



Festival della sostenibilità

Seminario

Sostenibilità energetica ed estrazione di acqua dall'aria: ricerche, progetti ed applicazioni

Prof. Ing. Lucia Cattani

Studi e applicazioni: dall'ottimizzazione energetica e idrica di un “worker village” alla fornitura sostenibile di acqua per la produzione di idrogeno



Acqua dall'aria: una bella idea! Ma...

L'aria è il ricettore primario del ciclo dell'acqua, quindi è una buona fonte, ma l'estrazione da tale fonte non è priva di problematiche.

Le principali sono:

- La richiesta energetica del processo
- Le quantità di acqua estratta
- La qualità dell'acqua estratta.



Acqua dall'aria i principali problemi

I primi due problemi sono correlati tra loro: quantità di acqua estraibile ed energia per far avvenire il processo. Una parte del consumo energetico è imputabile alla condensazione.

L'energia necessaria per condensare può essere stimata in circa 2500 kJ/kg. Tuttavia, anche se tale energia viene minimizzata, aumentando il contenuto di vapore e utilizzando il raffreddamento gratuito, la quantità d'acqua contenuta nell'aria è comunque piccola rispetto alle quantità richieste per qualsiasi uso umano.

1 m³ di aria a 30°C e 70%
contiene solo circa 20 grammi
di acqua!!!





Acqua dall'aria i principali problemi

Quindi, molta aria deve essere trattata per raccogliere una quantità significativa. Ciò significa che è necessario impiegare molta energia per spostarla. Ad esempio, per raccogliere 10 m³ al giorno, è necessario spostare quasi 30'000 m³ /h di aria e i ventilatori richiederanno 15 kW di potenza!



Un terzo problema è legato alla qualità dell'acqua. L'acqua proveniente dall'aria è molto meno inquinata rispetto a quella proveniente dalla maggior parte delle fonti tradizionali, come fiumi, laghi, primi acquiferi, acquiferi profondi, piogge, mare.

Ma non è priva di inquinamento, né dal punto di vista microbiologico (possibile proliferazione biologica nel tempo), né chimico (nitriti, ammoniaca, tipici, altre sostanze se non si filtra l'aria, o se vi è rilascio di sostanze nel processo). L'acqua dall'aria è quasi priva di sali minerali, quindi non è sapida. L'acqua deve essere trattata, tenendo conto del suo uso finale.



Come superare il problema energetico?

Utilizzare materiali igroscopici può aiutare a far diminuire l'energia necessaria per la condensazione, ma non aiuta per gli altri due problemi... E allora che fare?

Innanzitutto: usare il ciclo frigorifero in maniera SMART!

Cercare di utilizzare tutti gli effetti utili:

