

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**  
**RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DEL "COLLEGAMENTO FERROVIARIO ALGHERO CENTRO –**  
**ALGHERO AEROPORTO, CON IMPIANTO DI PRODUZIONE DI IDROGENO"**

CUP: F11B21007070001 - CIG: 9527950911



**DOCUMENTAZIONE TECNICA ALLEGATA ALLA DOMANDA AIA**

**SCHEDA 3 - ALLEGATO 3i**

**Relazione tecnica su analisi opzioni alternative in termini di  
emissioni e consumi**



Rev.	Descrizione	Nome		Data
A	Emissione	Redatto	D. Persia	12/04/2024
		Verificato	M. Fia	12/04/2024
		Approvato	N. Sbarigia	12/04/2024
		Autorizzato	P. Marchetti	12/04/2024
B		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
C		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
D		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
E		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		



## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>ALTERNATIVE TECNOLOGICHE</b>	<b>8</b>
<b>3.1</b>	<b>ALTERNATIVE ENERGETICHE</b>	<b>8</b>
3.1.1	ALIMENTAZIONE CON ENERGIA DI RETE	8
3.1.2	ALIMENTAZIONE DA FOTOVOLTAICO ED ENERGIA DI RETE	8
3.1.3	ALIMENTAZIONE DA EOLICO ED ENERGIA DI RETE	10
<b>3.2</b>	<b>ALTERNATIVE SULLA TECNOLOGIA DI ELETTROLISI</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>ALTERNATIVA SELEZIONATA</b>	<b>10</b>
<b>4.1</b>	<b>APPROVVIGIONAMENTO ENERGETICO</b>	<b>10</b>
<b>4.2</b>	<b>TECNOLOGIA DELL'ELETTROLIZZATORE</b>	<b>11</b>
<b>5.</b>	<b>RIDUZIONE EMISSIONI CO2</b>	<b>12</b>



## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Planimetria area impianto di produzione idrogeno e impianto fotovoltaico	6
Figura 2. Schema semplificato dell'impianto di produzione, compressione, stoccaggio e distribuzione Idrogeno	7
Figura 3. Produzione di energia da Impianto fotovoltaico per kWp installato	9
Figura 4. Area di influenza dell'impianto fotovoltaico.	11

## 1. PREMESSA

ARST, seguendo gli indirizzi della Regione Sardegna, ha da tempo avviato un processo di riqualificazione della rete ferroviaria isolata non interconnessa puntando a sviluppare la rete, in termini di manutenzione e potenziamento dell'infrastruttura ferroviaria, e ad integrarla con le altre infrastrutture di trasporto in un'ottica multimodale, con l'obiettivo di migliorare l'accessibilità complessiva del sistema di trasporto regionale e di offrire una struttura di reti e servizi integrati. dell'accessibilità e dell'interconnessione passeggeri con porti e aeroporti sono stati oggetto di studi approfonditi in passato.

Tra questi, uno studio specialistico commissionato da Ferrovie della Sardegna (FdS) (oggi ARST S.p.A.), redatto nel 2001, avente ad oggetto "Studio di fattibilità per la riqualificazione funzionale della linea ferrata Sassari-Alghero delle Ferrovie della Sardegna", ha analizzato le potenzialità di riqualificazione funzionale della linea ferroviaria Sassari-Alghero con ipotesi di scenari di sviluppo dell'interconnessione con l'aeroporto di Alghero.

Nell'ambito del progetto di riassetto e sviluppo dei collegamenti tra le città di Sassari e Alghero e le zone limitrofe, lo studio aveva individuato sei scenari di sviluppo, progressivamente più completi, per le linee di comunicazione su ferro della zona. La Regione Sardegna aveva presentato nel mese di Dicembre 2020 una proposta per collegare le città di Alghero e di Sassari con l'aeroporto di Fertilia con una diramazione dalla linea ferroviaria esistente, corrispondente allo scenario individuato nello studio di cui sopra con la dicitura "Scenario 5", che prevedeva un collegamento ferroviario tra la stazione ferroviaria di Mamuntanas, lungo la linea Sassari Alghero, e l'Aeroporto di Alghero consentendo il facile raggiungimento dello scalo da entrambe le città di Sassari e Alghero.

