

 eni S.p.A.	Company Document ID	Sheet of Sheets 1 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00

## REPORT DI PROCESSO

### Green Hydrogen – Porto Torres

CS FS	00	16/06/2023	Feasibility Study - Emissione finale	PM	RDO	MAR
Validity Status	Revision Number	Date	Description	Prepared	Checked	Approved
Revision Index						
Company logo and business name   eni S.p.A.				Company Document ID		
Contractor logo and business name  Green Hydrogen – Porto Torres				Contractor Document ID		
Facility and Sub Facility Name  Report di Processo				Scale n.a.	Sheet of Sheets 2 / 15	

 eni S.p.A.	Company Document ID	Sheet of Sheets 2 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00

Project Name Green Hydrogen – Porto Torres		Supersedes N.	
Document Name REPORT DI PROCESSO		Plant Area n.a.	Plant Unit n.a.
ABSTRACT	Nel presente documento è fornita una descrizione di processo relativa all'installazione di un elettrolizzatore da 1 MW per la produzione di idrogeno verde nel sito di Porto Torres.		

Company	Prepared by		Signature	Date
	Prepared by		Signature	Date
	Verified by		Signature	Date
	Verified by		Signature	Date
Company Interdisciplinary Review	Verified by	Unit	Date	Date
Company Approved	Approved by	Unit	Date	Date
Company Endorsed	Endorsed by	Unit	Date	Date

#### REVISION LIST

00	Emissione finale

	Company Document ID	Sheet of Sheets 3 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
1.1	Scopo del documento.....	4
1.2	Riferimenti .....	4
1.3	Abbreviazioni ed acronimi .....	4
1.4	Unità di misura.....	4
<b>2.</b>	<b>INFORMAZIONI SUL SITO .....</b>	<b>5</b>
2.1	Ubicazione dell'impianto .....	5
2.2	Condizioni ambientali .....	5
<b>3.</b>	<b>CONFIGURAZIONE D'IMPIANTO.....</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>BASIS OF DESIGN.....</b>	<b>7</b>
4.1	Elettrolizzatore.....	7
4.2	Specifiche del prodotto .....	7
4.3	Acqua di alimentazione .....	7
4.4	Filosofia di ridondanza .....	8
<b>5.</b>	<b>DESCRIZIONE DI PROCESSO .....</b>	<b>9</b>
5.1	Unità 625 - Package d'elettrolisi.....	9
5.2	Unità 360 – Compressione dell'idrogeno.....	14
5.3	Unità 300 – Sistema di misura fiscale.....	15
<b>6</b>	<b>ALLEGATI.....</b>	<b>15</b>

 eni S.p.A.	Company Document ID	Sheet of Sheets 4 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00

## 1. INTRODUZIONE

L'impianto di Idrogeno verde nel sito di Porto Torres prevede l'installazione di un elettrolizzatore da 1 MWe, alimentato da un vicino campo fotovoltaico.

L'idrogeno prodotto sarà destinato all'autotrazione e sarà caricato su carri bombolai.

### 1.1 Scopo del documento

Questo documento riporta i dati di input, i risultati e le osservazioni derivanti dallo studio di pre-fattibilità.

### 1.2 Riferimenti

Ref.1	10009E04 - Process design minimum requirement
Ref.2	API 618 - Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services
Ref.3	Equipment Summary
Ref.4	Block Flow Diagram

### 1.3 Abbreviazioni ed acronimi

CW	Cooling Water
H <sub>2</sub> o HR	Idrogeno
LHV	Low Heating Value (Potere Calorifico Inferiore)
MWe	Mega Watt Elettrici
O <sub>2</sub> o OX	Ossigeno
NW	Acqua demineralizzata
YW	Spurgo