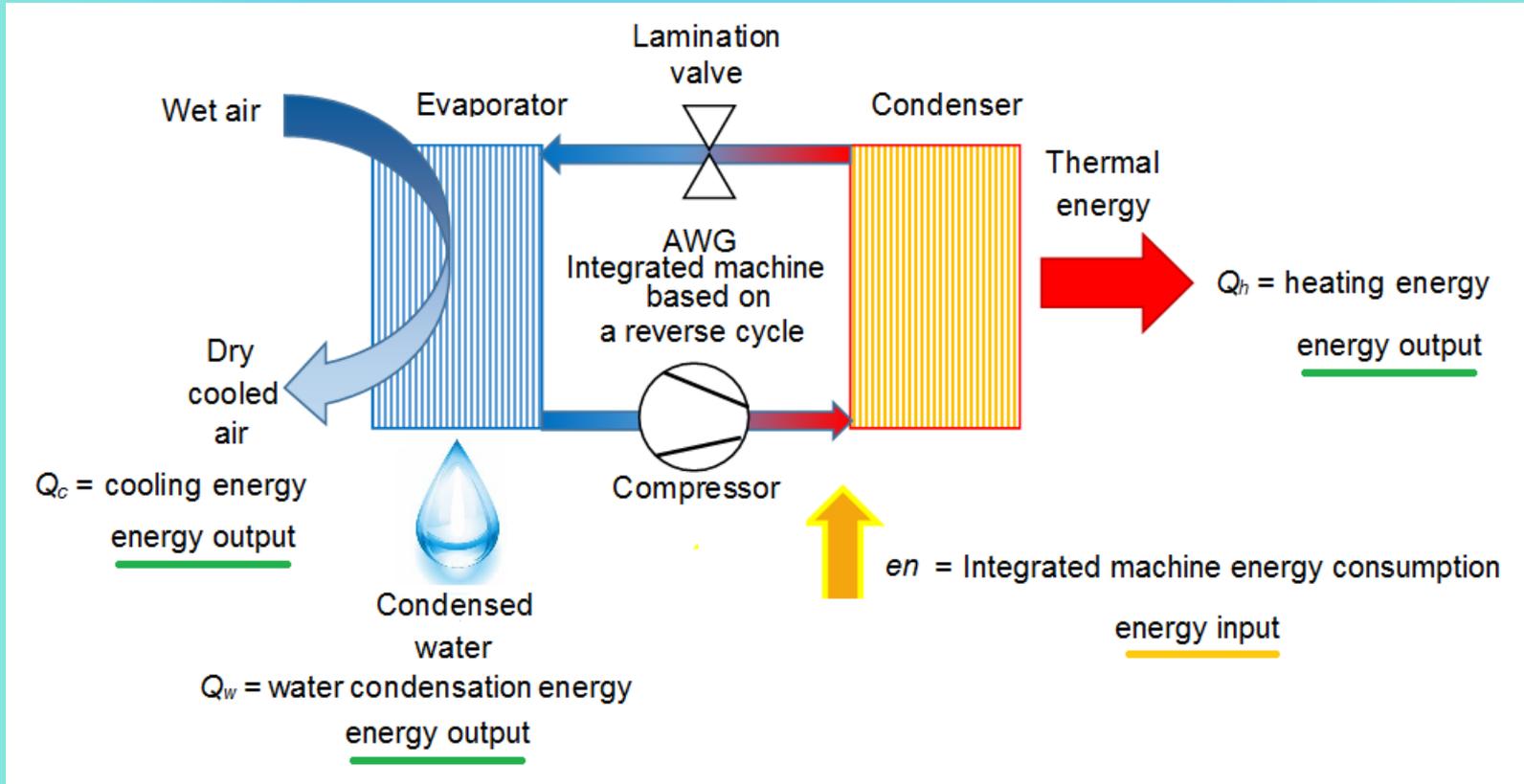
Un input energetico, 3 effetti desiderati



Sistemi avanzati AWG, integrati ed integrabili



Schema macchina integrata





E la qualità?

- Realizzare la macchina in modo tale da minimizzare la presenza di inquinanti nel liquido ottenuto (cura dei materiali e del sistema di filtrazione aria) e costruire un sistema di trattamento che porti l'acqua al grado di purezza e sapidità voluti



Un esempio di integrazione: Worker Village

Nel dicembre 2017, SEAS ha installato un sistema AWA 250 HWAC in un villaggio operativo (chiamato Villaggio del Lavoro 2 nella foto)

situato non lontano da Dubai

Cattani, L.; Cattani, P.; Magrini, A. Air to Water Generator Integrated System Real Application: A Study Case in a Worker Village in United Arab Emirates. Appl. Sci. 2023, 13, 3094.

<https://doi.org/10.3390/app13053094>





Il worker village ospita migliaia di persone che sono alloggiate in edifici dotati di camere e bagni. Cucine e mense occupano dei fabbricati a sé stanti

Il sistema AWA doveva fornire:

- Acqua potabile
- Aria refrigerata e asciutta per le cucine
- Riscaldamento per l'acqua domestica



Cattani, L.; Cattani, P.; Magrini, A. Air to Water Generator Integrated System Real Application: A Study Case in a Worker Village in United Arab Emirates. Appl. Sci. 2023, 13, 3094.

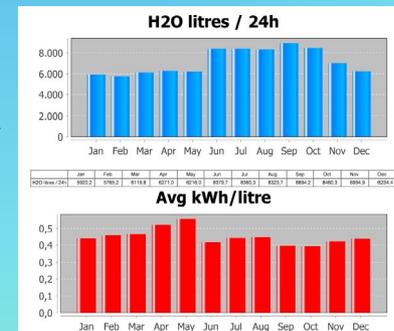
<https://doi.org/10.3390/app13053094>

Dubai: clima e calcoli preliminari

Considerando i dati meteorologici statistici provenienti da una centralina situata nell'aeroporto di Dubai, è stato possibile determinare la seguente tabella.