A seguito della assegnazione del finanziamento tra RAS e ARST S.p.A. è stata stipulata la Convenzione 2/6428 del 15/03/2022 - Convenzione per il Finanziamento degli Interventi di Potenziamento: "Collegamento Ferroviario Alghero Centro - Alghero Aeroporto, con Impianto di Produzione di Idrogeno e Materiale rotabile per la Linea Sassari Alghero Aeroporto". Con la stipula della Convenzione ARST S.p.A. è stata individuata quale soggetto attuatore/Stazione Appaltante dell'Intervento in oggetto.

A seguito della procedura aperta, ai sensi degli art. 123, comma 1, art. 60 e art. 157, comma 1 del D.Lgs. n. 50/2016 e s.m.i., il seguente RTP, composto da Systra-Sotecni, Systra SWS, Systra, BTP Infrastrutture, Geol. Pani, Archeologa Corona, Ing. Bertetti e Ing. Spinosa, è risultato aggiudicatario dell'incarico di redigere il PFTE del progetto in esame.

## 2. DESCRIZIONE GENERALE

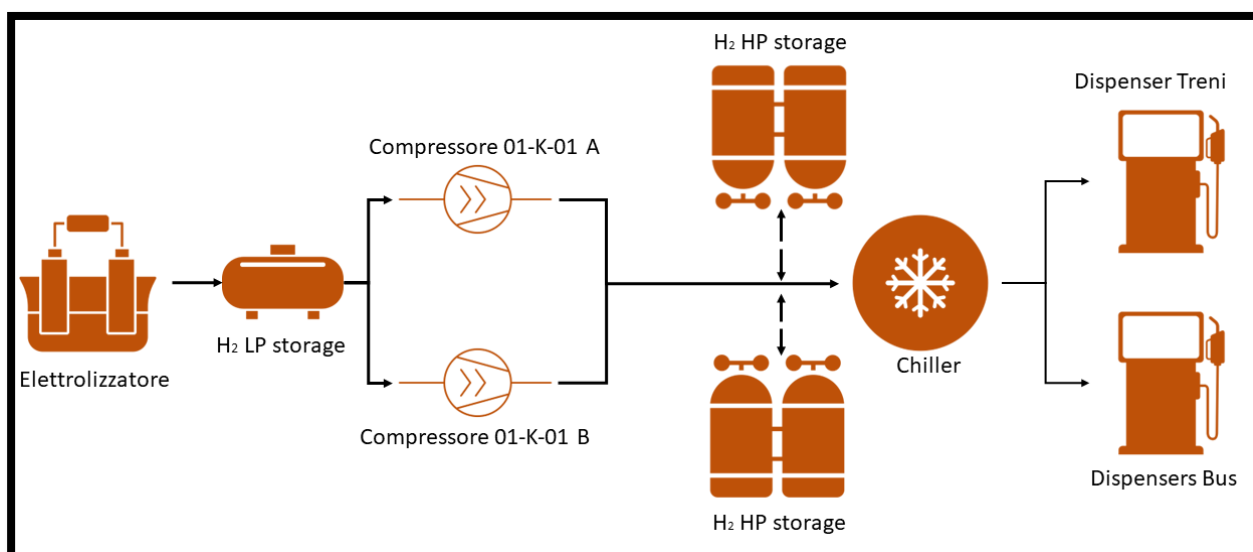
Il progetto dell'impianto di produzione idrogeno è stato sviluppato cercando di conciliare al massimo la producibilità elettrica da fonte solare, nel pieno rispetto dei vincoli paesaggistici e territoriali.