### 1.4 Unità di misura

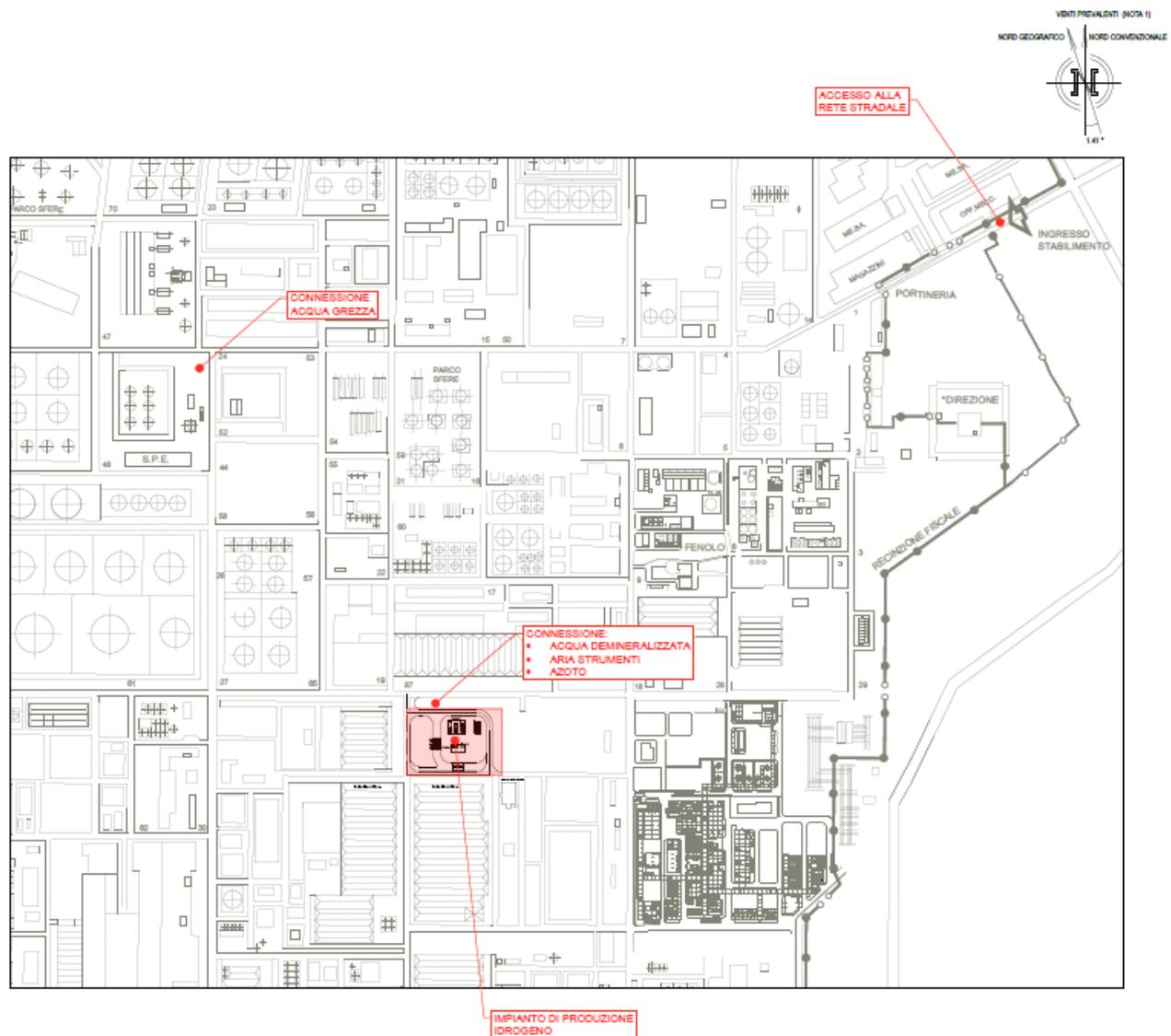
Nel documento sono utilizzate le unità di misura del Sistema Internazionale (SI), fatta eccezione per la pressione, che viene espressa in bar assoluti o relativi.

 eni S.p.A.	Company Document ID		Sheet of Sheets 5 / 15	
	Validity Status	Revision Number		
	EV	00		

## 2. INFORMAZIONI SUL SITO

### 2.1 Ubicazione dell'impianto

L'impianto di "Idrogeno verde" sarà collocato nel sito di Porto Torres. L'area che sarà utilizzata per l'impianto è rappresentata qui di seguito.



**Fig.1 Ubicazione dell'impianto di "Idrogeno verde" nel sito di Porto Torres.**

### 2.2 Condizioni ambientali

Per il dimensionamento degli air cooler è stata considerata una massima temperatura ambiente pari a 35°C.

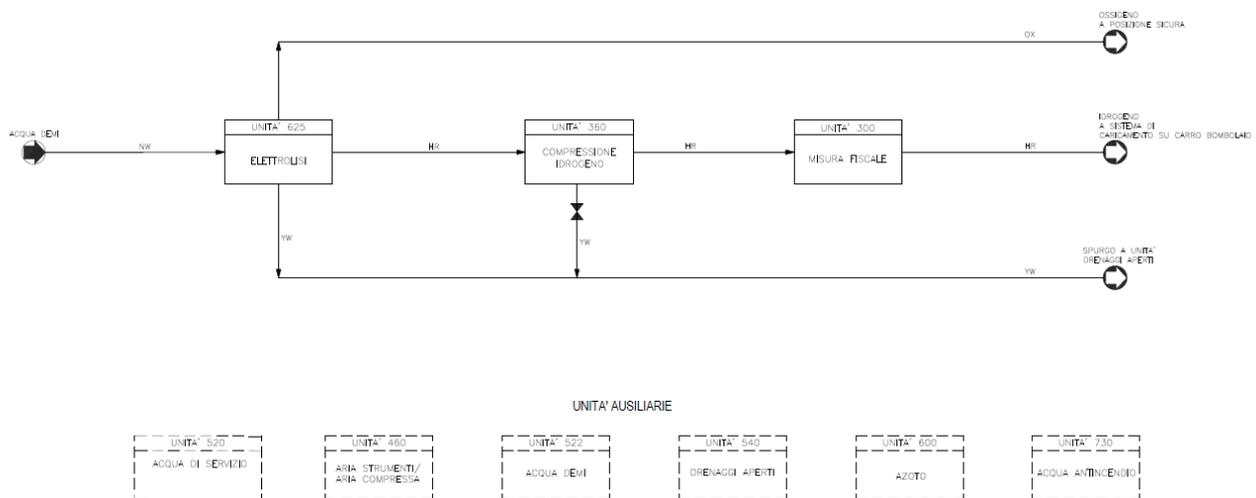
 <b>eni</b> S.p.A.	Company Document ID		Sheet of Sheets 6 / 15	
			Validity Status	Revision Number
			EV	00

### 3. CONFIGURAZIONE D'IMPIANTO

L'impianto di "Idrogeno verde" nel sito di Porto Torres prevede l'installazione di un elettrolizzatore di tipo PEM da 1 MWe, alimentato da un vicino impianto fotovoltaico a partire dall'acqua demineralizzata fornita ai limiti di batteria dell'impianto.