Data base *	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Avg Day Temp °C	20,6	21,7	24,4	28,5	32,8	34,2	37	36,8	34,4	31,2	26,5	22,3
Avg Day Humidity %	59,7	56,5	53,2	46,6	39,5	48,8	44,5	44,6	51,5	54,4	53,7	57,4

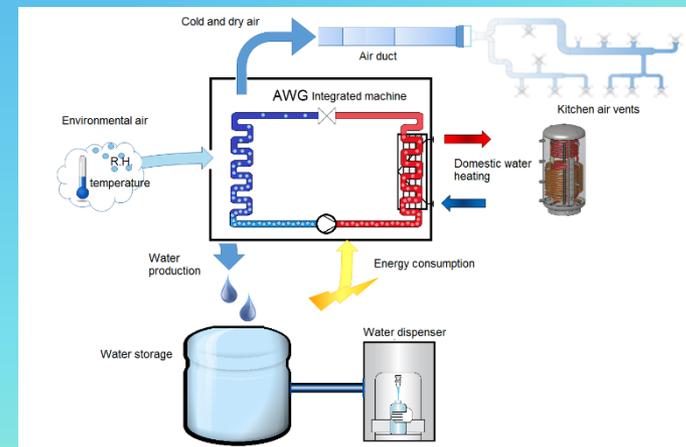
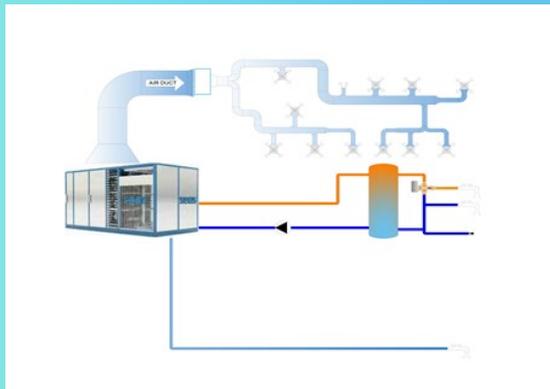
La produzione media di acqua della macchina AWA, calcolata in un tale clima tramite il software AWA Calc, è di circa 1650 litri al giorno.



Worker Village: Installazione ed integrazione

La macchina AWA 250 è stata installata su una base di cemento, in un ambiente esterno, vicino alle cucine del villaggio, dove è stato effettuato il test.

L'aria fresca e asciutta proveniente dalla macchina AWA è stata direttamente convogliata nell'ambiente della cucina. Una conduttura ha collegato il serbatoio esistente dell'acqua domestica al sistema di riscaldamento della AWA 250. L'acqua potabile è stata raccolta in un serbatoio a parte.





Qualche immagine





Worker Village: risultati

Sulla base dei risultati si è calcolato che la macchina può coprire il fabbisogno di riscaldamento dell'acqua sanitaria di due edifici residenziali (ogni edificio residenziale è dotato di 24 boiler elettrici da 1,5 kW l'uno, funzionanti per 12h/giorno) e del 70% delle cucine, con un risparmio di oltre 630 MWh/anno di energia elettrica (in sostituzione di boiler elettrici) + 54.426 L/anno di GPL.

