

I



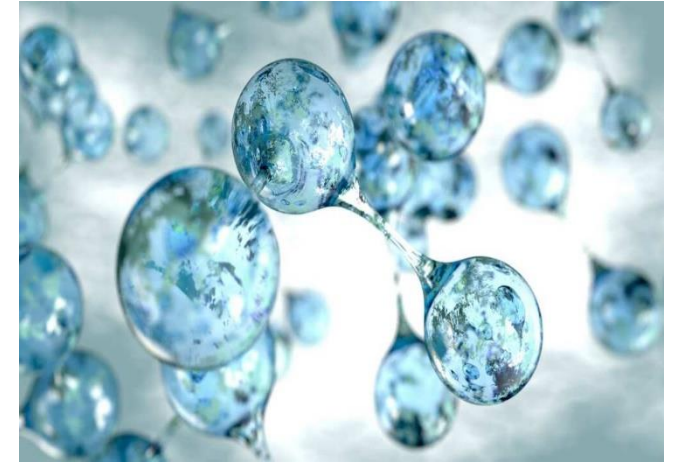
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Webinar

giovedì 20 luglio 2023, ore 15.00 – 18.00

Ingegneria e sostenibilità

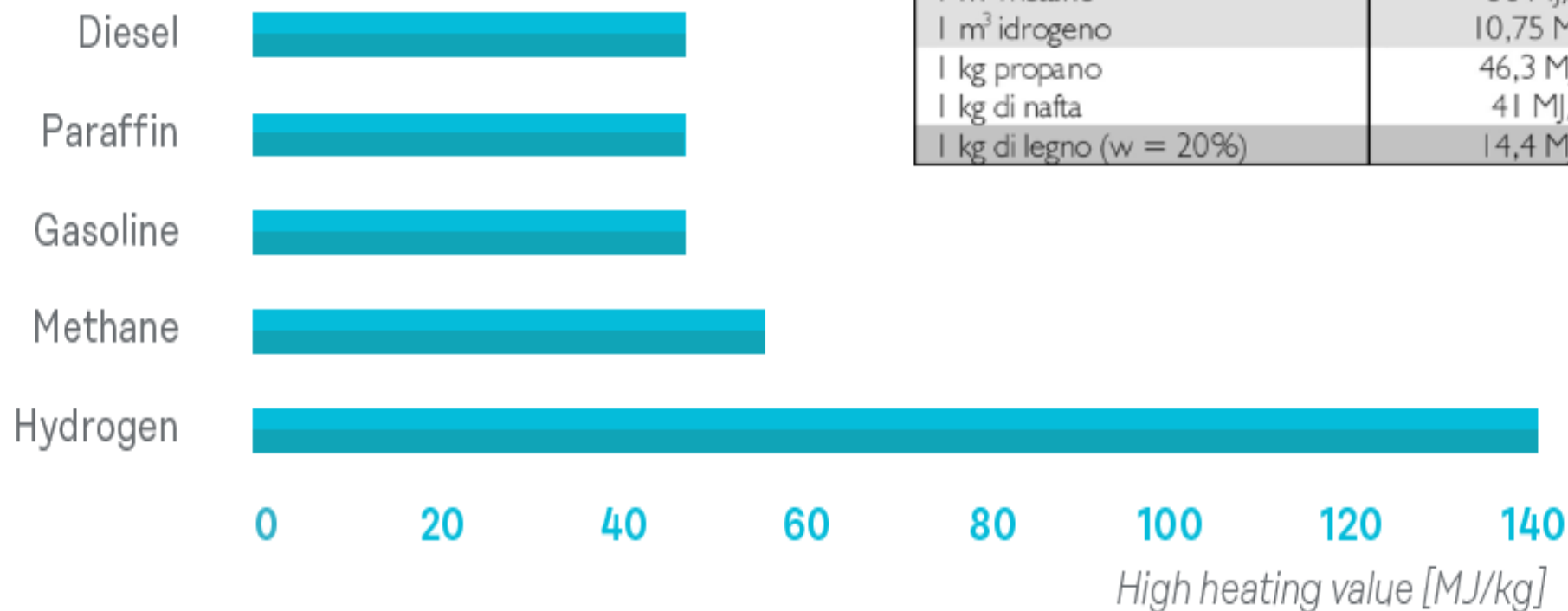
**Tecniche di produzione e metodi di
impiego di idrogeno rinnovabile**



Property	Hydrogen	Comparison
Density (gaseous)	0.089 kg/m ³ (0°C, 1 bar)	1/10 of natural gas
Density (liquid)	70.79 kg/m ³ (-253°C, 1 bar)	1/6 of natural gas
Boiling point	-252.76°C (1 bar)	90°C below LNG
Energy per unit of mass (LHV)	120.1 MJ/kg	3x that of gasoline
Energy density (ambient cond., LHV)	0.01 MJ/L	1/3 of natural gas
Specific energy (liquefied, LHV)	8.5 MJ/L	1/3 of LNG
Flame velocity	346 cm/s	8x methane
Ignition range	4–77% in air by volume	6x wider than methane
Autoignition temperature	585°C	220°C for gasoline
Ignition energy	0.02 MJ	1/10 of methane

Notes: cm/s = centimetre per second; kg/m³ = kilograms per cubic metre; LHV = lower heating value; MJ = megajoule; MJ/kg = megajoules per kilogram; MJ/L = megajoules per litre.

Combustibile	P.C.I. (Valori medi)	
	MJ	kWh
l di gasolio extraleggero	36,17 MJ/l (42,5 MJ/kg)	10 kWh/l
l di gasolio leggero	38,60 MJ/l (41,5 MJ/kg)	10,70 kWh/l
l kg di carbone	27,6 MJ/kg	7,67 kWh/kg
l kg di lignite	29,5 MJ/kg	8,20 kWh/kg
l kg torba anidra	20,2 MJ/kg	5,60 kWh/kg
l m ³ metano	36 MJ/m ³	10,00 kWh/m ³
l m ³ idrogeno	10,75 MJ/kg	3,08 kWh/m ³
l kg propano	46,3 MJ/kg	12,87 kWh/kg
l kg di nafta	41 MJ/kg	11,77 kWh/kg
l kg di legno (w = 20%)	14,4 MJ/kg	4,00 kWh/kg



