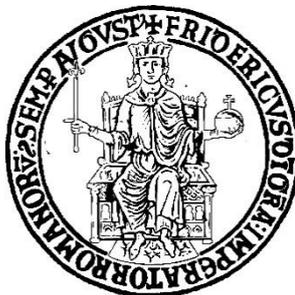


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II**



**SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE**

**Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio**

(Classe delle Lauree in Ingegneria Civile ed Ambientale, Classe n. 35)

**Tesi di Laurea Magistrale in
Gestione delle Risorse Energetiche del Territorio**

**FULLY RENEWABLE ENERGY SCENARIOS
FOR ISOLATED COMMUNITIES:
A CASE STUDY FOR PANTELLERIA**

Relatori:

Ch.mo Prof. Ing. Francesco Calise

Ch.ma Prof.ssa Ing. Laura Vanoli

Ch.mo Prof. Ing. Neven Duić

Candidata:

Marianna Tiano

Matr.: M67/323

Correlatori:

Ing. Maria Vicidomini

Ing. Vittoria Battaglia

ANNO ACCADEMICO 2017/2018

ABSTRACT

Introduzione

Scopo di questo lavoro di tesi è l'analisi del sistema energetico dell'isola di Pantelleria (TP) nel periodo di riferimento, 2011-2013, in modo da tale da poter definire alcuni scenari futuri per il 2050, che rispettino i vincoli imposti dall'Unione Europea. Per questo lavoro di tesi è stato adoperato il software EnergyPLAN, sviluppato dal Gruppo di Ricerca Energetica di Pianificazione sostenibile presso l'Università di Aalborg, in Danimarca.

Gran parte del lavoro è stato svolto presso di Dipartimento di "Energy, Power Engineering and Environment (FSB)" dell'Università di Zagabria (Croazia), sotto la supervisione del professore Neven Duić.

Il lavoro di tesi può quindi essere suddiviso in due parti. La prima parte comprende lo scenario di riferimento, ovvero la situazione energetica al 2013 e quella dello scenario di riferimento futuro, il *Business-As-Usual Scenario*, al 2050. La seconda parte riguarda gli scenari futuri, quello con l'integrazione delle rinnovabili, *Renewable Scenario*, e quello con l'integrazione dei veicoli elettrici, *Electric Vehicle Scenario*, entrambi al 2050.

Gli Accordi di Parigi del 4 Novembre 2016 prevede l'assunzione di alcuni impegni riguardanti tutti gli Stati Membri dell'Unione Europea. In particolare con questo accordo, la comunità internazionale si è impegnata a contenere l'aumento di temperatura media del pianeta sotto i 1,5-2°C rispetto ai livelli preindustriali, a favorire lo sviluppo sostenibile e a sradicare la povertà.

In questa triplice prospettiva, la sfida che viene posta al settore energetico, tra i principali responsabili delle emissioni di gas climalteranti, è di promuovere una trasformazione che assicuri energia pulita, a costi accettabili e disponibile in quantità sufficienti a sostenere la crescita, economica e sociale. Gli Accordi quindi prevedono si agisca su più punti di vista: la decarbonizzazione dell'economia (anche attraverso lo sviluppo delle fonti rinnovabili), l'efficienza energetica, la sicurezza degli approvvigionamenti e delle forniture, l'integrazione dei mercati energetici nazionali in un unico mercato europeo, l'innovazione tecnologica e la competitività, la coesione sociale.

Riferimenti normativi

Il 12 dicembre 2015 gli Stati membri dell'Unione Europea firmarono gli Accordi di Parigi. Dal 6 al 17 novembre 2017 si è tenuta l'ultima Conferenza delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (COP23) a Bonn, in Germania, presieduta dal governo delle Fiji, un paese che vede la concretezza del cambiamento climatico in forma di un importante innalzamento dell'Oceano, che potrebbe interamente sommergere le sue isole. L'importanza di quest'ultima conferenza sta nel fatto che ci si è resi conto che se l'inerzia dei Paesi Membri non dovesse cambiare rapidamente ci si ritroverebbe alla fine del secolo con un aumento della temperatura media globale oltre i 3°C. In questa sede, 20 paesi, tra cui l'Italia, hanno stretto un'alleanza, *Global Alliance to Power Past Coal*, per terminare la produzione di energia elettrica dal carbone. In questa sede

il governo delle Fiji ha istituito un *Talanoa dialogue*¹ che prevede ad aggiornare al rialzo gli obiettivi climatici nazionali in vista della prossima COP24 che si terrà in Polonia.