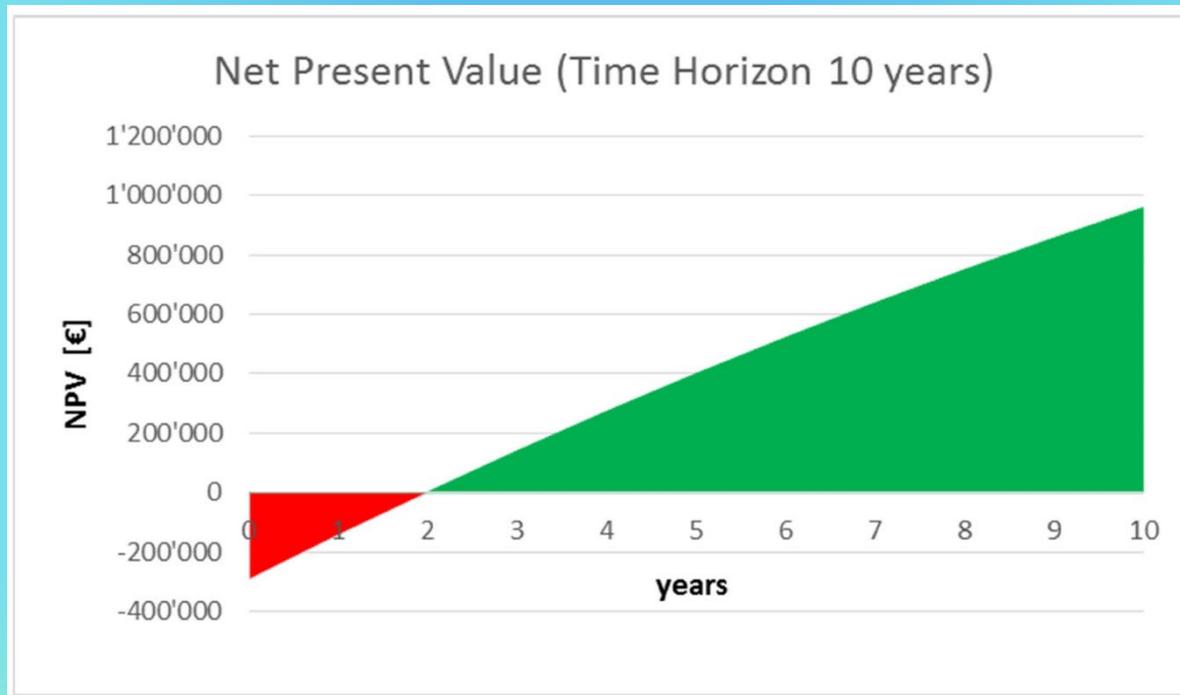
Può contribuire all'efficienza dell'impianto di climatizzazione, portando ad un risparmio di 190.259,5 kWh/anno di energia elettrica e soddisfacendo l'87% del fabbisogno di aria di rinnovo.

Ha la capacità di produrre 570.614 l/anno di acqua potabile, coprendo il fabbisogno di 800 persone



Worker Village: e il costo?

Tenendo conto di tutti i costi (materiali, sistema, installazione, trasporto, manutenzione, ecc.) e dei risparmi (elettricità, GPL, acqua) il valore attuale netto è stato stimato in: 958'000 €, su un periodo di 10 anni, e un PBT di 2 anni





Un'esperienza presso un hotel

A Villahermosa, Messico, è stata installata una macchina integrata sul tetto di un hotel. E' stata collegata con cucine/ristorante e con il sistema di riscaldamento dell'acqua calda sanitaria.

L'aria fresca è stata canalizzata presso i locali lavanderie per dare sollievo ai lavoratori.

Location: Mexico, Villahermosa

Hotel size: 154 camere doppie

Consumi: 308 bottiglie al giorno da mezzo litro (7 pesos/litro)

inoltre: 1000 litri/ giorno alle cucine (1.4 pesos/litro)

Richiesta di calore per scaldare circa 43,000 litri al giorno

1 litro GPL, costo: 7.47 pesos

1 kWh elettrico, costo: 0.8243 pesos



Risultati



Acqua interamente utilizzata dalla cucina sia per dare da bere agli ospiti, sia per preparare cibi e fare ghiaccio. La caldaia a GPL è stata spenta, era sufficiente la potenza termica fornita dal sistema. Condizioni di comfort migliori in lavanderia. Considerando tutti i possibili contributi (idrici e termici) derivanti dall'uso del sistema, si sono stimati circa 80'000 dollari/anno di risparmio netto.



Idrogeno perché?

Una delle sostanze più diffuse nell'universo

Non è tossica

Ha un potere calorifico (energia sprigionata dalla combustione completa della sostanza in esame) di 2.6 superiore a quello del metano.

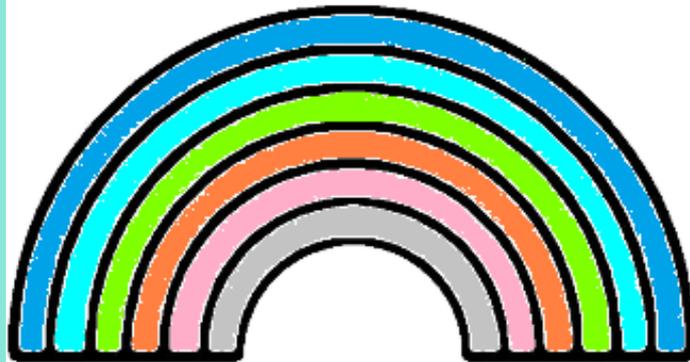
Può essere visto come vettore energetico e/o come sistema di accumulo a lungo termine: ad esempio, occorre energia per separare la molecola d'acqua in idrogeno e ossigeno, parte di questa energia verrà restituita al momento della ricombinazione tra le due sostanze.

