superficie di circa 0,6 km² a sud-est, direttamente collegato alle principali infrastrutture e impianti presenti sull'isola (porto, aeroporto, dissalatore, depuratore, centrale elettrica, faro). Non è installato un termovalorizzatore, sicché i rifiuti vengono raccolti presso il *Centro Comunale di Raccolta e trasferimento dei rifiuti solidi urbani* (CCR), impacchettati e trasportati tramite navi in Sicilia. Così come dalla Sicilia giungono tutte le merci, a partire dal combustibile fossile fino ai generi alimentari, essendoci sull'isola solo un'attività di pesca e un'attività agricola che non è in grado di sfamare la popolazione. In passato anche l'approvvigionamento di acqua dolce potabile avveniva mediante navi cisterna.

Come riportato in [11], il 75% degli edifici è stato costruito tra il 1946-2000 ed è prevalentemente in muratura portante, pertanto è ragionevole ritenere che vi sia un elevato potenziale di risparmio energetico derivante dalla realizzazione di interventi di efficientamento energetico dell'involucro edilizio e degli impianti.

Circa il 50% dei consumi energetici totali annui è legato al settore residenziale e terziario, come illustrato in Figura 10, per questo motivo si deve partire a modellare il sistema energetico di Lampedusa partendo proprio dall'andamento della richiesta energetica dell'utenza domestica e alberghiera.

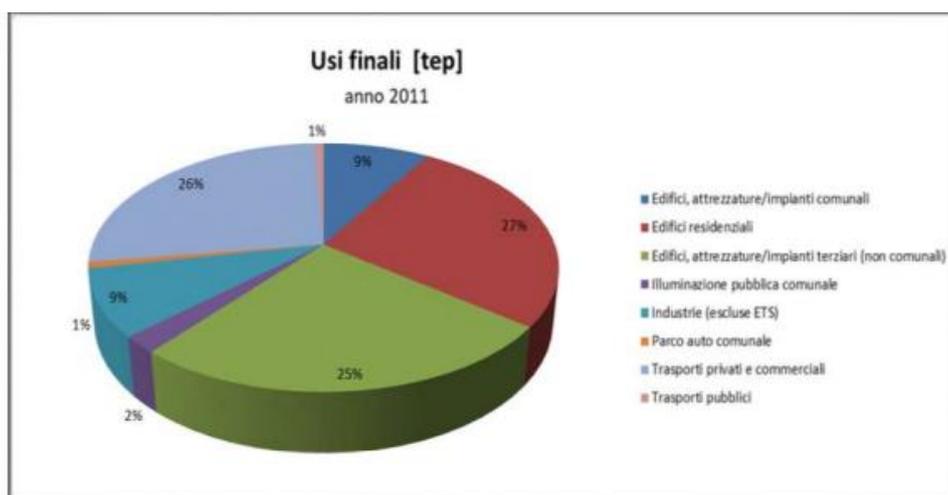


Figura 10: Ripartizione percentuale usi finali energia per settore (2011) [11].

L'economia di Lampedusa è essenzialmente basata sul turismo, che è la principale fonte di rendita. Altra fonte di reddito è costituita dalla pesca e dalle attività ad essa connessa. I consumi energetici sono influenzati dalla presenza turistica e triplicano nella stagione estiva. Questa peculiarità, assieme al fatto di essere appunto scollegata dalla rete elettrica nazionale, rende complicata la gestione di una possibile produzione energetica, basata sull'energia da fonti rinnovabili, perché occorrerebbe prevedere un sistema di stoccaggio di energia molto importante per poter sopperire ai picchi di richiesta concentrati prevalentemente nei mesi estivi.

Considerando il consumo energetico dell'amministrazione comunale si osserva che la principale voce di spesa è quella del dissalatore, che vale circa il 60% del totale [11], elemento quindi non trascurabile nella modellizzazione del sistema energetico isolano. L'attuale sistema di dissalazione è basato sul Reverse Osmosis (RO) ed è alimentato dall'energia elettrica prodotta dalla centrale termoelettrica a gasolio dell'isola, costituita da 8 motori diesel per una potenza complessiva di 22 MW, affiancata da pochi impianti fotovoltaici privati.

A questo proposito, il problema di come ridurre i costi della dissalazione è stato affrontato nello studio in [12], mediante l'utilizzo del software Multi Objective Genetic Algorithm (MOGA) e il Multi Objective Water Cycle Algorithm (MOWCA), giungendo alla conclusione che la combinazione Reverse Osmosis System accoppiata al solare termico è una soluzione valida per ridurre i costi.

Per quanto riguarda il problema dei trasporti di Lampedusa, non si può trascurare che la mobilità, che costituisce una fetta importante dei consumi annui (circa 30%), sia collegata a un parco veicolare vecchio e altamente inquinante, in quanto il 75% dei veicoli ricade nelle categorie Euro 1-3. Nelle mezze stagioni e in quella invernale il traffico è molto limitato, mentre in estate la grande affluenza di villeggianti induce un aumento drastico del traffico locale. Si può notare anche che il 90% dei veicoli è rappresentato da automobili e motocicli per un trasporto individuale o familiare. Il servizio di trasporto pubblico è composto da solo due linee di autobus che collegano

il centro urbano dell'isola con la periferia. Il numero limitato di veicoli disponibili, distribuiti in poche corse durante il giorno, è senz'altro insufficiente nella stagione estiva e non può fare fronte alla grande richiesta di spostamento dei turisti che affittano più volentieri mezzi individuali per poter muoversi liberamente. L'affitto di questi mezzi rappresenta un'ulteriore entrata per i residenti.

Come ultimo passaggio del progetto delle piccole isole, all'interno del quale si inserisce questa applicazione specifica all'isola di Lampedusa, bisogna valutare come estendere questo studio a situazioni analoghe ma caratterizzate da condizioni climatiche e presenze turistiche differenti, perché queste voci vanno a incidere notevolmente sul bilancio energetico in quanto la prima condiziona la produzione energetica da fonte rinnovabile, la seconda modifica le richieste energetiche stagionali.

CAPITOLO 4 – Modello di calcolo

Il processo di modellizzazione dell'isola, come esempio di sistema isolato ed autosufficiente, si sviluppa progressivamente a stadi: per prima cosa si implementano i consumi delle utenze residenziali e alberghiere, legato al flusso turistico, considerando il diverso andamento stagionale della popolazione, poi i consumi relativi al dissalatore, e infine quelli connessi alla mobilità, così da evidenziare come, al variare della richiesta, possano variare le fonti, e le conseguenti tecnologie, utilizzate per la produzione energetica nel corso dell'anno. Per garantire la copertura della richiesta durante l'anno, con particolare riferimento alle ampie fluttuazioni legate alle presenze turistiche, è necessario prevedere, accanto alle fonti rinnovabili, sistemi di accumulo e di generazione tradizionale di energia da attivare al bisogno. In sostanza si tratta di creare un modello che preveda un sistema ibrido basato su una quota di energia tradizionali, già presenti, una seconda quota basata sulle fonti rinnovabili, solare, eolico e legato allo smaltimento dei rifiuti, e un sistema di accumulo dell'energia elettrica e termica ed eventualmente di acqua potabile.

In generale su un'isola il soddisfacimento della richiesta energetica comporta non poche problematiche nella gestione in quanto: i costi di esercizio sono tipicamente maggiori, occorre prevedere accumuli di energia per poter soddisfare i picchi di richiesta, quando non sia disponibile abbastanza energia dalle fonti rinnovabili, i rifiuti vanno smaltiti in spazi ristretti o esportati con costi aggiuntivi di gestione. Nel progetto, in cui si va ad inserire il mio lavoro di tesi, si studia la possibilità di adottare un bio-digestore, per unità abitativa, in grado di smaltire i rifiuti organici, tramite digestione anaerobica, producendo biogas, che è un gas facilmente stoccabile e utilizzabile, in loco e all'occorrenza, per soddisfare i picchi di domanda energetica, così da creare un sistema locale energeticamente autonomo. Mentre per quanto riguarda i rifiuti inorganici, l'alternativa al loro trasporto via mare è lo smaltimento mediante combustione in un termovalorizzatore per la produzione di energia termica ed elettrica.

Per valutare come ottimizzare la produzione energetica sono disponibili vari software di calcolo basati su ottimizzazione lineare (LP), Mixed Integer Linear Programming (MILP), Non-linear Programming (NLP), Genetic Algorithm (GA), Evolutionary Algorithm (EA) e Particle Swarm Optimization (PSO).

Per trovare la soluzione ottimale per l'isola di Lampedusa, si è deciso di adottare un approccio lineare per risolvere il problema ed è stato utilizzato un programma che utilizza appunto questo tipo di approccio, EnergyScope TD. Tale software è stato sviluppato in collaborazione tra l'Università Cattolica di Lovanio, (Belgio) e il Politecnico Federale di Losanna, (Svizzera), allo scopo di ricercare la soluzione ottimale per la produzione energetica nelle vallate alpine della Svizzera, localizzate in territori relativamente isolati e in parte autosufficienti (culturalmente nati come comunità agricolo-pastorali autosufficienti con scarsissimi contatti con l'esterno). Il software è scritto nel linguaggio di programmazione GLPL, derivato da AMPL, che è il linguaggio proprietario, che viene poi tradotto dal programma GLPK che crea le matrici contenenti i vincoli e i dati necessari al risolutore (glpsol) per trovare la soluzione.

Il modello energetico definito in questo studio, partendo da EnergyScope TD, è adattabile a vari contesti di piccola scala, oltre alle piccole isole del Mediterraneo, ad altre località isolate in cui non sia garantito il collegamento alla rete elettrica nazionale e l'approvvigionamento idrico.

4.1 – EnergyScope TD

EnergyScope TD è un programma reperibile online, elaborato dagli autori che lo hanno adattato alle esigenze delle località della Svizzera; è scritto in linguaggio GLPL, derivato dal linguaggio proprietario AMPL [13].

EnergyScope TD consente di valutare l'ottimizzazione della produzione di energia, tenendo in conto dei costi e della produzione di anidride carbonica, di una qualunque entità locale, che sia un paese, una valle, un quartiere, un'isola o una regione. È considerato uno dei migliori tra i software attualmente disponibili per l'ottimizzazione energetica in quanto considera in ugual misura tutte le tre componenti principali di output, che sono mobilità, elettricità e calore, ad alta e bassa temperatura. Altri software disponibili o si concentrano su un solo settore o se li trattano tutti non effettuano l'analisi e l'ottimizzazione con la stessa specificità di questo.

Altro aspetto molto importante è che si tratta di un software libero, non proprietario, concepito per essere modificabile dall'utilizzatore a suo piacimento a seconda delle proprie esigenze lavorative. Il software è realizzato mediante un algoritmo lineare, diviso in sets (insiemi), parameters (parametri), variables (variabili indipendenti e dipendenti) e constraints (vincoli). I dati vengono elaborati per ogni ora dell'anno (8760 ore), sicché il tempo computazionale di elaborazione dei risultati è di qualche ora.

Usa l'approccio dei typical days ossia, dati gli andamenti orari per tutti i giorni dell'anno, va a ricercare una sequenza di giorni, scelta dall'utente, in questo caso gli sviluppatori di EnergyScope hanno preso 12 giorni, che riescono a minimizzare l'errore di approssimazione, usandoli per modellare tutto l'anno. Infine, EnergyScope è adatto anche per un sistema con alta penetrazione di fonti rinnovabili in quanto prevede un sistema di accumulo giornaliero e stagionale, così da permettere di considerare in maniera precisa l'accumulo di energia nei momenti di surplus energetico da utilizzarsi nei momenti di deficit energetico sia durante il corso di una stessa giornata che nel corso dell'anno.

EnergyScope ha due funzioni implementate: una che calcola i typical days in base alla richiesta dell'utente del numero di giornate che desidera; l'altra è l'ottimizzazione del sistema energetico minimizzando i costi.

La prima funzionalità di EnergyScope TD è costituita dal modello usato per selezionare i Typical Days, in questo caso si cercano dodici giornate tipo, tra tutte le giornate dell'anno mediante l'implementazione del metodo di F. Dominguez-Munoz in cui si cerca di minimizzare la distanza euclidea calcolata nella matrice cluster. Nella versione originale dello strumento i dati che si utilizzano per costruire la matrice sono 365x120: considerando la percentuale di consumo del riscaldamento, elettricità per illuminazione, solare, vento e idroelettrico, per ciascuna categoria ho

un valore orario ($24 \times 5 = 120$) per tutti i giorni dell'anno. Come output sono restituiti i 365 giorni dell'anno, raggruppati in 12 cluster, associati ognuno a uno dei 12 TD calcolati dal programma, in modo tale da minimizzare l'errore di approssimazione.

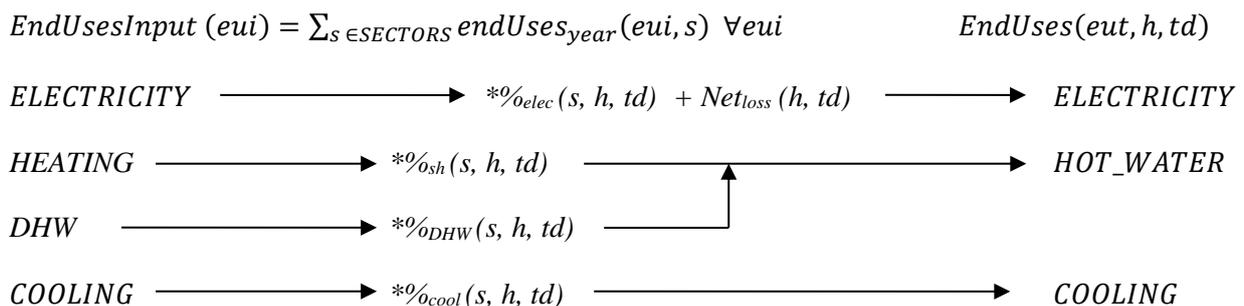
La seconda funzionalità di Energyscope TD è relativa all'ottimizzazione, costituita da un file che è il modello composto, in cui si dichiarano gli insiemi, i parametri, le variabili e tutti i vincoli da rispettare, a cui segue la funzione obiettivo (ad esempio minimizzare i costi) e le disposizioni per visualizzare i vari output. In altri file troviamo i dati che servono per far andare il modello, sono i setting e i parametri. Infine, abbiamo tutti i file che contengono gli output raggruppati in vari modi (emissioni, costi, andamenti orari, ecc.).

4.2 – Modello base per la realtà isolana

Per poter creare un modello realistico di un contesto isolano che minimizzi il costo di produzione energetica, occorre imporre vari vincoli di produzione e gestione dell'energia per rispecchiare le condizioni reali di distribuzione energetica nella rete isolana.

Il programma di partenza su cui ci si è basati, EnergyScope TD, utilizza alcuni concetti chiave per sviluppare il problema. In primis definisce un set diverso per le richieste di energia da soddisfare, le varie tipologie di energia disponibili, le risorse, le tecnologie utilizzabili per produrre e trasformare l'energia in base alle esigenze del consumatore finale, le tipologie di stoccaggio. Crea anche un insieme chiamato layers in cui si effettua un bilancio tra le risorse in input e l'energia richiesta in output. L'analisi dettagliata di tutte queste tecnologie, risorse, tipologie di consumo e il loro andamento durante l'anno, ha lo scopo di cercare la soluzione ottimale, ossia la combinazione migliore tra le varie tecnologie per garantire la copertura delle richieste energetiche al minor costo complessivo.

Il primo vincolo che viene imposto è che la richiesta energetica annuale sia soddisfatta, ponendo cioè un vincolo sul tempo: le richieste "end uses input" orarie per ciascun typical day e per ciascun layer sono date dalle percentuali orarie di utilizzo dell'energia nelle sue varie forme (elettricità, ACS, riscaldamento e raffrescamento) considerando le eventuali perdite, ove presenti. Questo vincolo è fondamentale in quanto bisogna garantire che il mix energetico trovato dal programma sia in grado di rispondere alle esigenze del consumatore in ogni ora dell'anno, ciò è garantito se in un sistema isolato, l'approvvigionamento energetico è di tipo ibrido, cioè basato sia su fonti rinnovabili, che per definizione non sono programmabili, che su combustibili fossili.



$$\begin{aligned}
& \text{End_Uses}(l, h, td) \\
& = \begin{cases} \sum_{s \in \text{SECTORS}} \left(\text{end_uses_demand_year}[\text{OTHER_EL}, s] * \text{electricity}_{\text{time_series}}[s, h, td] \right) + \text{Network_losses}[l, h, td], & l = \text{ELECTRICITY} \\ \sum_{s \in \text{SECTORS}} \left(\text{end_uses_demand_year}[\text{HEATING}, s] * \text{heating}_{\text{time_series}}[s, h, td] + \text{end_uses_demand_year}[\text{DHW}, s] * \text{DHW}_{\text{time_series}}[s, h, td] \right), & l = \text{HOT_WATER} \\ \sum_{s \in \text{SECTORS}} \left(\text{end_uses_demand_year}[\text{COOLING}, s] * \text{cooling}_{\text{time_series}}[s, h, td] \right), & l = \text{COOLING} \\ \text{altrimenti } 0 & \end{cases} \\
& \forall l \in \text{LAYERS}, \forall h \in \text{HOURS}, \forall td \in \text{TYPICAL_DAYS} \quad (1)
\end{aligned}$$

Il costo totale che deve minimizzare il software si calcola effettuando la somma dei costi di investimento annualizzati (con tau che rappresenta il fattore di annualizzazione dei costi di investimento), di manutenzione delle tecnologie e operativi delle risorse. I costi di investimento annualizzati sono i costi d'investimento tenuto conto del loro ammortamento, cioè della suddivisione dell'esborso iniziale per il numero di anni che si prevede di potere utilizzare l'impianto.

$$C_{tot} = \sum_{j \in \text{TECH}} (\tau(j) C_{inv}(j) + C_{maint}(j)) + \sum_{i \in \text{RES}} C_{op}(i)$$

$$\text{con } \tau(j) = \frac{i_{rate}(i_{rate} + 1)^{lifetime(j)}}{(i_{rate} + 1)^{lifetime(j)} - 1} \quad \forall j \in \text{TECH} \quad (2)$$

$$C_{inv}(j) = c_{inv}(j)F(j) \quad \forall j \in \text{TECH} \quad (3)$$

$$C_{maint}(j) = c_{maint}(j)F(j) \quad \forall j \in \text{TECH} \quad (4)$$

$$C_{op}(i) = \sum_{t \in T | \{h, td\} \in T_{HTD}(t)} c_{op}(i) F_t(i, h, td) t_{op}(h, td) \quad \forall i \in \text{RES} \quad (5)$$

Per calcolare le emissioni di anidride carbonica della produzione di energia, si considera il Global Warning Potential totale (GWP_{tot}) dato dalla somma di quello operativo (GWP_{op}), su base annuale tenuto conto dei periodi di esercizio, e di quello di costruzione (GWP_{constr}) considerando la vita media operativa dell'impianto e la sua dimensione.

$$GWP_{tot} = TotalGWP_{constr} + TotalGWP_{op} \quad (6)$$

$$TotalGWP_{op} = \sum_{i \in \text{RES}} GWP_{op}(i) \quad (6.1)$$

$$TotalGWP_{constr} = \sum_{j \in \text{TECH}} \frac{GWP_{constr}(j)}{lifetime(j)} \quad (6.2)$$

$$GWP_{constr}(j) = gwp_{constr}(j) F(j) \quad \forall j \in \text{TECH} \quad (7)$$

$$GWP_{op}(i) = \sum_{t \in T | \{h, td\} \in T_{HTD}(t)} gwp_{op}(i) F_t(i, h, td) t_{op}(h, td) \quad \forall i \in \text{RES} \quad (8)$$

La potenza installata di ogni tecnologia deve essere compresa tra la minima e la massima potenza di dimensionamento di tale tecnologia, in quanto considero la capacità produttiva dei vecchi impianti (f_{min}) e quella massima degli impianti all'avanguardia (f_{max}).

$$f_{min}(j) \leq F(j) \leq f_{max}(j) \quad \forall j \in TECH \quad (9)$$

La potenza oraria di una tecnologia dipende sia dalla disponibilità oraria della risorsa per quanto riguarda le rinnovabili ($c_{p,t}$), sia da un fattore capacitivo annuale che considera il mantenimento della macchina e le ore di effettivo utilizzo (c_p). È una semplificazione in quanto un impianto che viene utilizzato al 80% della sua potenza nominale per tutta la durata dell'anno ha un c_p pari a 0.8, come quello che avrebbe un impianto che invece funziona sempre al 100% della propria potenza nominale ma per l'80% del tempo.

$$F_t(j, h, td) \leq F(j) c_{p,t}(j, h, td) \quad \forall j \in TECH, \forall h \in H, \forall td \in TD \quad (10)$$

$$\sum_{t \in T | \{h, td\} \in T_{HTD}(t)} F_t(j, h, td) t_{op}(h, td) \leq F(j) c_p(j) \sum_{t \in T | \{h, td\} \in T_{HTD}(t)} t_{op}(h, td) \quad \forall j \in TECH \quad (11)$$

L'utilizzo delle risorse deve essere minore o uguale alla loro disponibilità annuale, logicamente non è pensabile di usare più di quello che si ha a disposizione. È essenzialmente legato alle risorse immagazzinabili e limitate, ad esempio per il solare e l'eolico la disponibilità è infinita quindi il valore per il parametro *avail* è molto elevato, mentre per i rifiuti è pari a quello prodotto storicamente in un anno sull'isola.

$$\sum_{t \in T | \{h, td\} \in T_{HTD}(t)} F_t(j, h, td) t_{op}(h, td) \leq avail(i) \quad \forall i \in RES \quad (12)$$

Bilancio energetico orario per typical day sui layers, assegnando un segno positivo agli output e uno negativo agli input, si considera la conversione energetica dalla risorsa alla richiesta ed eventuali passaggi da una forma all'altra di energia con la possibilità di stoccare e prelevare dallo stoccaggio.

$$\sum_{i \in RES \cup TECH \setminus STO} f(i, l) F_t(i, h, td) + \sum_{j \in STO} (Sto_{out}(j, l, h, td) - Sto_{in}(j, l, h, td)) - EndUses(l, h, td) = 0 \quad \forall l \in L, \forall h \in H, \forall td \in TD \quad (13)$$

Per quanto riguarda lo stoccaggio dell'energia occorre considerare che vi sono limiti giornalieri, stagionali, efficienze di trasformazione di energia stoccata in potenza, tempi di ricarica e scarica. Nello specifico si impone che il livello dello stoccaggio al tempo (t) sia pari a quello a ($t-1$), tenuto conto delle perdite, più gli input e meno gli output dall'accumulo, con le rispettive efficienze.

$$Sto_{level}(j, t) = Sto_{level}(j, t - 1) \cdot (1 - \%_{stoloss}(j)) + t_{op}(h, td) \cdot \left(\sum_{l \in L | \eta_{sto,in}(j,l) > 0} Sto_{in}(j, l, h, td) \eta_{sto,in}(j, l) - \sum_{l \in L | \eta_{sto,out}(j,l) > 0} \frac{Sto_{out}(j, l, h, td)}{\eta_{sto,out}(j, l)} \right)$$

$$\forall j \in STO, \forall t \in T | \{h, td\} \in T_H_TD(t) \quad (14)$$

Per i sistemi di stoccaggio giornalieri si impone che a fine giornata il livello nel serbatoio sia sempre lo stesso.

$$Sto_{level}(j, t) = F_t(j, h, td) \quad \forall j \in STO \text{ DAILY}, \forall t \in T | \{h, td\} \in T_H_TD(t) \quad (15)$$

Mentre per i sistemi di accumulo utilizzati anche per stoccaggio stagionale, la capacità è vincolata da un valore massimo.

$$Sto_{level}(j, t) \leq F(j) \quad \forall j \in STO \setminus STO \text{ DAILY}, \forall t \in T \quad (16)$$

Inoltre, per evitare di accumulare in un serbatoio una forma di energia inadatta è bene fissare a zero l'energia stoccata qualora la tecnologia sia incompatibile con la forma di energia/risorsa, ovvero un serbatoio di stoccaggio di acqua calda non è utilizzabile per accumulare elettricità.

$$Sto_{in}(j, l, h, td) \cdot [\eta_{sto,in}(j, l) - 1] = 0 \quad \forall j \in STO, \forall l \in L, \forall h \in H, \forall td \in TD \quad (17)$$

$$Sto_{out}(j, l, h, td) \cdot [\eta_{sto,out}(j, l) - 1] = 0 \quad \forall j \in STO, \forall l \in L, \forall h \in H, \forall td \in TD \quad (18)$$

La potenza inseribile ed estraibile da uno stoccaggio di energia è limitata dalla capacità installata, disponibilità di energia stoccabile, tempo di scarica e ricarica dell'accumulo.

$$Sto_{in}(j, l, h, td) t_{sto,in}(j) + Sto_{out}(j, l, h, td) t_{sto,out}(j) \leq F(j) \%_{sto_avail}(j)$$

$$\forall j \in STO, \forall l \in L, \forall h \in H, \forall td \in TD \quad (19)$$

Segue il calcolo delle perdite di rete per ogni tecnologia, quindi nel modello isolano solo quelle della rete elettrica, in quanto non è presente una rete di teleriscaldamento contrariamente al modello iniziale di EnergyScope concepito per la Svizzera.

$$Netloss(eut, h, td) = \sum_{i \in RESUTECH \setminus STO | f(i, eut) > 0} f(i, eut) F_t(i, h, td) \%_{netloss}(eut)$$

$$\forall eut = EUT, \forall h \in H, \forall td \in TD \quad (20)$$

Per la produzione di energia termica solare occorre imporre un vincolo aggiuntivo tale da considerare il calore prodotto solo per quelle ore della giornata in cui l'irraggiamento solare è diverso da zero.

$$F_{t,sol}(j, h, td) \leq F_{sol}(j) c_{p,t} (TERMAL_SOLAR, h, td)$$

$$\forall j \in TECH_OF_EUT (HOT_WATER) \setminus \{TERMAL_SOLAR\}, \forall h \in H, \forall td \in TD \quad (21)$$

Inoltre, per rendere realistico il modello, il solare termico non viene mai installato da solo, in quanto non è possibile garantire la copertura della richiesta di acqua calda durante i picchi di consumo per via della variabilità intrinseca della richiesta dell'utente e dall'interferenza delle condizioni meteorologiche locali sulla produzione di calore dal sole. Il dimensionamento del solare termico è dato dalla differenza tra la quota ritenuta necessarie a soddisfare il consumo di ACS (o DHW) e le quote coperte dalla tecnologia di produzione di calore tradizionale (programmabili).

$$F(TERMAL_SOLAR) = \sum_{j \in TECH_OF_EUT (HOT_WATER) \setminus \{TERMAL_SOLAR\}} F_{sol}(j) \quad (22)$$

Nel sistema reale poi, anche se il modello considera i sistemi di produzione termica aggregati, ogni singola unità di consumo è indipendente dalle altre e non vi può essere uno scambio di calore tra esse. La formula esprime come ogni singola unità contribuisca al totale secondo una percentuale costante che è definita dal bilancio tra le due fonti di produzione del calore tradizionali e termico solare più la quantità di energia termica stoccata, detratta la componente utilizzata.

$$F_t(j, h, td) + F_{t,sol}(j, h, td) + \sum_{l \in L} (Sto_{out}(i, l, h, td) - Sto_{in}(i, l, h, td)) =$$

$$Shares_{LowT_{Dec}}[j] \sum_{s \in SECTORS} \left(end_{usesdemandyear} (DHW, s) * \frac{DHW_{time_series}(s, h, td)}{top(h, td)} + \right.$$

$$\left. end_{usesdemandyear} (HEATING, s) * \frac{heating_{time_series}(s, h, td)}{top(h, td)} \right)$$

$$\forall j \in TECH_OF_EUT (HOT_WATER) \setminus \{TERMAL_SOLAR\}, i \in TS_OF_DEC_TECH (j) \setminus \{AIR_CON\}, \forall h \in H, \forall td \in TD \quad (23)$$

Per soddisfare la richiesta energetica di calore (ACS e riscaldamento) anche durante i picchi occorre sovradimensionare leggermente (il modello prevede un sovradimensionamento arbitrariamente fissato al 10%, che è stato mantenuto nel caso in esame).

$$F(j) \geq \%_{Peak, sh} \max_{h \in H, td \in TD} \{F_t(j, h, td)\}$$

$$\forall j \in TECH_OF_EUT (HOT_WATER) \setminus \{TERMAL_SOLAR\} \quad (24)$$

È opportuno imporre anche il limite del GWP totale per l'isola, limite in percentuale massimo e minimo di utilizzo di una data tecnologia.

$$GWP_{tot} \leq gwp_{limit} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} f_{min,\%}(j) & \sum_{j' \in TECH_{OF_EUT}(eut), t \in T \setminus \{h, td\} \in T_{HTD}(t)} F_t(j', h, td) \cdot t_{op}(h, td) \\ & \leq \sum_{t \in T \setminus \{h, td\} \in T_{HTD}(t)} F_t(j, h, td) \cdot t_{op}(h, td) \\ & \leq f_{max,\%}(j) \sum_{j'' \in TECH_{OF_EUT}(eut), t \in T \setminus \{h, td\} \in T_{HTD}(t)} F_t(j'', h, td) \cdot t_{op}(h, td) \end{aligned}$$

$$\forall eut \in EUT, \forall j \in TECH_OF_EUT(eut) \quad (26)$$

Essendo Lampedusa un'isola di dimensioni ridotte è necessario anche andare ad imporre un limite alla superficie occupata dai pannelli solari termici e fotovoltaici installati sui tetti degli edifici.

$$A_{PVroof} + A_{ST} \leq area_{MAX} \quad (27)$$

$$Con \quad A_{PVroof} = F ["PV_roof"] * (10^9) * 0.0066$$

$$A_{ST} = F ["TERMAL_SOLAR"] * (10^9) * 0.0014$$

Si noti che le equazioni (2-20, 25-26) sono riportate uguali da EnergyScope TD, mentre (1, 21 - 24) sono state parzialmente modificate per meglio rappresentare la situazione isolana e le equazioni (6.1 - 6.2) sono state aggiunte per meglio evidenziare le emissioni totali operative e di costruzione. La Eq. 27 è stata aggiunta per rappresentare il limite di occupazione dei tetti di Lampedusa per dimensionare realisticamente i pannelli solari termici e fotovoltaici.