Le aree principali dell'impianto di produzione e il fotovoltaico asservito sono mostrate nella seguente planimetria:





Figura 2. Schema semplificato dell'impianto di produzione, compressione, stoccaggio e distribuzione Idrogeno



L'impianto di produzione, compressione, stoccaggio e distribuzione d'idrogeno sarà costituito dalle seguenti apparecchiature principali:

- n.2 Elettrolizzatore PEM da 2 MW con relativi accessori (01-PK-01/02).
- n.1 Serbatoio buffer a bassa pressione da 15500 L di H2 con relativi accessori (02-V-01).
- n.2 Compressori con pressione di scarico di 550 barg per idrogeno con relativi accessori (02-PK-01/02).
- n.1 sistema di stoccaggio ad alta pressione da circa 1850 kg di H2 con relativi accessori (03-PK-01).
- n.2 Chiller per il raffreddamento della corrente di rifornimento H2 con relativi accessori (03-PK-02).
- n.2 Dispenser ad uso ferroviario con singolo erogatore con relativi accessori (03-D-01/02).
- n.2 Dispenser per uso mezzi stradali pesanti adibiti al trasporto passeggeri a singolo erogatore con relativi accessori (03-D-03/04).
- n.1 Sistema di produzione e distribuzione Aria Strumenti con relativi accessori (06-PK-01).
- n.1 Sistema di stoccaggio e distribuzione Azoto gassoso con relativi accessori (05-PK-01).
- n.1 Gruppo elettrogeno da 250 kVA.
- n.2 Pompe di distribuzione acqua di alimento.
- n.1 Serbatoio antincendio.
- n.1 Skid gruppo pompe antincendio.

Per ulteriori dettagli relativi allo schema di processo (PFD) e al bilancio di materia dell'impianto riferirsi ai relativi elaborati. I principali locali presenti nell'impianto di produzione e distribuzione idrogeno saranno i seguenti:

- Cabina elettrica.
- Control room e uffici.
- Capannone Magazzino ed Officina.

## 3. ALTERNATIVE TECNOLOGICHE

### 3.1 Alternative energetiche

Per il presente impianto di produzione e distribuzione idrogeno sono state valutate diverse alternative di approvvigionamento energetico, di seguito spiegate nel dettaglio.

#### 3.1.1 Alimentazione con energia di rete

L'approvvigionamento di energia dalla rete avverrà con l'acquisto di energia con certificati con garanzia di origine verde, proveniente quindi da energia di tipologia rinnovabile.

Nell'ambito di questa alternativa (come descritta nel disciplinare di gara), l'alimentazione elettrica per l'impianto di produzione Idrogeno viene considerata ottenuta unicamente dalla rete elettrica nazionale. Per garantire l'origine verde dell'idrogeno prodotto, risulta quindi necessario stipulare un accordo con il GSE locale per l'acquisto di energia con certificato rinnovabile da utilizzare per la produzione d'idrogeno. Come riportato nello studio di Terna, ([Pubblicazioni Statistiche - Terna spa](#)), la Sardegna produce un surplus energetico superiore al 25% dell'energia richiesta dalla regione, parte della quale è ottenuta mediante produzione da fonti rinnovabili, sembra quindi possibile l'ottenimento di un accordo per l'acquisto di energia rinnovabile certificata per la produzione dell'idrogeno.

L'analisi di mercato riguardo le capacità degli elettrolizzatori disponibili in commercio verrà approfondita durante il PFTE e quindi la taglia dello stesso verrà selezionata in quella fase. Per lo studio delle alternative di approvvigionamento energetico si è considerata una taglia di elettrolizzatore da 3 MW.

#### 3.1.2 Alimentazione da Fotovoltaico ed energia di rete

Come alternativa associata ai fabbisogni energetici è stata proposta la realizzazione di un impianto fotovoltaico asservito alla produzione di idrogeno nell'area messa a disposizione per l'impianto,

L'ipotesi di prevedere un impianto di produzione di energia rinnovabile asservito all'elettrolizzatore è in accordo alle direttive Europee che raccomandano l'addizionalità della fonte energetica asservita alla produzione di idrogeno. Infatti, la Comunità Europea è propensa a stabilire la necessità dell'utilizzo di fonti rinnovabili di nuova costruzione asservite agli impianti di produzione di idrogeno verde.