In Italia, dopo la consultazione pubblica di giugno 2017, il 10 novembre 2017 con D.M. del Ministero dello Sviluppo Economico e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, è stata emanata la Strategia Energetica Nazionale (SEN) che è un piano di durata decennale per anticipare e gestire il cambiamento del sistema energetico. La Strategia ha l'obiettivo di rendere il sistema più competitivo, sostenibile e sicuro, attraverso dei target quantitativi, tra i quali:

- efficienza energetica: riduzione dei consumi finali da 118 a 108 Mtep con un risparmio di circa 10 Mtep al 2030;
- fonti rinnovabili: 28% di rinnovabili sui consumi complessivi al 2030 rispetto al 17,5% del 2015; in termini settoriali, l'obiettivo si articola in una quota di rinnovabili sul consumo elettrico del 55% al 2030 rispetto al 33,5% del 2015; in una quota di rinnovabili sugli usi termici del 30% al 2030 rispetto al 19,2% del 2015; in una quota di rinnovabili nei trasporti del 21% al 2030 rispetto al 6,4% del 2015;
- cessazione della produzione di energia elettrica da carbone con un obiettivo di accelerazione al 2025, da realizzare tramite un puntuale piano di interventi infrastrutturali;
- verso la decarbonizzazione al 2050: rispetto al 1990, una diminuzione delle emissioni del 39% al 2030 e del 63% al 2050;
- promozione della mobilità sostenibile e dei servizi di mobilità condivisa;
- riduzione della dipendenza energetica dall'estero dal 76% del 2015 al 64% del 2030 (rapporto tra il saldo import/export dell'energia primaria

¹ Talanoa nella lingua Fiji indica l'azione del dialogo e di decisione condivisa. Lo scopo è quello di condividere storie, costruire empatia e fiducia. Durante il processo, i partecipanti avanzano le loro conoscenze creando una piattaforma di dialogo, che si traduce in un migliore processo decisionale per il bene collettivo.

necessaria a coprire il fabbisogno e il consumo interno lordo), grazie alla forte crescita delle rinnovabili e dell'efficienza energetica.

Per quanto riguarda le isole minori, il D.M. del 14 febbraio 2017 definisce il quantitativo del fabbisogno energetico delle isole da coprire attraverso la produzione di energia elettrica e termica da fonti rinnovabili, gli obiettivi temporali e le modalità di sostegno degli investimenti necessari alla realizzazione. Il decreto individua 19 isole minori italiane come quelle isole non connesse alla rete elettrica del continente, e che hanno una superficie minore di 1 km², localizzate a più di 1 km dal continente e con popolazione residente maggiore di 50 persone. Sono quelle realtà nelle quali l'approvvigionamento di energia avviene usualmente via nave, con possibili interruzioni nei periodi di maltempo. La produzione elettrica è assicurata normalmente da un unico produttore con impianti a fonti convenzionali, la domanda è variabile stagionalmente a causa delle presenze turistiche, inoltre tutte le isole sono sottoposte a stringenti vincoli ambientali e paesaggistici.

In ciascuna delle isole individuate dal decreto sono stabiliti obiettivi minimi di sviluppo dell'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili da raggiungere entro il 31 dicembre 2020. Con ulteriori decreti verranno stabiliti gli obiettivi per i periodi 2021-25 e 2026-30.

Tra i vari strumenti dell'Unione Europea vale la pena citare il Patto dei Sindaci, istituito nel 2008. Questo accordo è stato lanciato con l'ambizione di riunire i governi locali su base volontaria a raggiungere e superare gli obiettivi comunitari su clima ed energia. L'iniziativa ha introdotto per la prima volta un approccio di tipo bottom-up per fronteggiare l'azione climatica ed energetica, ma è andata velocemente ben oltre le aspettative. Nella prima versione del Patto dei Sindaci, le città firmatarie si impegnano a sostenere l'attuazione dell'obiettivo comunitario di riduzione del 20% dei gas a effetto serra entro il 2020, e l'adozione di un approccio comune per affrontare la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Al fine di tradurre ciò in misure e progetti pratici, i Firmatari del Patto si impegnano a presentare, entro due anni il Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES)², che indichi le azioni

² Nella nuova versione è individuato come Piano d'azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC) e prevede una riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra del 40% entro il 2030.

chiave che si intendono intraprendere. Questo andrà poi pubblicato sul sito ufficiale del Patto dei Sindaci allo scopo di condividere idee e pratiche di implementazioni degli obiettivi, nonché *best practices*.

