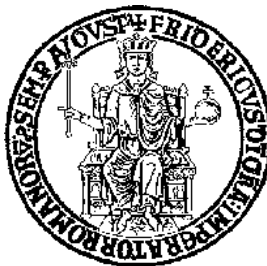


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**



**SCUOLA PLITECNICA E SCIENZE DI BASE**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE**

**ELABORATO DI LAUREA:**

**SIMULAZIONE DINAMICA DI UN IMPIANTO DI  
POLIGENERAZIONE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA  
ELETTRICA, TERMICA, FRIGORIFERA ED ACQUA CALDA  
SANITARIA PER L'ISOLA DI PANTELLERIA**

**RELATORE**

CH.MO PROF. ING FRANCESCO CALISE

**CANDIDATO**

ANDREA GIORDANO

**CORRELATORI**

ING. FRANCESCO CAPPIELLO

ING. MARIA VICIDOMINI

MATR. M67/422

**ANNO ACCADEMICO 2018/2019**

# ABSTRACT

## **Introduzione:**

Scopo di questo lavoro di tesi è definire un modello per rendere l'area portuale di Pantelleria indipendente dal punto di vista energetico.

Pantelleria è un'isola ubicata nello stretto di Sicilia e dista circa 70 km da essa. L'elevata distanza dalla terraferma comporta che l'isola non sia allacciata alla rete nazionale di energia elettrica. Per tale motivo sull'isola è presente un impianto termoelettrico, gestito dalla società S.M.E.D.E., di potenza pari a 22 MW che produce l'energia elettrica utilizzata dalla popolazione totale. I consumi totali dell'isola, sulla base degli studi effettuati dal PAES nel 2013, raggiungono i 78 959 MWh (6790 tep) intesi come energia finale utilizzata dall'insieme delle utenze domestiche, terziarie, produttive e i consumi legati al settore dei trasporti.

La zona in esame è stata considerata di interesse a causa della diffusa disponibilità di FER (fonti energetiche rinnovabili). Di notevole interesse sono in particolare la risorsa solare, eolica e geotermica dell'isola.

Per cui il presente lavoro mira alla progettazione di un impianto poligenerativo che, tramite la risorsa solare fotovoltaica, eolica e geotermica, punti a soddisfare la richiesta di energia elettrica, termica, frigorifera e di acqua calda sanitaria dell'area portuale dell'isola.

Il software utilizzato nella modellazione è TRNSYS 17. E' un software utilizzato per l'analisi e la simulazione delle prestazioni transitorie di sistemi energetici il cui comportamento sia variabile nel tempo. TRNSYS contiene al suo interno una serie di sottoprogrammi (subroutines) scritti in linguaggio Fortran che rappresentano i modelli dinamici di ciascun componente e che consentono la generazione e la risoluzione del sistema di equazioni differenziali ed algebriche che regolano il sistema in esame.

## **Analisi dei dati:**

Sulla base dei dati forniti dal PAES del 2013, i dati forniti dal sito ufficiale dell'ISTAT e i dati della letteratura scientifica, sono stati ottenuti i consumi di energia elettrica, termica e frigorifera dei settori residenziale, terziario e produttivo dell'area portuale di Pantelleria. Sulla base dei dati ottenuti è stata effettuata la progettazione dell'impianto.

## **Modellazione dell'impianto su TRNSYS:**

La fase progettuale è stata suddivisa in tre parti: la progettazione del campo fotovoltaico ed eolico per il soddisfacimento della domanda elettrica, la progettazione del pozzo geotermico finalizzato ad alimentare una rete di teleriscaldamento e una di teleraffrescamento per il soddisfacimento della domanda termica e frigorifera ed infine l'analisi economico-ambientale per valutare la fattibilità dell'impianto.