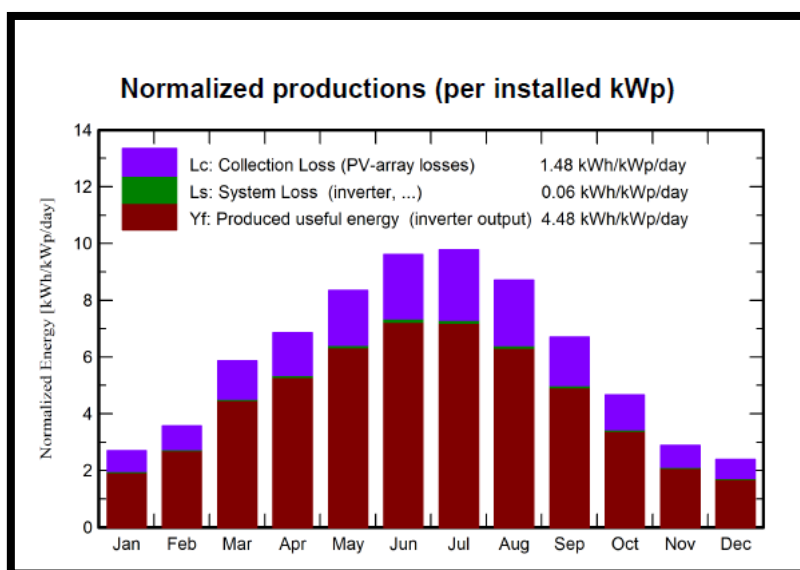
L'idrogeno verrà prodotto principalmente grazie al parco fotovoltaico, ma a causa della sua natura discontinua sarà indispensabile connettere l'impianto di produzione alla rete elettrica nazionale che alimenterà gli elettrolizzatori con energia rinnovabile (con certificati di origine) nei momenti di calo di produzione energetica dal fotovoltaico e nelle ore notturne, così da garantire tutta la produzione d'idrogeno richiesta.

La produzione di Energia da Fotovoltaico è infatti dipendente da fattori meteorologici e variabile durante l'annualità, poiché influenzata direttamente dalla presenza diretta del sole e dalle ore giornaliere di esposizione a questo. Si può supporre in generale una produzione inferiore durante i mesi invernali ed una produzione maggiore durante la stagione estiva.

Nel grafico riportato nella figura sottostante viene mostrato l'andamento della produzione da fotovoltaico nell'area considerata e durante l'anno per 1 kWp installato.



Figura 3. Produzione di energia da Impianto fotovoltaico per kWp installato



Sulla base di questi dati viene stimata una produzione di energia annuale di 1636 kWh/anno per kWp installato. Considerando una potenza fotovoltaica installata di 3,95 MW e una efficienza di produzione di 55,6 kWh/kgH<sub>2</sub> (efficienza BoP dell'elettrolizzatore), è possibile calcolare una produzione di Idrogeno annuale media dal parco fotovoltaico asservito, pari a 116,2 ton H<sub>2</sub>/anno, valore che copre circa il 34,3 % della produzione richiesta di 338 tonn H<sub>2</sub>/giorno (926 kg/giorno).

La restante parte di idrogeno dovrà quindi essere prodotta tramite l'elettricità approvvigionata da rete nazionale, con certificati di garanzia di origine. La quantità annuale di energia elettrica rinnovabile necessaria dalla rete è di circa 12.332 MWh/anno. L'utilizzo di energia da rete di questa tipologia garantisce che la produzione di elettricità è avvenuta tramite fonti energetiche rinnovabili (eolico, fotovoltaico etc...) per cui anche l'Idrogeno elettrolitico prodotto, in questo modo, potrà essere considerato "Rinnovabile".

In generale le opere progettuali relative all'impianto fotovoltaico proposto posso essere sintetizzate nel modo seguente:

1. *Impianto fotovoltaico*: con strutture a inseguimento (Trackers), con una potenza installata di 3,95 MWp, ossia 3,98 MWac in immissione che verrà richiesta in fase di STMG a ENEL Distribuzione operatore di rete di MT, ubicato in un terreno agricolo nel comune di Alghero (SS);
2. *Dorsali di collegamento interrate*, in media tensione a 15 kV, per il collegamento e la consegna dell'energia elettrica prodotta dall'impianto FV fino alla stazione elettrica (SE) dell'impianto di produzione di idrogeno da elettrolisi. Il percorso dei cavi interrati, che seguirà la viabilità esistente, avrà un'estensione di circa 6 km;

Il progetto prevede che l'impianto FV venga realizzato su una superficie agricola complessiva di circa 6,60 ha.