Finita la dichiarazione di tutti i vincoli si dichiara la funzione obiettivo, che in questo caso è minimizzare il costo totale, ma in alternativa si potrebbe dichiarare la minimizzazione delle emissioni. Infine, il modello descrive al programma come organizzare gli output in vari file, raggruppando i costi, le emissioni, gli andamenti orari di ogni tecnologia e stoccaggio.

La versione originale di EnergyScope contiene vincoli e parametri aggiuntivi (vedi [14]) perché vi sono molte tecnologie, vettori energetici, risorse in più, rispetto a quelli disponibili sulle piccole isole non collegate alla rete elettrica nazionale. La versione del programma che ho modificato esclude questi vincoli e parametri, come ad esempio il nucleare, l'energia elettrica importata/esportata, gli impianti cogenerativi, che non vengono considerati perché hanno tipicamente potenze eccessive, rispetto alla potenza in media richiesta su un'isola, il carbone, l'idrogeno, Gas Naturale Liquefatto (LNG), Gas Naturale (NG) e tanti altri, perché non disponibili almeno in termini di costi nel contesto isolano.

Viceversa, EnergyScope non tiene in considerazione il problema dei rifiuti, aspetto importante da considerare invece nel contesto isolano, in quanto se non si dispone di spazi da poter adibire allo smaltimento dei rifiuti, o meglio occorre predisporli perché non si possono accumulare sull'isola, occorre trasportarli sulla terra ferma coi i relativi costi e consumi energetici.

La disponibilità dei rifiuti è distinguibile in rifiuti organici e non organici, per tenere conto del fatto che se i rifiuti organici sono più complessi da immagazzinare, si prestano ad usi specifici (quali la digestione anaerobica) che non sono invece possibili per altri tipi di rifiuti, che devono essere trasferiti a terra o eliminati in loco con un termovalorizzatore, attualmente non presente.

La natura lineare del problema genera tuttavia una problematica nella gestione del componente termovalorizzatore che è potenzialmente in grado di processare tanto rifiuti organici quanto inorganici. Per sopperire a questa problematica, ho creato un '*End Use*' fittizio, '*Waste Fuel*', in modo tale da poter inserire i due tipi di waste (organico e inorganico) che vogliamo usare nel termovalorizzatore per produrre energia elettrica. Questa suddivisione servirà quando si vorrà inserire il bio-digestore tra le tecnologie, per creare biogas e quindi stoccare energia e avere anche una fonte di energia non dipendente dalle condizioni climatiche esterne, come è invece per le altre fonti rinnovabili considerate nel contesto isolano.

4.3 – Dati indipendenti dai Typical Days

Avendo parametri per il modello dipendenti e indipendenti dal numero di Typical Days, si dichiarano in due file differenti: uno contiene le dichiarazioni dei set e parametri indipendenti dai TD (*ESTD_data.dat*), quali i costi di investimento, mantenimento, operativi, emissioni di costruzione, potenza massima e minima di dimensionamento della tecnologia. I costi sono riportati in milioni di franchi svizzeri (MCHF, 1 CHF \cong 0.92 €).

Tabella 2: Parametri indipendenti dalla scelta dei typical days: costo d'investimento capitale, di mantenimento, GWP di costruzione, vita stimata della tecnologia (lifetime), fattore di utilizzo, percentuale minima e massima di utilizzo della tecnologia, potenza minima e massima di dimensionamento.

Parametri	c_{inv}	c_{maint}	gwp_{constr}	lifetime	c_p	$F_{min}\%$	$F_{max}\%$	f_{min}	f_{max}
Unità	[MCHF/GW o MCHF/GW h]	[MCHF/GW o GWh/year]	[ktCO ₂ eq/ GW]	[years]	-	-	-	[GW o GWh]	[GW o GWh]
PV_ground	1300 ^a	20.67 ^b	2081.43	25	1	0	1	0	0.003 ^c
PV_roof	1800 ^a	28.62 ^b	2081.43	25	1	0	1	0	0.1
WIND	2000 ^a	32.61 ^b	622.85	20	1	0	1	0	0.013 ^c
AIR CON ^f	525.45	22.48	164.89	18	1	0	1	0	20
BOILER LPG	169.3	5.08	21.09	17	1	0	1	0	20
BOILER EL ^c	42.69	0.19	1.47	15	1	0	1	0	10 ^a
TERMAL SOLAR	384 ^a	4.224 ^g	100 ^a	17	1	0	1	0	20
HP	525.45	22.48	164.89	18	1	0	1	0	20
ENGINE DIESEL ^f	250	15	490.88	20	1	0	1	0	20
ENGINE LPG ^f	350	20	490.88	20	1	0	1	0	20
WASTE TO ENERGY ^d	3126.67	118.88	647.82	25	0.8 5	0	0.5	0	20
BIOW_TO FUEL ^f	0	0	0	50	1	0	1	0	100000
W_TO FUEL ^f	0	0	0	50	1	0	1	0	100000
BATT	600 ^a	0	61.3	10 ^a	1	0	1	0	100000
TS_AIR CON	30 ^a	0	0	25	1	0	1	0	100000
TS_BOILER LPG	20.26	0	0	25	1	0	1	0	100000
TS_BOILER EL	20.26	0	0	25	1	0	1	0	100000
TS_TERMA L SOLAR	20.26	0	0	25	1	0	1	0	100000
TS_HP	20.26	0	0	25	1	0	1	0	100000
S_WASTE FUEL ^f	20.26	0	0	25	1	0	1	0	100000
GRID	61100	0	0	80	1	0	1	0	20

^a valori modificati rispetto ai valori iniziali in Energy Scope (ES)

^b valori scalati in base ai valori in ES ($c_{maintPV}=c_{inv} * 15.9/1000$, $c_{maintWIND}=c_{inv} * 23.9/1466$)

^c valore massimo di impianto installabile sull'isola di Lampedusa (per l'eolico e fotovoltaico a terra [15])

^d per tale tecnologia si sono presi i valori dal file ES riferiti a IND_COGEN_WASTE

^e per tale tecnologia si sono presi i valori dal file ES riferiti a DEC_DIRECT_ELEC

^f tecnologia aggiunta rispetto a ES

^g è 1,1% del costo d'investimento

Bisogna anche stabilire l'efficienza di conversione per ogni tecnologia e stoccaggio in base alla risorsa che utilizza.

Tabella 3: Efficienze di trasformazione delle tecnologie.

Parametro layers_in_out:	Electri city	LPG	Diesel	Wa ste	Cool- ing	Hot Water	Res Wind	Res Solar	Bio Waste	Waste Fuel
ELECTRICITY	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LPG	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
DIESEL	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
WASTE	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
RES WIND	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
RES SOLAR	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
BIO WASTE	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PV_ground	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
PV_roof	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
WIND	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
AIR CON	-1	0	0	0	3	0	0	0	0	0
BOILER LPG	0	-1.111	0	0	0	1	0	0	0	0
BOILER EL	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
TERMAL SOLAR	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0
HP	-0.333	0	0	0	0	1	0	0	0	0
ENGINE DIESEL	1	0	-2.5	0	0	0	0	0	0	0
ENGINE LPG	1	-2.5	0	0	0	0	0	0	0	0
WASTE_TO ENERGY	0.444	0	0	0	0	0	0	0	0	-2.222
GRID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOW_TO FUEL	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
W_TO_FUEL	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	1

Per le risorse occorre indicare la disponibilità sull'isola, il valore di Global Warning Potential (GWP) e costo operativo. Ovviamente non essendo collegata alla rete elettrica nazionale la disponibilità di energia elettrica sarà nulla, pertanto tutta quella che occorre deve essere creata in loco.

Tabella 4: Parametri legati alle risorse presenti (disponibilità, costo operativo, GWP operativo).

Parametri	Avail [GWh/y]	gwp _{op} [ktCO ₂ eq/GW]	c _{op} [MCHF/GWh]
ELECTRICITY	0 ^a	0.4818	0 ^a
LPG	1000 ^a	0.3448	0.177230769 ¹
DIESEL	1000 ^a	0.3148	0.0774 ¹
WASTE	15 ^h	0.1501	0
RES WIND	1000000	0	0
RES SOLAR	1000000	0	0
BIO WASTE	11.2 ⁱ	0.1501	0

^h si è calcolato a partire dalla quantità di rifiuti annuali raccolti a Lampedusa (6751 ton), sottraendo il 30% di incombustibili, la parte di rifiuti organici [¹] e considerando il potere combustibile pari a 20 GJ/ton

ⁱ sapendo che per abitazione all'anno si hanno 810 kg di rifiuti organici, su Lampedusa consideriamo circa 2500 abitazioni e il potere combustibile pari a 20 GJ/ton

¹ sono stati valutati partendo dal prezzo di mercato sull'isola

Infine, per ciascun tipo di stoccaggio si devono fissare i tempi di ricarica e scarica, le perdite e la disponibilità di accumulo.

Tabella 5: Parametri legati allo stoccaggio di energia (tempi di carica e scarica, disponibilità di accumulo, percentuale di perdite).

Parametri	Storage charge time [h]	Storage discharge time [h]	Storage availability [%]	Storage losses [%]
BATT	4	4	1	0.0002
TS_AIR CON	4	4	1	0.00824
TS_BOILER EL	4	4	1	0.00824
TS_BOILER LPG	4	4	1	0.00824
TS_HP	4	4	1	0.00824
TS_TERMAL SOLAR	4	4	1	0.00824
S_WASTE_FUEL	4	4	1	0.00824

4.4 – Dati dipendenti dai Typical Days

In un altro file invece sono contenuti i set e parametri dipendenti dai TD, e la relazione tra ore all'anno (periods, 8760 ore), le ore della giornata (24h) e il typical day a cui quella giornata si riferisce. I parametri che dipendono strettamente dal TD sono la richiesta di energia elettrica (raffrescamento e altro), energia termica per riscaldamento e acqua calda sanitaria (ACS), la capacità del solare fotovoltaico e termico, vento, rifiuti organici. Questi valori sono espressi come rapporti, in quanto vanno moltiplicati per la potenza nominale della singola tecnologia.

Per recuperare i dati di interesse e creare un modello energetico dell'isola ho utilizzato i report di lavori svolti dall'ENEA su Lampedusa e Linosa [10] e [11]. Molti dati di cui avrei avuto bisogno non sono stati recuperati, come ad esempio l'andamento orario dei consumi delle singole abitazioni/attività per tutto il periodo dell'anno, diviso per le varie tipologie energetiche (ACS,

riscaldamento, raffrescamento, altro). Di conseguenza, nell'impossibilità materiale di avere dati esatti verificati sul campo, ho utilizzato dei dati standard e proceduto per ipotesi per poter produrre l'andamento orario dei typical days, da usare poi per elaborare i dati nel software.

Ho ipotizzato di poter raggruppare le giornate dell'anno in tre gruppi: uno per l'inverno, quando il riscaldamento è acceso (essendo in fascia climatica A Lampedusa ha il riscaldamento acceso da 1° dicembre al 15 marzo per 6 ore al giorno), un secondo per l'estate quando l'impianto di raffrescamento è acceso ed è elevata la presenza dei turisti, l'ultimo per le mezze stagioni, per quei mesi in cui non serve climatizzare, per via della temperatura mite e ci sono pochi turisti sull'isola. Sapendo poi che, una voce importante di consumo elettrico negli alberghi, è data dalla produzione di ACS, si è deciso di dividere la richiesta di energia elettrica (sia per il settore residenziale che per quello alberghiero) in base all'utilizzo: raffrescamento, riscaldamento, ACS e altro.

Per l'andamento di queste voci di consumo ho usato le curve di carico adimensionali genericamente riferite a utenze alberghiere e abitazioni, fornitemi dal professor Melino. Per una preliminare compilazione, intesa a verificare che il programma fosse in grado di analizzare i dati, nonostante le varie modifiche effettuate, ho posto dei valori da elaborare, arbitrari ma realistici, per la potenza utilizzata.

Per una prima compilazione del modello si è deciso di trascurare la mobilità e il contributo di energia consumata dal dissalatore, un'altra voce molto importante di consumo dell'isola, che è previsto inserire nella compilazione definitiva. Nella prima compilazione essenzialmente vengono prese in esame le richieste di energia del residenziale e del settore alberghiero (riscaldamento, raffrescamento, ACS, energia elettrica).

Per quanto riguarda i $c_{p,t}$ del solare termico, fotovoltaico (*PV*) ed eolico, ho usato un file excel dell'ENEA con dati orari scelti, dopo aver monitorato per 15 anni (2003-2017) i valori quali la temperatura esterna (dry e dew point), irraggiamento (all'estradosso e non, globale, diretto, diffuso), umidità relativa, direzione e velocità del vento, pressione atmosferica, opacità, visibilità, albedo, quantità di precipitazioni, giorni dall'ultima nevicata, presenza di aerosol nell'aria, in modo da creare un anno tipo (Gennaio 2006, Febbraio 2008, Marzo 2014, Aprile 2012, Maggio 2010, Giugno 2005, Luglio 2009, Agosto 2007, Settembre 2011, Ottobre 2005, Novembre 2016, Dicembre 2013).

Per il calcolo del $c_{p,t}$ del *PV* ho usato la colonna dell'irraggiamento globale moltiplicando per l'efficienza di un pannello solare fotovoltaico preso come campione e dividendolo per la potenza di design. Per l'eolico invece ho calcolato prima la potenza per una turbina eolica che segue l'andamento tipico riportato nel Grafico 1 (con velocità di cut-in, cut-off, rated speed), poi per trovare il $c_{p,t}$ l'ho divisa per la potenza massima che si calcola pari al cubo della velocità massima a cui può girare la turbina, che è pari alla velocità di cut-off (=15 m/s). Per il solare termico ho preso in esame un collettore solare termico non ricoperto, ho calcolato l'efficienza oraria e ho trovato il $c_{p,t}$ moltiplicando per l'irraggiamento globale diviso quello massimo annuale a Lampedusa.

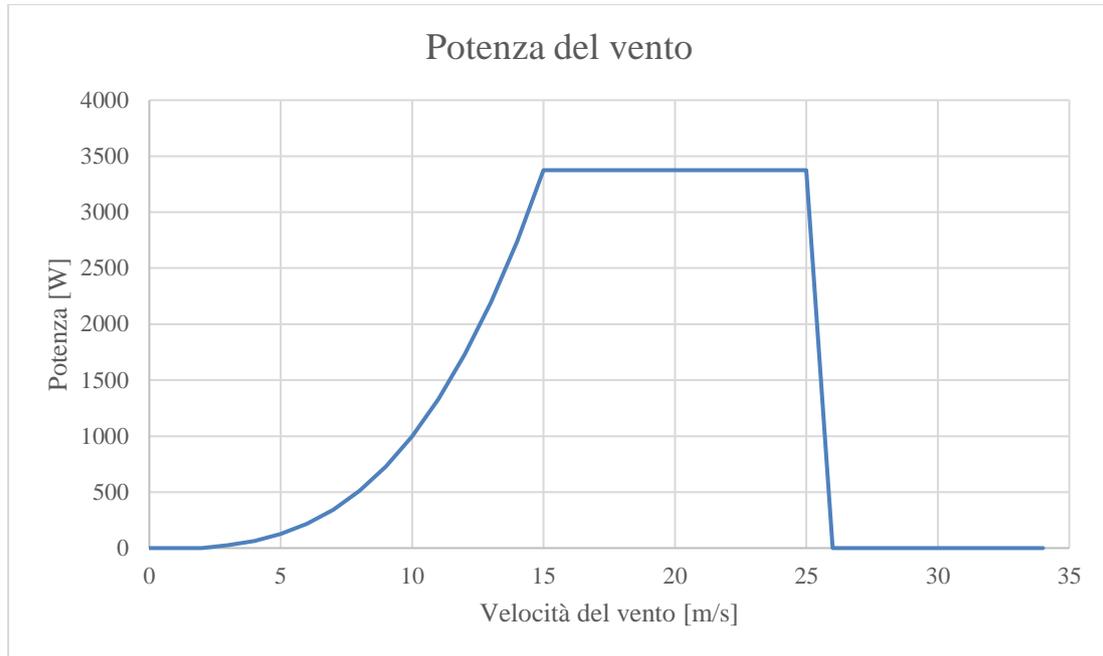


Grafico 1: Andamento della potenza ricavabile da una turbina eolica in funzione della velocità del vento.

Una volta calcolati tutti i $c_{p,t}$ sono stati inseriti nel file *data.dat* della prima parte del programma Energy Scope TD, che va in pratica a individuare i Typical Days minimizzando la distanza euclidea nella matrice cluster, si effettua in sostanza una clusterizzazione.

L'approccio dei TD permette di ridurre le dimensioni del problema, al costo di un calo della precisione dei risultati, di conseguenza è necessario individuare, nel caso specifico di Lampedusa, il numero di TD che sia il giusto compromesso tra riduzione delle dimensioni del problema (pochi TD) e precisione (molti TD). EnergyScope TD prevede come standard l'utilizzo di 12 TD, praticamente uno per ogni mese. Procedendo sperimentalmente ho valutato come variasse il margine di errore al variare del numero di TD da 3 a 24, come illustrato nel Grafico 2.

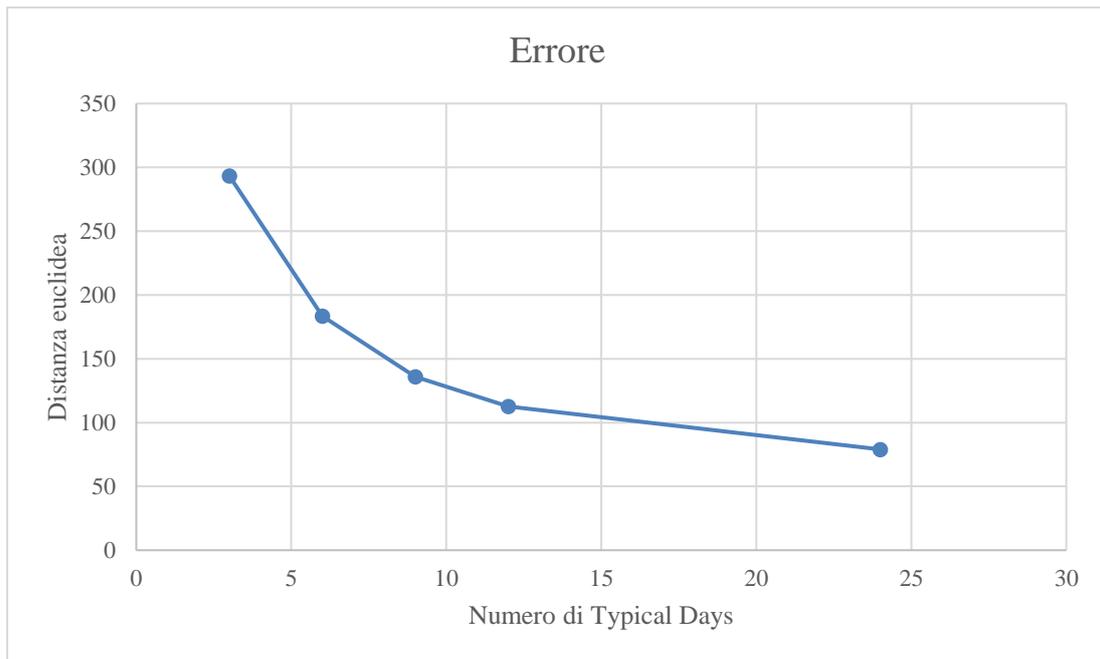


Grafico 2: Andamento della distanza euclidea al variare del numero di Typical Days considerato.

Analizzando i risultati qui sopra esposti, appare ragionevole cercare di modellare il nostro sistema isola con 6 TD perché dopo l'errore cala relativamente di poco rispetto al divario tra 3 TD e 6 TD.

Per trovare i 6 nuovi Typical Days ho ritenuto opportuno andare a calcolare giorno per giorno le richieste di riscaldamento, raffrescamento, ACS e altro in funzione delle presenze turistiche mensili, riportate nella Figura 11.

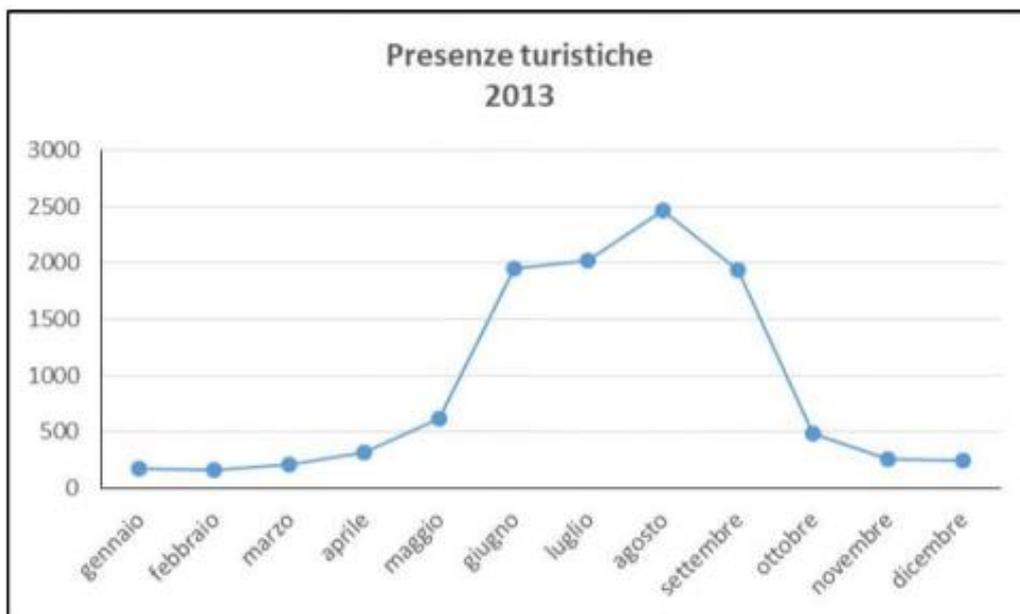


Figura 11: Presenze turistiche anno 2013, grafico preso da PAESC [11].

Le 6 giornate tipo che risultano dalla compilazione del modello per la clusterizzazione sono:

Typical Days	37	117	213	227	303	355
	6 febbraio	27 aprile	1° agosto	15 agosto	30 ottobre	21 dicembre
Rinomino	1	2	3	4	5	6
Ripetizione nell'anno	97	65	91	31	44	37

Tabella 6: Typical Days individuati dal software.

A questo punto ho rielaborato i dati dei consumi dell'hotel in funzione delle presenze turistiche, elaborando un file in Python ([16], [17]) che mi trovava la combinazione migliore dei parametri per minimizzare l'errore totale, avendo a disposizione i valori dei consumi bimestrali di quattro alberghi [10]. Ho cercato di modellare i miei andamenti per rispecchiare tali valori minimizzando l'errore. Lo stesso procedimento l'ho effettuato per le abitazioni, di cui avevo i consumi bimestrali di sette [10], ricavando due categorie: quelle occupate tutto l'anno (Dimora Fissa = DF) e le Case Vacanza (CV). Le prime caratterizzate da consumi significativi durante tutto l'anno ma maggiori d'inverno, mentre le seconde da picchi di consumo prevalenti in estate suggerendo un utilizzo dell'abitazione di tipo turistico e non continuativo.