L'idrogeno verde prodotto dal nuovo elettrolizzatore sarà destinato all'utilizzo per autotrazione, per cui, sarà necessario prevederne il caricamento su carri bombolai.

Di seguito si riporta il diagramma a blocchi della configurazione d'impianto selezionata.



**Fig.2: Diagramma a blocchi**

L'acqua demineralizzata, fornita ai limiti di batteria dell'impianto, viene inviata al package d'elettrolisi (unità 625). L'idrogeno prodotto viene compresso (unità 360) ed inviato al sistema di caricamento su carro bombolaio previa misura fiscale (unità 300).

L'ossigeno prodotto dall'elettrolizzatore viene scaricato in atmosfera a posizione sicura mentre lo spurgo derivante dal package di elettrolisi ed eventualmente dall'unità di compressione (unità 360) viene inviato ad un'esistente unità di drenaggi aperti (unità 540).

Le unità di elettrolisi (unità 625) e di compressione (unità 360) saranno dotate di connessione a vent per lo scarico di vapori in posizione sicura.

All'interno della fence dell'impianto di "idrogeno verde" di Porto Torres sarà prevista una stazione per la pesa dei carri bombolai in ingresso e in uscita dall'impianto.

Le unità ausiliarie a servizio dell'impianto di "idrogeno verde" previste sono:

 eni S.p.A.	Company Document ID	Sheet of Sheets 7 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00

- Aria strumenti/aria compressa (unità 460)
- Acqua di servizio (unità 520)
- Acqua demineralizzata (unità 522)
- Drenaggi aperti (unità 540)
- Azoto (unità 600)
- Acqua Antincendio (unità 730)

I sistemi ausiliari si considerano essere disponibili ai limiti di batteria dell'impianto di "idrogeno verde" di Porto Torres.

Il raffreddamento per assicurare all'idrogeno in uscita dall'elettrolizzatore una temperatura di 45°C dovrà essere fornito all'interno del package dal vendor. Il raffreddamento dell'idrogeno nell' unità 625 è realizzato tramite aircooler. Il raffreddamento dell'idrogeno all'interno dell'unità di compressione è realizzato, invece, tramite un circuito chiuso con acqua servizi.

#### **4. BASIS OF DESIGN**

##### **4.1 Elettrolizzatore**

L'impianto di "Idrogeno verde" prevede l'installazione di un elettrolizzatore di tipo PEM da 1 MWe alimentato da un vicino impianto fotovoltaico.

Per tale elettrolizzatore si considera una produzione di idrogeno di 18.2 Kg/h a pieno carico (consumo specifico ad inizio vita di 55 KWh/kg) e un LHV di 60.7%.

##### **4.2 Specifiche del prodotto**

L'idrogeno prodotto sarà destinato all'autotrazione e verrà caricato su carri bombolai.

Le condizioni di stoccaggio dell'idrogeno nelle bombole sono:

- 200 bar a;
- 40°C.

L'Idrogeno prodotto, in compliance con la **EN 17124** che specifica le caratteristiche di qualità del combustibile a idrogeno per l'utilizzo in sistemi per veicoli stradali di celle a combustibile con membrana a scambio protonico (PEM), dovrà avere una concentrazione massima di H<sub>2</sub>O pari a 5 ppm. Per maggiori dettagli fare riferimento all'Allegato1.

##### **4.3 Acqua di alimentazione**

L'acqua alimentata alla cella elettrolitica, separata in H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, dovrà essere altamente pura. Secondo lo standard ASTM D1193 la richiesta minima per un elettrolizzatore di tipo PEM è acqua di Tipo II, avente le caratteristiche indicate di seguito.

 eni S.p.A.	Company Document ID	Sheet of Sheets 8 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00

### ASTM Standards for Laboratory Reagent Water (ASTM D1193-91)

Measurement (unit)	Type I	Type II	Type III	Type IV
Resistivity (M $\Omega$ -cm)	> 18	> 1	> 4	> 0.2 (200K $\Omega$ )
Conductivity ( $\mu$ S/cm)	< 0.056	< 1	< 0.25	< 5.0
pH at 25°C	N/A	N/A	N/A	5.0 – 8.0
Total Organic Carbon (TOC) ppb or $\mu$ g/L	<50	<50	<200	N/A
Sodium (ppb or $\mu$ g/L)	< 1	< 5	< 10	< 50
Chloride (ppb or $\mu$ g/L)	< 1	< 5	< 10	< 50
Silica (ppb or $\mu$ g/L)	< 3	< 3	< 500	N/A

**Tab.1:** Purezza acqua di alimentazione

Nello stabilimento di Porto Torres si considera acqua demineralizzata disponibile ai limiti di batteria e che la composizione dell'acqua demineralizzata sia congrua con la richiesta del fornitore del package d'elettrolisi, per cui non si prevedono pretrattamenti dell'acqua a monte dell'invio all'elettrolizzatore.

#### 4.4 Filosofia di ridondanza

Per la progettazione dell'impianto di "Idrogeno verde" verrà applicata la seguente filosofia di ridondanza:

Descrizione	Ridondanza
Packages d'elettrolisi	N
Compressore	N <sup>(*)</sup>
Air Cooler	N

<sup>(\*)</sup>Non si considera la filosofia N+1 dei compressori (Rif. 1). In caso di indisponibilità/manutenzione dei compressori ci sarà una perdita di produzione e un rallentamento nelle operazioni di carica a carro bombolaio.

