

**PREMIO
“DARIO CIAPETTI”
Enti Locali e Sostenibilità
Edizione 2025**

Sintesi dei contenuti della Tesi di Laurea di Roberta Giardinieri

Titolo originale: Design and Integration of a Solar-Driven Atmospheric Water Generator for Green Hydrogen Production: A Case Study

Relatrice: Professoressa Renata Archetti

Titolo di Laurea: Laurea triennale in Ingegneria Energetica

Dipartimento: Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN)

Università: Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Data di Discussione: 26 marzo 2025

Anno Accademico: 2023 - 2024

In un contesto globale segnato dal crescente aggravarsi della crisi ambientale e climatica, frutto di dinamiche sviluppatesi nel corso dei decenni passati, quando il progresso tecnologico si è affermato facendo leva su un intenso sfruttamento di fonti energetiche ad elevato impatto ambientale, la ricerca scientifica e l'ingegneria si concentrano oggi, in modo sempre più sistematico, sullo sviluppo e sull'implementazione di soluzioni innovative e sostenibili.

Tra i 17 *Sustainable Development Goals* promossi dalle Nazioni Unite, volti a garantire un futuro più equo e sostenibile per tutti entro il 2030, spiccano gli obiettivi “Acqua Pulita e Servizi Igienico-Sanitari”, “Energia Pulita e Accessibile”, “Imprese, Innovazione e Infrastrutture”, “Città e Comunità Sostenibili” e “Lotta Contro il Cambiamento Climatico”.

Il presente progetto nasce con la motivazione fondamentale di contribuire al perseguitamento di tali obiettivi globali, nella profonda convinzione che il loro raggiungimento potrà realizzarsi soltanto attraverso l'impegno condiviso delle comunità locali e il contributo di ogni singola realtà nel proprio contesto.

A partire dall'intento di individuare una soluzione alternativa per la raccolta dell'acqua, capace di rispondere alle necessità delle regioni sempre più colpite dalla siccità, la tesi sviluppa un'analisi approfondita dell'attuale quadro idrico, giungendo infine all'integrazione di una soluzione rinnovabile in linea con la visione di un mercato energetico sostenibile.

La fattibilità della fonte idrica quindi scelta è evidenziata dalla sua compatibilità con i sistemi a energie rinnovabili. Di conseguenza, vengono valutate tecnologie di produzione energetica ad alta efficienza, con l'obiettivo non solo di ridurre al minimo l'impatto ambientale, ma anche di contribuire attivamente al suo miglioramento, promuovendo così la sostenibilità. Inoltre, l'analisi pone particolare attenzione alla produzione di idrogeno verde, considerata uno dei pilastri fondamentali del futuro settore energetico.

Il Caso di Studio presenterà infine la progettazione e l'analisi del potenziale di implementazione, presso il comune di Assoro, in provincia di Enna, di un sistema integrato di generazione di acqua atmosferica, accoppiato con un impianto agrivoltaico reale, avente come obiettivo finale la produzione di idrogeno verde.

Sebbene il presente progetto rappresenti un piccolo passo e sia soggetto ai limiti propri dei dati impiegati e delle ipotesi adottate, esso mira a dimostrare l'ampio potenziale di applicazioni innovative e rinnovabili, costituendo al contempo un punto di partenza per futuri sviluppi e approfondimenti.

Introduzione e contesto

La tesi nasce dalla consapevolezza del crescente divario tra domanda e disponibilità di risorse naturali, in particolare energia ed acqua dolce, aggravato dagli effetti della crisi climatica globale. Le proiezioni dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* mostrano un progressivo aumento della temperatura media terrestre, accompagnato da eventi meteorologici estremi e da una riduzione delle riserve idriche in molte regioni del pianeta. Parallelamente, la domanda di energia continua a crescere, alimentata da sviluppo industriale, urbanizzazione e digitalizzazione. In questo scenario, la transizione verso fonti energetiche rinnovabili e sistemi di produzione sostenibili non è più una scelta, ma una necessità strategica.

L'obiettivo principale del lavoro è ideare ed analizzare un sistema integrato in grado di affrontare simultaneamente la crisi energetica e quella idrica, garantendo autosufficienza e riduzione dell'impatto ambientale. In realtà sempre più segnate dalla scarsità di risorse idriche convenzionali, l'idea innovativa proposta consiste nell'utilizzare una risorsa abbondante e diffusa in natura, il vapore acqueo presente nell'atmosfera, e nel convertirla, grazie all'energia solare, in acqua liquida e successivamente in idrogeno, un vettore energetico pulito, versatile e potenziale mezzo di stoccaggio.

La ricerca si distingue per la sua visione sistematica, proponendo un modello in cui energia, acqua e agricoltura convivono in un ecosistema tecnologico equilibrato ed autosufficiente.