Formule HOTELS:

- Riscaldamento/Raffrescamento: $Q_{day} = \bar{U} A_{tot} \Delta T_{day}$
 con $\bar{U} = \frac{A_{me}}{A_{tot}} U_{me} + \frac{A_{fin}}{A_{tot}} U_{fin} + \frac{A_{sol}}{A_{tot}} U_{sol} = \frac{1,795W}{m^2K}$ (edificio campione di 90 m² esteso su un unico piano con muro esterno non isolato di 25 cm di pietra, finestra con doppio vetro, solaio non isolato)
 e $\Delta T_{day} = \begin{cases} T_{Media,est} - T_{int} & \text{per il raffrescamento, } T_{int} = 26 \\ T_{int} - T_{Media,est} & \text{per il riscaldamento, } T_{int} = 20 \end{cases}$
- ACS: $Q_{mese} = \dot{m} c_p \Delta T$
 con $\dot{m} = 50 \frac{l}{persona \cdot di} * (\text{persone}_{fisse} + \frac{N_{tur,m}}{N_{alberghi}}) * N_{gg,m}$ e
 $\Delta T = T_{ACS} - 15$
- Altro: $Q_{mese} = q_{altro0} + q_{altro1} * \frac{N_{tur,m}}{N_{alberghi}} * N_{gg,m}$

Soluzione che minimizza l'errore:

Parametri di calibrazione	
Area totale	5488
T _{ACS}	55.7
q _{altro0}	650
q _{altro1}	7
Persone fisse	1.33

$$Errore = \sum_{i=1}^6 \frac{|E_i - \hat{E}_i|}{E_{tot}} = 0.1917$$

Utente	Bimestre					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
H1	384	403	3156	9324	5718	635
H2	5286	3488	4115	11999	7999	2964
H3	4250	4401	11655	39651	30113	11182
H7	12958	10301	7189	25520	24607	11423
Media	5720	4648	6529	21624	17109	6551

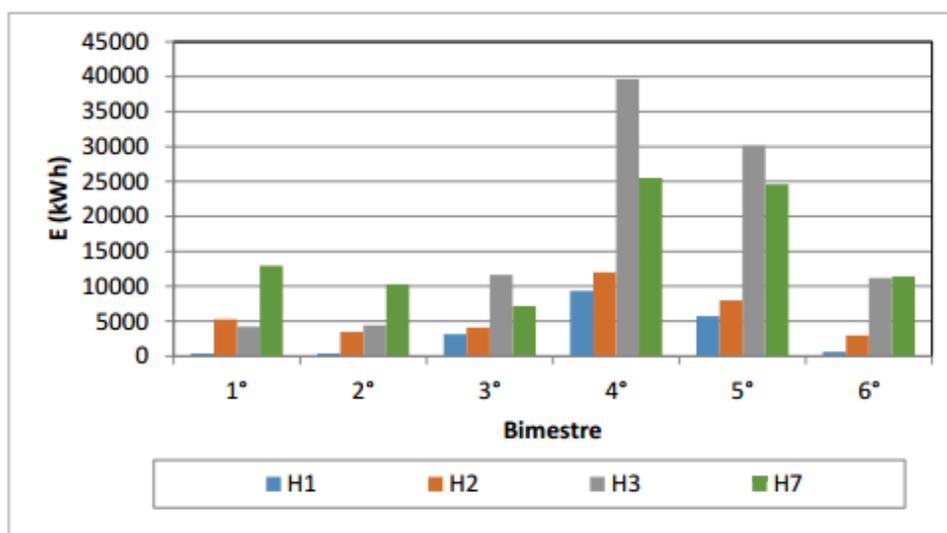


Figura 12: Consumi bimestrali delle utenze alberghiere [10].

In ultimo ho trovato il numero di alberghi necessari per arrivare al consumo annuo attuale degli alberghi a Lampedusa (12.5 GWh) [11], con 250 hotels arrivo a 11.7 GWh, si avvicina molto al valore annuo attuale. Inoltre, il valore considerato come numero di alberghi presenti sull'isola è ragionevole in quanto ho trovato una media di 200 hotel e B&B facendo una ricerca su internet su vari siti web di agenzie turistiche.

Fabbisogno totale annuo per utenze alberghiere [GWh]				
ACS	Riscaldamento	Raffrescamento	Altro	TOTALE
1.75	2.03	1.61	6.32	11.72

Tabella 7: Fabbisogno totale annuo calcolato per le utenze alberghiere suddiviso per le varie tipologie di richieste energetiche.

Formule HOUSEHOLDS:

- Riscaldamento/Raffrescamento: $Q_{day} = \bar{U} A_{tot} \Delta T_{day}$
 con $\bar{U} = \frac{A_{me}}{A_{tot}} U_{me} + \frac{A_{fin}}{A_{tot}} U_{fin} + \frac{A_{sol}}{A_{tot}} U_{sol} = \frac{1,795W}{m^2K}$ (edificio campione di 90 m² esteso su un unico piano con muro esterno non isolato di 25 cm di pietra, finestra con doppio vetro, solaio non isolato) e

$$\Delta T_{day} = \begin{cases} T_{Media,est} - T_{int} & \text{per il raffrescamento, } T_{int_{CV}} = 24 \text{ e } T_{int_{DF}} = 26 \\ T_{int} - T_{Media,est} & \text{per il riscaldamento, } T_{int_{CV}} = 15 \text{ e } T_{int_{DF}} = 18 \end{cases}$$

- ACS: $Q_{mese} = \dot{m} c_p \Delta T$ con $\dot{m} = 50 \frac{l}{persona \cdot di} * \text{persone}_{fisse} * N_{gg,m}$
 e $\Delta T = T_{ACS} - 15$
- Altro: $Q_{mese} = q_{altro} * N_{gg,m}$

CV

Parametri di calibrazione	
Area totale	110
T _{ACS}	51.09
q _{altro0}	12.06
Persone fisse	0.477

DF

Parametri di calibrazione	
Area totale	100
T _{ACS}	49
q _{altro0}	6.86
Persone fisse	2.5

$$Errore = \sum_{i=1}^6 \frac{|E_i - \hat{E}_i|}{E_{tot}} = 0.0578$$

$$Errore = \sum_{i=1}^6 \frac{|E_i - \hat{E}_i|}{E_{tot}} = 0.1027$$

Utente	Bimestre					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
R1	567	519	334	791	544	628
R2	1012	850	701	619	556	778
R3	1301	1064	860	902	824	961
R4	132	28	65	134	133	0
R5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
R6	805	736	585	776	572	614
R7	2736	1307	1280	1016	1157	1771
R8	1731	1749	1330	2278	1393	1277

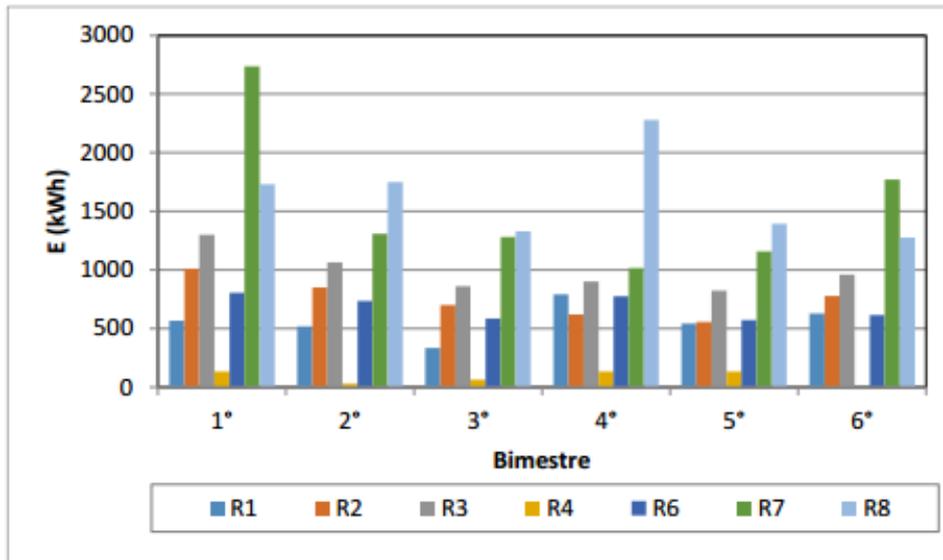


Figura 13: Consumi bimestrali delle utenze residenziali [10].

A questo punto bisogna trovare la combinazione di numero di case vacanze e dimore fisse in modo tale che il consumo annuo corrisponda al valore riportato nel report di Lampedusa (pari a circa 14.94 GWh) [11]. Per giungere a tale valore sono necessarie 2000 dimore fisse e 500 case vacanze. Ancora una volta ho validato questa mia ipotesi andando a cercare conferma nei dati dell'ultimo censimento di Lampedusa (2019), dove risulta una media di circa 2,42 persone per famiglia e una popolazione residente stimata attorno 6494 persone.

Fabbisogno totale annuo per le utenze residenziali [GWh]				
ACS	Riscaldamento	Raffrescamento	Altro	TOTALE
3.79	3.49	0.45	7.21	14.94

Tabella 8: Fabbisogno totale annuo calcolato per le utenze residenziale suddiviso per le varie tipologie di richieste energetiche.

Per far funzionare la versione “isolana” di EnergyScope bisogna rimodificare tutti i dati relativi all'andamento orario di abitazioni e alberghi, ma anche i fattori capacitivi orari ($c_{p,t}$) dell'eolico (*Wind*), fotovoltaico (*PV*), solare termico (*Thermal Solar*) e in aggiunta anche della produzione di rifiuti organici (*Bio Waste*). I valori capacitivi orari per l'eolico, fotovoltaico e solare termico li ho estrapolati dai file excel che avevo già organizzato nel formato 365x24, prendendo i valori corrispondenti ai 6 TD individuati. Diversamente per i rifiuti organici, ho fatto un'ipotesi semplificativa basata sulla produzione annuale di umido per abitazione, considerando che venga raccolto tutti i giorni alla stessa ora, così da avere un limite sulla disponibilità di rifiuti al termovalorizzatore. Tutti gli andamenti orari sono riportati nell'appendice.

Conclusa l'analisi di ottimizzazione dell'isola considerando le utenze domestiche e alberghiere, occorre aggiungere i consumi derivanti dal dissalatore e la mobilità, pari circa a un terzo del consumo totale di Lampedusa.

4.5 – Aggiunta del dissalatore al modello

Il programma da cui si è partiti per lo sviluppo del modello dell'isola di Lampedusa, essendo stato sviluppato per un'applicazione in Svizzera, dove non esiste il problema di approvvigionamento di acqua dolce, non prevedeva le tecnologie di produzione di acqua dolce per dissalazione di acqua marina. Questa mancanza è stata colmata introducendo un layer specifico, water, e tutte le tecnologie necessarie a tale scopo.

Esistono numerosi modelli di impianto di desalinizzazione, basati sull'energia elettrica e termica in diverse combinazioni, a seconda del processo utilizzato. Su tale argomento sono già presenti nella letteratura vari articoli di studi effettuati sugli impianti di desalinizzazione, ad esempio in [18] si trova uno studio che confronta le diverse tecnologie disponibili e chiarisce come a fronte di costi di installazione diversi, gli impianti di Reverse Osmosis (RO) apparentemente sfavoriti, in quanto richiedono un capitale iniziale maggiore, abbiano poi un costo di esercizio più basso e siano più facilmente abbinabili ad impianti rinnovabili (solare termico e fotovoltaico). Viceversa, gli impianti di dissalazione Multi-Stage Flash (MSF) e Multi-Effect distillation (MED) implicano la disponibilità di una fonte energetica convenzionale, basata sui combustibili fossili (generatore diesel), quindi un costo di esercizio dipendente dal costo del combustibile sul mercato, ma hanno un costo di installazione inferiore.

Tutti i sistemi principalmente utilizzati (RO, MSF, MED) possono essere inseriti in un sistema ibrido composto da fotovoltaico, eolico, batterie e generatori diesel, come effettuato in [19]. In questo studio comunque, gli autori, utilizzando il software Hybrid Optimization Models for Energy Resources (HOMER) per ricercare la soluzione ottimale, hanno dimostrato che RO è il sistema di desalinizzazione più economico nella gestione ordinaria in quanto consente un alto livello di penetrazione delle fonti rinnovabili.

Nello specifico vengono inseriti nel modello le tre tipologie di dissalazione più comuni, descritte nella [19], che sono Reverse Osmosis, Multi-Stage Flash e Multi-Effect Distillation.

Tabella 9: Parametri indipendenti dalla scelta dei typical days per le tecnologie di dissalazione.

Parametri	c_{inv}	c_{maint}	gwp_{constr}	$lifetime$	c_p	$F_{min}\%$	$F_{max}\%$	f_{min}	f_{max}
Unità	$[\frac{MCHF}{GW} \text{ o } \frac{MCHF}{GWh}]$	$[\frac{MCHF}{GW} \text{ o } \frac{GWh}{year}]$	$[\frac{ktCO2_{eq}}{GW}]$	$[years]$	-	-	-	$[\frac{GW}{GWh}]$	$[\frac{GW}{GWh}]$
REVERSE OSMOSIS	8147	22.48	164.89	18	1	0	1	0	20
MS_FLASH	525.45	22.48	164.89	18	1	0	1	0	20
ME DISTILLATION	525.45	22.48	164.89	18	1	0	1	0	20
S_WATER	20.26	0	0	25	1	0	1	0	10000

Tabella 10: Efficienze di trasformazione dell'energia per gli impianti di dissalazione considerati.

Parametro layers in out:	Electricity	LPG	Diesel	Waste	Cooling	Hot Water	Res Wind	Res Solar	Bio Waste	Waste Fuel	Water
REVERSE OSMOSIS ^f	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MS_FLASH ^f	0	0	0	0	0	-1.4	0	0	0	0	1
ME DISTILLATION ^f	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1

Per la compilazione del programma poi serve l'andamento orario della richiesta di acqua potabile nei typical days dividendola per utenze alberghiere e residenziali sull'isola. I dati reperiti sono il consumo annuo di elettricità per alimentare il dissalatore installato a Lampedusa di tipo Reverse Osmosis [11]. Sapendo dalla [19] il consumo di energia elettrica del dissalatore per m³ prodotto di acqua desalinizzata (3 kWh/m³), si è calcolata la quantità di acqua potabile prodotta annualmente e da questa si sono estrapolati i consumi mensili per i due tipi di utenze nel seguente modo. Dai consumi mensili si è trovato il valore giornaliero rappresentativo di ogni mese che è stato poi assunto come valore del typical day appartenente a quel mese.

Consumo elettrico annuo del dissalatore = 3.63 GWh/anno → Quantità di acqua desalinizzata = 1 210 000 m³/anno

$$\text{Portata Acqua HouseHolds:} \quad \dot{m} = \bar{m} * \left(persone_{fisse} + N_{CV} * \frac{N_{tur,m}}{N_{tur,max}} \right) * N_{gg,m}$$

$$\text{Portata Acqua Hotels:} \quad \dot{m} = \bar{m} * N_{tur,m} * N_{gg,m}$$

Con \bar{m} calcolata dividendo la quantità di acqua annuale per il numero di presenze turistiche e residenti all'anno $\left(\bar{m} = 437 \frac{m}{pers*di} \right)$.

Tabella 11: Valori della portata d'acqua potabile necessaria per il settore residenziale e alberghiero, calcolati in funzione della presenza turistica mensile.

Presenze turistiche	Mese	Portata Acqua Huseholds [m ³ /mese]	Portata Acqua Hotels [m ³ /mese]
100	Gennaio	88260	1354
120	Febbraio	79767	1467
250	Marzo	88666	3384
400	Aprile	86199	5240
600	Maggio	89613	8122
2000	Giugno	90391	26200
2050	Luglio	93539	27750
2500	Agosto	94757	33842
1900	Settembre	90129	24890
500	Ottobre	89343	6768
250	Novembre	85806	3275
200	Dicembre	88530	2707

4.6 – Aggiunta della mobilità al modello

Accanto all'ottimizzazione della produzione energetica, è necessario considerare i costi e le emissioni del sistema di trasporto (pubblico e privato), perché sono una voce importante di inquinamento e di consumo energetico. Infatti, l'attuale mobilità di merci e persone è fondamentalmente basata sui combustibili fossili, laddove l'inquinamento è un problema pressante si è cercato di convertire il sistema dei trasporti verso veicoli meno inquinanti o a inquinamento zero. In quest'ultimo caso si tratta di veicoli elettrici e prototipi di veicoli ad idrogeno. Nelle grandi città dei paesi industrializzati, un'alternativa parziale è rappresentata dalle reti di trasporto ferroviario sia in superficie che underground e in tempi più recenti l'utilizzo massiccio di veicoli elettrici a batteria. In un ambito isolano sono questi ultimi che risultano più idonei, anche perché se ipotizzassimo sistemi di produzione di corrente continua diffusi si creerebbero le condizioni di ricarica dei singoli mezzi indipendente dalla rete, soprattutto per le isole geograficamente favorite da un'esposizione solare notevole durante tutto l'anno.

Gli studi svolti nell'ottica di una smartgrid con contestuale elettrificazione del parco automobilistico, hanno mostrato come le batterie dei veicoli possano risultare utili se vengano utilizzate anche come batterie di stoccaggio nelle fasi di sosta (metodica definita VehicleToGrid), come dimostrato nell'articolo [20]. Diversamente, laddove non esistono le condizioni di una mobilità veicolare si sono ipotizzati anche sistemi di stoccaggio dell'energia elettrica basati su batterie mobili trasportabili via mare [21].

Concentrando l'attenzione nuovamente sul caso studio di questo lavoro, Lampedusa, dai precedenti lavori svolti sull'isola risulta evidente che i consumi triplicano nella stagione estiva (giugno-settembre) per via dell'elevata affluenza turistica. Una fetta non trascurabile dei consumi e delle emissioni annuali è data dalla mobilità, per via dell'arretratezza dei veicoli circolanti nell'isola (euro 0-3), che sono dati a noleggio ai turisti. In quanto usati pochi mesi all'anno dai villeggianti, i residenti non sono motivati ad acquistare veicoli elettrici, molto più costosi e di difficile gestione tecnica, che rappresenterebbero dei capitali immobilizzati per i pochi mesi di attività di noleggio, difficilmente recuperabili in termini di gestione economica. I veicoli a combustione interna meglio si prestano ad un uso non continuativo e proprio per la loro arretratezza tecnologica sono più facili da gestire e con costi di gestione annuali molto più contenuti. Infatti, il consumo di carburante, che aumenta significativamente col flusso turistico, non incide sul proprietario del veicolo ma sul suo utilizzatore, anche se resta sull'isola l'inquinamento atmosferico che date le caratteristiche orografiche e climatiche di Lampedusa non è un problema molto sentito.

In aggiunta alla mobilità terrestre nel modello dell'isola di Lampedusa bisognerebbe considerare anche tutta la mobilità legata all'attività della pesca, che è l'unica industria presente sull'isola oltre al turismo, ai costi dei traghetti e degli aerei di collegamento con la terra ferma. Entrambe queste voci sono generate dall'utilizzo di combustibile fossile, in particolare diesel, quindi rappresentano una voce considerevole di inquinamento. Tuttavia, considerare anche questa mobilità richiederebbe, oltre a una elaborazione molto più complessa del modello, una quantità di dati ricavati in loco che al momento non si ha a disposizione.

Considerando perciò solo la mobilità locale è ragionevole evitare la suddivisione tra trasporti pubblici e privati, in quanto i secondi rappresentano più del 90% dei veicoli a Lampedusa. Quindi, nel programma si è aggiunta come un'unica voce di richiesta energetica.

I valori delle efficienze sono stati lasciati uguali a quelli presenti nella versione originale di EnergyScope, in più è stata aggiunta la categoria *Car Diesel Old* per considerare le auto già presenti a Lampedusa.

Tabella 12: Efficienza di trasformazione dell'energia per le autovetture considerate.

Parametro layers in out:	Electricity	LPG	Diesel	Waste	Cooling	Hot Water	Res Wind	Res Solar	Bio Waste	Waste Fuel	Water	Mobility
CAR DIESEL	0	0	-0.3868	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CAR DIESEL OLD	0	0	-0.44*	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CAR HEV	0	0	-0.2471	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CAR BEV	-0.0863	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

*questo valore è stato preso da [22]

Per il calcolo del costo d'investimento, di mantenimento e il gwp di costruzione si è partiti dai seguenti dati:

- numero di veicoli costante pari a 5000 autovetture;
- consumo attuale 30.6 GWh/anno.

Conoscendo il rendimento delle macchine Diesel da [22], pari a 0.44 kWh/pkm, si è trovato il fabbisogno annuo (F_m) espresso in Mpkm/anno: $F_m = 30.6/0.44 = 69.5 \frac{\text{Mpkm}}{\text{anno}}$.

Il fattore di utilizzo medio per veicolo risulta essere: $f_{\text{ref}} = 69.5/5000 = 0.0139 \frac{\text{Mpkm}}{\text{anno*car}}$.

Questo fattore di utilizzo sarà il c_p del nostro programma, perché rappresenta quanto viene in media utilizzata una vettura durante l'anno.

A questo punto occorrono trovare i valori dei costi d'investimento, partendo dai costi per auto attuali sul mercato, si è andato a trovare il valore del modulo di investimento da inserire nel modello mediante le seguenti formule.

$$\begin{cases} C_{inv} = C_{inv}^v * 5000 \\ C_{inv} = F * \widetilde{C}_{inv} \end{cases} \rightarrow \widetilde{C}_{inv} = \frac{C_{inv}^v * 5000}{F}$$

Tabella 13: Valori del costo di investimento per tipologia di autovettura.

Tipo	C_{inv}^v [€/car]	\overline{C}_{inv} [MCHF/Mpkm/anno]
Diesel	15 000	129.4
HEV	20 200	175
BEV	36 000	310.54

Per quanto riguarda il costo di mantenimento, sapendo che mediamente in Italia per la manutenzione ordinaria di un'automobile si spende circa 1 000 €, e considerando un prezzo medio per una macchina a combustione interna pari a 20 000€, si è osservato che il costo per il mantenimento è circa un ventesimo del costo medio di acquisto di un'auto a carburante, pertanto si è preso il valore del costo d'investimento della *car diesel* e lo si è diviso per 20. Per le altre macchine invece si sono usati i valori del costo di mantenimento di [23] facendo delle semplici proporzioni, tenendo come base di calcolo il valore della *car diesel*.

Tabella 14: Valori del costo di mantenimento (C_{main}) per tipologia di autovettura.

Tipo	Valore riportato in [23] [CHF/pkm/h/y]	Valore usato in questo studio [MCHF/Mpkm/anno]
Diesel	25	6.47
HEV	36.7	9.5
BEV	10.6	2.74

Infine, per trovare il valore del GWP di costruzione per ogni tipologia di autovettura si sono utilizzati i dati dal materiale supplementare del paper [24], tuttavia essendo in diverse unità di misura sono stati necessari i seguenti passaggi.

$$gwp_{constr} = gwp_{constr/km} * distance * N^{\circ}_{vehicle} / F$$

Tabella 15: Valori del GWP di costruzione per tipologia di autovettura.

Tipo	Valore riportato in [24]	Valore usato in questo studio [ktCO_{2eq}/Mpkm]
Diesel	60	77.6
HEV	77	100
BEV	83	107.39

Tabella 16: Riepilogo parametri indipendenti dalla scelta dei typical days per le autovetture considerate nel modello.

Parametri	c_{inv}	c_{maint}	gwp_{constr}	$lifetime$	c_p	F_{min} %	F_{max} %	f_{min}	f_{max}
<i>Unità</i>	$[MCHF/GW$ o $MCHF/GWh]$	$[MCHF/GW$ o $GWh/year]$	$[ktCO_2e$ o $g/GW]$	$[years]$	-	-	-	$[G$ W o GW $h]$	$[GW$ o GWh $]$
CAR DIESEL	129.4	6.47	77.6	10	0.0139	0	1	0	10
CAR DIESEL OLD	0	6.47	0	10	0.0139	0	1	0.57964	0.57964
CAR HEV	175	9.5	100	10	0.0139	0	1	0	10
CAR BEV	310.54	2.74	107.39	10	0.0139	0	1	0	10

CAPITOLO 5 – Risultati

5.1 – Caso Test: verifica del modello

Per prima cosa si è effettuato un caso Test, ossia, si è eseguito il programma di ottimizzazione imponendo solo la presenza del generatore diesel, boiler LPG e del sistema di raffrescamento per verificare che i consumi annui di combustibile rispecchiano effettivamente quelli necessari per soddisfare la quantità di energia richiesta, ottenuta sommando le varie voci di consumo dell'utenze residenziali e alberghiere.

Costo annuo totale = 5.44 MCHF/anno

Tipo energia	Combustibile	Costo operativo [MCHF]	Costo operativo specifico [MCHF/GWh]	Energia teorica ricavabile [GWh]	Energia disponibile [GWh]	Energia richiesta [GWh]
Termica	LPG	2.1397	0.177230769	12.07	11	11
Elettrica	Diesel	2.9597	0.0774	38.24	15.29 - 7% (perdite) =14.22	14.22

Tabella 17: Verifica della validità del modello modificato per l'applicazione sull'isola di Lampedusa.

5.2 – Prima parte (modello base)

Appurato che il programma è corretto, si sono effettuate varie simulazioni. Una riguarda un modello teorico-ideale, ossia una situazione in cui tutti i componenti impiantistici siano nuovi, un'ulteriore simulazione è stata fatta imponendo la presenza dei soli impianti esistenti, i cui costi di costruzione sono stati posti pari a zero, che rappresenta lo stato attuale di Lampedusa.

Dallo stato attuale, che rappresenta più realisticamente il caso reale dell'isola, si sono inserite tutte le possibili nuove tecnologie ottenendo quello che possiamo definire un modello di progetto per ottimizzare la produzione energetica, in cui da un lato si vuole modernizzare e decarbonizzare il sistema energetico dell'isola, mentre dall'altro si vuole tenere in conto degli impianti già presenti sul territorio.