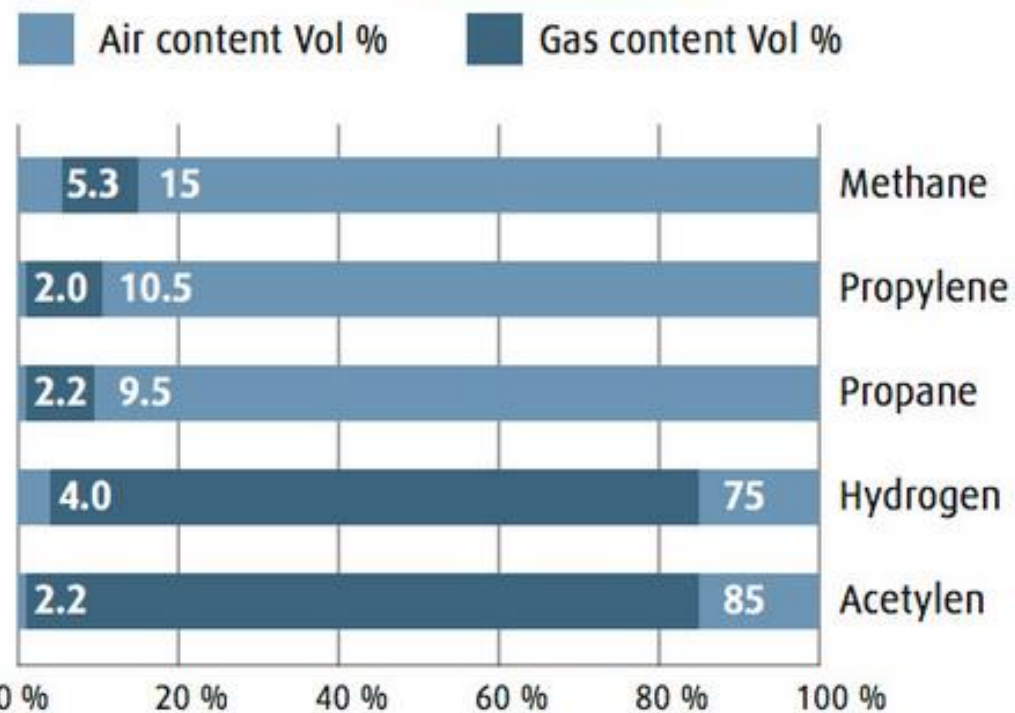
Gas infiammabili



Se viene raggiunta una concentrazione sufficiente, l'idrogeno tende a bruciare

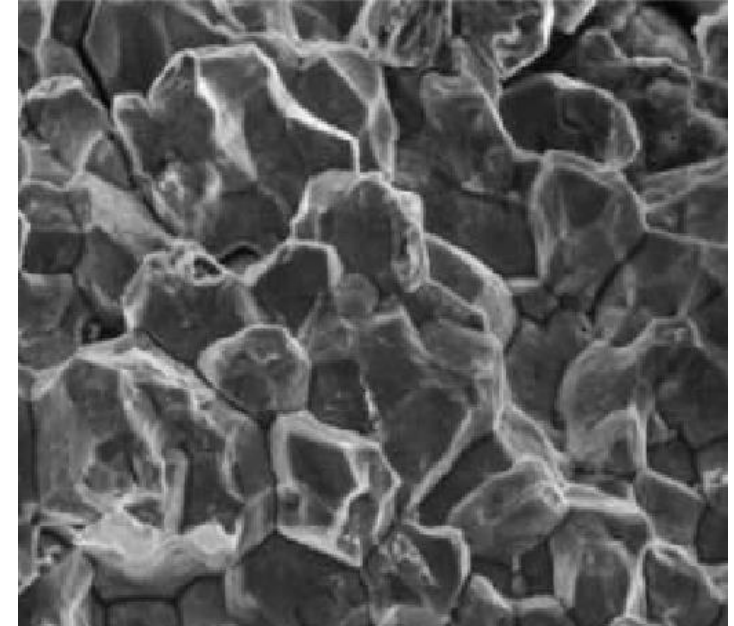
La fiamma ha un basso livello di calore radiante e quindi non surriscalda le zone vicine

Limiti di infiammabilità



Infragilimento da idrogeno

- 1) penetrazione dell'idrogeno nell'elemento di collegamento
- 2) diffusione dell'idrogeno nelle zone altamente sollecitate dell'elemento di collegamento
- 3) posizionamento dell'idrogeno fra gli interstizi dei grani, nelle inclusioni, nelle dislocazioni
- 4) raggiungimento del livello di stress critico della concentrazione d'idrogeno
- 5) ampliamento della cricca



La Timeline UE e Nazionale in Campo Energetico

2026



2030



2050

**Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
PNRR (2021)**

Missione 2

- Componente 3 Promuovere la produzione, la distribuzione e gli usi finali dell'idrogeno (3,19 Mld€)
Interventi: aree dismesse Hard to Abate con 2 Mld €, mobilità stradale e ferroviaria, ricerca e sviluppo

- Componente 5 Ricerca e sviluppo Filiera Idrogeno (0,45 Mld€)

PACCHETTO "FIT FOR 55" (2021)
Riduzione delle emissioni del 55% rispetto al 1990

PNIEC
Rinnovabili ed efficienza energetica per raggiungere gli obiettivi dell'UE

Strategia per l'Idrogeno(2021)
2% H₂/domanda energetica,
5 GWe da elettrolisi

RePower EU



Green Deal europeo (2019)
Ambizione di neutralità climatica dell'UE.

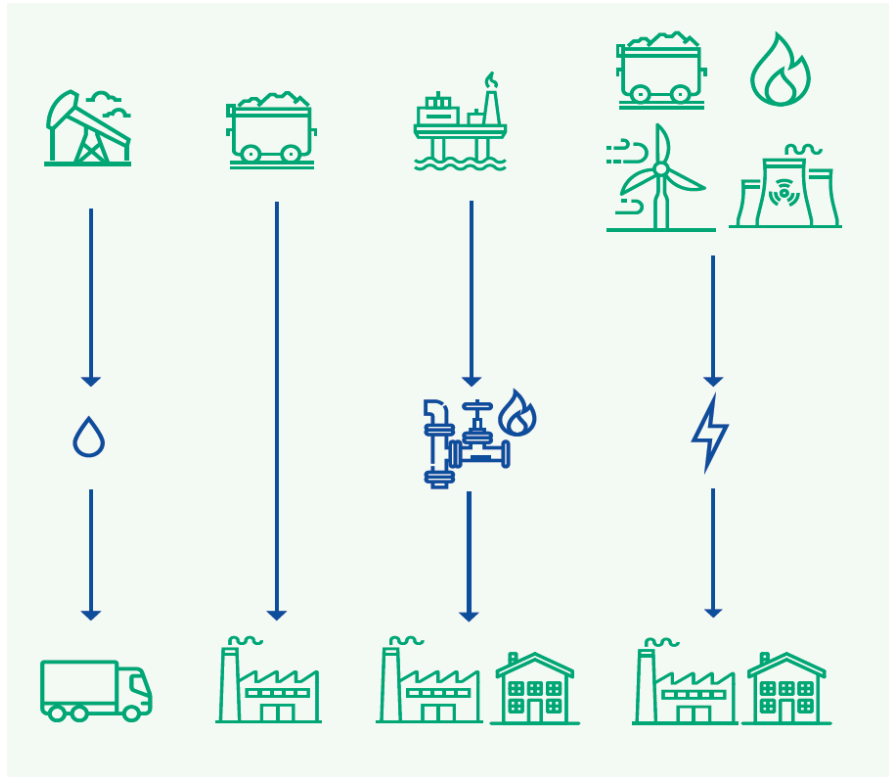
Strategia UE per l'Idrogeno (2020)
Penetrazione del 13-14% dell'idrogeno a basse emissioni di carbonio

Strategia a lungo termine (2021)
Completa decarbonizzazione entro il 2050.

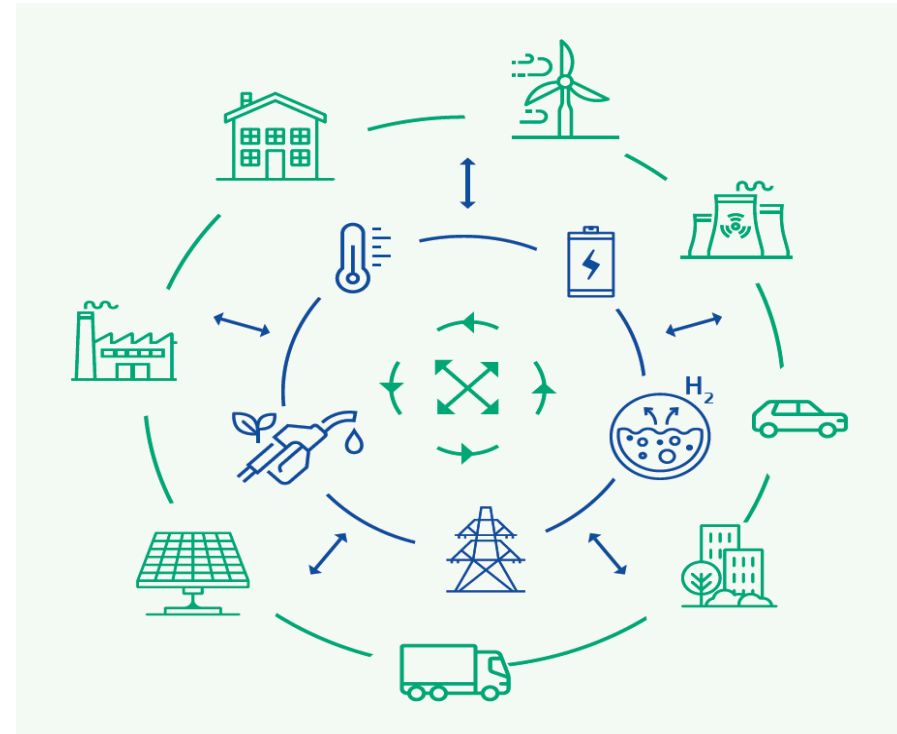


Il sistema energetico oggi e in prospettiva futura...