**Tab.2 - Filosofia di ridondanza**

	Company Document ID		Sheet of Sheets 9 / 15	
			Validity Status	Revision Number
			EV	00

## 5. DESCRIZIONE DI PROCESSO

### 5.1 Unità 625 - Package d'elettrolisi

Per la descrizione dell'unità fare riferimento al BFD (Rif.[4]) e all'Equipment Summary (Rif.[3]).

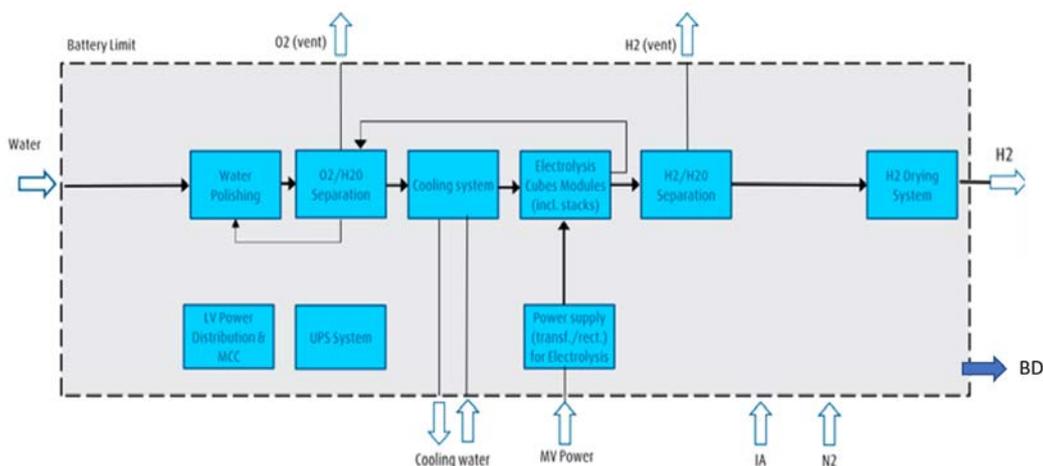
L'unità 625 è l'unità elettrolitica.

Il sistema elettrolitico è il cuore dell'impianto di produzione dell'idrogeno verde.

I principali componenti del sistema elettrolitico sono:

- Cella elettrolitica
- Sistemi costituenti l'unità elettrolitica:
  - o Sistema di gestione gas H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>
  - o Sistema di pre-trattamento acque
  - o Trasformatore e rettificatore di potenza
  - o Sistema di deossigenazione ed essiccatore di H<sub>2</sub>
  - o Sistema di raffreddamento del gas di processo
  - o Dispositivi di sicurezza

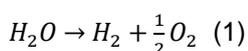
Nella seguente figura è riportato un tipico diagramma a blocchi, in cui sono evidenziati i limiti di batteria del sistema elettrolitico.



**Fig.3: Diagramma a blocchi di un tipico sistema elettrolitico**

Il processo di produzione di idrogeno attraverso l'elettrolisi dell'acqua è il processo mediante il quale è possibile, facendo circolare una corrente continua attraverso l'acqua, la scissione della molecola di acqua in idrogeno e ossigeno.

Il cuore della tecnologia è la cella elettrolitica dove avviene la seguente reazione globale (1):



Gli elettrodi, il diaframma e l'elettrolita sono gli elementi che costituiscono la cella elettrolitica.

Gli elettrodi sono immersi nell'elettrolita, responsabile dell'innalzamento della conducibilità ionica e tra di essi

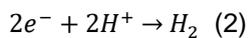
	Company Document ID	Sheet of Sheets 10 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00

scorre la corrente, mentre il diaframma o separatore impedisce la ricombinazione dei gas generati agli elettrodi, consentendo allo stesso tempo i movimenti degli ioni all'interno della cella.

Nel processo di elettrolisi, gli elettroni fluiscono dal circuito esterno al catodo, dove avviene la semi-reazione di riduzione (2).

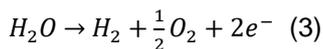
Le semi-reazioni di ossi-riduzione si differenziano in base alla tipologia di cella elettrolitica, e in particolare in base alla carica elettrica che chiude il circuito all'interno dell'elettrolita attraverso il diaframma.

Ad esempio, nella tecnologia PEM il circuito viene chiuso dallo ione H<sup>+</sup> in base alla seguente reazione:



Il catodo è quindi polarizzato negativamente: gli elettroni sulla superficie dell'elettrodo vengono rilasciati e combinandosi con i protoni H<sup>+</sup> generano H<sub>2</sub>.

A lato dell'anodo avviene il processo opposto: gli elettroni lasciano l'anodo verso il circuito esterno, polarizzandolo positivamente e avviene la semi-reazione di ossidazione (3), liberando ossigeno.



Sebbene il principio della scissione delle molecole d'acqua mediante un flusso di corrente appaia abbastanza semplice, la sua implementazione consente la costruzione di diverse varianti tecnologiche basate su diversi aspetti chimici ed elettrochimici.

Esistono sostanzialmente quattro diversi tipi di elettrolizzatori in grado di eseguire il processo di elettrolisi dell'acqua, che si distinguono tipicamente in base alla temperatura di esercizio e all'elettrolita.