La combinazione ottimale di produzione energetica nel modello ideale che minimizza i costi, pari a 3.016 MCHF/anno, risulta avere un'emissione totale $GWP_{tot} = 10.619 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$, di cui operativa $10.165 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$, decisamente inferiore a $21.27 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$, valore ottenuto

dalla simulazione del modello dello stato attuale. Risultato in parte prevedibile in quanto la produzione di energia al momento non è stata pensata per minimizzare i costi né le emissioni, ma solo per garantire la copertura della domanda energetica massima che si verifica durante l'estate per il flusso turistico, inoltre gli impianti esistenti hanno prevalentemente una bassa efficienza (quali scaldabagni elettrici per la produzione di ACS). L'efficientamento del sistema energetico dell'isola di Lampedusa, ottenuto con l'introduzione delle pompe di calore a sostituire i vecchi impianti termici, il termovalorizzatore e impianti di produzione di energia rinnovabile (fotovoltaico, solare termico), otterrebbe un dimezzamento delle emissioni di anidride carbonica e dei costi totali.

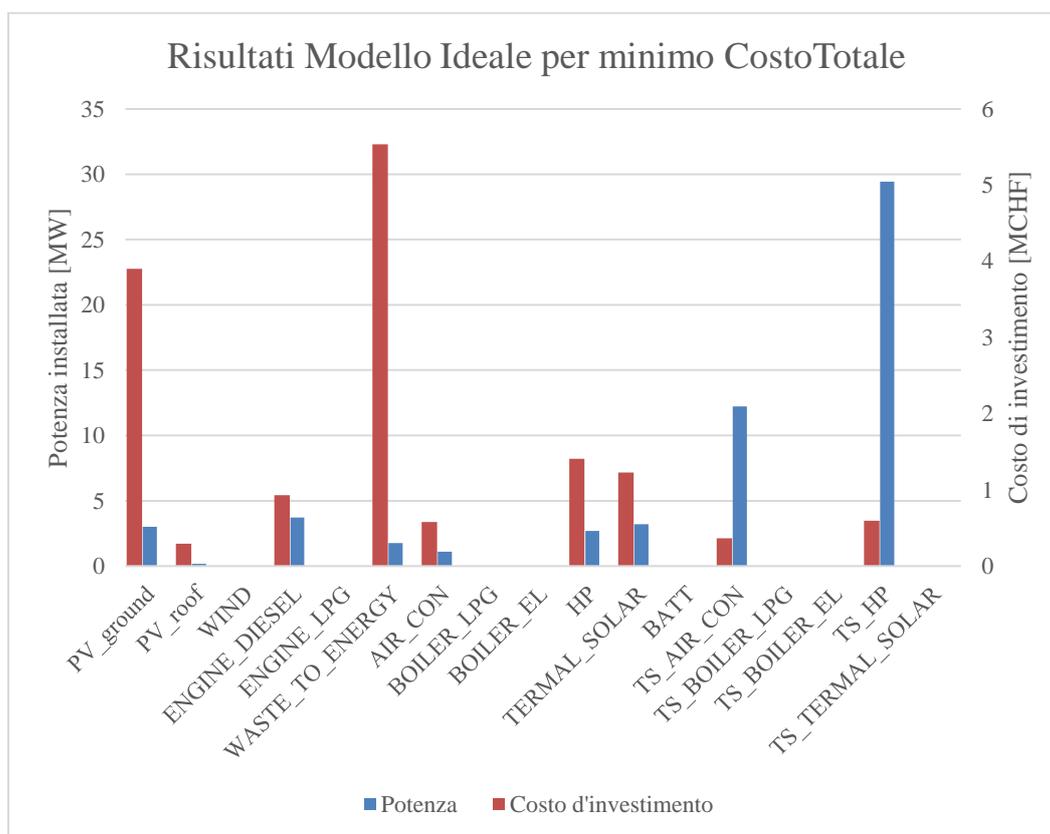


Grafico 3: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Modello Teorico-Ideale.

La valutazione dei costi totali minimi per la produzione energetica ricavata dal modello che riproduce lo stato attuale dell'isola risulta essere pari a 5.33 MCHF/anno, corrispondente a un GWP totale di 21.27 ktCO_{2eq}/year. Questo GWP totale è tutto operativo, in quanto sono stati posti uguali a zero i gwp di costruzione e i costi di investimento, si tratta infatti di realizzazioni impiantistiche completate da tempo. Come riportato in Tabella 18, il programma elabora il dimensionamento delle tecnologie attualmente presenti sull'isola.

TECHNOLOGIES	F [MW o MWh]
ENGINE DIESEL OLD	5.104
BOILER_EL_OLD	4.898
AIR CON OLD	0.994
TS_AIR_CON	8.248
TS BOILER EL OLD	28.278
BATT	0

Tabella 18: Dimensionamento delle tecnologie calcolato dal programma.

Sapendo che la centrale termoelettrica installata sull'isola ha una potenza nominale pari a 22 MW [1], si può porre pari a 22 MW la potenza dell'*engine diesel old*. Mentre per *air con old* si approssima a 1 MW, in quanto come risulta dalla Tabella 18 è molto prossimo a tale valore.

Partendo dal modello dello stato attuale, si è sviluppato il modello del possibile progetto da realizzare sull'isola, tenendo conto degli impianti preesistenti e ponendo i limiti corretti di potenza installabile delle tecnologie rinnovabili. Il costo totale minimizzato da tale modello progetto risulta essere pari a 3.160 MCHF/anno, inferiore a quello ottenuto nell'elaborazione dello stato attuale (5.33 MCHF/anno), in quanto installando sistemi più efficienti e da fonti rinnovabili si riesce a risparmiare sull'uso del carburante dimezzando i costi. Inoltre, il GWP_{tot} ottenuto minimizzando il costo totale è 10.491 $ktCO_{2eq}/year$, di cui operativo 10.135 $ktCO_{2eq}/year$, che è la metà di quello attuale (21.27 $ktCO_{2eq}/year$).

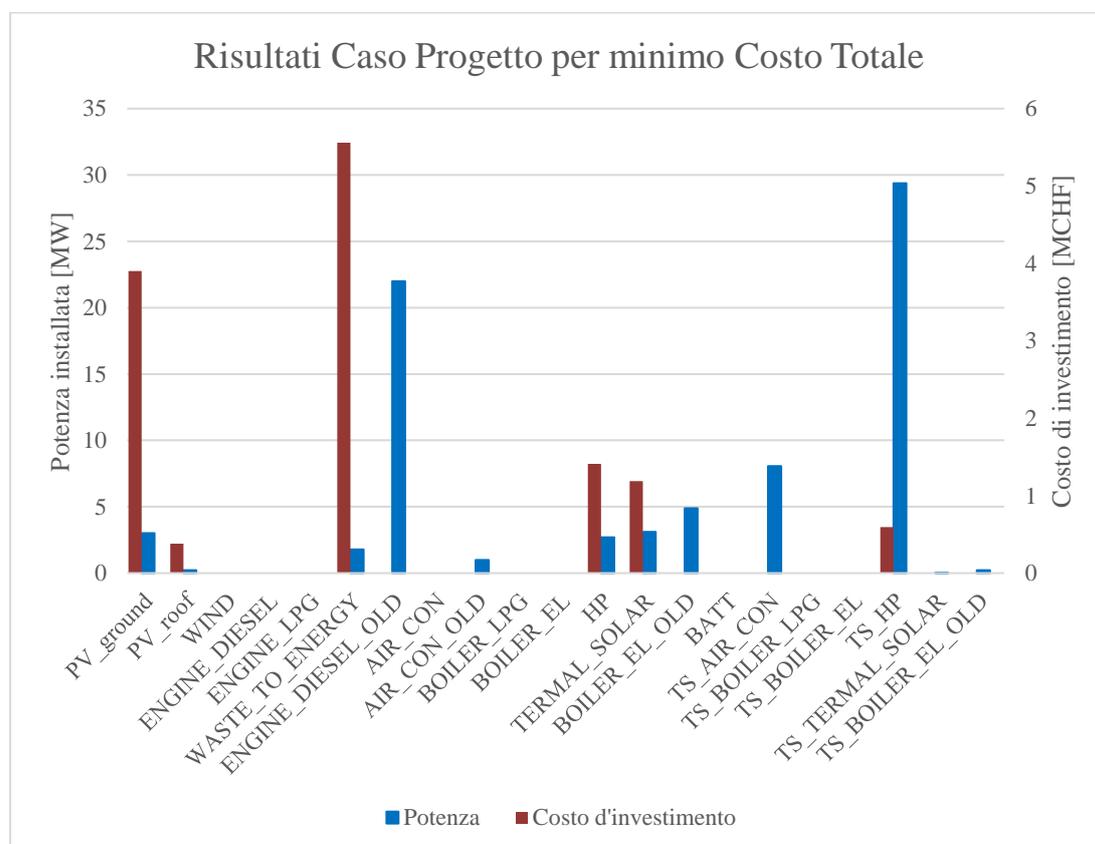


Grafico 4: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare il costo totale annuo.

Se si desiderasse invece cercare di ridurre ulteriormente il GWP_{tot} si osserverebbe un incremento del costo, dovuto essenzialmente ai nuovi investimenti per gli impianti di produzione. Ponendo un vincolo alle emissioni annualmente emesse (GWP_{limite}), sempre più restrittivo, si va ad osservare come il programma vari la combinazione di produzione energetica. Per un valore di GWP_{limite} pari a $10 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$, subito sotto a quello che il software ha calcolato senza vincoli sul GWP, minimizzando solo il costo annuale, il programma incrementa il numero di pannelli fotovoltaici e delle pompe di calore, quindi con un lieve incremento del costo totale. Solo con valori di $GWP_{limite} < 4.9 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$ il programma include l'eolico nella combinazione di tecnologie usate per produrre energia.

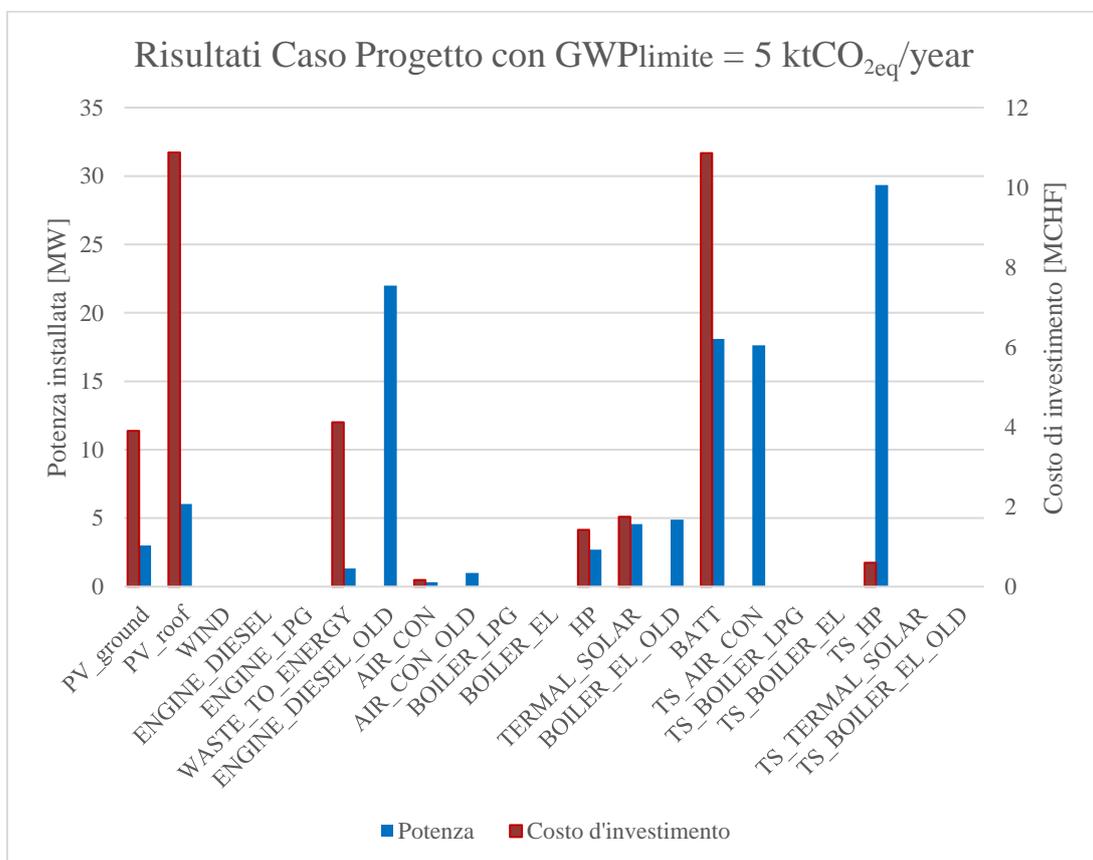


Grafico 5: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare il costo totale annuo e il limite sul GWP_{tot} .

Ponendo invece come funzione obiettivo “minimizzare il GWP totale” il software calcola un valore pari a 1.545 ktCO_{2eq}/year, di cui operativo 0.047 ktCO_{2eq}/year e il restante 1.50 ktCO_{2eq}/year di costruzione, cioè dovuto alla realizzazione degli impianti, considerata anche la loro durata nel tempo (*lifetime*). In questo caso il costo totale sale a 5.352 MCHF/anno, cioè aumentato del 60% rispetto al costo minimo (3.160 MCHF/anno), ma equivalente al costo attuale della produzione energetica calcolato dal programma (5.33 MCHF/anno). Sostanzialmente agli stessi costi attuali annuali sarebbe possibile, investendo nell’installazione di impianti nuovi e da fonti rinnovabili, ridurre le emissioni di CO₂ a un quattordicesimo di quelle attuali. In questa simulazione di emissioni totali ridotte al minimo, si può osservare da Grafico 6 che il fotovoltaico ha raggiunto il limite massimo di dimensionamento possibile sull’isola.

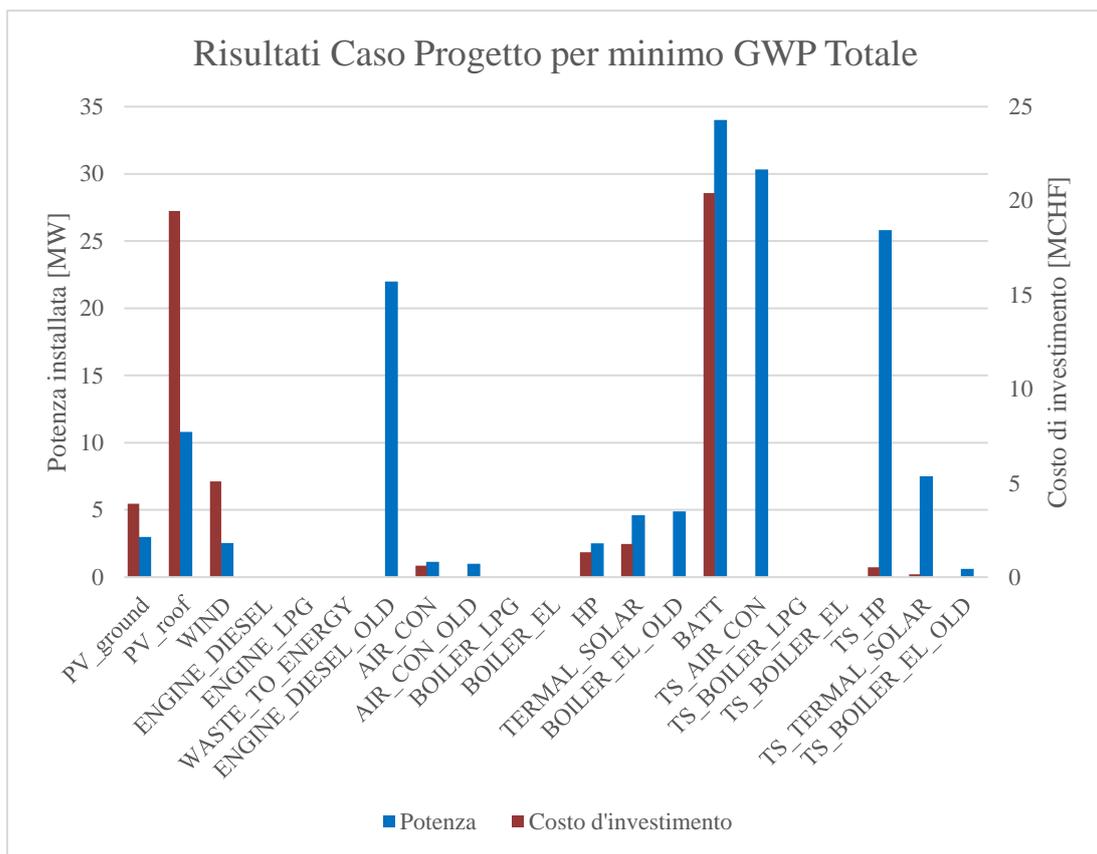


Grafico 6: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare le emissioni totali annue.

Ponendo invece come funzione oggetto “minimizzare il GWP totale operativo” ottengo un valore di 0.028 ktCO_{2eq}/year, a scapito di un aumento del GWP totale (2.034 ktCO_{2eq}/year) e di un incremento di oltre 2.5 volte del costo totale (8.528 MCHF/anno) rispetto a quello minimo. In questo caso anche l’eolico raggiunge il valore massimo di dimensionamento possibile sull’isola (Grafico 7).

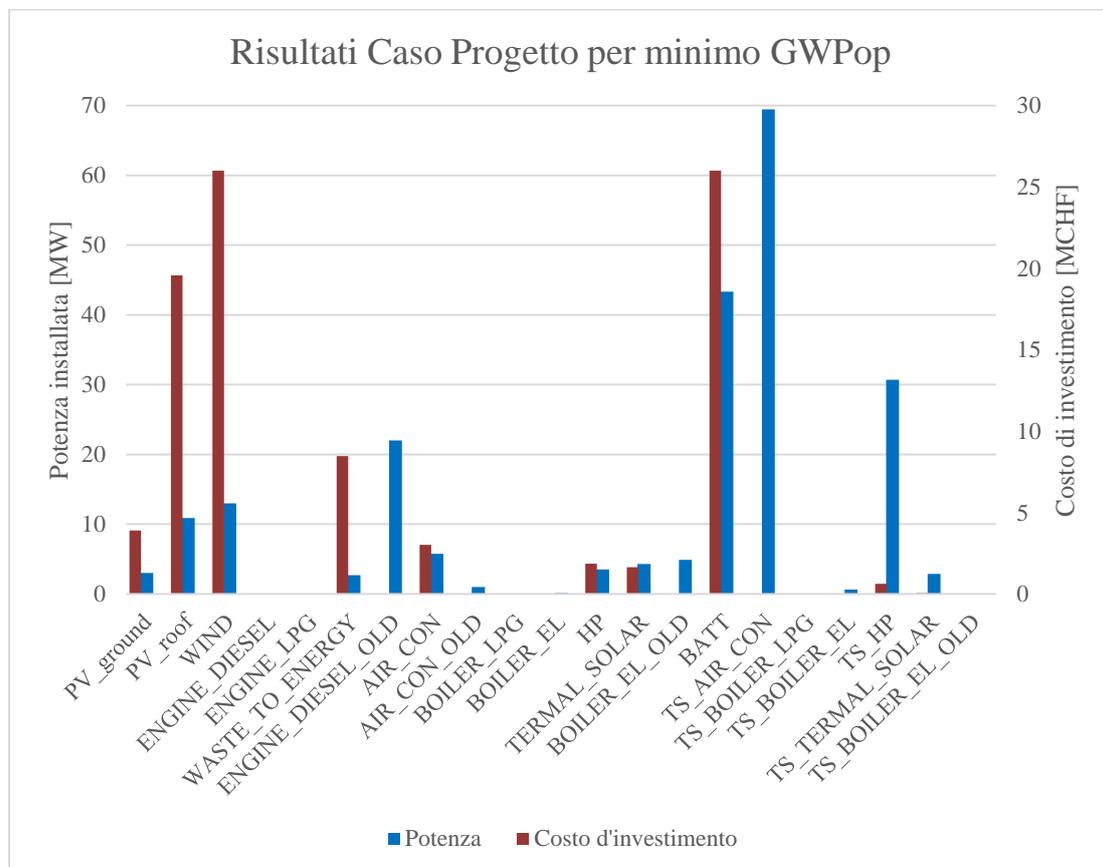


Grafico 7: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare le emissioni operative totali annue.

Dall’analisi dei grafici emerge come il programma aumenti la dimensione delle batterie al calare del limite di emissioni annue, in modo tale da poter stoccare il surplus energetico prodotto dalle rinnovabili per poterlo poi utilizzare al posto degli impianti tradizionali quando occorre.

È interessante osservare come varia la potenza installata delle fonti rinnovabili (fotovoltaico, solare termico, eolico) in funzione del GWP_{limite} impostato dall'utente.

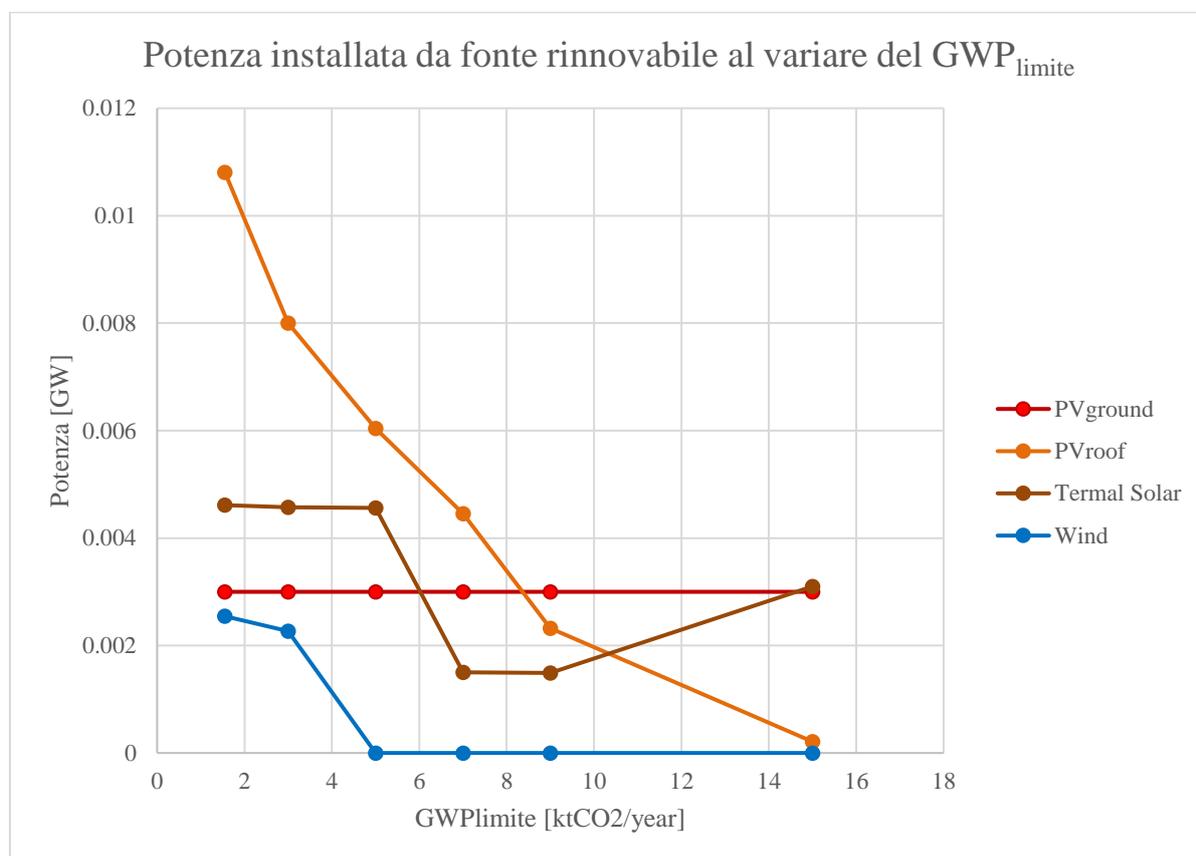


Grafico 8: Andamento della potenza dimensionata dal programma per le tecnologie da fonti rinnovabile in funzione del limite imposto sul GWP totale.

Si può osservare come al calare del limite di GWP aumenti costantemente il valore del fotovoltaico installato sui tetti, mentre inizialmente non vi sia un consensuale incremento del solare termico, dovuto probabilmente al fatto che l'installazione dei pannelli fotovoltaici sui tetti è in competizione con l'installazione di quelli solari termici in quanto condividono gli stessi spazi fisici disponibili. Solo quando si raggiunge un valore di GWP minore a 7 ktCO₂eq/year la quota del solare termico torna a salire fino a raggiungere il massimo installabile stabilito dal programma che preferisce conservare l'area dei tetti ancora inutilizzata per installare pannelli fotovoltaici.

Viceversa, dati i costi minori di installazione del fotovoltaico a terra, il programma fin da subito installa il valore massimo consentito. Mentre a causa dei costi elevati dell'impianto eolico il software inizia ad installarlo solo quando si vogliono ottenere valori molto bassi di emissioni totali annue.

Come previsto, analizzando l'andamento dei costi al variare del GWP_{limite} , si osserva come il costo totale aumenta al diminuire del limite di GWP per via dell'aumento del costo d'investimento, in quanto bisogna costruire nuovi impianti di energia rinnovabile per ridurre le emissioni.

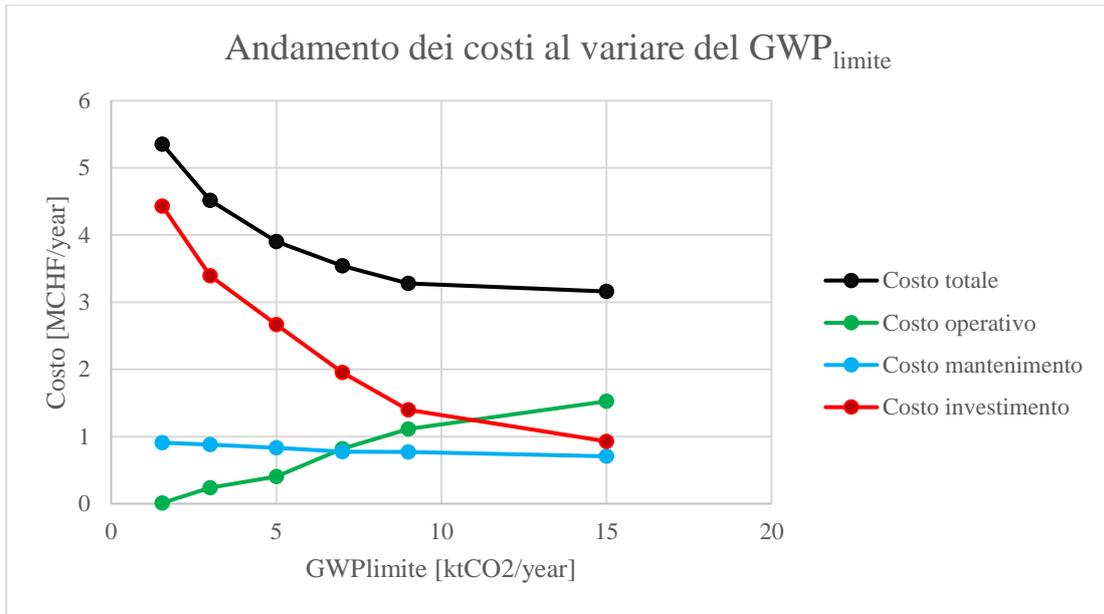


Grafico 9: Andamento dei costi totali annui al calare del limite sul GWP totale annuo.