Modellazione del Sistema Energetico di Riferimento: 2013

Pantelleria è un'isola della provincia di Trapani, situata nel canale di Sicilia, 85 km dalla costa siciliana e 70 km dalla costa tunisina. La popolazione è di 7800 abitanti che costituiscono il residenziale stabile. Durante i mesi estivi si registra un forte incremento della popolazione relativa al turismo, con circa 7000 presenze nei mesi di Luglio e Agosto. Pantelleria è un'isola di origine vulcanica, la cui ultima eruzione risale al 1891. La vetta più alta è costituita dall'unico rilievo montuoso, Montagna Grande, di 836 m, mentre vi è un unico lago, lo Specchio di Venere, che raggiunge una profondità massima di 12 m. Il clima è tipico mediterraneo con inverni miti ed estati calde, con una temperatura media annuale di 18°C, con la presenza di forti venti la pioggia è generalmente scarsa, solo 350 mm l'anno. L'economia dell'isola è basata essenzialmente sull'agricoltura, i quali prodotto tipici ed esportati sono lo Zibibbo, che è un vino locale, e il capperi di Pantelleria, e ovviamente sul turismo. Sull'isola è presente il Parco Nazionale dell'isola di Pantelleria che comprende la zona di Montagna Grande e l'area circostante. Sull'isola sono presenti 3 Zone Protezione e Conservazione Speciale del progetto europeo "Natura 2000", la zona di Montagna Grande, la zona costiera con le falesie, la zona marina che circonda l'isola. Il sistema energetico di Pantelleria è stato analizzato con una serie di documenti base per l'analisi, il più importante tra questi è il Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES) emanato grazie al progetto europeo "Patto dei Sindaci". Questo documento riporta i dati del sistema energetico del caso studio considerato, su base annuale,

talvolta mensile. Quando era necessaria un'integrazione di dati, essi sono stati ricavati da altre fonti, quali relazioni tecniche, ISTAT, studi simili effettuati, quali il "Pantelleria Emission Free", che a sua volta costituisce il documento base del PAES. I dati ottenuti, nel migliore dei casi, necessitavano comunque di una rielaborazione prima di essere immessi in EnergyPLAN, in quanto il software necessita delle elaborazioni su base oraria dei dati immessi.

L'anno di riferimento del sistema considerato è lo stesso del PAES, il 2013, con un consumo totale di energia primaria di 127,12 GWh/anno, di cui il 67% di energia elettrica (39,47 GWh/anno) e la restante parte di combustibili fossili come diesel e petrolio. Il settore più energivoro è quello dei trasporti, con quasi 40 GWh/anno, ma incidono molto anche i consumi per la dissalazione delle acque e del riscaldamento degli ambienti e quelli per l'acqua calda sanitaria. La distribuzione oraria di riscaldamento comprende sia riscaldamento che acqua calda sanitaria, la quale varia mensilmente per tenere in conto delle presenze turistiche, per il calcolo del riscaldamento si è usato il metodo del calcolo dei gradi giorno, tenendo in conto che secondo la normativa Pantelleria si trova nella zona climatica A e che il riscaldamento può essere acceso dal 1 Dicembre al 15 Marzo.

La centrale elettrica costituita da 4 gruppi diesel, è la fonte energetica principale dell'isola, con una potenza installata di 22108 kW e una produzione al 2013 di 44,176 GWh/anno. La distribuzione oraria della domanda di energia elettrica è stata ottenuta tramite l'elaborazione della domanda tipo di un giorno, poi scalata rispetto alla richiesta elettrica mensile, anche per tener conto delle forti presenze turistiche che gravano sull'isola.

Per quanto riguarda le fonti energia rinnovabile, sono presenti solo 140 kW di fotovoltaico installato, ma a livello residenziale. La distribuzione oraria del solare fotovoltaico è stata ottenuta grazie ai dati forniti da Meteonorm. La domanda d'acqua è soddisfatta dai due dissalatori presenti, in contrada Sataria con un impianto MED e in contrada Maggiuluvedi con un impianto a elettrodialisi inversa e Osmosi Inversa. La domanda soddisfatta è di 0,68 Mm³/anno, con un consumo di energia specifico di 12,89 kWh/anno e un consumo di 8,80 GWh/anno per la desalinizzazione e 1,00 GWh/anno per il pompaggio. Durante i mesi estivi è necessario trasportare a mezzo di navi cisterna i restanti metri cubi necessari a soddisfare l'intera domanda dell'isola, questo anche dovuto alle forti presenze turistiche che si registrano in quei mesi. La distribuzione oraria della domanda d'acqua è stata assunta costante durante il giorno, mentre variava durante tutti i mesi, sempre per tenere in conto delle presenze turistiche che gravano sull'isola durante i mesi estivi.