Gli elettrolizzatori possono essere classificati in accordo al tipo di tecnologia utilizzata. Di seguito le caratteristiche delle celle esistenti.

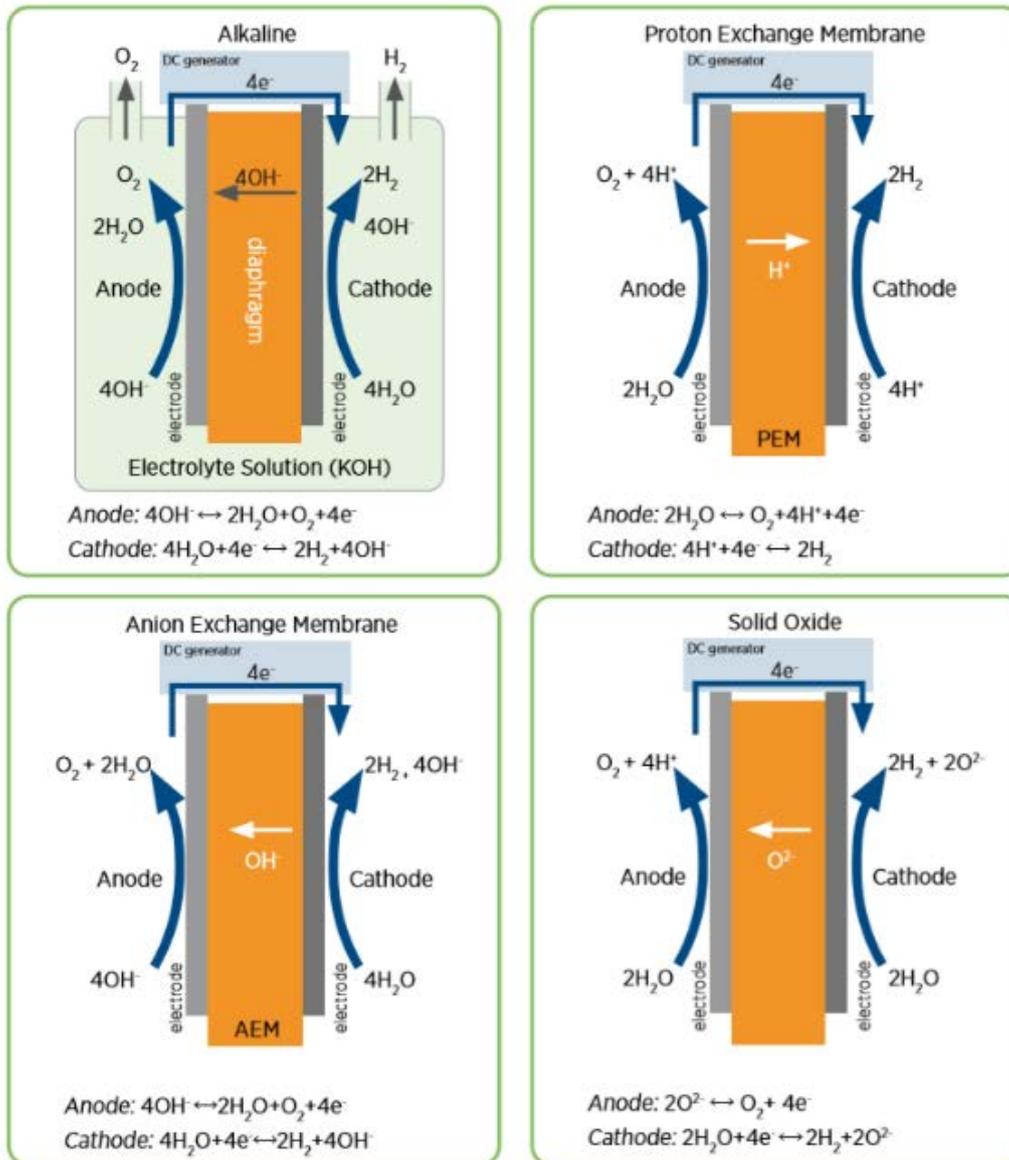


Fig.4: Schema illustrativo delle diverse celle elettrochimiche (IRENA, Green hydrogen cost reduction, 2020)

 eni S.p.A.	Company Document ID		Sheet of Sheets 12 / 15	
			Validity Status	Revision Number
			EV	00

	Alkaline	PEM	AEM	Solid Oxide
Operating temperature	70-90 °C	50-80 °C	40-60 °C	700-850 °C
Operating pressure	1-30 bar	< 70 bar	< 35 bar	1 bar
Electrolyte	Potassium hydroxide (KOH) 5-7 molL <sup>-1</sup>	PFSA membranes	DVB polymer support with KOH or NaHCO <sub>3</sub> 1molL <sup>-1</sup>	Yttria-stabilized Zirconia (YSZ)
Separator	ZrO <sub>2</sub> stabilized with PPS mesh	Solid electrolyte (above)	Solid electrolyte (above)	Solid electrolyte (above)
Electrode / catalyst (oxygen side)	Nickel coated perforated stainless steel	Iridium oxide	High surface area Nickel or NiFeCo alloys	Perovskite-type (e.g. LSCF, LSM)
Electrode / catalyst (hydrogen side)	Nickel coated perforated stainless steel	Platinum nanoparticles on carbon black	High surface area nickel	Ni/YSZ
Porous transport layer anode	Nickel mesh (not always present)	Platinum coated sintered porous titanium	Nickel foam	Coarse Nickel-mesh or foam
Porous transport layer cathode	Nickel mesh	Sintered porous titanium or carbon cloth	Nickel foam or carbon Cloth	None
Bipolar plate anode	Nickel-coated stainless steel	Platinum-coated titanium	Nickel-coated stainless steel	None
Bipolar plate cathode	Nickel-coated stainless steel	Gold-coated titanium	Nickel-coated Stainless steel	Cobalt-coated stainless steel
Frames and sealing	PSU, PTFE, EPDM	PTFE, PSU, ETFE	PTFE, Silicon	Ceramic glass