5.3 – Seconda parte (con dissalatore)

Dopo aver aggiunto il dissalatore, si sono ripetute le medesime simulazioni per osservare come e se variasse la combinazione di produzione energetica sull'isola.

Il modello teorico-ideale, che considera tutti i componenti impiantistici nuovi, ha un costo totale pari a 2.582 MCHF/year, con un $GWP_{tot} = 9.785 \text{ ktCO}_2/\text{year}$ di cui $GWP_{op} = 9.364 \text{ ktCO}_2/\text{year}$. Dal Grafico 10, che mostra le potenze dimensionate dal software per ogni tecnologia e i corrispettivi costi d'investimento, si può osservare come lo stoccaggio di acqua dolce sia molto elevato in quanto il programma cerca di ammortizzare l'elevato esborso per l'installazione del dissalatore con uno stoccaggio elevato della risorsa idrica. Inoltre, il modello teorico-ideale installerebbe per la dissalazione le tecnologie più tradizionali (MED e MSF) che hanno un costo d'investimento iniziale minore rispetto al Reverse Osmosis (RO).

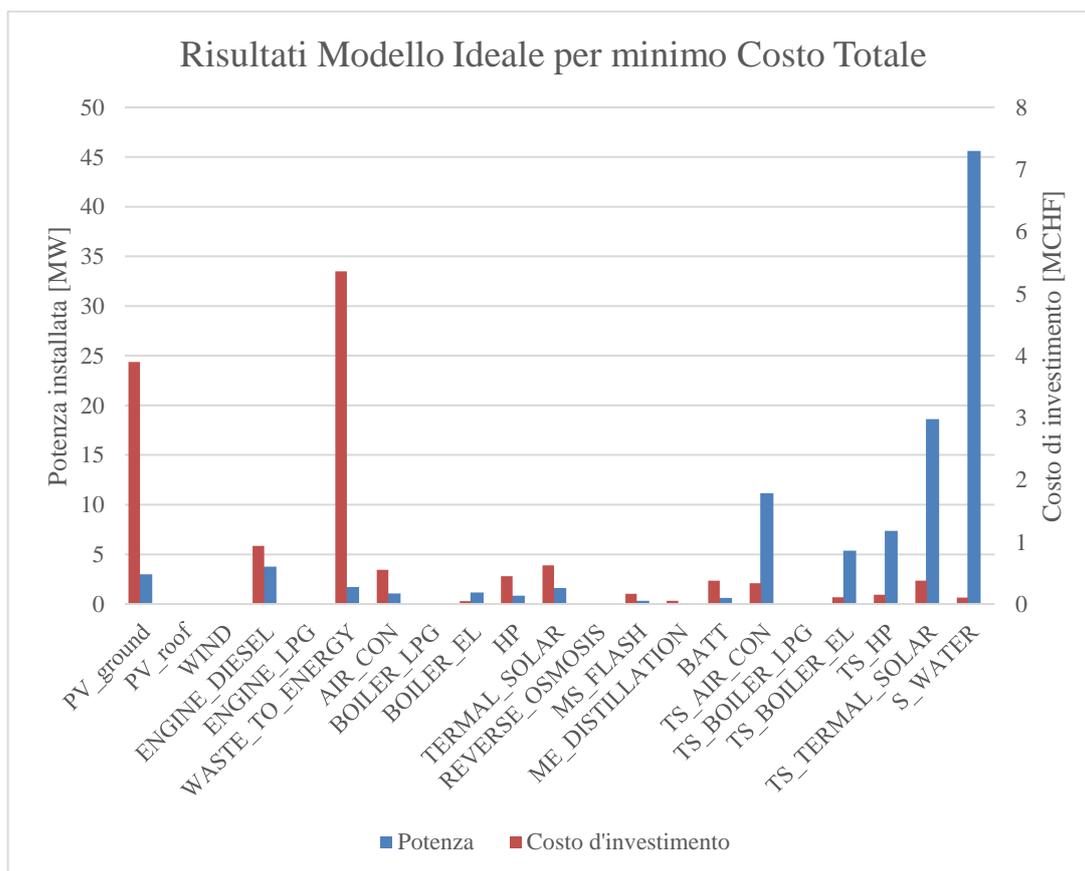


Grafico 10: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Modello Teorico-Ideale.

Il modello dello stato attuale dell'isola risulta corrispondere a un costo totale minimo pari a 6.021 MCHF/anno, con GWP totale di 23.037 ktCO_{2eq}/year (tutto operativo) e la seguente distribuzione di tecnologie.

TECHNOLOGIES	F [MW o MWh]
ENGINE_DIESEL_OLD	22
BOILER_EL_OLD	5,2
AIR_CON_OLD	1
REVERSE_OSMOSIS_OLD	0,130
S_WATER	0
TS_AIR_CON	8,060
TS_BOILER_EL_OLD	20,403
BATT	0

Tabella 19: Potenza delle tecnologie presenti necessaria per il soddisfacimento della richiesta energetica isolana.

Partendo dal programma dello stato attuale dell'isola, si è modellato il caso progetto, così da osservare come si modificasse la combinazione di produzione energetica al variare del GWP. Il costo totale minimo trovato dal programma è pari a 3.066 MCHF/anno, con un GWP_{tot} = 10.333 ktCO_{2eq}/year di cui operativo 9.946 ktCO_{2eq}/year, valori leggermente inferiori del caso progetto per minimo costo senza dissalatore.

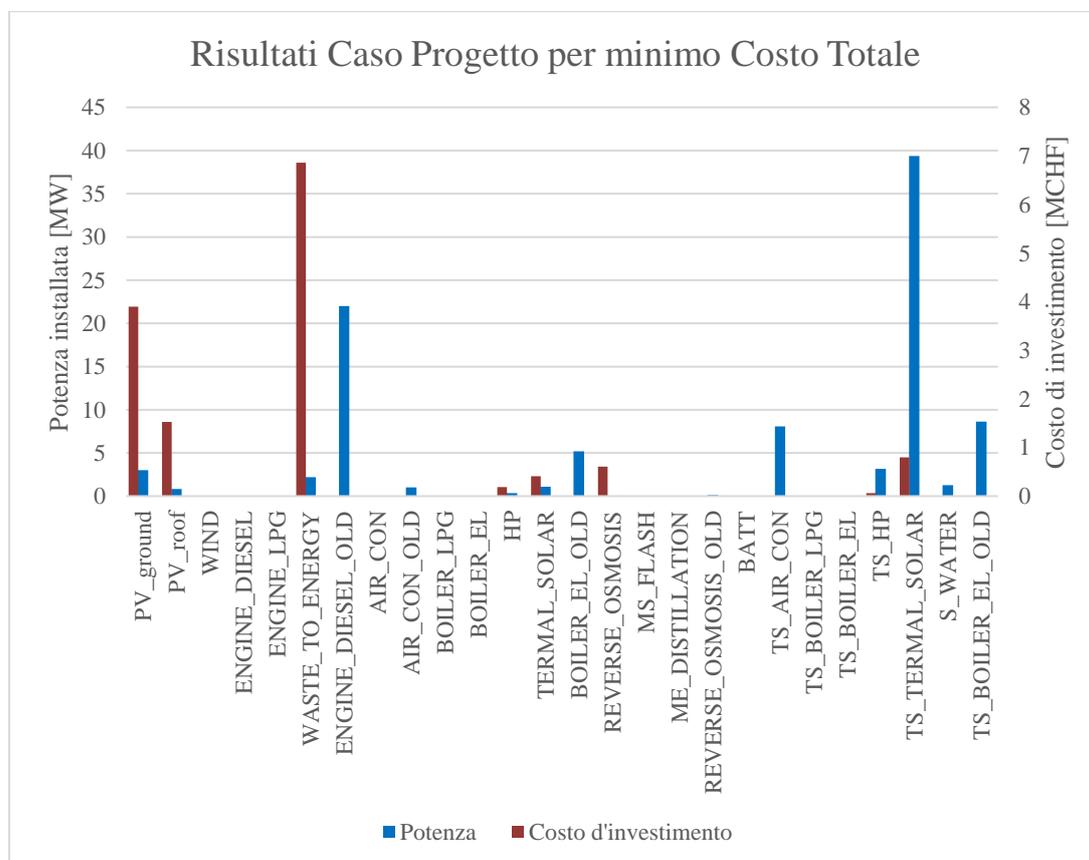


Grafico 11: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare il costo totale annuo.

Analogamente a quanto trovato nel programma senza dissalatore, per ridurre il GWP_{tot} si osserverebbe un incremento del costo totale, dovuto essenzialmente ai nuovi investimenti per gli impianti di produzione e stoccaggio. Ponendo un limite alle emissioni annualmente emesse (GWP_{limite}) si va ad osservare come il programma vari la combinazione di produzione energetica. Il programma per rispettare il vincolo del GWP_{limite} che vado a ridurre, reagisce installando più pannelli solari fotovoltaici, termici, pompe di calore, batterie per lo stoccaggio dell'energia elettrica e aumenta di poco anche lo stoccaggio di acqua desalinizzata, come si evince da Grafico 12.

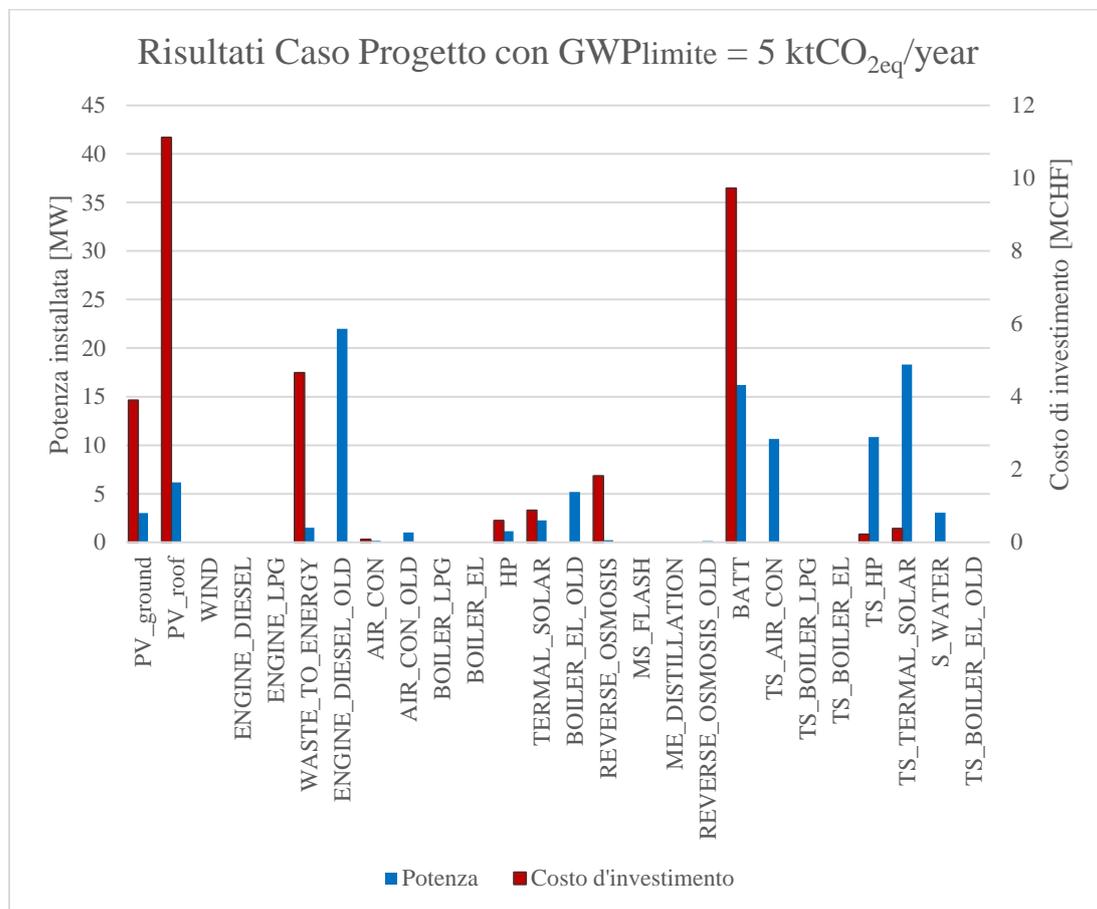


Grafico 12: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare il costo totale annuo e il vincolo sulle emissioni totali annue pari a $5 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$.

Per valori di $GWP_{limite} < 3.6 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$ il software inizia ad installare anche l'eolico, valore inferiore rispetto a quello calcolato senza la presenza del dissalatore e lo stoccaggio di acqua dolce.

Compilando il programma con l'obiettivo di minimizzare le emissioni, il minimo GWP_{tot} risulta essere pari a 1.665 ktCO_{2eq}/year (notevolmente inferiore a quello calcolato minimizzando i costi, 10.333 ktCO_{2eq}/year), di cui operativo 0.109 ktCO_{2eq}/year, per un costo totale pari a 5.712 MCHF/anno, quasi il doppio del costo minimizzato (3.066 MCHF/anno).

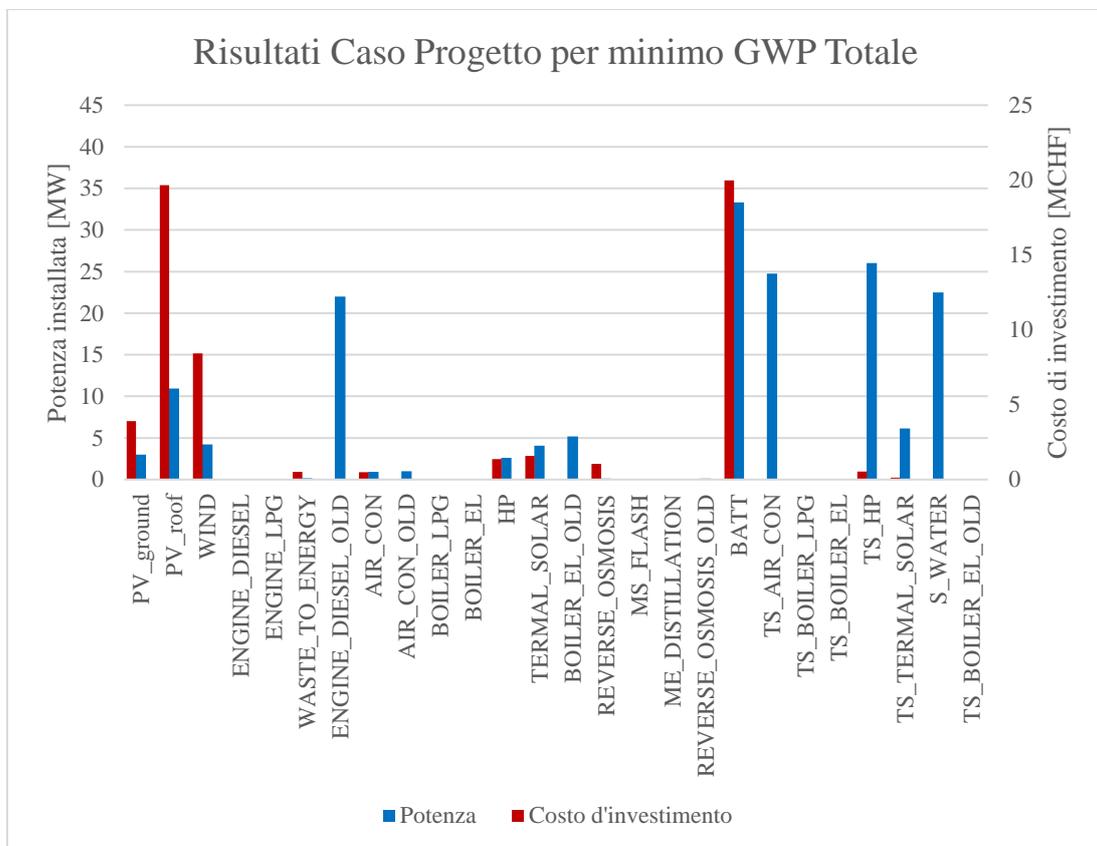


Grafico 13: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare le emissioni totali annue.

Se si cerca invece di ridurre al minimo il GWP operativo, il programma aumenta GWP_{tot} fino a 2.832 ktCO_{2eq}/year a causa del GWP di costruzione, ottenendo però un valore di GWP_{op} pari a 0 ktCO_{2eq}/year. Il costo totale diventa pari a sei volte quello minimo (18.765 MCHF/anno), dovuto essenzialmente all'elevato numero di batterie installate, come si vede nel Grafico 14.

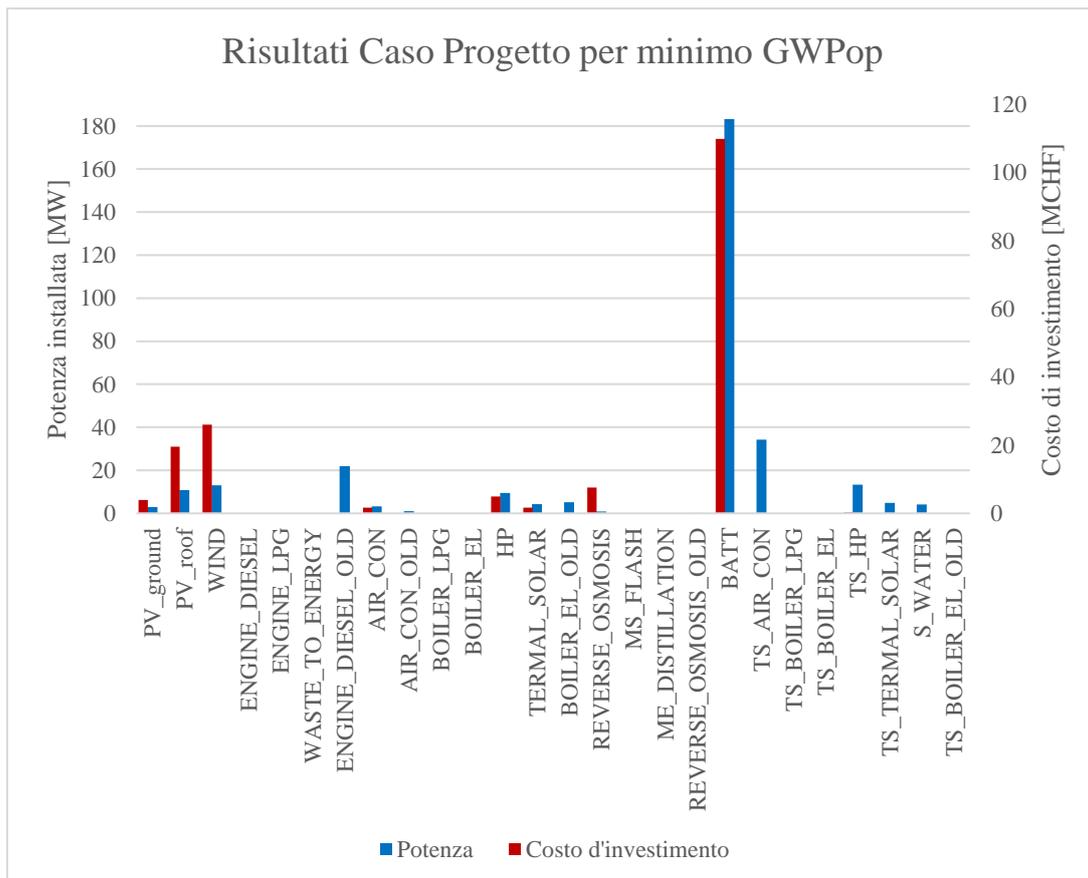


Grafico 14: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare le emissioni totali annue operative.

A differenza del caso senza dissalatore, qui si riesce a raggiungere l'azzeramento delle emissioni operative annuali, probabilmente legato al fatto di poter stoccare energia sotto forma di accumulo di acqua desalinizzata in più rispetto alla sola energia elettrica stoccata nelle batterie (vedi andamento annuale in Grafico 15).

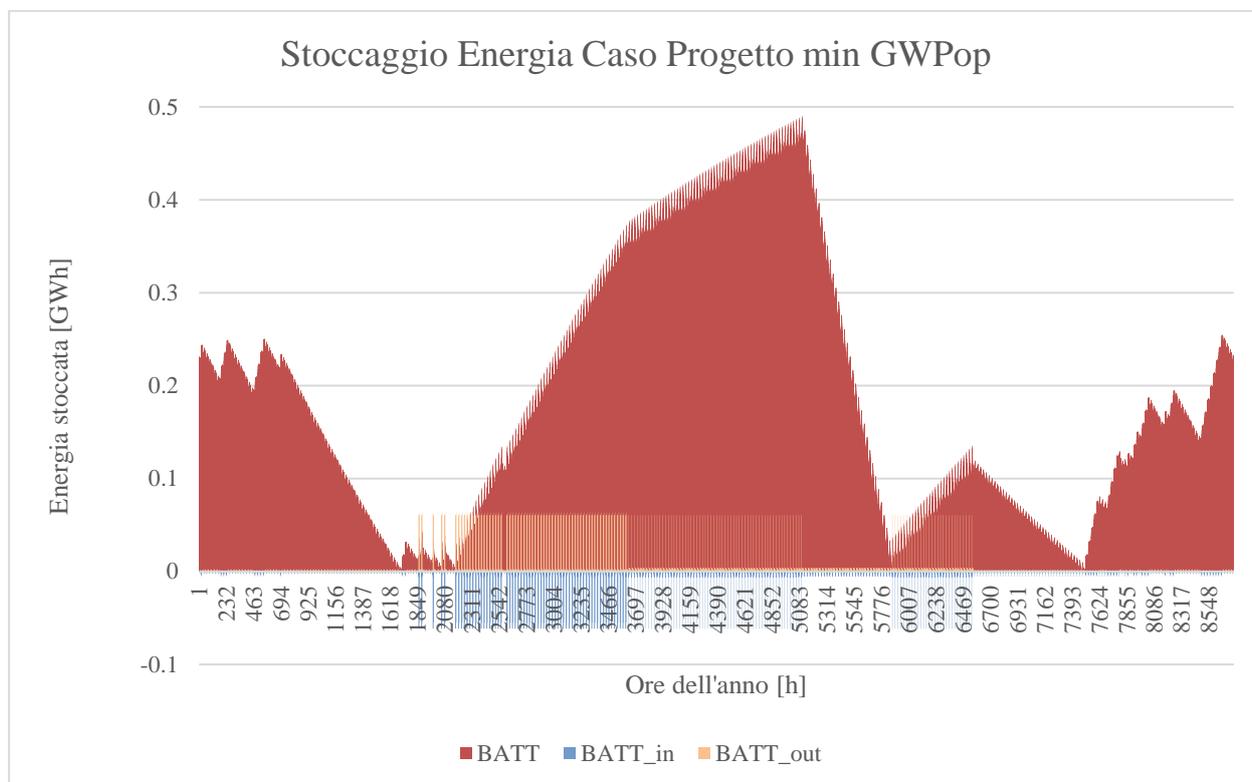


Grafico 15: Andamento orario dell'energia delle batterie del Caso Progetto per minimo GWP operativo annuale.

Per osservare come aumenta il costo totale al calare del GWP operativo totale, si sono effettuate delle simulazioni andando a imporre un limite progressivamente decrescente su quest'ultimo in modo da evidenziare la variazione del costo nel dettaglio.

Limite su TotaleGWPop [ktCO _{2eq} /year]	Minimo Costo Totale [MCHF/anno]	Batterie [MWh]
1	4.9758	28.015
0.8	5.0749	28.558
0.5	5.2320	29.499
0.25	5.4464	31.140
0.1	5.8010	33.294
0.001	16.1119	180.781

Tabella 20: Andamento del costo totale annuo e della potenza nominale delle batterie in funzione del limite sulle emissioni totali operative annuali (GWP_{op}).

Se vi fosse però un limite sulla capacità massima installabile di batterie i risultati varierebbero, in quanto il GWP minimo operativo non sarebbe più nullo, il costo totale annuo si ridurrebbe e il programma cercherebbe di stoccare più energia sotto forma di acqua desalinizzata, ovvero sfrutterebbe i surplus energetici per produrre acqua potabile. In particolare, ponendo il limite sulla batteria pari a 0.1 GWh, si ottiene un costo totale annuo pari a 14.49 MCHF/anno e il GWP operativo minimo risulta essere 0.045 ktCO_{2eq}/year. Come si può notare dal Grafico 16, lo stoccaggio di energia avviene sia nella batteria che nel serbatoio d'acqua, in parte minore.