Nella prima fase sono stati studiati i carichi elettrici dell'area, estraendo i valori di picco massimo diurno e notturno di potenza elettrica richiesta. Il campo fotovoltaico è stato dimensionato in base al valore di picco diurno della potenza richiesta, che risulta essere 4 MW; per tale ragione si è scelta una potenza pari a quella di picco diurno. Il valore della superficie totale del campo è stata calcolata ed è pari a 25 320 m<sup>2</sup> (circa 2,5 ettari). Per il dimensionamento della potenza dell'impianto eolico è stato considerato il valore massimo di potenza notturna richiesta, pari a 3 MW. Per tale ragione è stata considerata una turbina eolica di potenza pari a 4,5 MW, che con velocità del vento pari alla media annua dell'isola, riesce ad erogare 3000 kWh. Successivamente si è passati alla fase di progettazione del campo batterie considerando come parametri guida: il surplus di energia in condizioni di massima produzione da entrambi le fonti energetiche e il massimo di potenza notturna richiesta. Da tali valutazioni è stato dimensionato un campo batterie di capacità totale pari a 3.2 MW. Infine sono state definite le equazioni che regolano il funzionamento dell'inverter, ossia le operazioni di "Power Management System".

Nella seconda fase invece si è passati al dimensionamento dell'impianto geotermico. Lo schema è stato suddiviso in due circuiti: uno di produzione di energia termica per il riscaldamento ambientale e acqua calda sanitaria, e un secondo per la produzione di energia frigorifera, entrambi alimentati dal pozzo. Tra il pozzo e l'utenza è stato posto, per entrambi i sottoschemi, un serbatoio di accumulo termico che permette l'erogazione continua di acqua calda attraverso un prelievo discontinuo di calore dalla risorsa geotermica. Tale scelta è stata presa al fine di non esaurire la fonte geotermica attraverso un prelievo continuo. Partendo da valle, le portate nominali delle pompe idrauliche di mandata sono state determinate in base al valore massimo di potenza richiesta, pari a 7760 kWh per heating e 5050 kWh per cooling. Il dimensionamento dei serbatoi di accumulo di energia termica è stato fatto tenendo conto del carico massimo orario prelevato dal tank, l'intervallo di temperatura di mandata all'utenza e fissando il valore del tempo di scarica. Essi sono stati calcolati e sono pari rispettivamente a 667 m<sup>3</sup> per heating e 644 m<sup>3</sup> per cooling. Dopo i serbatoi si è passati al dimensionamento degli scambiatori di calore, attraverso il metodo della temperatura media logaritmica.

Unitamente agli scambiatori, sono state dimensionate anche le portate di mandata dal pozzo, in modo da garantire sempre l'erogazione del carico richiesto.

In base agli studi geologici e vulcanologici dell'isola effettuati tra il 1990 e il 2003, è stata considerata la presenza di una fonte geotermica a bassa entalpia in corrispondenza della caldera "Cinque Denti", che offre una  $T < 140^{\circ}\text{C}$  ad una profondità di 400 m. L'estrazione del calore avviene attraverso l'inserimento di sonde a doppia U in un terreno roccioso caratterizzato dall'elevata presenza di materiali di origine vulcanica. Inserendo due sonde a doppia U in un singolo pozzo sono stati considerati un numero di pozzi pari a cinque. La temperatura di estrazione del fluido termovettore è compresa tra 88 e 95°C. Infine ogni pozzo è munito di una pompa di spurgo, che si attiva quando la temperatura di mandata della serpentina scende sotto gli 88°C.

L'energia frigorifera erogata nel circuito di cooling viene prodotta attraverso un assorbitore monostadio che viene alimentato dal tank. La potenza nominale dell'assorbitore è stata assunta pari all'80% del valore di carico frigorifero massimo in quanto le ore annue di carico massimo assumono un valore molto basso.

## **Analisi dei Risultati:**

Dalle simulazioni dell'impianto di poligenerazione su TRNSYS l'impianto ha mostrato un significativo e potenziale risparmio energetico. La richiesta termica, frigorifera e di acqua calda sanitaria vengono completamente soddisfatte dall'impianto, mentre la richiesta elettrica viene soddisfatta al 58%. Tale risultato è giustificato dalla non programmabilità delle fonti solare ed eolica, diversamente a quanto avviene per il geotermico. Del carico elettrico globalmente prodotto, il 58% viene utilizzato dall'utenza, il 17% viene usato per sopperire ai consumi delle pompe idrauliche e dell'assorbitore dell'impianto geotermico e il restante 25% viene immesso nella rete. Questa aliquota però non è stata considerata come un'energia venduta in quanto considerata utilizzata dalle altre contrade di Pantelleria.