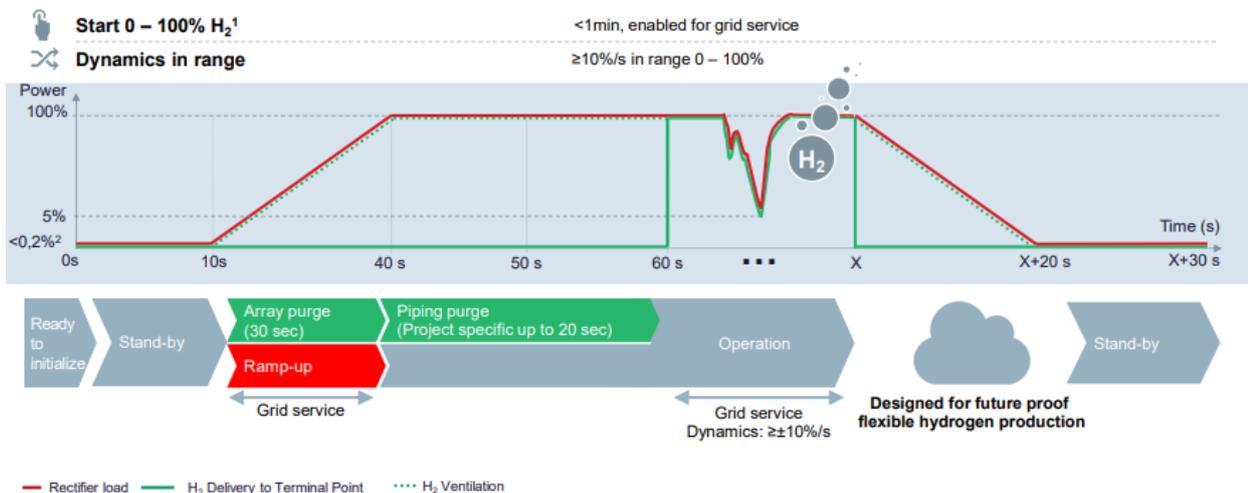
Note: Coloured cells represent conditions or components with significant variation among different companies.  
PFSA = Perfluoroacidsulfonic; PTFE = Polytetrafluoroethylene; ETFE = Ethylene Tetrafluoroethylene; PSF = poly(bisphenol-A sulfone); PSU = Polysulfone; YSZ = yttrium-stabilized zirconia; DVB = divinylbenzene; PPS = Polyphenylene sulphide;  
LSCF = La<sub>0.58</sub>Sr<sub>0.4</sub>Co<sub>0.2</sub>Fe<sub>0.8</sub>O<sub>3-δ</sub>; LSM = (La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>)<sub>1-y</sub>MnO<sub>3</sub>; δ = Crofer22APU with co-containing protective coating.

**Fig.5: Dettagli sui diversi tipi di tecnologie (IRENA, Green hydrogen cost reduction, 2020)**

Le celle elettrolitiche alcaline (ALK) e polimeriche (PEM) sono già commerciali, mentre quelle a ossidi solidi (SOEL) e a membrana a scambio anionico (AEM) sono tecnologie molto meno mature ma con un elevato potenziale. Ragione questa per cui non sono state prese in considerazione per il presente progetto.

Per il presente impianto è stato selezionato un elettrolizzatore di tipo PEM in quanto tale tecnologia, rispetto alle celle elettrolitiche alcaline, si è dimostrata più promettente e adatta a far fronte alle rapide variazioni del carico elettrico, legate all'imprevedibilità della fonte di approvvigionamento di energia (campo fotovoltaico). Dal punto di vista della flessibilità operativa (numero di start/stop e variazione del carico), infatti, i sistemi PEM risultano decisamente più performanti dei sistemi alcalini. Molti progetti dimostrativi in scala di elettrolizzatori PEM hanno mostrato elevata rapidità nella risposta e nella regolazione della frequenza. Inoltre, se confrontati con i sistemi alcalini, gli elettrolizzatori PEM sono in grado di produrre la stessa quantità di idrogeno, occupando uno spazio significativamente ridotto.

	Company Document ID	Sheet of Sheets 13 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00



**Fig.6: Curva di risposta fornita da un vendor di elettrolizzatori PEM (Siemens New Energy)**

Un elettrolizzatore di tipo PEM da 1 MWe con LHV pari a 60.7% è in grado di produrre a pieno carico circa 18.2 kg/h di idrogeno a 45°C e 30 barg.