L'attuale sistema energetico



Futuro sistema energetico



- Sistema più efficiente e circolare
- Utilizzo dell'elettrificazione diretta
- Utilizzo di nuovi combustibili per i settori hard to abate

REpowerEU: le misure per l'idrogeno

Il piano REPowerEU mira a ridurre rapidamente la nostra dipendenza dai combustibili fossili russi spingendo la transizione verde e unendo le forze per realizzare un sistema energetico più resiliente e una vera Unione dell'energia



Entro il 2030

- obiettivo di produzione interna di idrogeno rinnovabile 10 milioni di tonnellate
- obiettivo d'importazione di idrogeno rinnovabile 10 milioni di tonnellate

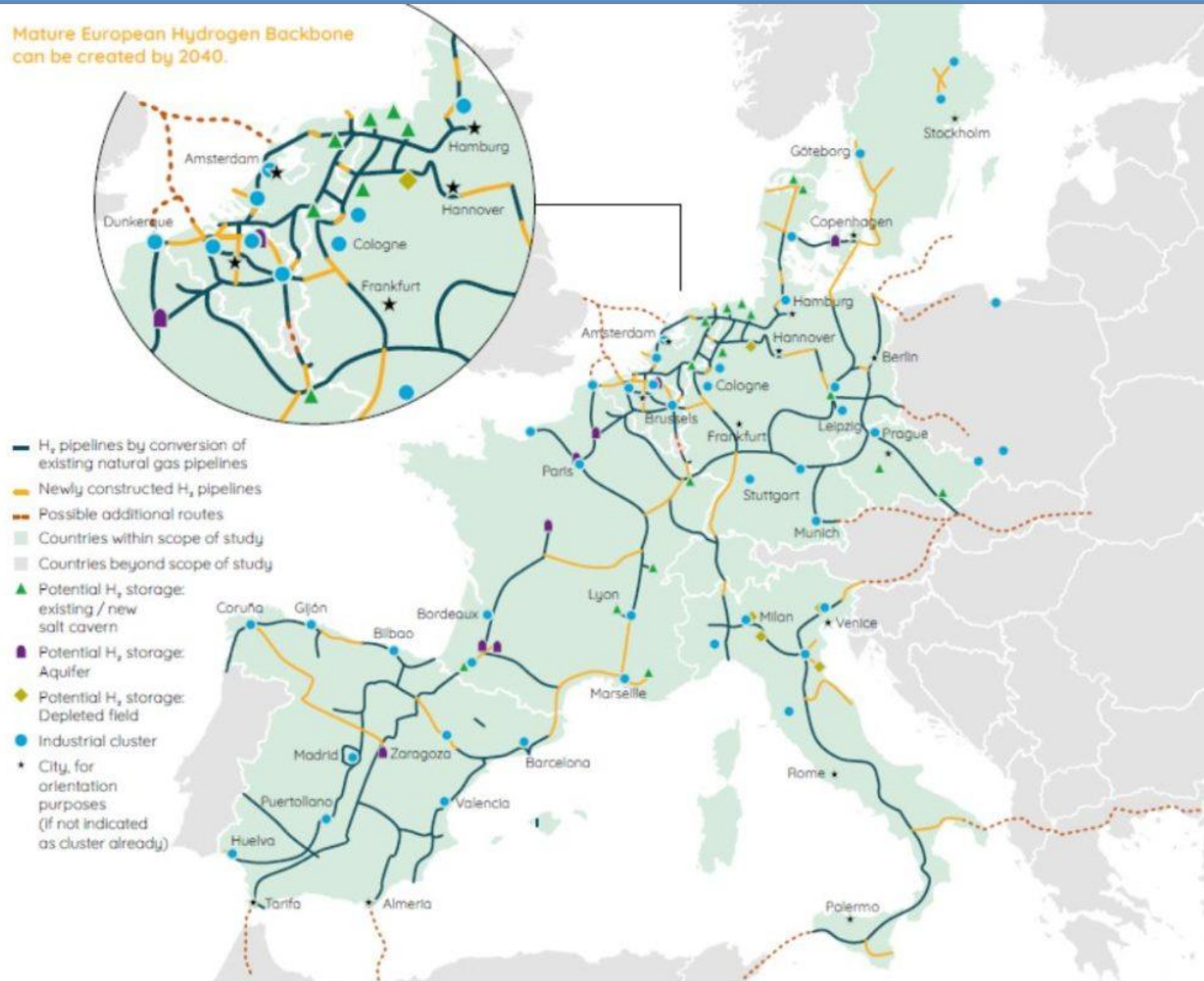
Produzione incentivata con progetti incentivando lo sviluppo delle tecnologie della catena del valore

Importazione mediante lo sviluppo di tre grandi corridoi per l'importazione dell'idrogeno:

1. il Mediterraneo,
2. la regione del Mare del Nord
3. le condizioni lo consentiranno, con l'Ucraina

European Hydrogen Backbone

Mature European Hydrogen Backbone can be created by 2040.



ehb

European Hydrogen Backbone


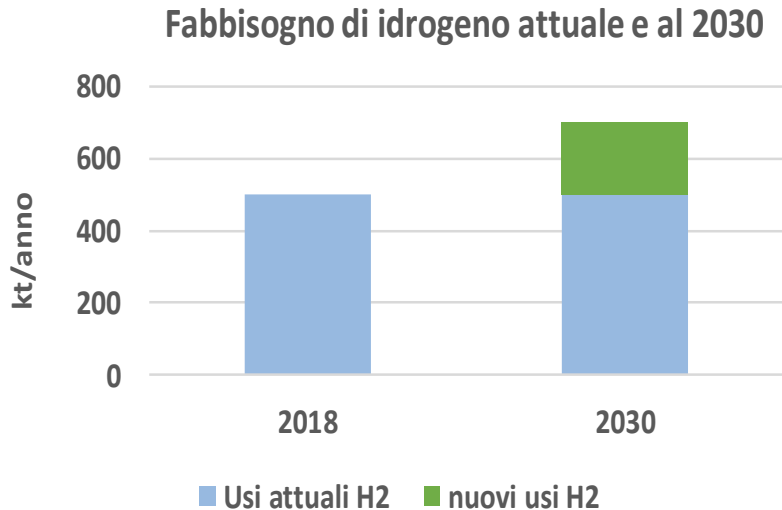
A EUROPEAN HYDROGEN INFRASTRUCTURE VISION COVERING 28 COUNTRIES

APRIL 2022

By Amber Grid, Bulgartransgaz, Conexus, CREOS, DESFA, Etering, Enagás, Energinet, Eustream, FGSZ, FluxSwiss, Fluxys Belgium, Gas Connect Austria, Gasgrid Finland, Gassco, Gasunie, Gas Networks Ireland, GAZ-SYSTEM, GRTgaz, National Grid, NET4GAS, Nordion Energi, OGE, ONTRAS, Plinacro, Plinovodi, REN, Snam, TAG, Teréga, and Transgaz

Linee Guida Preliminari

Numeri chiave al 2030



2% circa di penetrazione dell'idrogeno nella domanda energetica finale



Circa 5 GW di capacità di elettrolisi per la produzione di idrogeno



Fino a 8 Mton in meno di emissioni di CO2eq

Opportunità di nuovi utilizzi di idrogeno fino a ~200kton/anno nel 2030

(2% sui consumi energetici finali)

Applicazioni industriali (settori Hard To abate)

Applicazione per la mobilità (treni e camion)

Miscelazione di idrogeno nella rete gas (blending)



Fino a 10 mld € di investimenti per H2 (investimenti FER da aggiungere), di cui metà da risorse e fondi ad hoc



Fino a 27 mld € di PIL aggiuntivo



Creazione di oltre 200k posti di lavoro temporanei e fino a 10k di posti fissi

Il PNRR: idrogeno

Il PNRR conferma le indicazioni della strategia preliminare per l'idrogeno (alcuni obiettivi anticipati al 2026) attraverso la **Missione 2 "Rivoluzione Verde e Transizione Ecologica"**, specificamente dedicata alla "Promozione della produzione, distribuzione e gli usi finali dell'idrogeno".

Sono in quest'ambito previste riforme di semplificazione amministrativa e armonizzazione normativa (abbattere le barriere) oltre che misure di supporto alla competitività delle aziende nazionali.