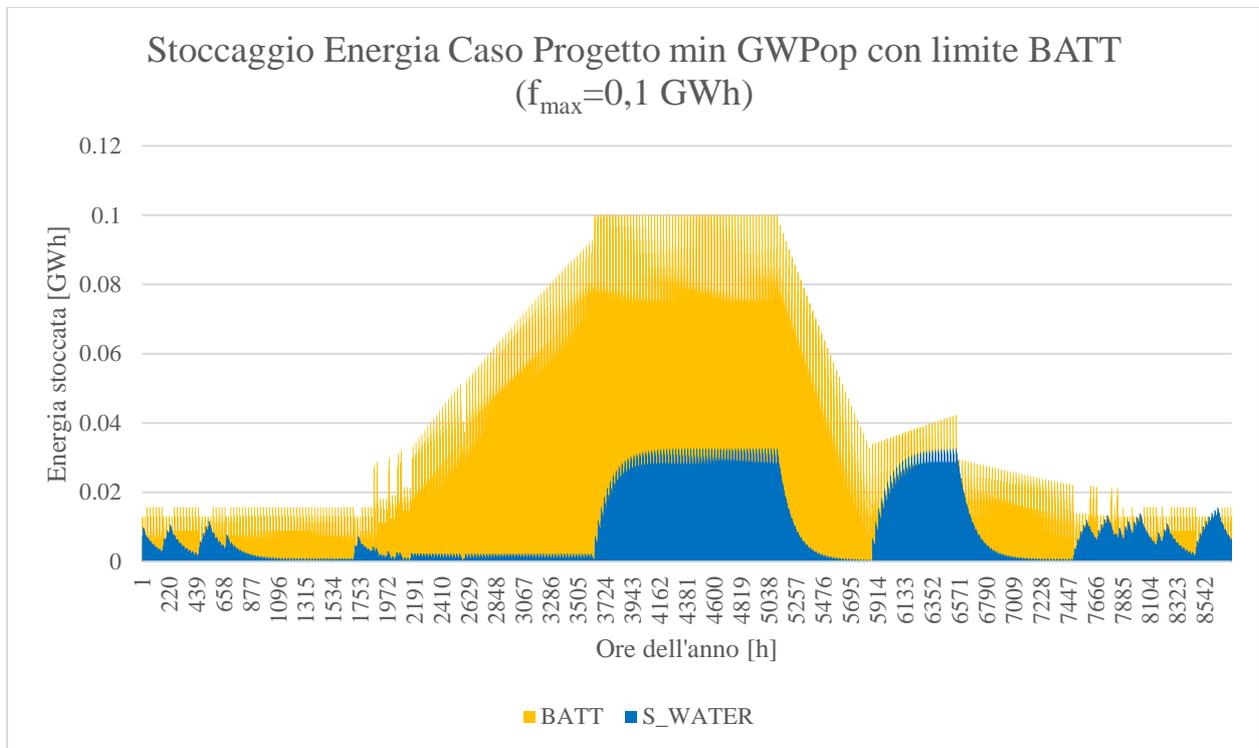


Grafico 16: Andamento orario dell'energia delle batterie e dello stoccaggio di acqua desalinizzata del Caso Progetto per minimo GWP operativo annuale con limite sulla capacità massima installabile delle batterie.

È interessante osservare come varia la potenza installata delle fonti rinnovabili (fotovoltaico, solare termico, eolico) in funzione del GWP_{limite} impostato dall'utente. Come risulta dal Grafico 17, quando si raggiunge il valore minimo di GWP totale il programma non ha installato tutto l'eolico che ha a disposizione, a differenza del solare che è alla potenza massima installabile.

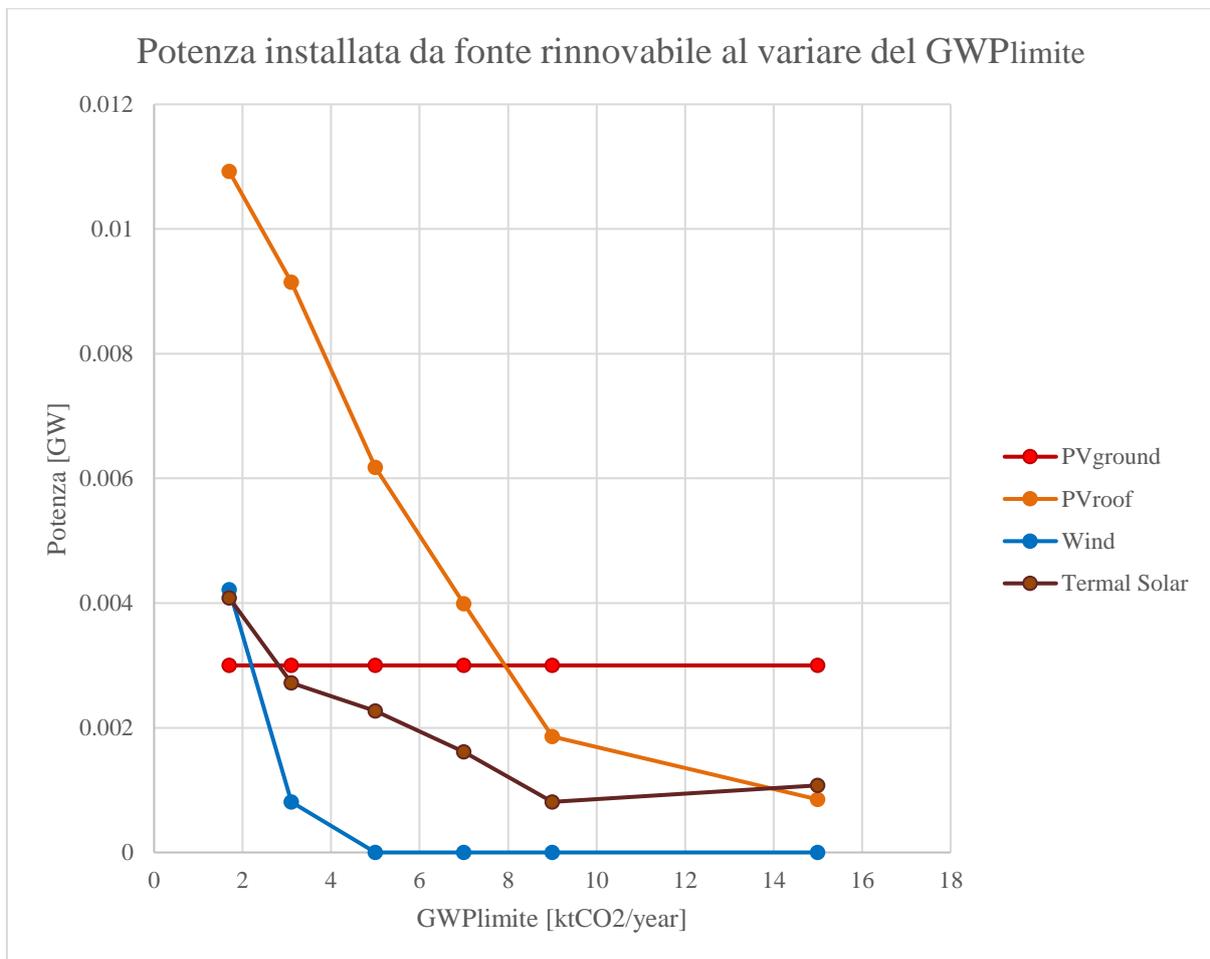


Grafico 17: Andamento della potenza dimensionata dal programma per le tecnologie da fonti rinnovabile in funzione del limite imposto sul GWP totale.

Come previsto, analizzando l'andamento dei costi al variare del GWP_{limite} , si osserva come il costo totale aumenta al diminuire del limite di GWP per via dell'aumento del costo d'investimento, in quanto bisogna costruire nuovi impianti di energia rinnovabile per ridurre le emissioni.

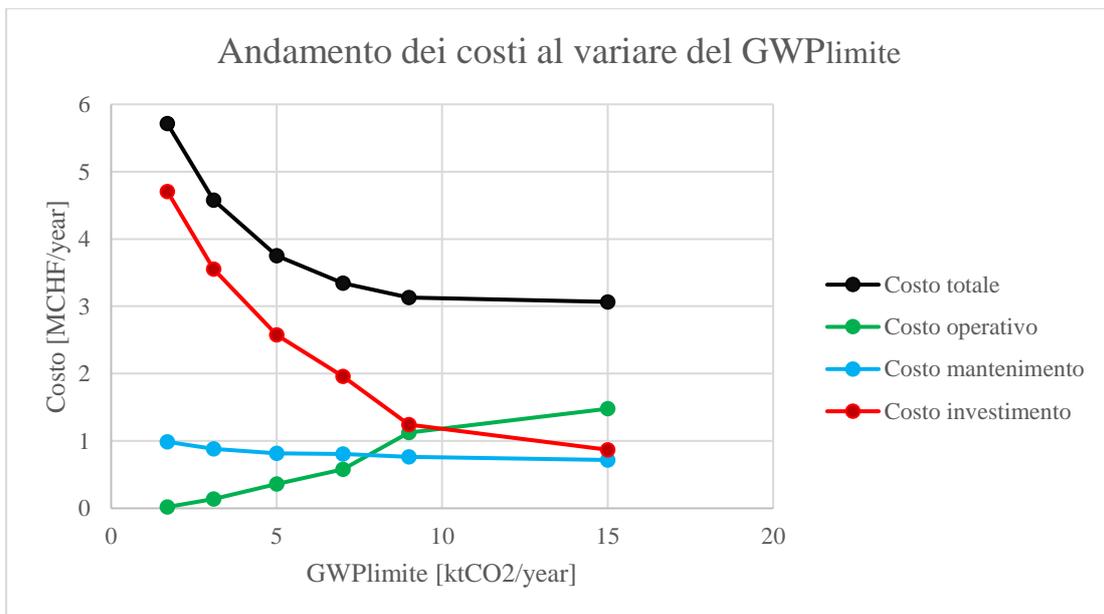


Grafico 18: Andamento dei costi totali annui al calare del limite sul GWP totale annuo.

5.4 – Terza parte (con mobilità)

Una volta inserita la mobilità si è effettuata una simulazione dello stato attuale per verificare che i consumi fossero effettivamente quelli necessari al soddisfacimento della richiesta energetica, in quanto sono state aggiunte diverse voci e tecnologie, come riportato in Tabella 21.

Combustibile	Costo operativo [MCHF]	Costo operativo specifico [MCHF/GWh]	Energia teorica ricavabile [GWh]	Energia richiesta [GWh]
Diesel	8.068	0.0774	104.24	102.87

Tabella 21: Consumo annuale di combustibile per il soddisfacimento della richiesta energetica isolana.

Effettuando la simulazione del modello teorico-ideale di Lampedusa, che considera cioè tutti i componenti impiantistici come nuovi, si ha un costo totale pari a 17.295 MCHF/anno, con un $GWP_{tot} = 22.877$ ktCO₂/year di cui $GWP_{op} = 17.958$ ktCO₂/year. Si può osservare in Grafico 19: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Modello Teorico-Ideale. Grafico 19, la distribuzione della potenza installata per ogni tecnologia in particolare si nota come per minimizzare il costo totale annuo, il programma installi solo autovetture a combustione interna per soddisfare le esigenze dei trasporti locali, che rispecchia la situazione attuale veicolare di Lampedusa.

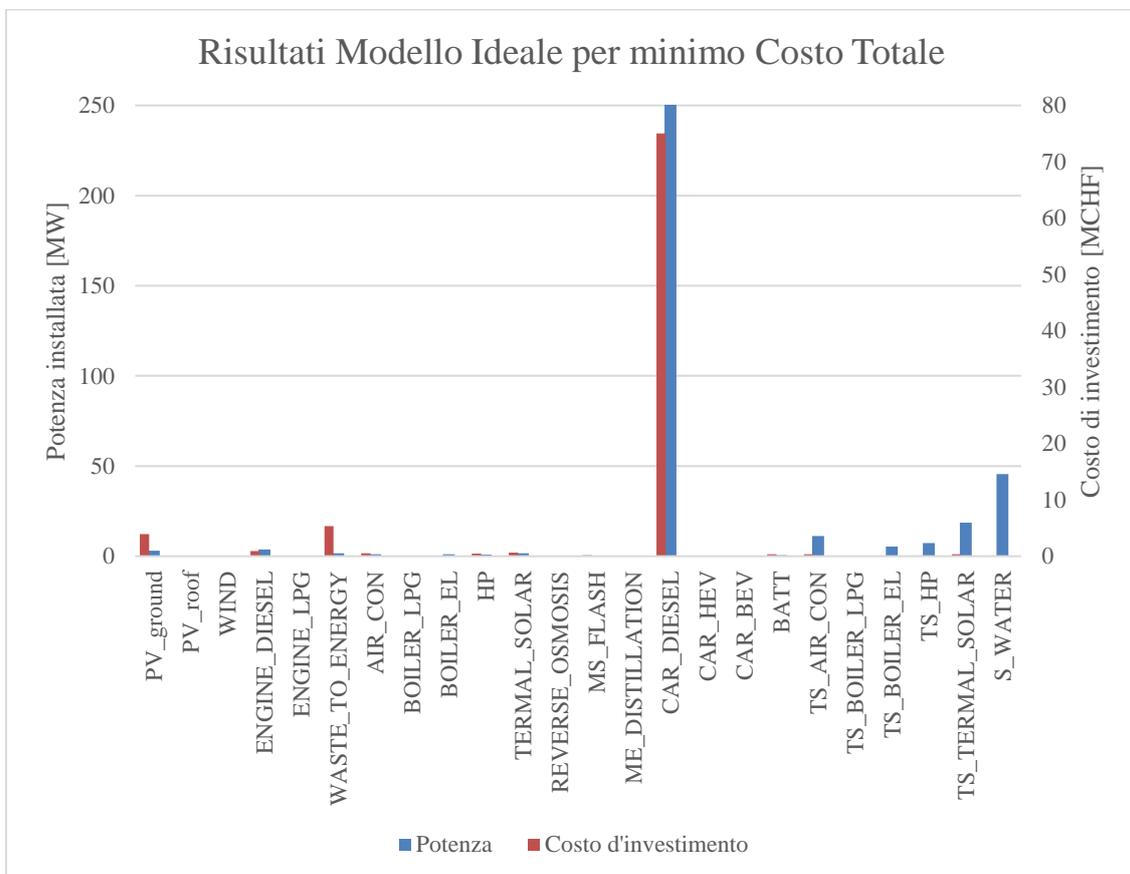


Grafico 19: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Modello Teorico-Ideale.

Eseguendo il modello dello stato attuale di Lampedusa si ricava anche la potenza complessiva installata dal programma per i veicoli presenti sull'isola (Tabella 22). Il costo totale annuale necessario per soddisfare la richiesta energetica è pari a 12.174 MCHF/year, con GWP totale che risulta essere tutto operativo, in quanto essendo una simulazione dello stato attuale si considerano solo gli impianti esistenti, uguale a 32.813 ktCO₂/year. Rispetto alla situazione senza mobilità le emissioni sono aumentate del 140%, mentre il costo totale annuo è incrementato del 200%, valori coerenti con quanto trovato in letteratura in quanto la richiesta energetica per soddisfare le esigenze della mobilità locale incide per un terzo dei consumi annuali.

TECHNOLOGIES	F [MW o MWh]
ENGINE_DIESEL_OLD	22
BOILER_EL_OLD	5,2
AIR_CON_OLD	1
REVERSE_OSMOSIS_OLD	0,130
S_WATER	0
TS_AIR_CON	8,060
TS_BOILER_EL_OLD	20,403
BATT	0
CAR_DIESEL_OLD	255,042

Tabella 22: Potenza installata degli impianti presenti a Lampedusa.

Partendo invece dallo stato attuale e dando la possibilità al programma di installare anche autoveicoli ibridi ed elettrici, minimizzando il costo totale, la distribuzione delle tecnologie risulta essere illustrata in Grafico 20, in cui si evidenzia il fatto che il parco automobilistico rimane inalterato, non viene sostituito, mentre si installano impianti di energia rinnovabile, pompe di calore e termovalorizzatore. Il costo totale annuo scende a 9.22 MCHF/anno, inferiore al costo annuale stimato dal modello dello stato attuale dell'isola (12.174 MCHF/anno), con $GWP_{tot} = 20.11 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$ (due terzi delle emissioni quantificate dalla simulazione dello stato attuale, $32.813 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$), di cui operativo $19.722 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$.

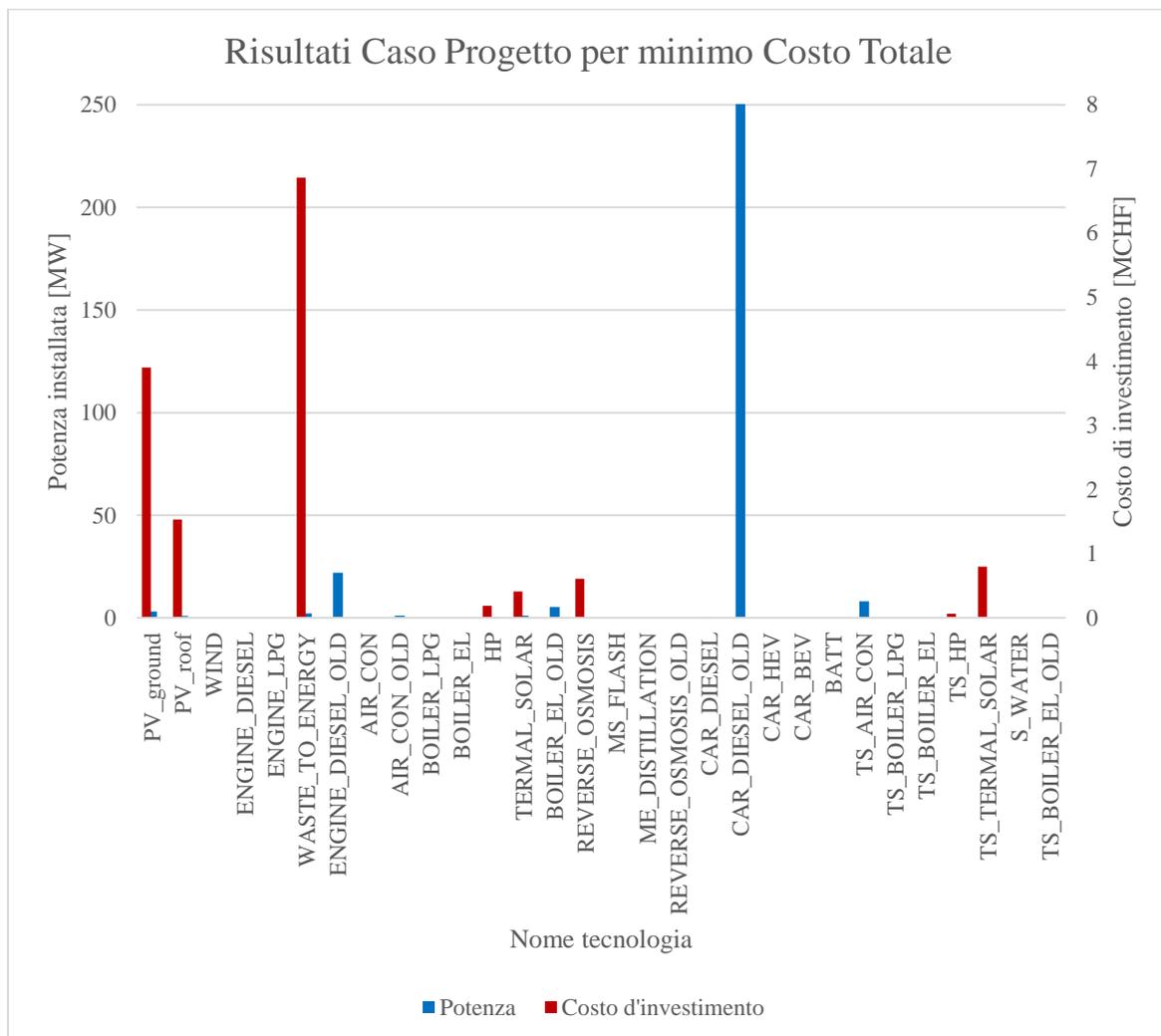


Grafico 20: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare il costo totale annuo.

Per ridurre il GWP_{tot} si osserva un incremento del costo totale, dovuto essenzialmente ai nuovi investimenti per gli impianti di produzione e stoccaggio. Ponendo un limite alle emissioni annualmente emesse (GWP_{limite}) si va ad osservare come il programma vari la combinazione di produzione energetica. Il programma per rispettare il vincolo del GWP_{limite} che vado a ridurre, reagisce installando prima gli impianti da fonti rinnovabili, non va a sostituire i veicoli tradizionali con auto elettriche o ibride.

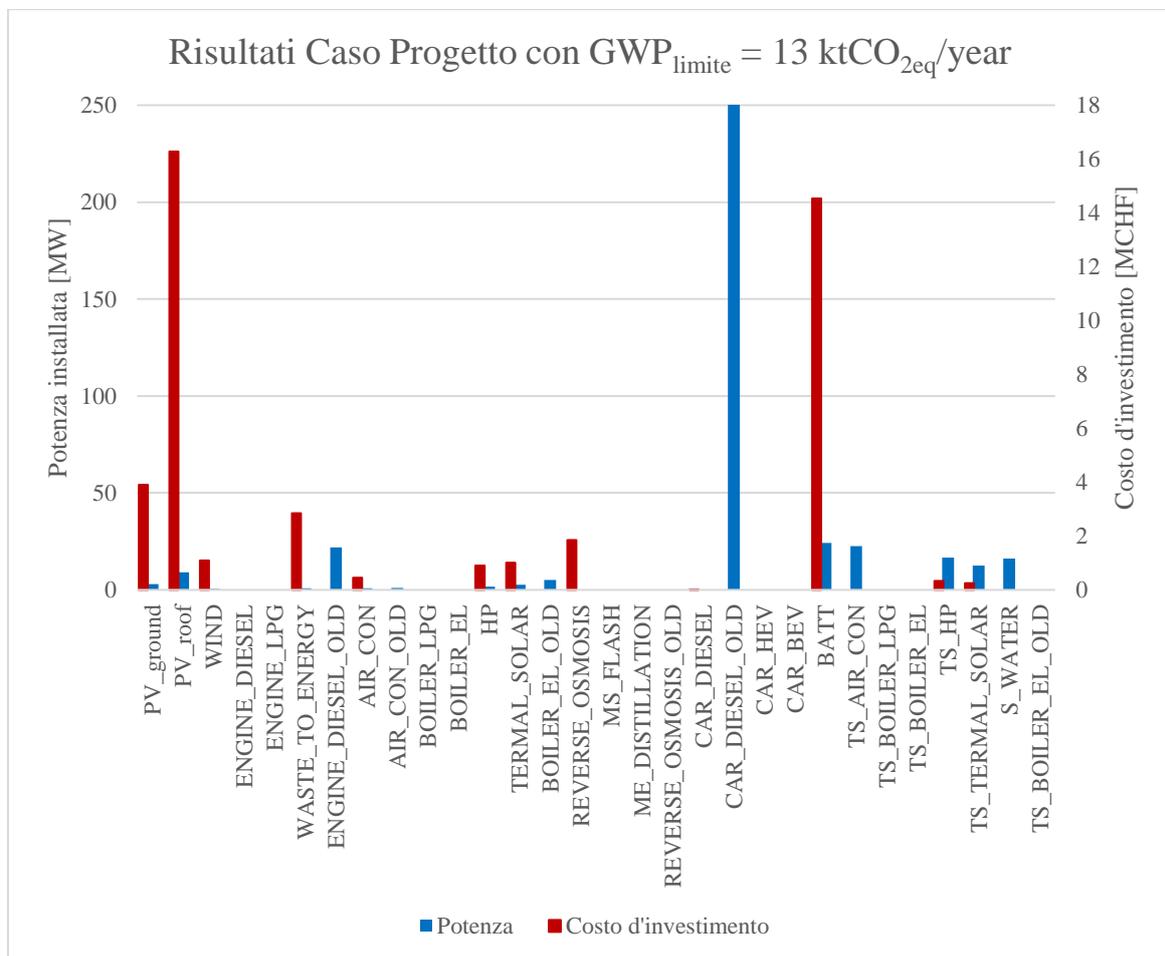


Grafico 21: Potenza dimensionata e costo d'investimento capitale per ogni tecnologia del Caso Progetto con l'obiettivo di minimizzare il costo totale annuo e il vincolo sulle emissioni totali annue pari a 13 ktCO_{2eq}/year.

Viceversa, quando l'obiettivo è minimizzare le emissioni totali annuali, il programma va a sostituire quasi tutte le auto tradizionali a combustione interna con auto elettriche. Il costo totale ovviamente aumenta, tre volte il costo minimo (31.007 MCHF/anno \cong 3 * 9.22 MCHF/anno), a favore di un dimezzamento del GWP_{tot} ($8.562 \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year} \cong \frac{20.11}{2} \text{ ktCO}_{2eq}/\text{year}$).

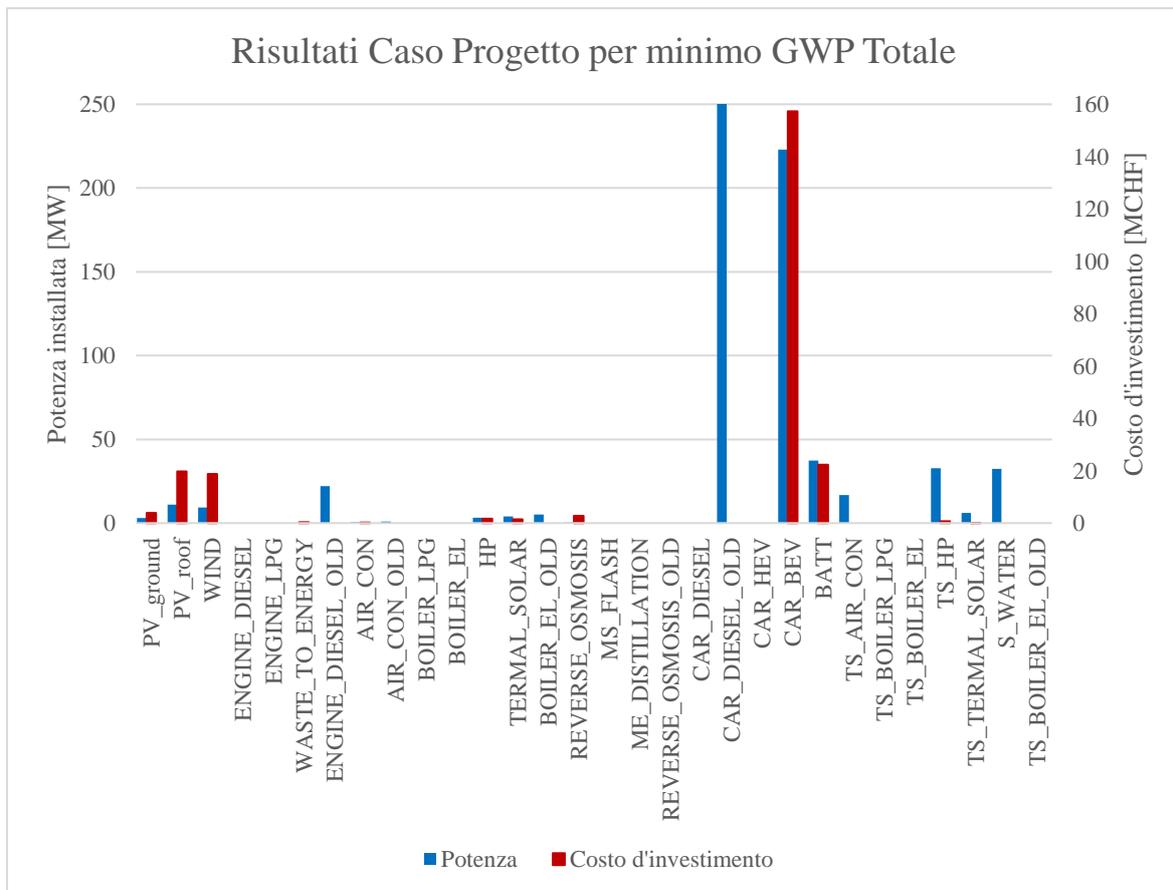


Grafico 22: Potenza installata e costo d'investimento del Caso Progetto per minimizzare le emissioni totali annuali.