### 3.1.3 Alimentazione da Eolico ed energia di rete

Un'alternativa alla produzione di energia rinnovabile dal Fotovoltaico è l'implementazione di turbine eoliche come fonte di energia rinnovabile. Similmente all'energia derivante dal solare, anche l'energia eolica deve essere consumata al momento della produzione, ma al contrario del fotovoltaico la sua installazione richiede maggiori accorgimenti sia dal punto di vista ingegneristico che dal punto di vista ambientale e paesaggistico. L'RTI ipotizza n°2 **turbine eoliche** che lavorano in parallelo, ognuna da **2 MW**, volte a garantire continuità di produzione nel caso una dovesse fermarsi per manutenzione.

## 3.2 Alternative sulla tecnologia di Elettrolisi

La produzione di Idrogeno mediante processo di elettrolisi consente la produzione di idrogeno puro, senza nessun tipo di emissione in atmosfera, se non ossigeno. Il processo chimico consiste nella scissione della molecola d'acqua nei suoi costituenti atomici, Ossigeno molecolare (O<sub>2</sub>) e Idrogeno molecolare (H<sub>2</sub>). Il processo non presenta emissioni di tipo inquinante o gas effetto serra, e se alimentato con energia di tipo rinnovabile, l'idrogeno prodotto sarà di tipologia "Green".

Le alternative sulla tecnologia di elettrolisi vagliate per questo progetto sono state le seguenti:

- *Elettrolizzatori Alcalini.* Gli elettrolizzatori di tipo alcalino sono la tecnologia attualmente più matura nel mercato e presenta i minori costi di investimento. Utilizzano una soluzione concentrata di KOH come elettrolita, che necessita di essere cambiata con il passare del tempo, e maggiori dimensioni dell'intera apparecchiatura.
- *Elettrolizzatori PEM.* La tecnologia PEM si basa sull'utilizzo di una membrana elettrica polimerica solida. Offrono ottime efficienze, rapidi avvisi e spegnimenti. Produce idrogeno ad alta pressione, diminuendo i costi necessari alla compressione dello stesso.
- *Elettrolizzatori SOEC.* Utilizzano elettroliti a base di ossido solido e funzionano a temperature molto elevate.
- *Elettrolizzatori AEM.* Utilizzano membrane a scambio ionico. Attualmente non sono ancora adatti alla produzione industriale di idrogeno a causa della loro immaturità in ambito industriale per grosse taglie (superiori ad 1 MW).

## 4. ALTERNATIVA SELEZIONATA

### 4.1 Approvvigionamento energetico

La soluzione di approvvigionamento energetico dalla sola rete è stata scartata in quanto non in accordo con le recenti linee guida europee sull'addizionalità della fonte rinnovabile asservita alla generazione di idrogeno.