Il modello è stato poi validato controllando input e output del sistema, controllando infine se i valori delle emissioni di CO₂ in uscita dal software fossero coerenti con i dati contenuti nel PAES. Il risultato è stata una differenza dell'1%, con emissioni di CO₂ di 40,607 kt.

Modellazione del Sistema Energetico di Riferimento Futuro: 2050

Il modello di riferimento futuro, il Business as Usual al 2050 è stato implementato con un'ipotesi di base, che consiste nell'assumere che non ci saranno grandi cambiamenti in attitudini e priorità, o nessun grande cambiamento nella tecnologia,

economia e politiche. Questo vuol dire assumere che il sistema della fornitura non avrà grandi cambiamenti, a meno che questi non siano già compresi in strumenti di governo del territorio precedentemente approvati. Tra questi ci sono i provvedimenti del PAES, che è un piano attuativo, il quale prevede che alcune azioni vengano implementate al 2020, ma non ci sono specifiche su cosa avverrà nel seguito. Per poter implementare lo scenario in EnergyPLAN è comunque necessaria una previsione della domanda di energia elettrica che è stata calcolata sulla base della previsione della popolazione al 2050, servendosi dei dati ISTAT con una previsione della popolazione al 2065. La popolazione futura è in decremento e si prevede che si attesterà sui 6830 abitanti con un consumo di energia specifico di 3,14 MWh/pro capite e una domanda di energia elettrica di circa 20,738 GWh/anno, che non comprende la previsione della domanda di energia elettrica d'acqua e dei consumi relativi al pompaggio. Questi infatti sono calcolati in base al fabbisogno d'acqua pro capite, che quindi è fortemente dipendente dalla popolazione futura. La domanda di trasporto è stata invece calcolata, sempre basandosi sulla popolazione futura, ma usando come indicatore il numero di automobili pro capite. Per quanto riguarda le azioni comprese nel PAES della fornitura si assume che venga applicato nel 60% dei casi, le pompe di calore per l'acqua calda sanitaria, che siano stati costruiti i nuovi desalinizzatori (impianto ad osmosi inversa con un consumo di 3,50 kWh/m³ e 3,00 GWh/anno per la desalinizzazione e 0,73 GWh/anno per il pompaggio. Per quanto riguarda le fonti di energia rinnovabili sono comprese nel PAES le seguenti installazioni: 1546 kW di fotovoltaico, una turbina eolica da 1 MW, un parco eolico costituito da 20 turbine di 30 kW ognuna, 1 impianto di 300 kW per l'energia mareomotrice. Applicando tutte queste azioni al sistema si è raggiunta una quota di emissioni di CO₂ di 24,53 kt (risparmio del 40%), con una produzione da rinnovabili

di 7 GWh/anno e uno share rispetto all'energia elettrica di 29,8% e rispetto all'energia primaria di 7,8%.

Modellazione dello Scenario Renewable 2050

Per lo scenario delle rinnovabili, *Renewable 2050*, vi è stata una maggiore applicazione delle fonti di energia rinnovabile. Sono stati applicati fino a 15546 kW di fotovoltaico, fino a 1 MW di energia mareomotrice, un impianto a biomassa con i residui della potatura dei vigneti presenti con una produzione di 1,33 GWh/anno e un impianto geotermico da 350 kW, inoltre è stato applicato il 100% delle pompe di calore per riscaldamento e acqua calda sanitaria. Lo share di rinnovabili raggiunto è il 165,9 % rispetto alla domanda di energia elettrica, mentre rispetto all'energia primaria di 40,1%. Pur sapendo che lo share rispetto all'energia primaria deve essere minore rispetto a quello della domanda elettrica, questa disparità indica che c'è un eccesso di produzione che andrà sprecato. Infatti, la produzione di solare ed eolico durante il giorno è eccessiva rispetto alla domanda, mentre di notte questa produzione è praticamente nulla. Per evitare ciò il sistema è stato investigato implementando diversi scenari con diversi mix tecnologici applicati e diverse capacità di fotovoltaico installate. Al fine di confrontare i 38 scenari individuati è stato individuato un coefficiente di compromesso, creato da Henrik Lund, proprietario del software utilizzato, che prevede il calcolo del rapporto del delta di energia primaria rispetto al delta di eccesso critico calcolato dal software. Quando questo coefficiente è pari a 1 indica dei buoni risultati dello scenario con il mix tecnologico applicato. Gli scenari migliori sono mostrati quando c'è l'applicazione dell'energia geotermoelettrica e

l'energia da biomassa. Questo ha permesso di effettuare una scelta sull'applicazione del mix tecnologico da investigare per il prossimo scenario, quello dei veicoli elettrici.