Ancora una volta se si cerca la soluzione ottimale per minimo GWP operativo, si trova che questo si annulla, a scapito di un picco del costo totale che arriva a essere pari a 131.881 MCHF/anno e di un aumento del GWP_{tot} causato dall'incremento del GWP di costruzione (= 16.54 ktCO_{2eq}/year).

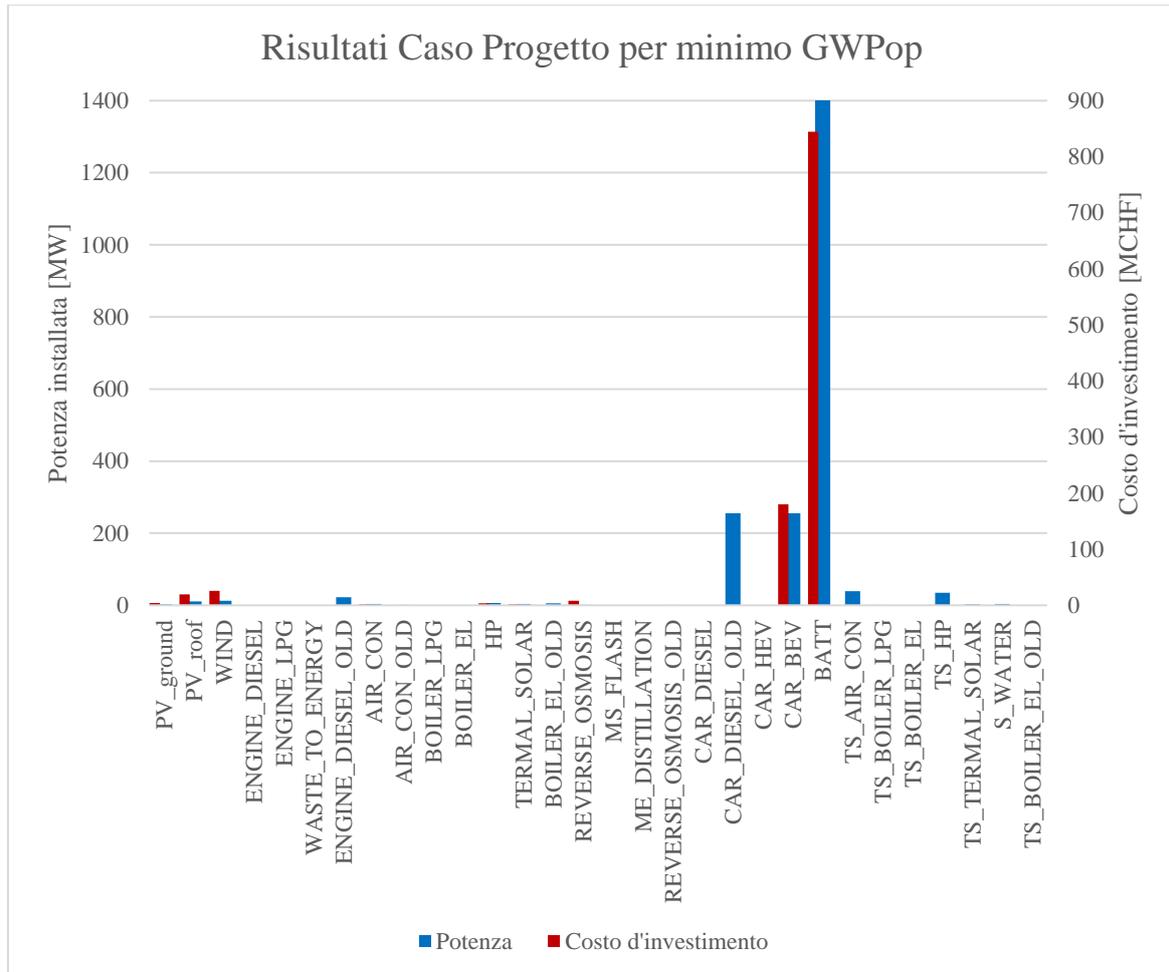


Grafico 23: Potenza installata e costo d'investimento del Caso Progetto per minimizzare le emissioni operative annuali.

Il programma installa tante batterie nel caso di minimo GWP operativo perché per arrivare a zero, le sfrutta come sistema di stoccaggio stagionale, ossia accumula durante l'inverno quando si ha a disposizione più energia da fonti rinnovabili di quella necessaria a soddisfare la domanda, per compensare i periodi estivi di elevata richiesta energetica, come si evince dal Grafico 24.

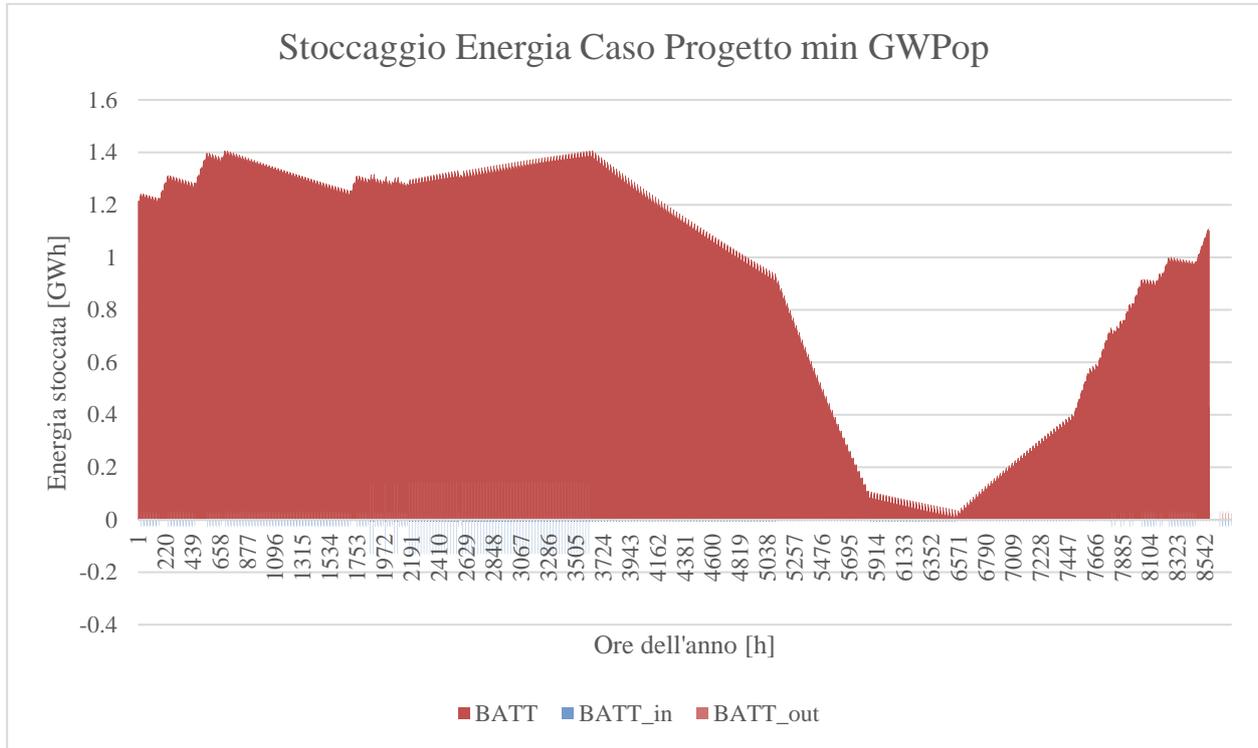


Grafico 24: Andamento orario dell'energia delle batterie del Caso Progetto per minimo GWP operativo annuale.

I costi totali annuali aumentano in modo non lineare, in modo particolare ciò è visibile nel caso in cui si vada a cercare la soluzione ottimale per minimizzare i costi ponendo un limite sul GWP operativo annuale, come illustrato nella Tabella 23.

Limite su GWP operativo [ktCO_{2eq}/year]	Batterie [GWh]	Car_Bev [Mpkm]	Minimo Costo totale annuo [MCHF]
0	1.400816	0.57964	130.788
0.1	1.153555	0.57964	113.3665
0.2	0.964035	0.57964	100.105
0.5	0.413097	0.57964	61.5924
1	0.036097	0.511994	31.936
2	0.033982	0.468041	29.2107

Tabella 23: Andamento del costo totale annuo, della potenza nominale delle batterie e delle macchine elettriche acquistate in funzione del limite sulle emissioni totali operative annuali (GWP_{op}).

Tuttavia, se vi fosse un limite sulla capacità massima installabile delle batterie si osserverebbe come il sistema inizi a stoccare energia creando acqua desalinizzata durante le mezze-stagioni, quando c'è un surplus energetico combinato con un minore consumo idrico (vedi Grafico 25). Il GWP operativo minimo non sarebbe più zero e il costo totale annuo calerebbe. Ponendo come limite all'energia stoccabile in batterie il valore di 0.1 GWh, si ottiene un GWP operativo minimo pari a 0.672 ktCO_{2eq}/year con un costo totale annuo di 42.598 MCHF/year (tre volte inferiore a quello per minimo GWP_{op}, 131.881 MCHF/anno), mentre il GWP totale si ferma a 9.402 ktCO_{2eq}/year.

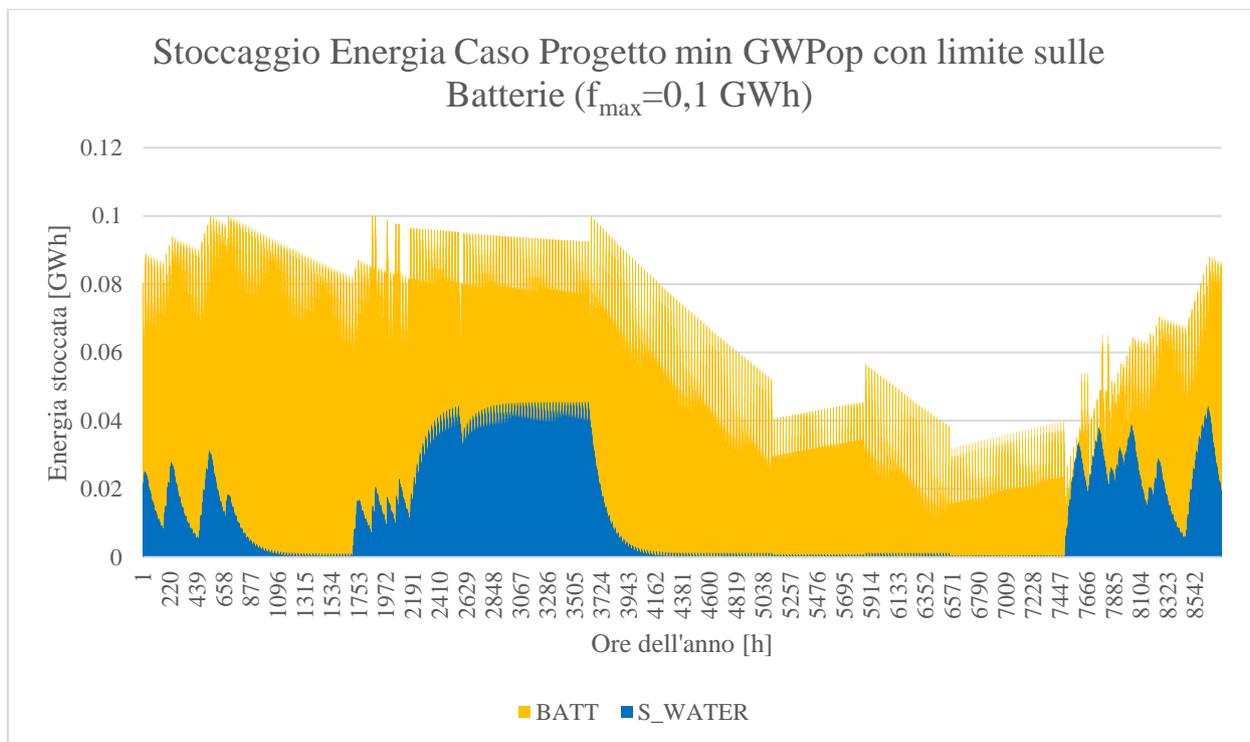


Grafico 25: Andamento orario dell'energia delle batterie e dello stoccaggio di acqua desalinizzata del Caso Progetto per minimo GWP operativo annuale con limite sulla capacità massima installabile delle batterie.

Variando il limite del Global Warning Potential totale annuo, si osserva dal Grafico 26 come aumentano le potenze installate dal software degli impianti da fonte rinnovabile al calare di tale limite. Solo per valori molto bassi del GWP si inizia a osservare l'installazione dell'eolico e di veicoli elettrici.

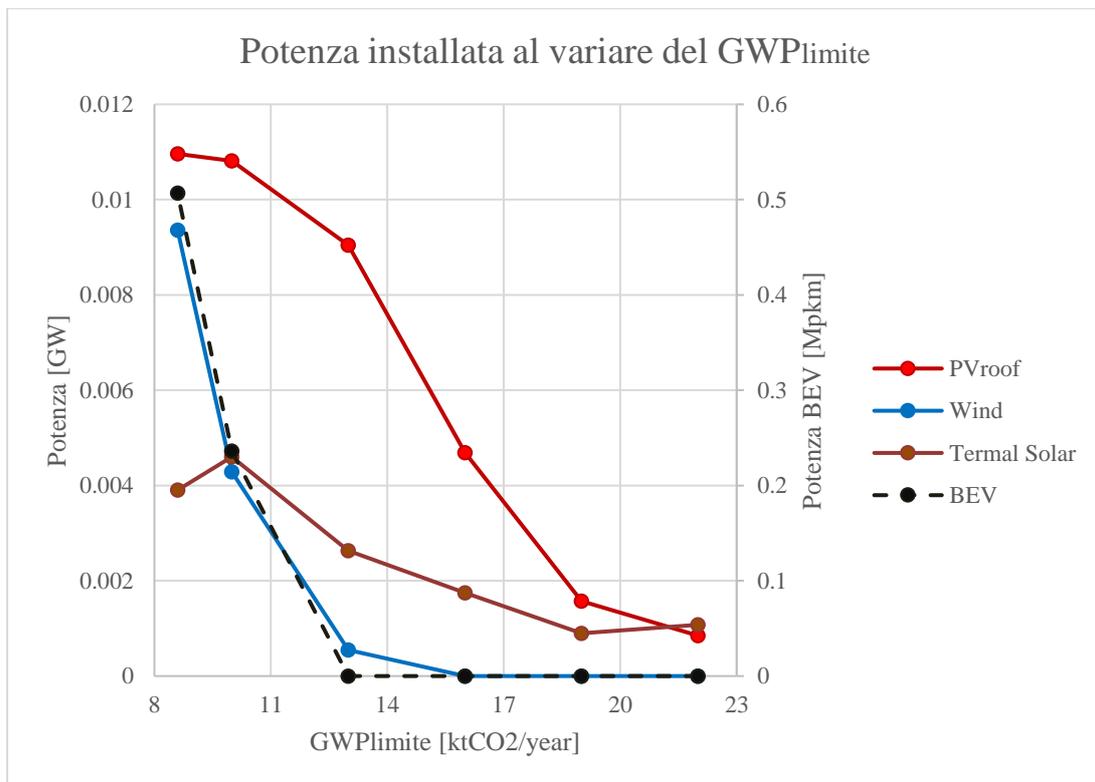


Grafico 26: Andamento della potenza dimensionata dal programma per le tecnologie da fonti rinnovabile e auto elettriche in funzione del limite imposto sul GWP totale.

Graficando l'andamento dei costi in funzione del GWP limite si osserva come il costo d'investimento aumenti esponenzialmente all'avvicinarsi del valore minimo di GWP totale, in quanto il software installa turbine eoliche, batterie e veicoli elettrici (vedi Grafico 27).

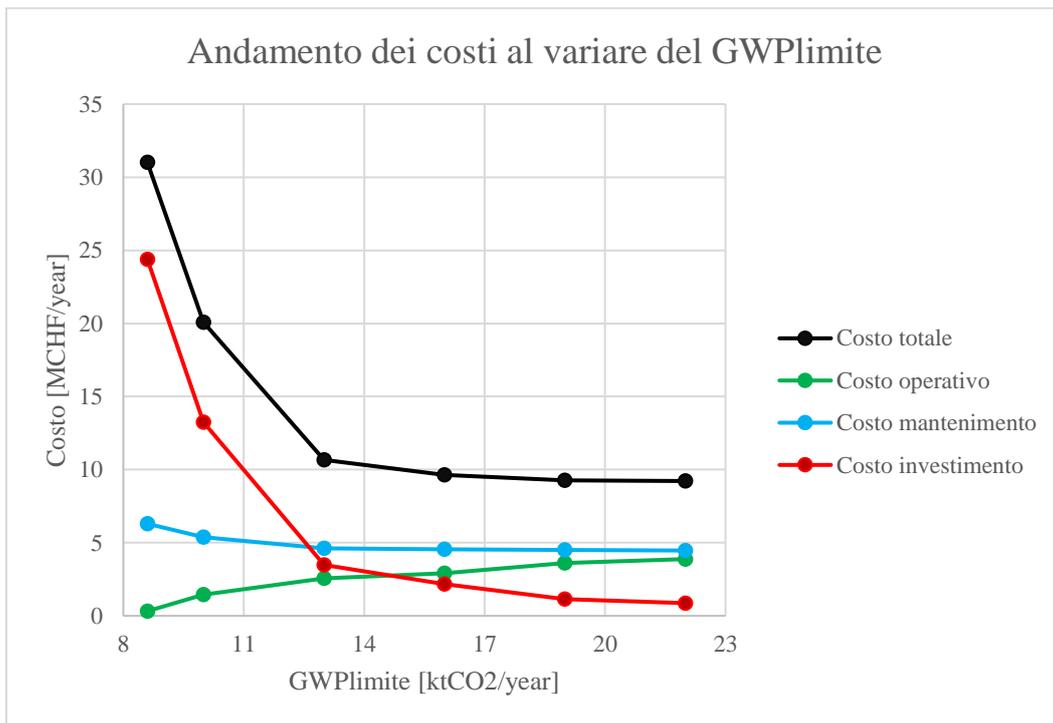


Grafico 27: Andamento dei costi totali annui al calare del limite sul GWP totale annuo.

CAPITOLO 6 – Analisi dei risultati

Nel caso particolare di Lampedusa, dove esiste già un sistema di produzione energetica tradizionale basata sul gasolio e un impianto di desalinizzazione di tipo Reverse Osmosis, appare logico immaginare di sviluppare un sistema ibrido, valutando l'introduzione di sistemi rinnovabili, essendo sull'isola disponibile un alto livello di irraggiamento solare durante tutto l'anno e una costante presenza di ventilazione per via della sua localizzazione geografica.

Questo approccio è già stato oggetto di uno studio [25] effettuato in Iran su due isole, in cui il sistema ibrido era composto da solare, eolico e combustibile fossile (LPG). Tale sistema garantisce una continuità di prestazione nell'arco dell'anno e una migliore gestione dei costi. In questo studio la valutazione è stata svolta utilizzando il metodo PSO combinato al Artificial Neural Network (ANN) per diminuire il tempo computazionale di elaborazione dei dati.

La scelta di un sistema ibrido (diesel e fotovoltaico con batterie) [7], è stato proposto anche per i fabbisogni energetici dell'isola Pratas a Taiwan dove lo scopo principale era ottenere una riduzione dell'emissioni di anidride carbonica per avere un beneficio ambientale, anche se ciò avesse causato un aumento del costo totale dell'energia. In questo studio è stato utilizzato il software HOMER.

Nell'analisi della situazione attuale dell'isola di Lampedusa risulta evidente che la produzione di energia è dipendente dal generatore diesel, che gli impianti di produzione di calore sono vecchi impianti, tipicamente boiler elettrici, e il parco automobilistico è basato su veicoli datati a combustione interna. In teoria c'è quindi un ampio margine di miglioramento, introducendo nuovi impianti, quali pompe di calore, un termovalorizzatore e impianti di produzione energetica da fonti rinnovabili. Trasformando in sostanza il sistema energetico attuale in un sistema ibrido, ossia con più componenti di produzione energetica (fotovoltaico, eolico, solare termico, generatore diesel, termovalorizzatore).

All'interno di questo sistema più flessibile e dinamico dell'attuale, si inseriscono sia la produzione di acqua dolce che lo smaltimento dei rifiuti. Per quanto riguarda la mobilità, basata attualmente su mezzi privati e in funzione delle esigenze turistiche, il problema della trasformazione del parco mezzi è molto complesso, non solo per ragioni economiche (dovrebbero essere i privati ad investire), ma anche per ragioni di gestione dei mezzi elettrici che necessitano di tecnologie per l'assistenza e la ricarica attualmente non disponibili, contrariamente a quello che accade con gli attuali veicoli a combustione interna.

Da una migliore e più capillare implementazione di nuove apparecchiature per il riscaldamento, la produzione di acqua calda e il raffrescamento estivo, a cui aggiungere una quota di impianti fotovoltaici e di solare termico, si potrebbe già ottenere una riduzione dei costi operativi significativa, contestualmente a un calo delle emissioni, per quanto concerne la richiesta energetica delle utenze residenziali e alberghiere.

Invece, una più radicale trasformazione del sistema energetico globale dell'isola, nell'ottica di una riduzione drastica della produzione di inquinanti e gas serra, risulta essere nel breve periodo economicamente onerosa in quanto implicherebbe anche la sostituzione di tutti i veicoli presenti con autovetture elettriche e l'installazione di grosse batterie, attualmente ancora molto costose. A meno di non ipotizzare sistemi alternativi di stoccaggio dell'energia, in tal caso si potrebbe mantenere il costo totale annuo più ridotto. Tali soluzioni alternative di stoccaggio, come ad esempio la produzione di idrogeno, non sono state valutate in questo lavoro di tesi ma sarebbe molto interessante confrontare tutti i sistemi attualmente disponibili per l'accumulo energetico per stimare quello più adatto ed economico per il contesto isolano a cui andrebbe applicato.

Pertanto, è ipotizzabile che con l'avanzamento tecnologico si rendano disponibili tecnologie sempre più performanti ed economicamente vantaggiose per gli utenti, così da poter consentire lo stoccaggio di energia in maniera alternativa a quello offerto dal sistema tradizionale delle batterie.

6.1 – Metodologia utilizzata

Per creare il modello energetico dell'isola di Lampedusa si è deciso di utilizzare un approccio lineare, prendendo come base il programma EnergyScope TD, sviluppato per il territorio svizzero. Occorre tenere in conto che l'approccio lineare scelto ha alcuni limiti intrinseci, per esempio, per quanto riguarda i rendimenti di trasformazione dell'energia per le varie tecnologie si devono imporre dei valori costanti. Se si considerasse invece un modello non lineare si potrebbe considerare la variazione del rendimento in funzione del carico, rendendo così più realistico il modello ma più complessa la risoluzione. Tuttavia, per l'applicazione a Lampedusa, tale approccio è risultato idoneo per questo tipo di risoluzione in quanto considerando il numero dei dati forniti non era pensabile utilizzare un metodo più complesso perché inutilmente dispendioso per l'attività che si voleva svolgere.

I risultati trovati in questo lavoro vanno tutti considerati con un certo margine di errore, perché i dati su cui si basa il programma non sono stati rilevati in loco (andamento orario delle richieste energetiche per le diverse utenze), ma sono stati ricavati mediante delle ipotesi basandosi su dati ricavati da articoli scientifici precedentemente pubblicati sull'isola. Senz'altro se si inserissero dei dati sperimentali recenti si otterrebbero dei valori più affidabili e soggetti meno incertezza.

In aggiunta a tali considerazioni, non si può trascurare che i costi di investimento delle varie tecnologie sono della situazione attuale, per esempio il costo di una macchina elettrica è pari a quello di mercato, probabilmente superiore a quello che si può immaginare tra cinque anni, quando i prezzi di tale tecnologia dovrebbero iniziare a calare in virtù dell'avanzamento tecnologico e di una produzione più ampia. Perciò risulta difficile quantificare adeguatamente i guadagni ricavabili nel futuro, nell'ipotesi in cui si decidessero di effettuare interventi di sostituzione o efficientamento successivi basandosi solo sugli attuali prezzi di mercato.

Per quanto concerne le emissioni annuali calcolate dal software sono sostanzialmente diverse dalle emissioni di riferimento presenti in [11], in quanto sono diversi i fattori di emissioni considerati. In particolare, le emissioni stimate da questo modello risultano superiori a quelle presentate in [11], ma ciò non va a inficiare la riduzione percentuale ottenibile elaborando i dati minimizzando il GWP anche se i valori assoluti finali sono necessariamente diversi.

6.2 – Risultati ottenuti

Al diminuire del limite su GWP operativo annuale, si ottiene un aumento sostanziale del costo totale annuo, legato soprattutto all'installazione di numerose batterie, e del GWP totale, il quale considerando anche il GWP di costruzione aumenta notevolmente. Pertanto, bisogna far attenzione quando si parla di ridurre le emissioni, perché se si considerassero solo i gas emessi durante l'utilizzo dell'impianto si trascurerebbero una quantità importante di emissioni emesse durante la fase di costruzione. C'è da dire a questo riguardo che trattandosi di un'isola molto piccola dove non viene prodotto praticamente nulla di quello che servirebbe per l'installazione di un impianto energetico, tutto il materiale viene importato e viene solo assemblato in loco, sicché i costi e le emissioni di costruzione andrebbero quantomeno ripartite di conseguenza.

Si è inoltre osservato che se si ponesse un limite sulle batterie installabili, il GWP operativo non si azzererebbe, seppure scostandosi di poco dallo zero, ma i costi calerebbero drasticamente e il programma opterebbe per uno stoccaggio maggiore di acqua potabile nei periodi di surplus energetici durante l'anno, facendo una sorta di stoccaggio stagionale sia con le batterie che coi serbatoi di acqua dolce. Questo accade perché il modello utilizzato considera tutto il sistema isola come una smart-grid energetica globale, vale a dire non soltanto gestisce l'energia elettrica, ma fa un bilancio tra tutte le richieste e le risorse energetiche disponibili.

Secondo il modello elaborato le macchine elettriche iniziano a comparire solo per valori abbastanza bassi di GWP, questo potrebbe cambiare in uno scenario futuro, infatti i costi considerati sono quelli attuali che potrebbero calare in futuro. L'auto elettrica è ancora una tecnologia giovane potrebbero ridursi i costi con l'avanzamento tecnologico. Così come le batterie, moltissimi studi stanno investigando vie nuove per ottimizzare questo processo, si vedono a questo riguardo le esperienze più recenti iniziate nelle grandi città in cui si mettono a disposizione degli utenti monopattini e biciclette elettriche, che hanno dei costi di investimento iniziali senz'altro più contenuti delle auto elettriche.