Per il presente progetto, l'elettrolizzatore per la produzione di "Idrogeno verde" è stato simulato con il software "Thermoflow 30 – Suite Thermoflex". Di seguito si riportano il bilancio di materia e i consumi di acqua demineralizzata considerando l'elettrolizzatore a pieno carico:

	Portata Massica [kg/h]	Composizione molare
H <sub>2</sub> prodotto	18.2	99.9995% H <sub>2</sub> 0.0005% H <sub>2</sub> O
O <sub>2</sub> prodotto	152.9	90.54% O <sub>2</sub> 9.46 % H <sub>2</sub> O

**Tab.3: Bilancio di materia dei prodotti da un elettrolizzatore di tipo PEM da 1MW a pieno carico**

	Portata Massica [kg/h]
Acqua demi in alimentazione	273.1
Spurgo	102

**Tab.4: Consumo di acqua demineralizzata e portata associata allo spurgo da un elettrolizzatore di tipo PEM da 1MW a pieno carico**

Il bilancio di materia e di energia relativo all'elettrolizzatore dovrà essere confermato nella prossima fase dell'ingegneria, a valle della selezione del fornitore.

L'ossigeno prodotto dall'elettrolizzatore viene scaricato in atmosfera a posizione sicura mentre lo spurgo derivante dal package di elettrolisi viene inviato ad un'esistente unità di drenaggi aperti (unità 540).

I sistemi ausiliari si considerano essere disponibili ai limiti di batteria dell'impianto.

 eni S.p.A.	Company Document ID	Sheet of Sheets 14 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00

Il raffreddamento per assicurare all'idrogeno in uscita dall'elettrolizzatore una temperatura di 45°C dovrà essere fornito all'interno del package dal vendor. Il raffreddamento dell'idrogeno nell' unità 625 è realizzato tramite aircooler.

L'idrogeno prodotto sarà destinato all'autotrazione e verrà caricato su carri bombolai. All'interno della fence sarà prevista una stazione per la pesa dei carri bombolai in ingresso e in uscita dall'impianto.

Per riempire completamente un carro bombolaio da 350 Kg di idrogeno (25.2 m3 di idrogeno stoccato nelle bombole a 200 bar a e 40°C) saranno necessarie circa 19 ore di funzionamento dell'elettrolizzatore a pieno carico.

Considerando in media 8 ore di funzionamento giornaliero dell'elettrolizzatore operativo a pieno carico e alimentato esclusivamente da campo fotovoltaico, per riempire un carro bombolaio da 350kg di idrogeno, saranno necessari 2 giorni + 1ora circa.

L' unità di elettrolisi (unità 625), infine, sarà dotato di connessione a vent per lo scarico di vapori in posizione sicura.

## **5.2 Unità 360 – Compressione dell'idrogeno**

Per la descrizione dell'unità fare riferimento al BFD (Rif.[4]) e all'Equipment Summary (Rif.[3]).

L'idrogeno in uscita dall'elettrolizzatore è a 30 barg, per cui, per poterne assicurare il caricamento in carro bombolaio è necessario ricorrere ad un package di compressione (Unità 360) per raggiungere la pressione di 200 bar a richiesta per lo stoccaggio dell'idrogeno in bombole.

In via conservativa, la pressione di mandata dell'ultimo stadio di compressione è stata considerata pari a 210 barg.

A valle del package d'elettrolisi (625-XX-001), verrà installato un sistema di compressione (360-XX-002) costituito dalle seguenti apparecchiature (da confermarsi nelle prossime fasi dell'ingegneria a valle della selezione del fornitore):

- Comprensore di tipo diaframma a due stadi;
- Filtro a monte del primo stadio di compressione;
- Raffreddatore interstadio;
- Raffreddatore a valle del secondo stadio di compressione;
- Circuito chiuso di raffreddamento con acqua servizi per i raffreddatori dell'idrogeno e per l'olio di lubrificazione;
- Aircooler per il raffreddamento dell'acqua servizi all'interno del circuito chiuso.

L'idrogeno prodotto dall'elettrolizzatore entra nel primo stadio di compressione, previa filtrazione, a 45°C e 30 barg circa. L'idrogeno caldo in uscita dal primo stadio di compressione a 72 barg e 133°C circa viene raffreddato fino a 40°C dal raffreddatore interstadio.

Il secondo stadio di compressione porta l'idrogeno alla pressione di circa 210 barg e successivamente l'idrogeno caldo viene raffreddato dal raffreddatore di 2°stadio fino a 40°C prima di essere inviato al sistema

 eni S.p.A.	Company Document ID	Sheet of Sheets 15 / 15	
		Validity Status	Revision Number
		EV	00

di caricamento a carro bombolaio, previa misura fiscale.

Per eventuali drenaggi dal circuito di raffreddamento con acqua servizi è prevista una connessione all'unità esistente dei drenaggi aperti.

Il package di compressione (360-XX-001) sarà, inoltre, dotato di connessione a vent per lo scarico di vapori in posizione sicura.

Si evidenzia, inoltre, che non si considera la filosofia di ridondanza N+1 dei compressori (Rif. 1). In caso di indisponibilità/manutenzione dei compressori ci sarà una perdita di produzione e un rallentamento nelle operazioni di carica a carro bombolaio.

Le ore di funzionamento dell'unità di compressione coincideranno con quelle di funzionamento dell'elettrolizzatore: circa 19 ore, considerando l'elettrolizzatore a pieno carico che produce 18.2 kg/h di idrogeno, per riempire completamente un carro bombolaio da 350 Kg di idrogeno.

### **5.3 Unità 300 – Sistema di misura fiscale**

Per la descrizione dell'unità fare riferimento al BFD (Rif.[4]) e all'Equipment Summary (Rif.[3]).