In particolare sono previsti **investimenti per 3,19 MLD Euro**:

- 500 Milioni € per la produzione di H₂ ecosistemi e HV in aree industriali dismesse
- 2000 Milioni € per l'utilizzo in settori Hard To Abate
- 230 Milioni € per la sperimentazione dell' H₂ nel trasporto stradale
- 300 Milioni € per la sperimentazione dell' H₂ nel trasporto ferroviario
- 160 Milioni € per attività di R&S sulle tecnologie dell'H₂



PNRR H2

Il PNRR: idrogeno

Componente 2 (M2C2) - Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile
MISURA 3 - Promuovere la produzione, la distribuzione e gli usi finali dell'idrogeno
[M2C2M3]

- Investimento 3.1 - **Produzione di idrogeno in aree industriali dismesse** 450 M€
54 progetti approvati in 20 regioni
- Investimento 3.2 - **Utilizzo idrogeno in settori hard-to-abate** 2000 M€
primo bando chiuso a Maggio
- Investimento 3.5 **Ricerca e sviluppo sull'idrogeno** 160 M€ chiuso
- Investimento 5.3 “**Idrogeno**” che prevede di sostenere progetti tesi a creare una catena del valore dell'idrogeno in Italia che sia adatta anche per partecipare a importanti progetti di comune interesse europeo sull'idrogeno (IPCEI H2)
Gigafactory
450 MEuro





Realizzazione di stazioni di rifornimento stradale a base di idrogeno

36 progetti approvati



Il PNRR: idrogeno

M2C2 – **Investimento 3.4:**
Sperimentazione dell'idrogeno per il
trasporto ferroviario

300 M€

ONGOING!!

Linee ferroviarie non elettrificate

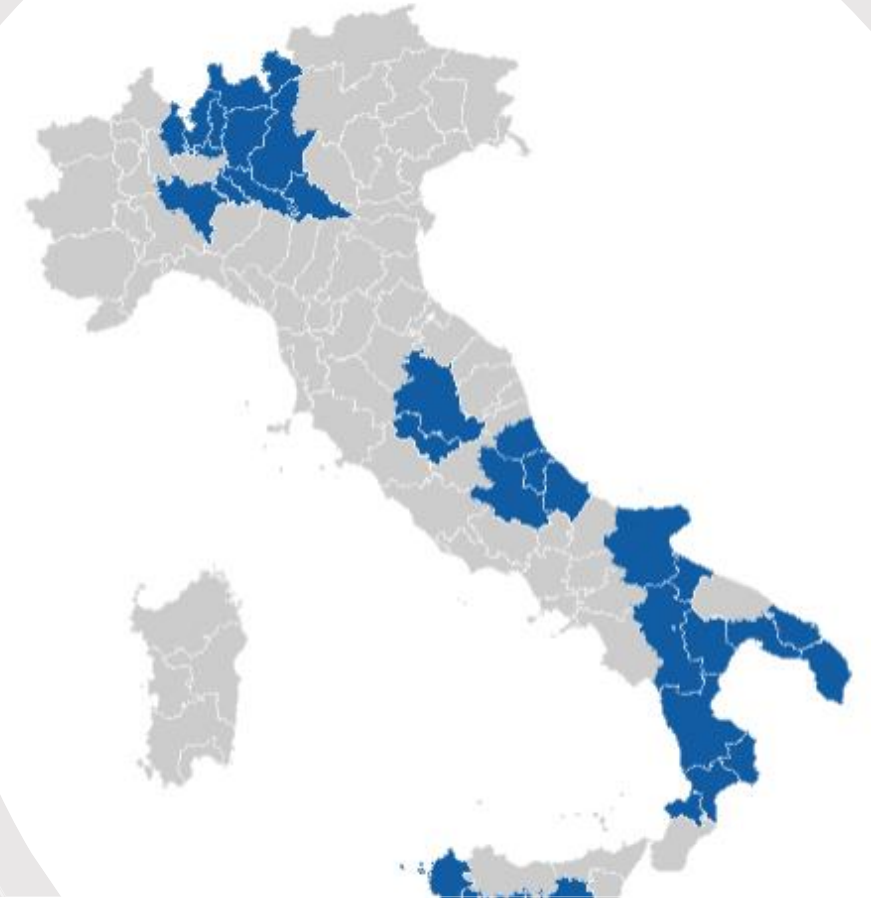
L'investimento interessa tutta la filiera: produzione dell'idrogeno green, trasporto, stoccaggio, realizzazione delle stazioni di servizio, acquisto dei treni.

Linee ferroviarie:

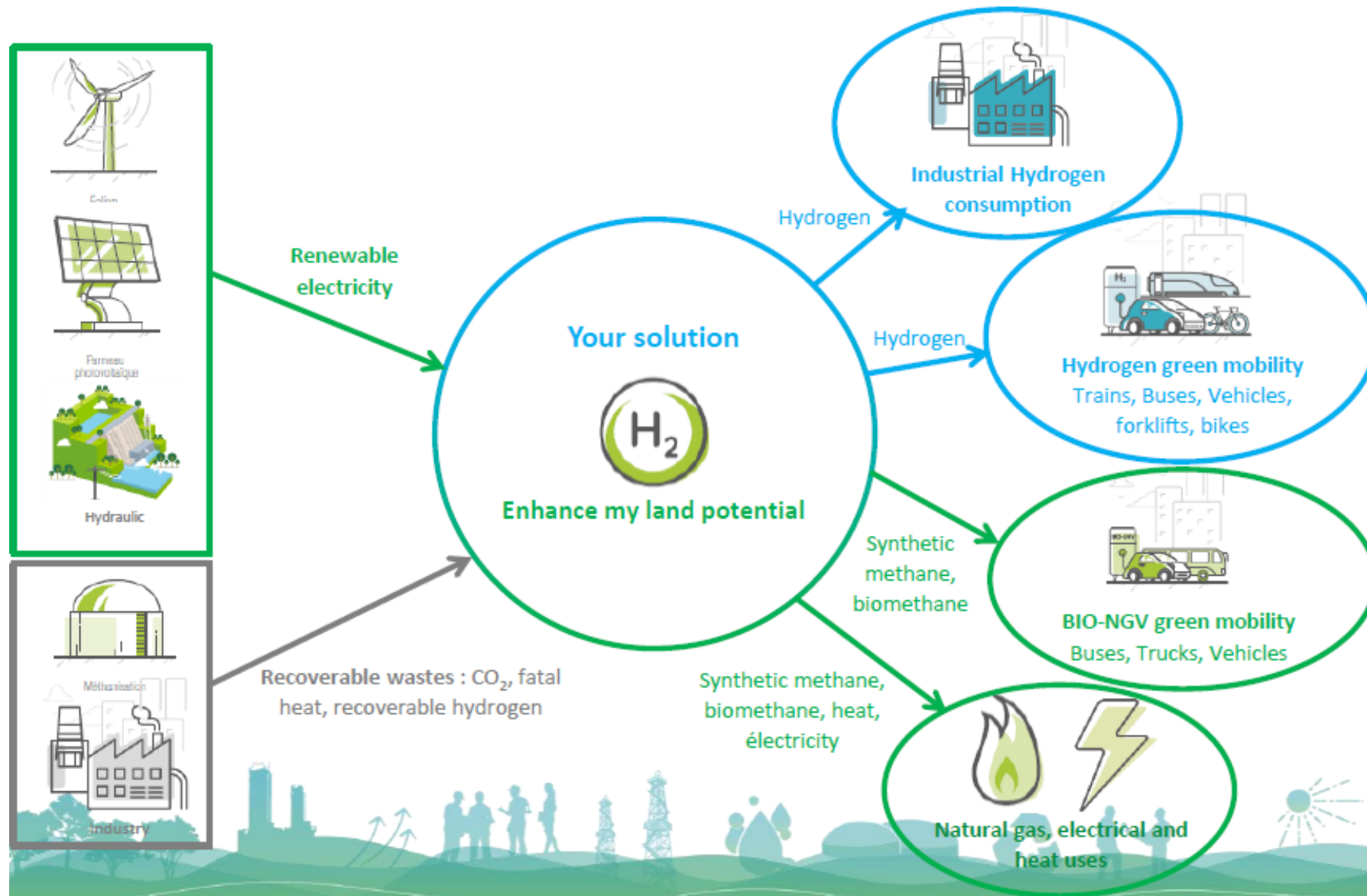
Valcamonica e il Salento, la ferrovia Circumetnea, Adriatico Sangritana, le linee ferroviarie regionali Cosenza-Catanzaro, il collegamento ferroviario tra la città di Alghero e l'aeroporto, la tratta Terni-Rieti-L'Aquila-Sulmona.