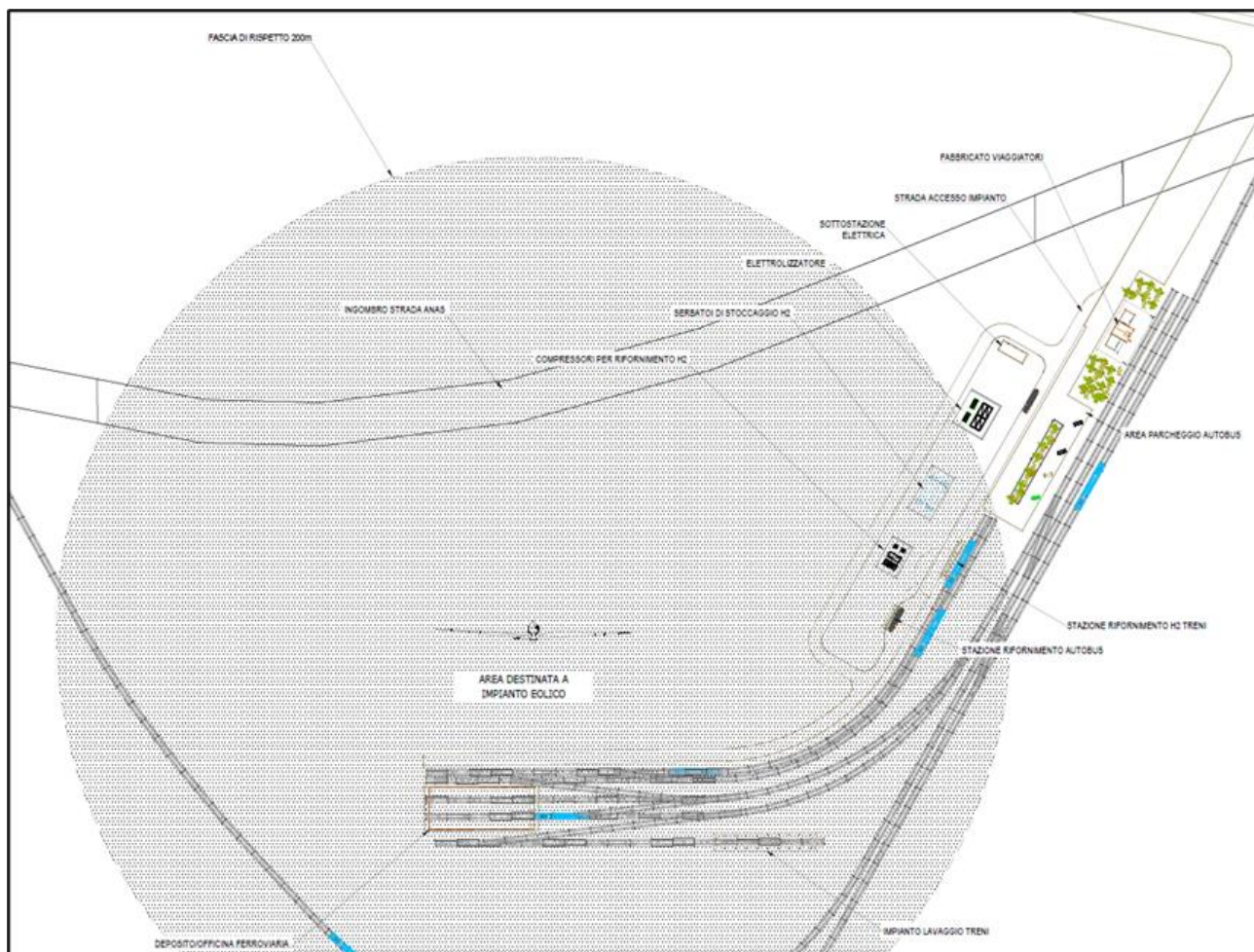
Per quanto riguarda il confronto fra fotovoltaico ed eolico, è stata fatta un'analisi sul ritorno dell'investimento.

Si è infatti stimato che l'impianto fotovoltaico ha un tempo di ritorno sull'investimento di circa 4,7 anni, mentre l'eolico di 8 anni.

Come si evince da questa breve analisi, l'impianto eolico risulta essere meno conveniente rispetto al fotovoltaico.

Inoltre, secondo quanto affermato nel documento *“Studio per l'individuazione delle aree in cui ubicare gli impianti eolici”* emesso dalla Regione Autonoma della Sardegna nel 2007, l'installazione di una turbina deve rispettare una serie di distanze, tra cui il dover essere ad almeno 200 metri da una linea ferroviaria o da una strada provinciale, condizione non rispettata come si evince dallo studio riportato nella seguente figura:

Figura 4. Area di influenza dell'impianto fotovoltaico.



L'alternativa eolica sembra quindi essere non fattibile nell'area adibita all'impianto.

Per quanto sopra, è stata selezionata la soluzione col fotovoltaico abbinato alla rete elettrica.

## 4.2 Tecnologia dell'elettrolizzatore

La tecnologia selezionata per il progetto in oggetto è quella di tipo PEM.

Tale soluzione consente di evitare la produzione di emissioni di CO<sub>2</sub>, diversamente associata all'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili quali metano o carbone.