Tecnologia di raccolta dell'acqua atmosferica

La tesi analizza in dettaglio le tecnologie di raccolta dell'acqua atmosferica (AWG), distinguendo tra sistemi passivi ed attivi. I primi si basano su processi naturali di condensazione o adsorbimento notturno, mentre i secondi utilizzano energia esterna per indurre la condensazione del vapore acqueo. Tra i sistemi attivi, viene selezionato il *Ciclo a Compressione di Vapore* (VCC), ritenuto il più idoneo per applicazioni continue e su larga scala. Questo tipo di AWG raffredda l'aria umida fino al punto di rugiada, estraendo l'acqua e permettendo una produzione costante, indipendente da precipitazioni o fonti idriche convenzionali.

L'efficienza del sistema dipende fortemente da temperatura e umidità relativa, ma anche dal bilancio energetico del compressore. Viene, dunque, proposta una valutazione accurata del fabbisogno elettrico dell'AWG, confrontandolo con la potenza disponibile da un impianto fotovoltaico, per definire le condizioni operative ottimali.

Integrazione con sistemi agrivoltaici

Il cuore sostenibile del progetto risiede nell'integrazione del generatore d'acqua atmosferica con un impianto agrivoltaico, derivato da un caso reale in fase di implementazione. Gli impianti agrivoltaici consentono di combinare la produzione energetica e quella agricola sullo stesso terreno, ottimizzando l'uso del suolo e promuovendo un'interazione sostenibile tra agricoltura e tecnologia. Le strutture rialzate dei pannelli fotovoltaici favoriscono la crescita delle colture, riducendo l'evaporazione del suolo e migliorando il microclima agricolo. L'energia elettrica prodotta alimenta direttamente il ciclo di refrigerazione dell'AWG, mentre l'acqua prodotta in output viene destinata all'elettrolisi per la produzione di idrogeno verde.

Per garantire un funzionamento continuo anche in assenza di radiazione solare, la tesi prevede l'integrazione di un sistema di accumulo a batterie (BESS). Questo consente di mantenere stabile il bilancio energetico giornaliero e di ridurre le fluttuazioni tipiche della produzione rinnovabile.

Applicazione sperimentale: il caso di Assoro (EN)

La parte applicativa della tesi si concentra sull'impianto agrivoltaico *Mandre Tonde Minore*, di capacità nominale 46.457 MWp, sito ad Assoro, in provincia di Enna, una delle zone più gravemente affette da siccità della Sicilia. Il sito è stato scelto per testare la capacità del sistema di operare in condizioni climatiche critiche. Attraverso l'elaborazione di dati reali di temperatura, umidità e radiazione solare, il progetto

sviluppa un modello di bilancio energetico ed idrico implementato in MATLAB, in grado di simulare il comportamento dell'impianto su base oraria e stagionale.

I risultati mostrano che l'impianto integrato consuma circa il 75% dell'energia prodotta dal fotovoltaico e può generare fino a 360 tonnellate di idrogeno verde all'anno. Il sistema risulta autosufficiente e non necessita di prelievi idrici da sorgenti naturali, garantendo un impatto ambientale minimo. L'analisi approfondisce, inoltre, l'impatto della variabilità climatica e dell'efficienza del sistema AWG sul bilancio complessivo, sottolineando l'importanza di un controllo dinamico dei flussi energetici.

Conclusioni e prospettive future

La tesi dimostra che l'integrazione tra energie rinnovabili, generazione di acqua atmosferica e produzione di idrogeno verde è tecnicamente fattibile e rappresenta una soluzione concreta per affrontare le sfide globali legate alla scarsità idrica e alla decarbonizzazione. Il sistema proposto si distingue per l'approccio olistico, capace di coniugare efficienza energetica, tutela ambientale e sostenibilità socio-economica.

Dal punto di vista tecnico, l'impianto dimostra prestazioni solide, con un buon equilibrio tra produzione energetica e fabbisogno dell'AWG e dell'elettrolizzatore. Le principali criticità identificate riguardano l'elevato costo iniziale e la necessità di spazi adeguati, soprattutto in prossimità di aree agricole o ambienti protetti. Tuttavia, con il rapido progresso delle tecnologie fotovoltaiche e di accumulo, tali limitazioni potranno essere progressivamente ridotte.

Dal punto di vista scientifico, il lavoro rappresenta un contributo originale all'ingegneria energetica sostenibile, offrendo un modello replicabile per impianti ibridi in contesti aridi. Futuri sviluppi del progetto potrebbero includere l'utilizzo di AWG di nuova generazione a maggiore efficienza, l'integrazione di sistemi di monitoraggio intelligente e la valutazione economica completa del ciclo di vita dell'impianto. In prospettiva, la diffusione di questi sistemi potrebbe sostenere la produzione di idrogeno verde oppure essere applicata come strumento di supporto alla gestione delle risorse idriche nelle regioni mediterranee, africane e mediorientali, promuovendo così una transizione energetica equa e globale.

In conclusione, la tesi non solo propone una soluzione tecnologicamente valida, ma delinea anche una visione strategica per il futuro delle risorse energetiche ed idriche. Essa dimostra come l'innovazione ingegneristica possa contribuire in modo concreto alla sostenibilità ambientale, trasformando una sfida globale, la scarsità di acqua e di energia, in un'opportunità di sviluppo integrato e resiliente, costruita a partire dall'impegno e dall'azione delle singole realtà locali.