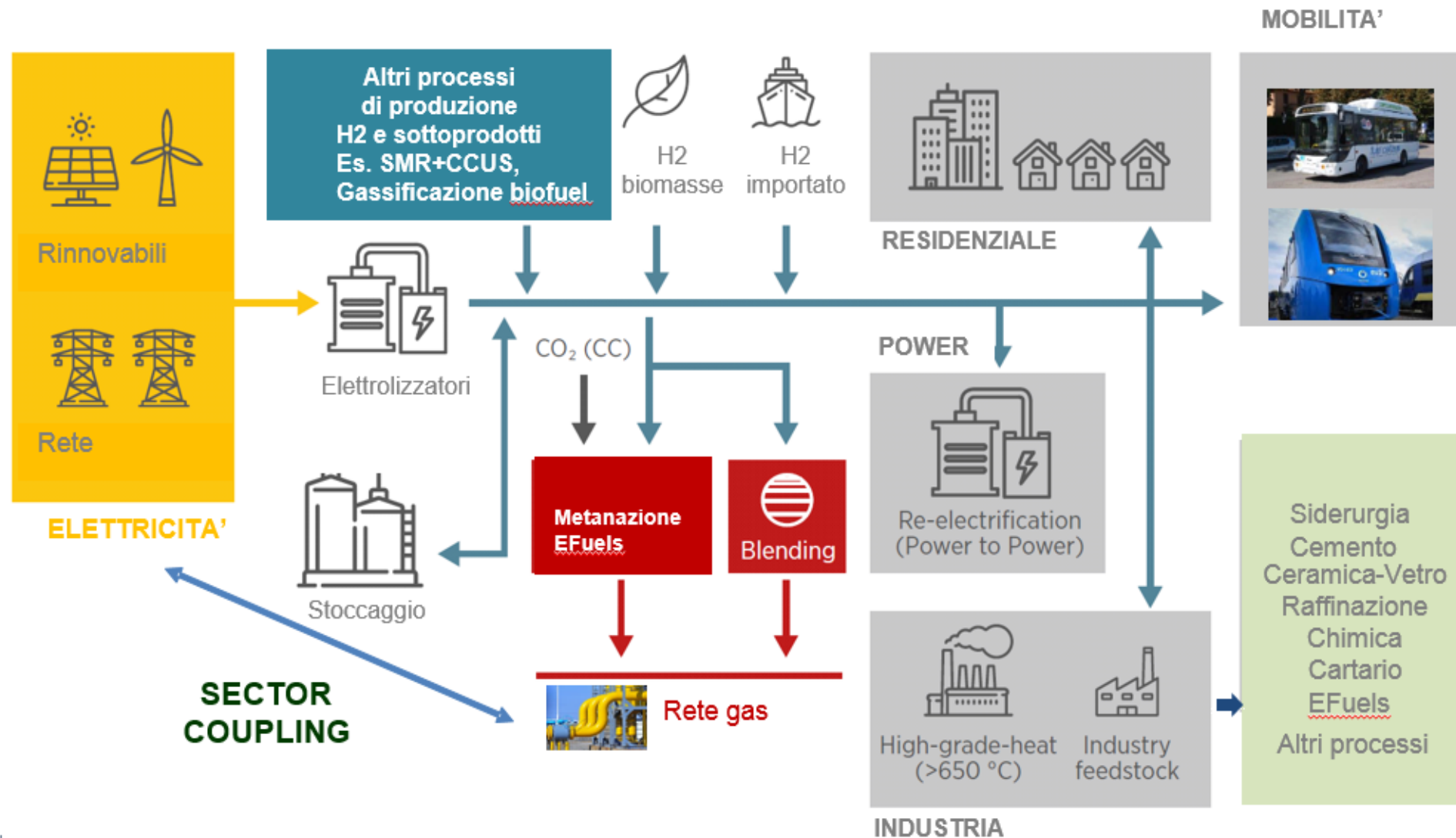
distribuzione della misura sul ter...