Una risorsa chiave per la transizione energetica, per avere accumuli nel lungo periodo e per fornire energia a quei settori per i quali non si può usare energia elettrica in maniera diretta.



Tutti i colori dell'Idrogeno (o quasi)

Idrogeno prodotto da:



- metano con cattura CO₂
- metano tramite pirolisi
- acqua ed energia da fonti rinnovabili
- carbone con emissioni in atmosfera
- acqua ed energia nucleare
- fonti fossili con emissioni in atmosfera

Più in generale: blu se si utilizzano fonti fossili con cattura di CO₂, turchese se pirolisi di fonte fossile, verde se si impiegano fonti rinnovabili per la produzione della sostanza. E manca il bianco! Da giacimenti!



Idrogeno verde, bella idea!

La tecnologia più matura, ad oggi, per l'idrogeno verde è quella che impiega l'elettrolisi: un processo che scinde la molecola dell'acqua in idrogeno ed ossigeno per mezzo dell'energia elettrica. Si utilizzano, quindi, le fonti energetiche rinnovabili (FER) non programmabili per produrre idrogeno, sfruttando la produzione FER, ad esempio, nelle ore in cui vi è un eccesso di disponibilità. In questo modo l'idrogeno diventa un modo per avere un accumulo energetico.

Una volta prodotto, l'idrogeno può venire fatto reagire con l'ossigeno, oppure utilizzato in celle a combustibile, per ottenere nuovamente energia elettrica.

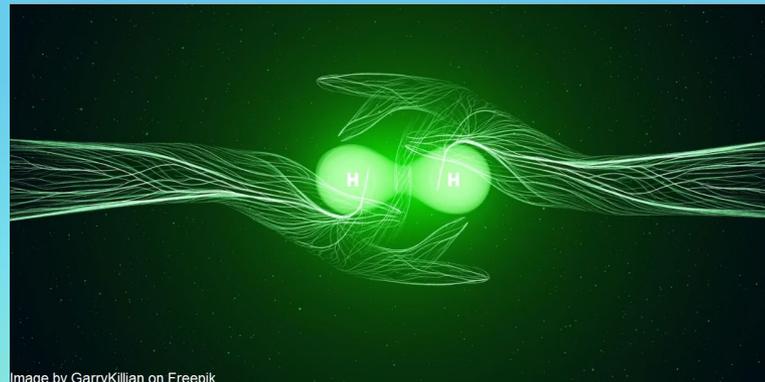


Image by GarryKillian on Freepik



L'Energia, da FER, ma l'acqua!?!?!?

Produrre idrogeno per elettrolisi richiede acqua pura o ultra-pura. Non deve contenere ioni che possano avvelenare gli elettrodi o impurità che si depositino sulle membrane. Ci vogliono, realisticamente, 10-11 kg di acqua per ottenere 1 kg di idrogeno.

Le fonti possono essere:

Acqua potabile (e se c'è razionamento?)

Acqua proveniente dalla falda (e in caso di siccità)

Acqua superficiale (e in caso di siccità o forte inquinamento?)

Acqua di mare (e la salamoia?)

Acqua dai depuratori (e il trattamento?)

Acqua dall'aria!!!



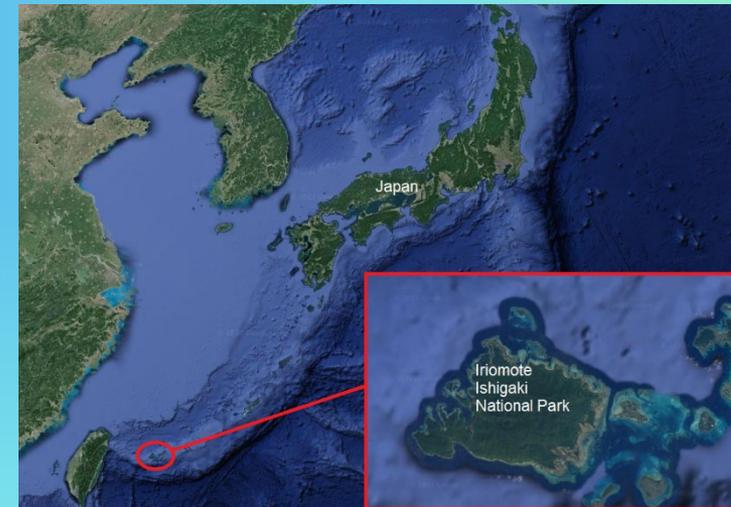
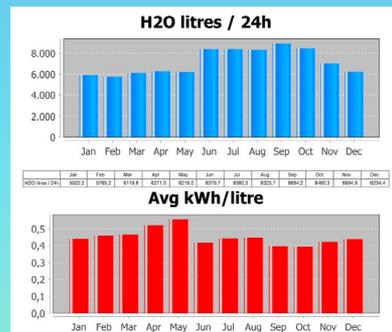
Con l'acqua dall'aria possiamo produrre idrogeno veramente verde!