Quindi per minimizzare sostanzialmente le emissioni per raggiungere una decarbonizzazione di Lampedusa, accanto all'introduzione di impianti eolici e un elevato numero di batterie, che attualmente costituirebbero un aumento significativo del costo totale legato ai costi d'investimento iniziali, si dovrebbe affrontare una trasformazione radicale del modello di mobilità presente sull'isola. In sostituzione delle attuali auto utilizzare solo nel periodo estivo per brevi tragitti si potrebbe immaginare un sistema basato sui più moderni veicoli elettrici (monopattini e e-bike).

Un progetto praticabile di trasformazione del sistema energetico lampedusano dovrebbe probabilmente basarsi su uno sviluppo graduale, dove per prima cosa si proceda ad installare tutto il solare termico e fotovoltaico possibile, sistemi più moderni per la climatizzazione dei locali e la produzione di acqua calda. Successivamente se si desiderasse ridurre le emissioni assieme alle installazioni di impianti eolici, il comune di Lampedusa dovrebbe promuovere una trasformazione dei sistemi di mobilità sull'isola, incentivando il car sharing e l'uso di veicoli elettrici da parte dei residenti.

CAPITOLO 7 – Conclusioni

La riduzione delle emissioni, senza riduzione dei consumi finali, comporta necessariamente una trasformazione dei sistemi di produzione energetica e tipicamente un conseguente aumento dei costi. La realizzazione di nuovi impianti di energia rinnovabile, l'implementazione tecnologica dei sistemi di distribuzione già presenti, accanto agli impianti esistenti per migliorare l'efficienza del sistema complessivo richiedono investimenti talvolta importanti. Per rendere compatibili il vecchio sistema con le modalità produttive degli impianti basati sulle energie rinnovabili si fa largo uso della tecnologia digitale che di conseguenza sta assumendo progressivamente un ruolo cardine nella gestione dei sistemi energetici, anche se rappresenta un'ulteriore richiesta di energia.

Tuttavia, in un contesto isolano il maggior costo della produzione energetica tradizionale, legato al costo di trasporto e/o di stoccaggio del combustibile fossile, è un elemento importante che rende più vantaggioso economicamente il passaggio alle energie rinnovabili, poiché in questo caso l'aumento del costo è meno rilevante. Dalle simulazioni del modello base dell'isola di Lampedusa è risultato che con la stessa cifra totale annua di gestione si potrebbe ridurre a un decimo le emissioni di anidride carbonica investendo sulle fonti rinnovabili e nuovi impianti. Tale risultato è emerso confrontando il costo totale operativo della simulazione rappresentante la situazione odierna dell'isola con quello ottenuto dal modello base, ovvero considerando solo i consumi del settore residenziale e alberghiero, ponendo come obiettivo minimizzare il GWP totale. Naturalmente rimarrebbe il problema dell'esborso iniziale per la realizzazione dei nuovi impianti e l'ammodernamento della rete di distribuzione esistente, che però verrebbe ripagato con la riduzione dei costi operativi nell'arco di qualche anno.

Conservando gli impianti esistenti di produzione energetica e l'attuale sistema di potabilizzazione dell'acqua, il sistema energetico dell'isola può essere trasformato in sistema ibrido, garantendo una riduzione dei costi di esercizio e delle emissioni di anidride carbonica. I primi impianti energetici da realizzare sarebbero pannelli fotovoltaici, collettori solari termici e pompe di calore. I costi di queste nuove installazioni sarebbero compensati dal calo dei costi di esercizio. In seconda battuta andrebbero potenziati i sistemi di stoccaggio (batterie, serbatoi di acqua calda e di acqua dolce) per poter sfruttare meglio il surplus energetico da fonte rinnovabile e ridurre quindi l'esigenza di ricorrere alla produzione di energia da combustibile fossile nei momenti di picco della richiesta. In questa fase se si ponesse come target la riduzione delle emissioni, si osserverebbe un aumento dei costi, essenzialmente dovuto ai sistemi di stoccaggio a batteria. A tale riguardo occorre valutare se effettivamente il sistema di accumulo energetico basato sulla batteria sia quello più idoneo considerando l'attuale costo elevato oppure convenga vagliare l'ipotesi di utilizzare sistemi alternativi di stoccaggio.

Nell'ottica di realizzare una decarbonizzazione totale dell'isola si dovrà affrontare anche il problema della mobilità che costituisce attualmente un terzo delle richieste energetiche da soddisfare. Le emissioni legate a tale voce di consumo, sono molto più importanti in percentuale, in quanto le vetture presenti attualmente a Lampedusa sono veicoli datati alimentati a gasolio o a benzina. Per ridurre le emissioni è ragionevole pensare di dover sostituire tali mezzi con veicoli

elettrici i cui costi sono ancora abbastanza elevati. Questo elemento di costo subirà senz'altro delle modifiche nei prossimi anni, legate all'avanzamento tecnologico nel mercato automobilistico, ma anche al comparire e forse affermarsi di altri modelli di mobilità, quali car sharing e veicoli elettrici a due ruote, che si stanno attualmente affacciando nelle grandi aree metropolitane.

Appare invece improponibile nel contesto di Lampedusa, immaginare di realizzare un sistema di trasporto pubblico basato su metropolitane o linee tranviarie, in quanto il costo di installazione di tali opere non troverebbe giustificazione nei flussi di traffico locali, modesti per la quantità di residenti e le dimensioni ridotte dell'isola, né risponderebbe alla domanda di mobilità dei turisti che preferiscono sistemi individuali per lo spostamento tra le varie attrazioni dell'isola. Si può immaginare in questo senso soltanto di sostituire gli attuali autobus a gasolio con mezzi ibridi o elettrici.

APPENDICE – Dati relativi agli andamenti orari dei Typical Days

In questa sezione vengono riportati tutti i dati elaborati, secondo la metodologia sopra descritta, per permettere la compilazione del programma di ottimizzazione in quanto occorrono gli andamenti orari dei typical days delle richieste energetiche (riscaldamento, raffrescamento, ACS, altro, mobilità) e di acqua potabile per le utenze alberghiere, residenziali e il sistema di trasporti, oltre ai fattori capacitivi orari del solare termico, fotovoltaico, eolico e di rifiuti organici.

- Riscaldamento

HOUSEHOLDS	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0.00173041	0	0	0	0	0.0002515
7	0.00171275	0	0	0	0	0.00024893
8	0.00168095	0	0	0	0	0.00024431
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0.00150432	0	0	0	0	0.00021864
20	0.00155024	0	0	0	0	0.00022531
21	0.0015891	0	0	0	0	0.00023096
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

HOTELS	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0.001413462	0	0	0	0	0.000346209
7	0.001400355	0	0	0	0	0.000342999
8	0.001376763	0	0	0	0	0.00033722
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0.001245695	0	0	0	0	0.000305117
20	0.001279773	0	0	0	0	0.000313464
21	0.001308608	0	0	0	0	0.000320526
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

TRANSPORTATION	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

- Raffrescamento

HOUSEHOLDS	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0.001179166	0	0
2	0	0	0	0.000954297	0	0
3	0	0	0	0.000656455	0	0
4	0	0	0	0.000217103	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0.000578778	0	0
9	0	0	0	0.000547388	0	0
10	0	0	0	0.000781966	0	0
11	0	0	0	0.000985537	0	0
12	0	0	0	0.001174338	0	0
13	0	0	0	0.002655462	0	0
14	0	0	0	0.002864067	0	0
15	0	0	0	0.001497538	0	0
16	0	0	0	0.001521375	0	0
17	0	0	0	0.002995076	0	0
18	0	0	0	0.002880769	0	0
19	0	0	0	0.002691353	0	0
20	0	0	0	0.002448679	0	0
21	0	0	0	0.002179147	0	0
22	0	0	0	0.001921778	0	0
23	0	0	0	0.0008267	0	0
24	0	0	0	0.000701094	0	0

HOTELS	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0.001343518	0	0
2	0	0	0	0.00129251	0	0
3	0	0	0	0.001239405	0	0
4	0	0	0	0.001195223	0	0
5	0	0	0	0.001160983	0	0
6	0	0	0	0.001149344	0	0
7	0	0	0	0.001172508	0	0
8	0	0	0	0.001228508	0	0
9	0	0	0	0.000926345	0	0
10	0	0	0	0.001014601	0	0
11	0	0	0	0.001107731	0	0
12	0	0	0	0.001204606	0	0
13	0	0	0	0.001289149	0	0
14	0	0	0	0.001349084	0	0
15	0	0	0	0.001387603	0	0
16	0	0	0	0.002002536	0	0
17	0	0	0	0.001982291	0	0
18	0	0	0	0.001934227	0	0
19	0	0	0	0.001856186	0	0
20	0	0	0	0.001759499	0	0
21	0	0	0	0.00165718	0	0
22	0	0	0	0.001565388	0	0
23	0	0	0	0.000738499	0	0
24	0	0	0	0.00070114	0	0

TRANSPORTATION	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

- Altro

HOUSE-HOLDS	1	2	3	4	5	6
1	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05
2	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05
3	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05
4	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05	2.34165E-05
5	0.000117082	0.000117082	0.000117082	0.000117082	0.000117082	0.000117082
6	0.000117082	0.000117082	0.000117082	0.000117082	0.000117082	0.000117082
7	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165
8	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165
9	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
10	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
11	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
12	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
13	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
14	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
15	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
16	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
17	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
18	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05
19	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165
20	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165
21	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165
22	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165
23	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165	0.000234165
24	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05	7.02494E-05

HOTELS	1	2	3	4	5	6
1	1.97666E-05	2.76687E-05	9.44174E-05	9.44174E-05	3.03906E-05	2.07866E-05
2	1.97666E-05	2.76687E-05	9.44174E-05	9.44174E-05	3.03906E-05	2.07866E-05
3	1.97666E-05	2.76687E-05	9.44174E-05	9.44174E-05	3.03906E-05	2.07866E-05
4	1.97666E-05	2.76687E-05	9.44174E-05	9.44174E-05	3.03906E-05	2.07866E-05
5	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
6	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
7	6.58888E-05	9.22291E-05	0.000314725	0.000314725	0.000101302	6.92886E-05
8	6.58888E-05	9.22291E-05	0.000314725	0.000314725	0.000101302	6.92886E-05
9	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
10	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
11	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
12	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
13	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
14	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
15	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
16	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
17	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
18	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05
19	6.58888E-05	9.22291E-05	0.000314725	0.000314725	0.000101302	6.92886E-05
20	6.58888E-05	9.22291E-05	0.000314725	0.000314725	0.000101302	6.92886E-05
21	6.58888E-05	9.22291E-05	0.000314725	0.000314725	0.000101302	6.92886E-05
22	6.58888E-05	9.22291E-05	0.000314725	0.000314725	0.000101302	6.92886E-05
23	6.58888E-05	9.22291E-05	0.000314725	0.000314725	0.000101302	6.92886E-05
24	4.61222E-05	6.45603E-05	0.000220307	0.000220307	7.09114E-05	4.8502E-05

TRANSPORTATION	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

- ACS

HOUSE-HOLDS	1	2	3	4	5	6
1	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05
2	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05
3	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05
4	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05	2.3218E-05
5	0.000162526	0.000162526	0.000162526	0.000162526	0.000162526	0.000162526
6	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218
7	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218
8	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218
9	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05
10	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05
11	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05
12	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05
13	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05
14	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05
15	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05
16	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05
17	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609
18	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609
19	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218
20	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218
21	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218	0.00023218
22	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609
23	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609	0.00011609
24	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05	6.96541E-05

HOTELS	1	2	3	4	5	6
1	6.47034E-06	1.21407E-05	5.46688E-05	5.46688E-05	1.41659E-05	8.09045E-06
2	6.47034E-06	1.21407E-05	5.46688E-05	5.46688E-05	1.41659E-05	8.09045E-06
3	6.47034E-06	1.21407E-05	5.46688E-05	5.46688E-05	1.41659E-05	8.09045E-06
4	6.47034E-06	1.21407E-05	5.46688E-05	5.46688E-05	1.41659E-05	8.09045E-06
5	4.52924E-05	8.49852E-05	0.000382682	0.000382682	9.91612E-05	5.66332E-05
6	6.47034E-06	1.21407E-05	5.46688E-05	5.46688E-05	1.41659E-05	8.09045E-06
7	6.47034E-06	1.21407E-05	5.46688E-05	5.46688E-05	1.41659E-05	8.09045E-06
8	6.47034E-06	1.21407E-05	5.46688E-05	5.46688E-05	1.41659E-05	8.09045E-06
9	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
10	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
11	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
12	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
13	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
14	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
15	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
16	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
17	4.52924E-05	8.49852E-05	0.000382682	0.000382682	9.91612E-05	5.66332E-05
18	4.52924E-05	8.49852E-05	0.000382682	0.000382682	9.91612E-05	5.66332E-05
19	6.47034E-05	0.000121407	0.000546688	0.000546688	0.000141659	8.09045E-05
20	6.47034E-05	0.000121407	0.000546688	0.000546688	0.000141659	8.09045E-05
21	6.47034E-05	0.000121407	0.000546688	0.000546688	0.000141659	8.09045E-05
22	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
23	3.23517E-05	6.07037E-05	0.000273344	0.000273344	7.08294E-05	4.04523E-05
24	1.9411E-05	3.64222E-05	0.000164006	0.000164006	4.24977E-05	2.42714E-05

TRANSPORTATION	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

- Acqua potabile (dissalatore)

HOUSEHOLDS	1	2	3	4	5	6
1	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
2	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
3	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
4	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
5	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
6	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
7	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
8	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
9	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
10	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
11	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
12	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
13	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
14	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
15	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
16	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
17	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
18	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
19	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
20	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
21	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
22	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
23	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05
24	2.962E-05	2E-05	2.98E-05	1.02E-05	1.36E-05	1.13E-05

HOTELS	1	2	3	4	5	6
1	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
2	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
3	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
4	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
5	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
6	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
7	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
8	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
9	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
10	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
11	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
12	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
13	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
14	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
15	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
16	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
17	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
18	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
19	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
20	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
21	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
22	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
23	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06
24	4.00159E-06	8.93825E-06	7.82097E-05	2.66E-05	7.56E-06	2.54E-06

TRANSPORTATION	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

- Mobilità

HOUSEHOLDS	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

HOTELS	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

TRANSPORTATION	1	2	3	4	5	6
1	5.24235E-06	5.47E-06	7.16E-06	7.16E-06	5.55E-06	5.31E-06
2	2.09694E-06	2.19E-06	2.86E-06	2.86E-06	2.22E-06	2.12E-06
3	1.04847E-06	1.09E-06	1.43E-06	1.43E-06	1.11E-06	1.06E-06
4	1.25817E-05	1.31E-05	1.72E-05	1.72E-05	1.33E-05	1.27E-05
5	3.35511E-05	3.5E-05	4.58E-05	4.58E-05	3.55E-05	3.4E-05
6	8.38777E-05	8.75E-05	0.000114	0.000114	8.88E-05	8.49E-05
7	0.000162513	0.000169	0.000222	0.000222	0.000172	0.000165
8	0.000141543	0.000148	0.000193	0.000193	0.00015	0.000143
9	0.000131059	0.000137	0.000179	0.000179	0.000139	0.000133
10	0.000146786	0.000153	0.0002	0.0002	0.000155	0.000149
11	0.000167755	0.000175	0.000229	0.000229	0.000178	0.00017
12	0.000184531	0.000192	0.000252	0.000252	0.000195	0.000187
13	0.000167755	0.000175	0.000229	0.000229	0.000178	0.00017
14	0.000169852	0.000177	0.000232	0.000232	0.00018	0.000172
15	0.000190822	0.000199	0.00026	0.00026	0.000202	0.000193
16	0.00019921	0.000208	0.000272	0.000272	0.000211	0.000202
17	0.00019921	0.000208	0.000272	0.000272	0.000211	0.000202
18	0.000146786	0.000153	0.0002	0.0002	0.000155	0.000149
19	0.000104847	0.000109	0.000143	0.000143	0.000111	0.000106
20	7.86353E-05	8.2E-05	0.000107	0.000107	8.32E-05	7.96E-05
21	5.24235E-05	5.47E-05	7.16E-05	7.16E-05	5.55E-05	5.31E-05
22	3.35511E-05	3.5E-05	4.58E-05	4.58E-05	3.55E-05	3.4E-05
23	2.09694E-05	2.19E-05	2.86E-05	2.86E-05	2.22E-05	2.12E-05
24	8.38777E-06	8.75E-06	1.14E-05	1.14E-05	8.88E-06	8.49E-06

- $C_{p,t}$

PV_ground	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0.002	0.006	0	0	0
7	0	0.094	0.104	0.082	0	0
8	0.025	0.261	0.281	0.256	0.093	0.008
9	0.166	0.433	0.468	0.342	0.253	0.079
10	0.325	0.581	0.632	0.609	0.399	0.167
11	0.454	0.689	0.753	0.733	0.503	0.237
12	0.535	0.747	0.824	0.803	0.555	0.277
13	0.557	0.754	0.841	0.819	0.548	0.341
14	0.522	0.707	0.796	0.773	0.484	0.304
15	0.431	0.61	0.702	0.674	0.368	0.234
16	0.294	0.472	0.558	0.527	0.216	0.127
17	0.132	0.304	0.381	0.345	0.059	0.024
18	0.01	0.132	0.192	0.157	0	0
19	0	0.014	0.041	0.02	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

PV roof	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0.002	0.006	0	0	0
7	0	0.094	0.104	0.082	0	0
8	0.025	0.261	0.281	0.256	0.093	0.008
9	0.166	0.433	0.468	0.342	0.253	0.079
10	0.325	0.581	0.632	0.609	0.399	0.167
11	0.454	0.689	0.753	0.733	0.503	0.237
12	0.535	0.747	0.824	0.803	0.555	0.277
13	0.557	0.754	0.841	0.819	0.548	0.341
14	0.522	0.707	0.796	0.773	0.484	0.304
15	0.431	0.61	0.702	0.674	0.368	0.234
16	0.294	0.472	0.558	0.527	0.216	0.127
17	0.132	0.304	0.381	0.345	0.059	0.024
18	0.01	0.132	0.192	0.157	0	0
19	0	0.014	0.041	0.02	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

WIND	1	2	3	4	5	6
1	0.077672296	0.017576	0	0	0.028840296	0.216
2	0.070615704	0.015008296	0	0	0.028840296	0.175616
3	0.054872	0.01164563	0	0	0.032768	0.135269037
4	0.039304	0.008826963	0	0	0.034858963	0.106047704
5	0.028840296	0	0	0	0.039304	0.077672296
6	0.032768	0	0	0	0.039304	0.057810963
7	0.039304	0	0	0	0.039304	0.039304
8	0.054872	0.008826963	0	0	0.039304	0.070615704
9	0.039304	0	0.008826963	0	0.054872	0.110592
10	0.039304	0.013824	0.008826963	0	0.089114963	0.163368296
11	0.070615704	0.020421037	0	0	0.070615704	0.135269037
12	0.070615704	0.020421037	0	0	0.089114963	0.323770963
13	0.089114963	0	0.008826963	0	0.089114963	0.20191763
14	0.110592	0	0	0	0.070615704	0.163368296
15	0.238328	0	0	0.008826963	0.089114963	0.323770963
16	0.278871704	0	0	0	0.110592	0.427525037
17	0.195112	0	0	0	0.10162963	0.373248
18	0.070615704	0	0	0	0.097336	0.427525037
19	0.195112	0	0	0	0.110592	0.427525037
20	0.195112	0	0	0	0.12006637	0.373248
21	0.195112	0.008826963	0	0	0.110592	0.323770963
22	0.195112	0	0	0	0.060853037	0.323770963
23	0.238328	0.013824	0	0	0.028840296	0.278871704
24	0.262144	0.008826963	0	0	0.01164563	0.238328

BIOW TO_FUEL	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0.833333	0.833333	1	1	0.833333	0.833333
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

THERMAL SOLAR	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0.11358742 9	0.17627850 3	0.14786906	0	0
9	0	0.28558742 9	0.38226314 3	0.24543726 9	0.15372142 9	0
10	0.149566 857	0.440534	0.54626314 3	0.52326314 3	0.29972142 9	0
11	0.278566 857	0.548534	0.66996024	0.65265358 9	0.40643726 9	0.08261742 9
12	0.366607 143	0.606534	0.74499885 7	0.73071114 3	0.462504	0.12261742 9
13	0.395624	0.62045714 3	0.75526314 3	0.7534	0.455504	0.19358742 9
14	0.357820 069	0.57345714 3	0.72438108 3	0.7040585	0.39421046 9	0.15658742 9
15	0.269624	0.469534	0.61626314 3	0.60171114 3	0.275504	0.07961742 9
16	0.125607 143	0.331534	0.47226314 3	0.45471114 3	0.11672142 9	0
17	0	0.163534	0.30401500 3	0.28206898 3	0	0
18	0	0	0.10693776 9	0.07799885 7	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

BIBLIOGRAFIA

- [1] B. D. Pietra *et al.*, «Analisi energetica dei contesti isolani non interconnessi e individuazione di nuove tecnologie per l'efficientamento energetico degli utenti finali (Anno 1)», pag. 136.
- [2] G. Limpens, S. Moret, H. Jeanmart, e F. Maréchal, «EnergyScope TD: A novel open-source model for regional energy systems», *Appl. Energy*, vol. 255, pag. 113729, dic. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113729.
- [3] R. Ghaffarpour, «Optimal Sizing, Scheduling and Building Structure Strategies for a Risk-averse Isolated Hybrid Energy System in Kish Island», *Energy Build.*, vol. 219, pag. 110008, lug. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110008.
- [4] M. A. Mohamed, T. Jin, e W. Su, «Multi-agent energy management of smart islands using primal-dual method of multipliers», *Energy*, vol. 208, pag. 118306, ott. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.118306.
- [5] X. Gong, F. Dong, M. A. Mohamed, E. M. Awwad, H. M. Abdullah, e Z. M. Ali, «Towards distributed based energy transaction in a clean smart island», *J. Clean. Prod.*, vol. 273, pag. 122768, nov. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122768.
- [6] G. Zhang, W. Wang, J. Du, e H. Liu, «A Multiobjective Optimal Operation of a Stand-Alone Microgrid Using SAPSO Algorithm», *J. Electr. Comput. Eng.*, pag. 16.
- [7] C.-T. Tsai, T. M. Beza, E. M. Molla, e C.-C. Kuo, «Analysis and Sizing of Mini-Grid Hybrid Renewable Energy System for Islands», *IEEE Access*, vol. 8, pagg. 70013–70029, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983172.
- [8] D. Curto, V. Franzitta, S. Longo, F. Montana, E. R. Sanseverino, e E. Telaretti, «Flexibility Services in a Mediterranean Small Island to Minimize Costs and Emissions Related to Electricity Production from Fossil Fuels», in *2020 IEEE 20th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)*, Palermo, Italy, giu. 2020, pagg. 453–458, doi: 10.1109/MELECON48756.2020.9140616.
- [9] C. Charalambous, A. Polycarpou, C. N. Papadimitriou, e V. Efthymiou, «A Technoeconomical evaluation of a hybrid AC/DC microgrid – The University of Cyprus nanogrid», pag. 7.
- [10] V. L. Brano *et al.*, «Analisi delle tecnologie per la climatizzazione e sistemi ICT applicati agli utenti finali delle isole minori non connesse alla RTN al fine di efficientare il sistema elettrico isolano», pag. 188.
- [11] «Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC) Comune di Lampedusa e Linosa», giu. 2018.

- [12] H. Vazini Modabber e M. H. Khoshgoftar Manesh, «Optimal exergetic, exergoeconomic and exergoenvironmental design of polygeneration system based on gas Turbine-Absorption Chiller-Solar parabolic trough collector units integrated with multi-effect desalination-thermal vapor compressor- reverse osmosis desalination systems», *Renew. Energy*, vol. 165, pagg. 533–552, mar. 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.11.001.
- [13] R. Fourer, David M. Gay, e Brian W. Kernighan, *A Modeling Language for Mathematical Programming*, Seconda. 2003.
- [14] G. Limpens, S. Moret, H. Jeanmart, e F. Marechal, «EnergyScope TD: a novel open-source model for regional energy systems [1] Supplementary Material», pag. 47.
- [15] Greenpeace, «Greenpeace 100% rinnovabili: un nuovo futuro per le piccole isole», lug. 2015.
- [16] «Welcome to Python.org», *Python.org*. <https://www.python.org/> (consultato gen. 27, 2021).
- [17] «Learn Python - Free Interactive Python Tutorial». <https://www.learnpython.org> (consultato gen. 27, 2021).
- [18] M. Castro, M. Alcanzare, E. Esparcia, e J. Ocon, «A Comparative Techno-Economic Analysis of Different Desalination Technologies in Off-Grid Islands», *Energies*, vol. 13, n. 9, pag. 2261, mag. 2020, doi: 10.3390/en13092261.
- [19] H. Mehrjerdi, «Modeling and optimization of an island water-energy nexus powered by a hybrid solar-wind renewable system», *Energy*, vol. 197, pag. 117217, apr. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117217.
- [20] F. Lo Franco, M. Ricco, R. Mandrioli, e G. Grandi, «Electric Vehicle Aggregate Power Flow Prediction and Smart Charging System for Distributed Renewable Energy Self-Consumption Optimization», *Energies*, vol. 13, n. 19, pag. 5003, set. 2020, doi: 10.3390/en13195003.
- [21] C. Wu, Q. Sui, X. Lin, Z. Wang, e Z. Li, «Scheduling of energy management based on battery logistics in pelagic islanded microgrid clusters», *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 127, pag. 106573, mag. 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106573.
- [22] V. Codina Gironès, S. Moret, F. Maréchal, e D. Favrat, «Strategic energy planning for large-scale energy systems: A modelling framework to aid decision-making», *Energy*, vol. 90, pagg. 173–186, ott. 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.06.008.
- [23] Tuong-Van Nguyen, «Random mobility stuff», Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, gen. 2021.

- [24] T. R. Hawkins, B. Singh, G. Majeau-Bettez, e A. H. Strømman, «Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles», *J. Ind. Ecol.*, vol. 17, n. 1, pagg. 53–64, 2013, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>.
- [25] S. Sanaye e A. Sarrafi, «Cleaner production of combined cooling, heating, power and water for isolated buildings with an innovative hybrid (solar, wind and LPG fuel) system», *J. Clean. Prod.*, vol. 279, pag. 123222, gen. 2021, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.123222](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123222).