La galassia IDROGENO



L'idrogeno e' un vettore energetico



I PROCESSI DI PRODUZIONE DELL'IDROGENO

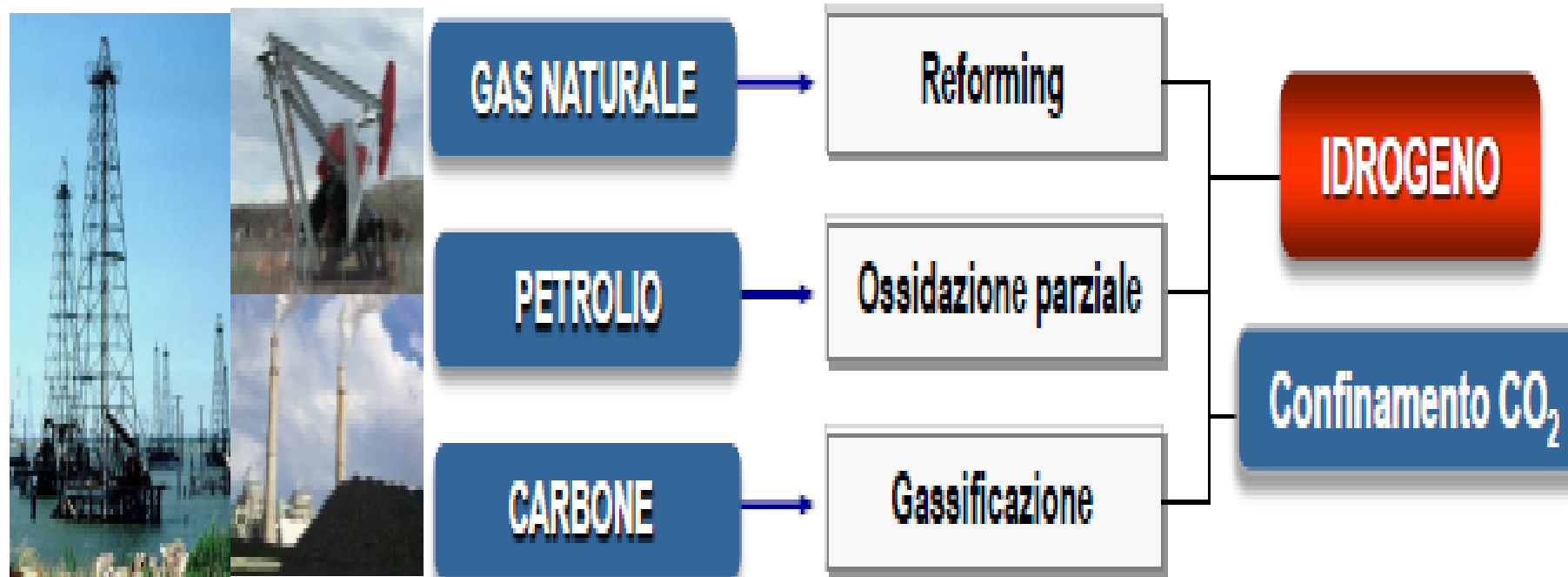
L'idrogeno da fossili

L'idrogeno da rinnovabili

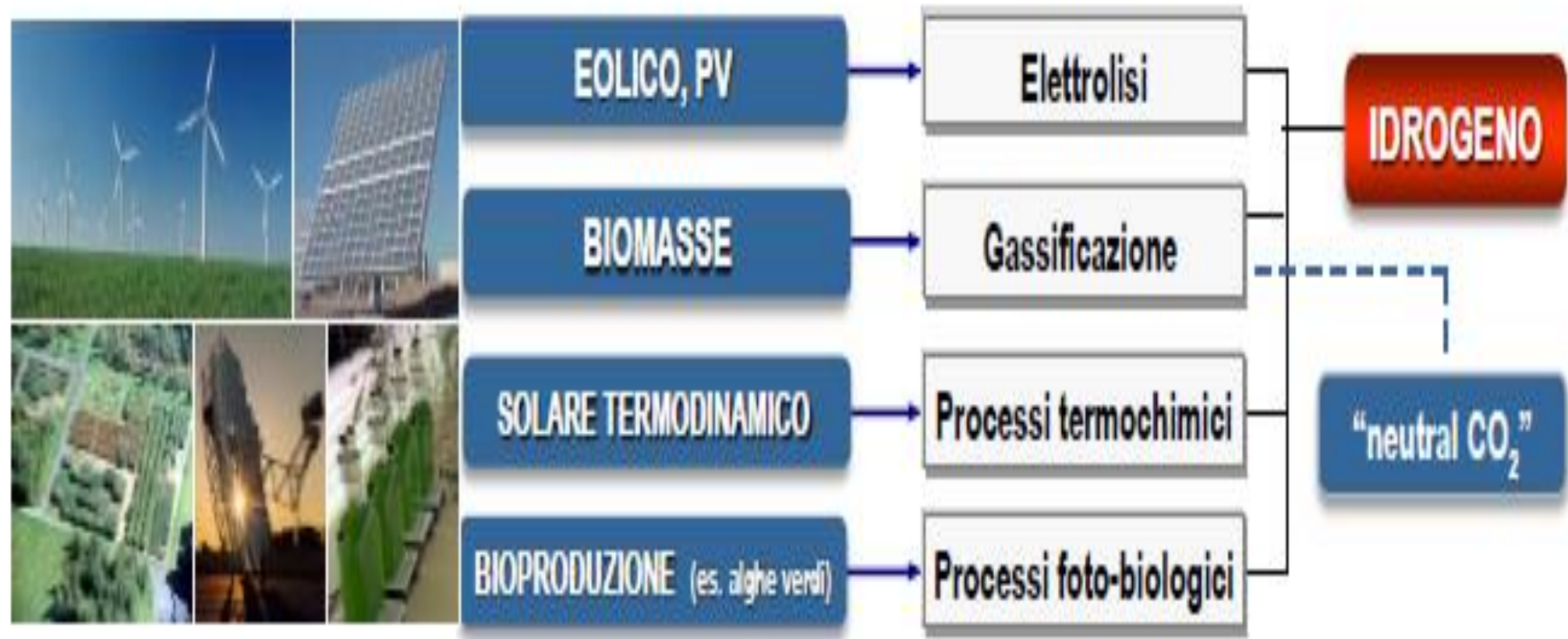
I colori dell'idrogeno

Le tecnologie di elettrolisi

Produzione da fonti fossili



Produzione da fonti rinnovabili



Grey Hydrogen

Process:

Steam Reforming

Source:

Natural Gas



Blue Hydrogen

Process:

Steam Reforming
With Carbon Capture

Source:

Natural Gas



Green Hydrogen

Process:

Electrolysis

Source:

Renewable
Energies



Black Hydrogen

Process:

Gasification

Source:

Coal



Pink Hydrogen

Process:

Electrolysis

Source:
Nuclear
Energy



Turquoise Hydrogen

Process:

Pyrolysis

Source:
Natural
Gas

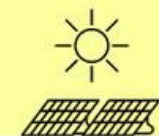


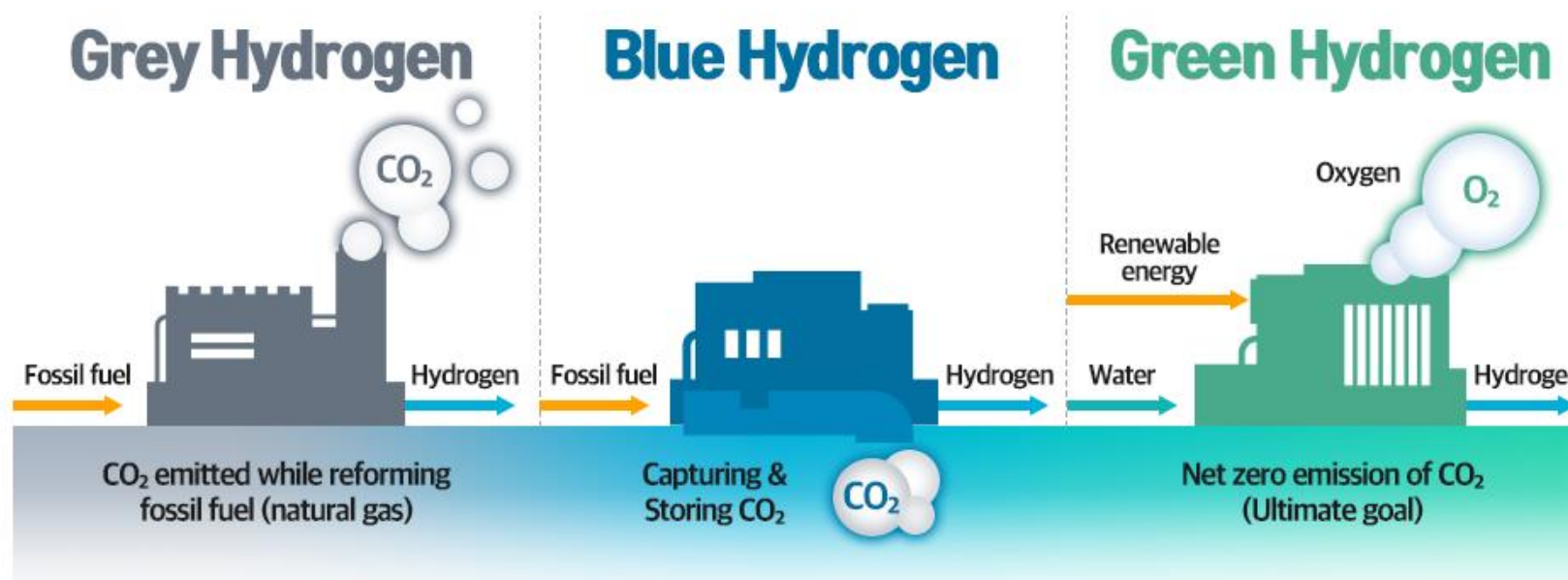
Yellow Hydrogen

Process:

Electrolysis

Source:
Solar
Energy





Produzione di idrogeno blu
tramite il processo di
STEAM METHANE REFORMING



Crescenti
opportunità
di utilizzo di

BIOMETANO

Catturata
tramite il
processo di

**CARBON CAPTURE
& STORAGE**

Produzione di idrogeno verde
tramite il processo di
ELETTROLISI



Proveniente
da

FONTI RINNOVABILI
(eolico, solare)

- **Reforming del metano di origine fossile**
- Tecnologia di produzione dell'idrogeno più diffusa nel mondo

- **Reforming del metano con CCS
(Carbon Capture & Storage)**
- Tecnologia di produzione dell'idrogeno nel breve-medio periodo
- Consente di ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera (fino al 90% rispetto al reforming del metano di origine fossile)