Nell'analisi dei costi è stato valutato un costo di investimento complessivo del sistema pari a 18 789 277 milioni di euro. Tale costo sarebbe smaltito in un tempo pari a 6,2 anni e, considerando un numero di anni di vita utile pari a  $N=25$  anni, l'IP è pari a 1,4. Pur non essendo particolarmente elevato l'indice di producibilità, l'impianto consente di risparmiare annualmente la produzione di 53 094 MWh/anno di energia primaria ed evita l'immissione in atmosfera di 10 313 ton/anno di CO<sub>2</sub>.

## **Conclusioni:**

Il sistema di poligenerazione simulato dinamicamente in TRNSYS basato sull'integrazione di pannelli solari fotovoltaici, di una turbina eolica, di un campo batterie al litio, di un inverter e di un pozzo geotermico ha mostrato, mediante le analisi svolte, un significativo e potenziale risparmio energetico. Il motivo principale di tale risparmio risiede nella possibilità di massimizzare il fattore di utilizzazione dell'energia termica prodotta dal pozzo geotermico, soprattutto durante l'inverno, comportando notevoli risparmi di energia termica e di energia frigorifera prodotta mediante assorbitore monostadio a bromuro di litio. Le richieste termica e frigorifera annuali sono completamente soddisfatte dal sistema, mentre la produzione elettrica copre il 58% della richiesta. Tale risultato viene giustificato dalla non programmabilità delle fonti eolica e solare. Anche se non viene soddisfatta la totalità della richiesta di energia elettrica, i risparmi comportano un soddisfacente risultato. C'è anche da considerare che il 25% dell'energia elettrica prodotta viene immessa in rete. Tale aliquota non viene considerata per la vendita in rete ma ceduta alle altre contrade dell'isola, che altrimenti utilizzerebbero l'energia prodotta dalla centrale termoelettrica della società S.M.E.D.E.

Di contro il funzionamento del campo batterie è di gran lunga meno soddisfacente, poiché le produzioni elettriche contribuiscono modestamente alla produzione annua. Infatti per aumentare l'aliquota di energia erogata attraverso il sistema di accumulo, sulla base dei risultati, si dovrebbe aumentare la capacità totale del campo. Tale scelta non è stata presa a causa dell'elevato prezzo della tecnologia. Per sopperire alle fallanze del sistema, l'impianto geotermico è stato munito di due caldaie ausiliarie, le quali incidono sul prezzo totale dell'impianto. Sebbene si tratti di una caldaia alimentata da biocombustibile, fonte rinnovabile, ne consegue un aumento dei costi della biomassa utilizzata con una riduzione del risparmio economico annuale.

Confrontando le produzioni annuali del campo fotovoltaico e dell'eolico, è stata ipotizzata la migliore resa che si otterrebbe in uno scenario alternativo, in cui la produzione di energia elettrica avviene solo attraverso la fonte eolica, a parità di potenza complessiva installata.

Analizzando i risultati della simulazione si può affermare che l'impianto ha dimostrato la sua validità sia dal punto di vista ambientale che da quello economico in quanto, pur essendo elevato il costo di investimento, il tempo d'ammortamento risulta essere di circa 6 anni e il guadagno annuale dovuto ad i costi evitati è di circa 3 milioni di euro. Considerata una vita utile di  $N = 25$  anni, l'impianto consentirebbe di risparmiare 23,3 milioni di euro, senza considerare il surplus di energia elettrica che, anziché essere venduta, viene ceduta alle altre contrade dell'isola. L'energia primaria risparmiata annualmente rispetto al sistema di riferimento risulta essere pari a 53 094 MWh/anno e le emissioni di CO<sub>2</sub> evitate annualmente ammontano a 10 313 ton/anno.