Modellazione dello Scenario Electric Vehicles 2050

L'ultimo scenario, *Electric Vehicles 2050*, prevede l'applicazione dei veicoli elettrici al sistema di Pantelleria. Questo mercato è in crescita in Italia, grazie anche alla diffusione di 14000 colonnine di ricarica in tutta Italia, previsto dal Piano dell'Enel per la diffusione di forme di mobilità sostenibile. Sono state poi investigate diverse metodologie di ricarica, di cui due presenti in EnergyPLAN: Dump charge e Smart charge. La prima modalità è di tipo monodirezionale, ovvero una semplice ricarica della macchina da parte della rete. La seconda modalità, di tipo bidirezionale, permette sia la ricarica del veicolo da un lato, ma permette anche a quest'ultimo di fungere da batteria per la rete quando non viene utilizzato. Questo può essere un valido supporto alla rete, in quanto i veicoli sono parcheggiati per la maggior parte della giornata. La domanda di trasporto è stata calcolata grazie ad un documento che analizza il traffico a Pantelleria investigandone la mobilità. Successivamente sono stati analizzati 4 macro-scenari, i primi due con l'installazione del 50% dei veicoli elettrici, mentre la seconda con l'installazione del 100%. Entrambi i casi sono stati investigati sia in modalità dump charge che smart charge. Tutti i casi, 48 scenari, anch'essi con diverse applicazioni di capacità di fotovoltaico, sono stati investigati allo stesso modo del renewable scenario, quindi individuando un COMP pari a 1 per ognuno di essi. In generale i risultati mostrano che l'eccesso critico si manifesta per capacità di fotovoltaico maggiori dello scenario precedente, da circa 7000 kW, e il consumo di

energia primaria diminuisce, sempre all'aumentare della capacità di fotovoltaico installata.

Risultati e Conclusioni

I risultati migliori vengono mostrati nello scenario EVs4, che è quello con il 100% di veicoli elettrici applicati in modalità Smart Charge. Sono evidenziati in particolare due casi, con la maggior percentuale di rinnovabili applicata e quella con il minore eccesso di energia elettrica prodotta. Il primo caso presenta uno share del 90,90% di elettricità prodotta con un CEEP del 9,4%, con emissioni di CO₂ di 8,04 kt (80,20% in meno rispetto allo scenario di riferimento del 2013) con il seguente mix energetico applica: Impianto a biomassa, turbina eolica da 1 MW, parco eolico composto da 20 turbine da 30 kW ognuna, impianto mareomotrice di 1 MW e impianto fotovoltaico di

13

MW.

Il secondo caso presenta uno share di del 74,00% di elettricità prodotta con un CEEP del 3,1%, con emissioni di CO₂ di 8,27 kt (79,63% in meno dello scenario di riferimento del 2013) con il seguente mix energetico: Impianto a biomassa, impianto geotermoelettrico da 350 kW, parco eolico composto da 20 turbine da 30 kW, impianto mareomotrice da 1 MW e impianto fotovoltaico di 11 MW.

In conclusione, vale la pena notare che il caso di ricarica Smart charge mostra sempre i migliori risultati rispetto a tutti gli altri casi, e il confronto con l'altra modalità, la Dump charge può essere utile nell'ottica di un processo decisionale partecipato per mostrare l'utilità pubblica dell'una rispetto all'altra modalità. Inoltre, l'investigazione della modalità Dump charge permette anche di capire al meglio come si

comporterebbe il sistema se la domanda di energia elettrica dovesse aumentare. Questa modalità di investigazione del mix energetico migliore, può essere utile per individuare l'ottimo del mix quando si guarda il sistema da diversi punti di vista. Tuttavia, l'impianto a biomassa e geotermoelettrico necessitano di investigazioni più appropriate allo scopo prima della loro applicazione al sistema.