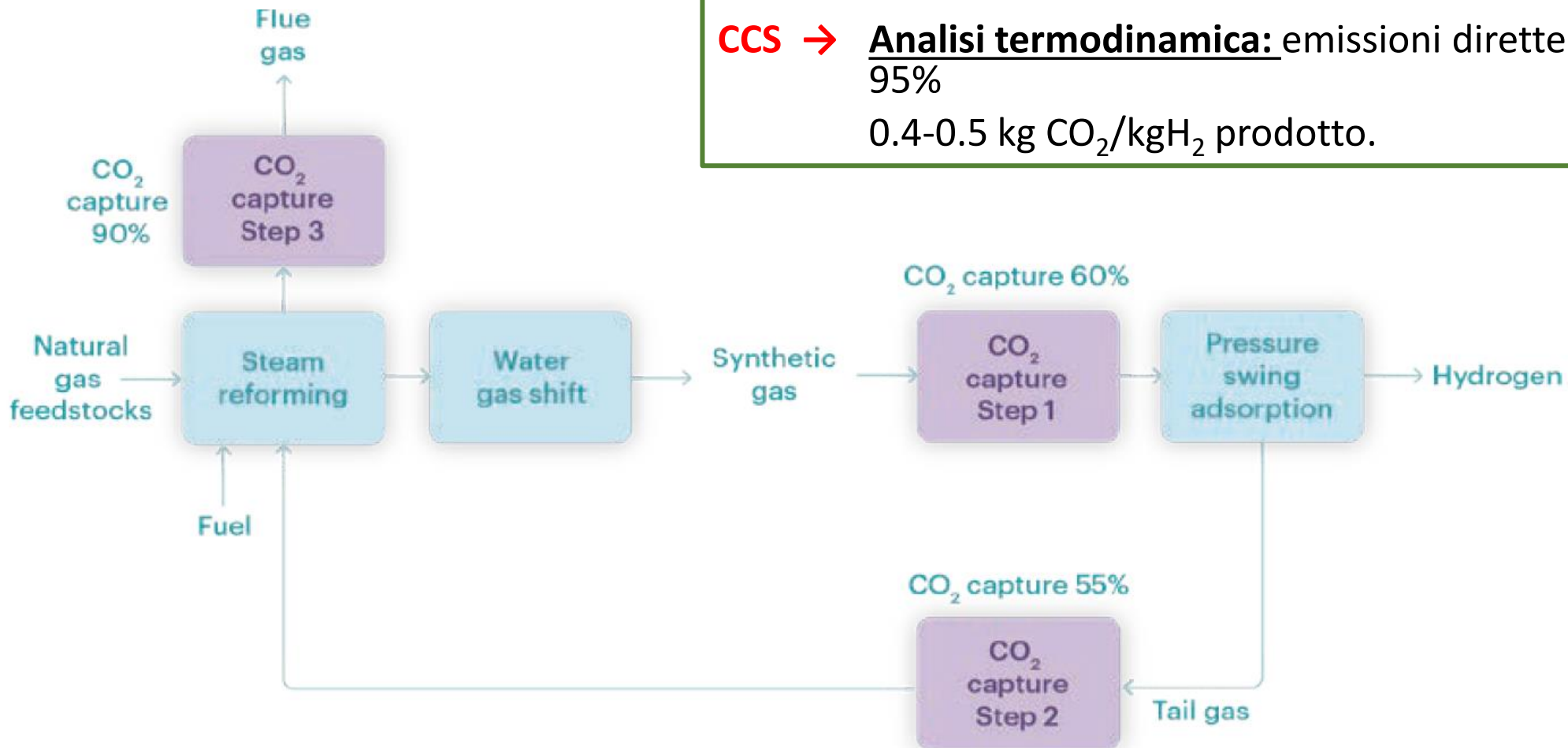


SMR → CO₂ 8-10 kg/KgH₂ prodotto



Taglia degli impianti: 15000-300000 Nm³/h

CCS → Analisi termodinamica: emissioni dirette di CO₂ ridotte del 95%
0.4-0.5 kg CO₂/kgH₂ prodotto.