Oltretutto, la tecnologia PEM offre alcuni vantaggi fondamentali rispetto a quella alcalina (le altre tecnologie come SOEC e AEM non sono disponibili sul mercato per grandi taglie, come spiegato precedentemente) come ad esempio la pressione di uscita dell'idrogeno dal modulo di elettrolisi, che può arrivare fino a 40 barg, diminuendo i costi necessari alla compressione dell'idrogeno prodotto; inoltre la velocità e la facilità di variazione del carico di produzione, della durata di pochi secondi rende la tecnologia PEM più reattiva e performante. In particolare, la veloce variazione del carico di produzione può essere considerata un discreto vantaggio rispetto alla tecnologia alcalina.

Un altro considerevole vantaggio è la possibilità di implementare cicli di accensione e spegnimento degli stack di elettrolisi senza significativi abbassamenti di efficienza correlati. Questa funzione permetterebbe lo spegnimento dell'elettrolizzatore nei momenti di decremento della richiesta di idrogeno o riempimento degli stoccaggi, senza perdere efficienza a causa dello spegnimento dello stack.

Inoltre, gli elettrolizzatori PEM possono operare a temperature inferiori degli alcalini, il che riduce il rischio di degradazione termica dello stack e il consumo di energia necessario al sistema di raffreddamento.

Infine, le alte efficienze associate a questa tipologia di elettrolizzatori e l'assenza di materiali di scarto (ad esempio la soluzione concentrata di KOH) definiscono, per il progetto in esame, la tecnologia PEM come la migliore.

## 5. RIDUZIONE EMISSIONI CO<sub>2</sub>

L'implementazione dell'idrogeno come carburante dei treni a fuel cell se confrontata con le tradizionali locomotrici diesel è sicuramente la scelta ottimale per quanto riguarda le emissioni di inquinanti in ambiente.

L'implementazione di un parco fotovoltaico asservito al funzionamento in continuo dell'elettrolizzatore, allineata alle più recenti raccomandazioni dell'Unione Europea, permette infatti la produzione di idrogeno da questo, complementare all'utilizzo dell'energia elettrica da rete, comunque prevista con certificati di Garanzia di Origine della rinnovabilità dell'energia venduta.

L'idrogeno prodotto mediante processo elettrolitico da fonti di energia rinnovabile (parco fotovoltaico asservito) e dall'energia elettrica prelevata da rete con garanzia di origine rinnovabile certificata ai sensi dell'art 46 del Decreto Legislativo 199 del 2021 viene considerato a zero emissioni CO<sub>2</sub>, come riportato nel Decreto del 21 settembre 2022.

In via preliminare attraverso analisi di letteratura e considerando quanto sopra menzionato, è stato possibile stimare la riduzione delle emissioni di Anidride carbonica equivalente. Considerando una capacità nominale dell'impianto di 1500 kg H<sub>2</sub>/giorno e un consumo elettrico dell'Elettrolizzatore di 55,6 kWh/kgH<sub>2</sub> (riferirsi alla "Relazione Tecnica Descrittiva Prestazionale dell'Impianto di produzione Idrogeno"), si può stimare una riduzione della CO<sub>2,eq</sub> emessa pari a 5.311 ton di CO<sub>2,eq</sub>/anno. È stato preso come valore di riferimento un valore emissivo di 0,175 g di CO<sub>2,eq</sub>/kWh per un mix di fonte energetiche da rete aggiornato al 2021 (dati IEA [Italy - Countries & Regions - IEA](#)).

Nel caso invece, più realistico, di produzione calcolata in base ai consumi effettivi dei treni e degli autobus della flotta a idrogeno, si richiede una produzione giornaliera di 925 kg H<sub>2</sub>/giorno. Mediante i



dati precedentemente forniti, si ricava una riduzione delle emissioni di Anidride carbonica equivalente pari a 3.275 ton CO<sub>2,eq</sub>/anno.

Nell'analisi sopra riportata, non sono stati presi in considerazione alcuni elementi d'impianto, come il generatore di emergenza Diesel del gruppo Elettrogeno e la pompa principale Diesel per il sistema antincendio, poiché sono apparecchiature che intervengono solo in caso di emergenza e quindi sono normalmente non in funzione. Questi si configurano oltretutto come impianti di emergenza con potenza termica inferiore ad 1 MWth, pertanto derogato dall'autorizzazione alle emissioni ai sensi del Decreto Legislativo 152 del 2006, Articolo 272.