L'unità 300 è composta da:

- 300-XX-003          Sistema di misura fiscale

Il sistema di misura fiscale è installato ai limiti di batteria dell'impianto per misurare la portata dell'idrogeno inviato al caricamento su carro bombolaio e le sue caratteristiche, in termini di punto di rugiada dell'acqua, composizione e potere calorifico.

Tale unità è stata dimensionata sulla base delle seguenti condizioni operative:

- Pressione operativa a monte: 210 barg max;
- Temperatura operativa: 40°C
- Massima portata di idrogeno: 18.2 kg/h;

## **6 ALLEGATI**

1. Specifica di idrogeno per autotrazione

# H<sub>2</sub> IDROGENO FC

## Caratteristiche generali

Gas compresso, incolore, inodore, estremamente infiammabile.

## Applicazioni

- Celle a combustibile per mobilità
- Celle a combustibile per usi stazionari

## EN 17124

L'Idrogeno FC è in compliance con la **EN 17124**, che specifica le caratteristiche di qualità del combustibile a idrogeno e la corrispondente assicurazione di qualità al fine di garantire l'uniformità del prodotto a idrogeno come dispensato per l'utilizzo in sistemi per veicoli stradali di celle a combustibile con membrana a scambio protonico (PEM).

## Classificazione

Classe ADR  
**2; ONU 1094**  
Codice classificazione ADR  
**1F**  
Etichettatura ADR  
**2.1, gas infiammabile, non tossico**



## Natura del rischio INFIAMMABILE

## Normativa

Colore ogiva **ROSSO RAL 3000**

## Stato fisico

Gas compresso  
Pressione nelle bombole:  
**200 bar, 15°C**

## Specifiche tecniche

Costituente	Caratteristiche
Indice di idrogeno combustibile	99,97%
Totale di gas diversi da H <sub>2</sub>	300 ppm
<b>Concentrazione massima di contaminanti</b>	
Acqua (H <sub>2</sub> O)	5 ppm
Idrocarburi totali (THC) (metano escluso)	2 ppm
Metano (CH <sub>4</sub> )	2 ppm
Ossigeno (O <sub>2</sub> )	5 ppm
Elio (He)	300 ppm
Azoto (N <sub>2</sub> )	300 ppm
Argon (Ar)	300 ppm
Diossido di carbonio (CO <sub>2</sub> )	2 ppm
Monossido di carbonio (CO)	0,2 ppm
Compositi di zolfo totali (H <sub>2</sub> S)	0,004 ppm
Formaldeide (HCHO)	0,2 ppm
Acido formico (HCOOH)	0,2 ppm
Ammoniaca (NH <sub>3</sub> )	0,1 ppm
Compositi alogenati (base di ioni alogeni)	0,05 ppm
Massima concentrazione di particolati	1 mg/kg

## Capacità contenitori

Bombole	Contenuto
5-10-40l	1-2-8m <sup>3</sup>

Carri
Da 4.300 a 4.500 m <sup>3</sup>

## Compatibilità con i materiali

(Si riferisce a gas secchi a temperatura ambiente e pressione limitata)

Acciaio	Acciaio Inox	Alluminio	Monel	Ottone	Rame	Gomma butilica	Neoprene	Viton	Kel-f	Teflon	PVC
D	D	B	B	B	B	B	B	M	B	B	B

B: Buona – M: Mediocre – D: Dipende dalle condizioni – N: Nessuno

# H<sub>2</sub> IDROGENO FC

## Proprietà fisiche

	Temperatura	Pressione	Calore latente di fusione	Densità	Calore latente vapore
Punto triplo	-259,2°C	7042,1 Pa	58,61 kJ/kg	-	-
Punto critico	-239,01°C	1297 kPa	-	0,031 kg/dm <sup>3</sup>	-
Punto ebollizione a 101,325 kPa	-257,77°C*	-	-	0,071kg/dm <sup>3**</sup>	447,60 kJ

Potere calorifico e limiti di infiammabilità	Inferiore	Superiore	Temperatura
Limite di infiammabilità a 20°C e 1 bar in aria	4,0% vol	75,0% vol	-
Potere calorifico a 25°C e pressione costante*	10760 kJ/m <sup>3</sup>	12770 kJ/m <sup>3</sup>	-
Temperatura minima di autoaccensione a 1 bar in aria	-	-	570°C

\*Con volume del gas a 0°C e 1,01325 bar

## Conduzione termica

Gas a 25°C
1819,2 μW/cm-K

## Densità del gas

Relativa [Aria=1]	A 15°C 98,067 kPa
0,0695	0,8247 kg/m <sup>3</sup>

## Calore specifico gas a 25°C

Cp	Cv
28,85J/mol-K	20,534 J/mol-K

## Raccordo valvola all'utilizzo di bombole o pacchi

Gruppo	Ø Vite (mm)	Senso filetto	Passo W	Tipo
1H – UNI 11144	20	sinistrorso	1,814	maschio

## Corrispondenza gas/liquido

Gas	M3 gas a 15°C e 98067 Pa	Litri di liquido a temperatura di ebollizione a 101325 Pa	kg
H2	1	1,1625	0,0825
	0,8602	1	0,0710
	12,1212	14,0905	1

Per capacità e purezza delle bombole differenti da quelle indicate è necessario contattare la Business Line Gas Tecnici e Miscele – [gtm@sapio.it](mailto:gtm@sapio.it)

Sapio si riserva la facoltà di modificare e/o eliminare le informazioni contenute nella presente scheda.