Isola giapponese: impianto integrato: un campo fotovoltaico da 2 MW combinato con elettrolisi (1130 MWh/anno per la produzione di idrogeno) l'idea è quella di utilizzare l'idrogeno come sistema di accumulo... ma l'acqua per farlo?

Integrazione con una macchina

AWA 250

che genera 335.816 litri annualmente.





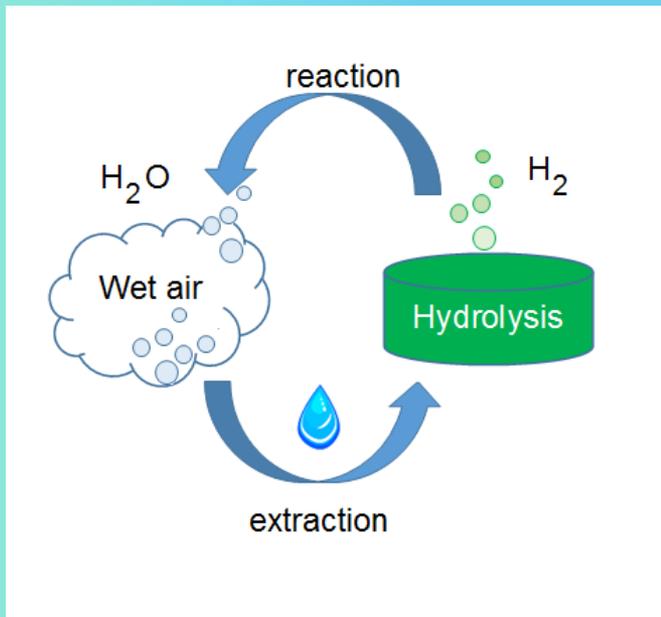
Analisi condotte su campioni prodotti dalle macchine reali

L'analisi dell'acqua ottenuta dalle macchine SEAS, considerando sia gli aspetti chimico-fisici che microbiologici, ha rivelato che la qualità del condensato si allinea strettamente agli standard richiesti dai sistemi di elettrolisi attuali. Privata di sostanze che potrebbero danneggiare l'anodo e il catodo e vantando un contenuto di sale estremamente basso, l'acqua è ben adatta al processo di separazione di idrogeno e ossigeno con un trattamento minimo.

Table 2. Metal ion concentrations in the water sample (conductivity = 16 $\mu\text{S}/\text{cm}$ at 20 °C).

Metal Ion	Detected Values	
Al	<10	$\mu\text{g}/\text{L}$
Fe	<5	$\mu\text{g}/\text{L}$
Mn	<5	$\mu\text{g}/\text{L}$
Ni	<5	$\mu\text{g}/\text{L}$
Cr	<5	$\mu\text{g}/\text{L}$
Zn	<5	$\mu\text{g}/\text{L}$

Risultati



Operando esclusivamente durante le ore diurne, la macchina non solo soddisfa l'intera domanda dell'impianto di elettrolisi, ma garantisce anche la pulizia dei pannelli. I fabbisogni energetici del sistema SEAS sono completamente compensati dai guadagni di efficienza dei pannelli.

Cattani, L.; Cattani, P.; Magrini, A.; Figoni, R.; Dondi, D.; Vadivel, D. Suitability and Energy Sustainability of Atmospheric Water Generation Technology for Green Hydrogen Production. *Energies* 2023, 16, 6440. <https://doi.org/10.3390/en16186440>



Conclusioni

Gli impianti avanzati integrati di estrazione di acqua dall'aria possono contribuire a risolvere il problema della fornitura idrica ed al contempo rappresentare un sistema di miglioramento dell'efficienza energetica degli impianti termici.

Se correttamente inseriti nel progetto possono portare vantaggi concreti, energetici ed economici.