La filiera del petrolchimico: la bioraffineria di Gela



750.000 t/a



~30 kt/anno di H₂



green diesel (710 kt/anno 2019)
green GPL
green nafta



CH₄ Steam Methane Reformer

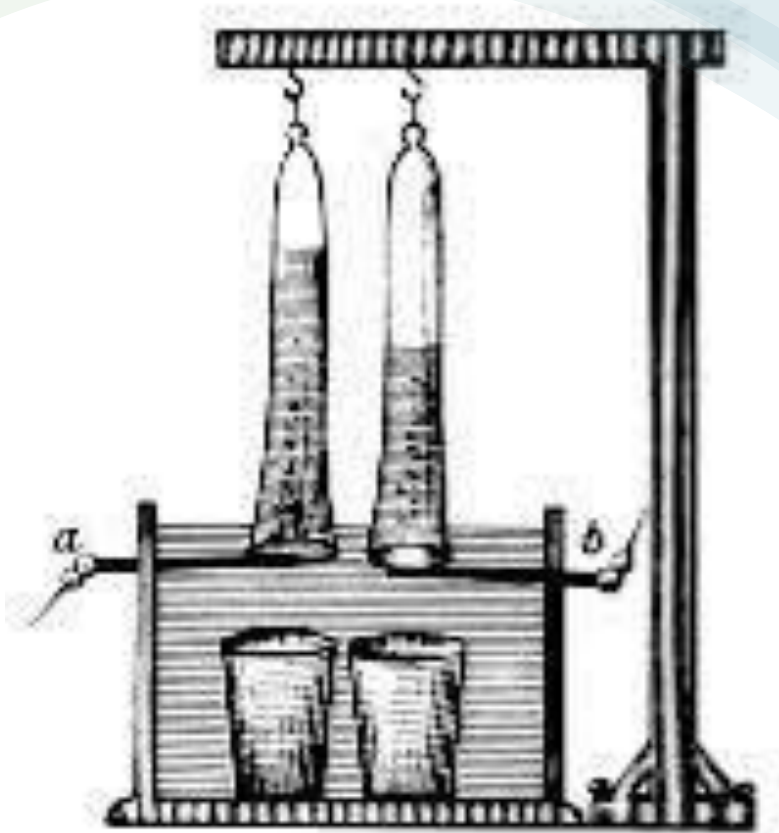
I PROCESSI DI PRODUZIONE DELL'IDROGENO

L'idrogeno da fossili

L'idrogeno da rinnovabili

I colori dell'idrogeno

Le tecnologie di elettrolisi

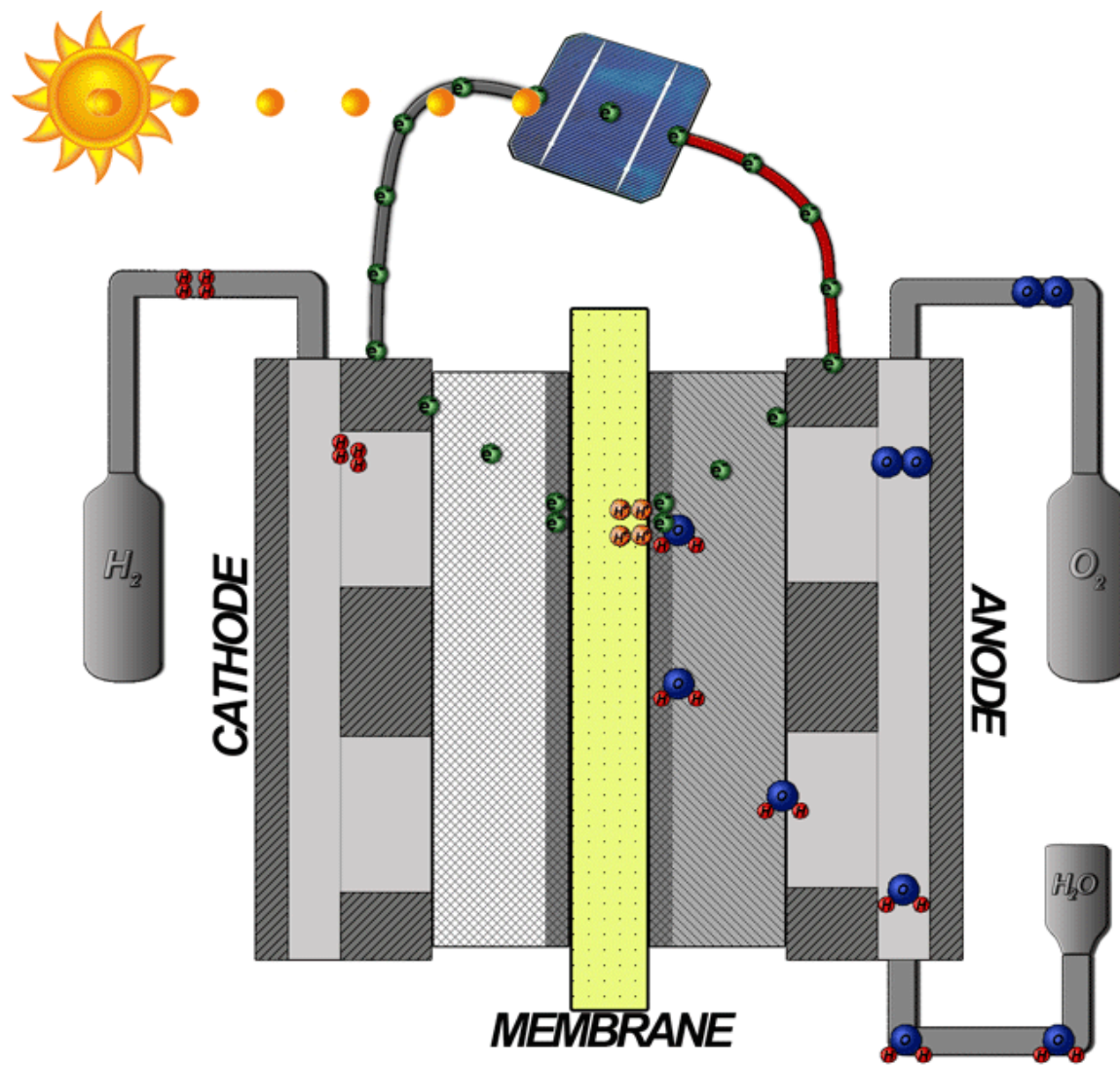


L'idrogeno verde- l'elettrolisi

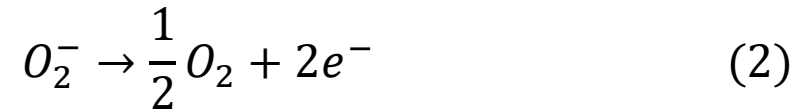
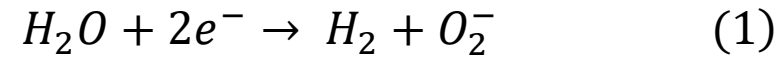
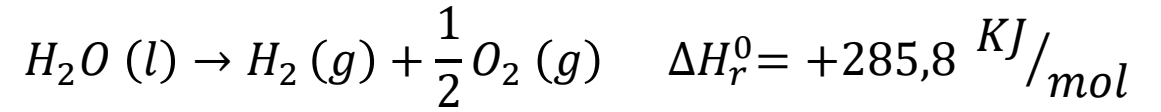
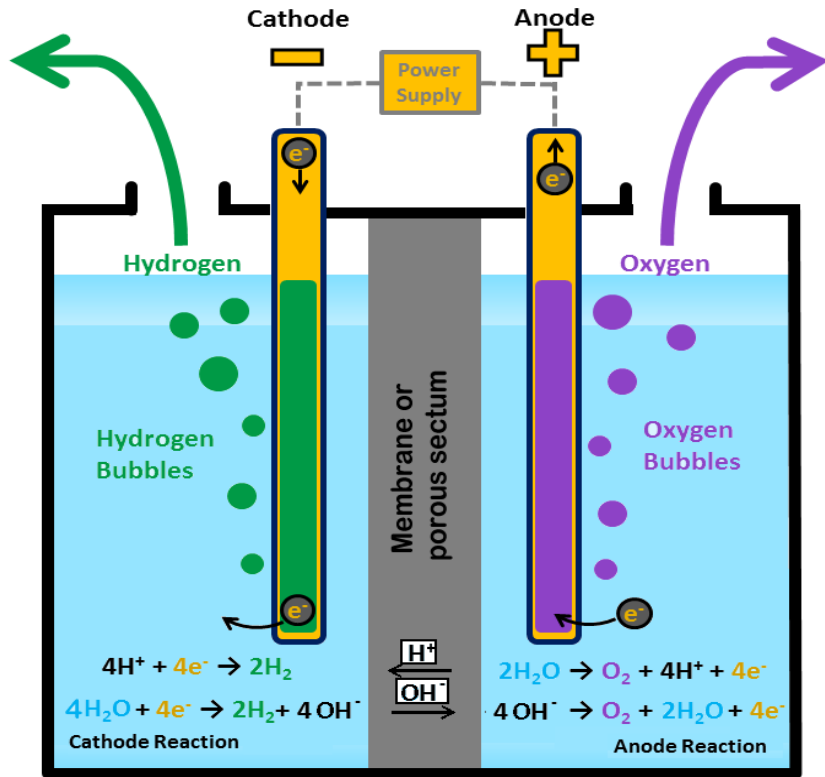
- XIX secolo William Nicholson e Anthony Carlisle
- 1831 Michael Faraday studiò il fenomeno conandone il termine
- 1902 400 unità di elettrolizzatori sperimentale
- 1939 primo impianto da 10000 Nm³/h di H₂ (2MWe)

- 2030 Si prevede 170-365 GW

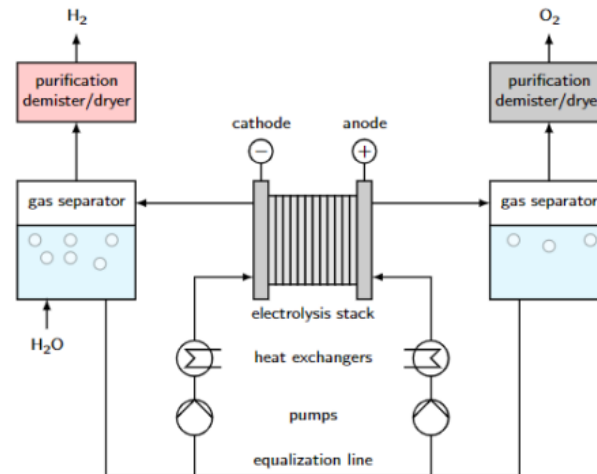
L'idrogeno verde- l'elettrolisi



L'idrogeno verde- l'elettrolisi

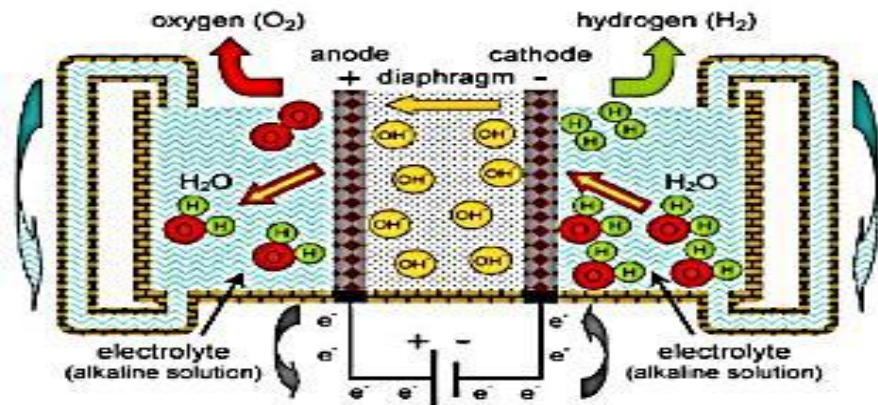


$$\eta_{\text{sys}} = \frac{\text{Hydrogen Heating Value}}{\text{Electrical Energy Input}}$$

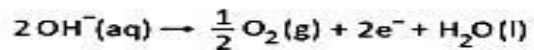


Le principali tipologie di elettrolizzatori

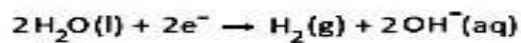
ALKALINE WATER ELECTROLYZER (AWE)



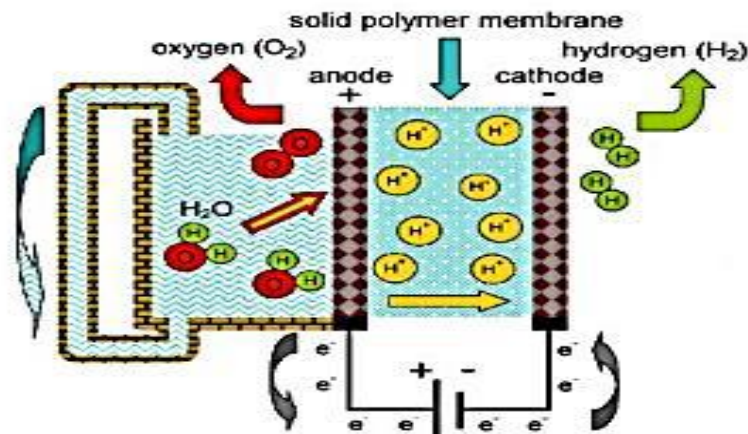
SEMI-REAZIONE ANODICA:



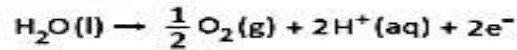
SEMI-REAZIONE CATODICA:



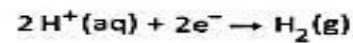
PROTON EXCHANGE MEMBRANE ELECTROLYZER (PEM)



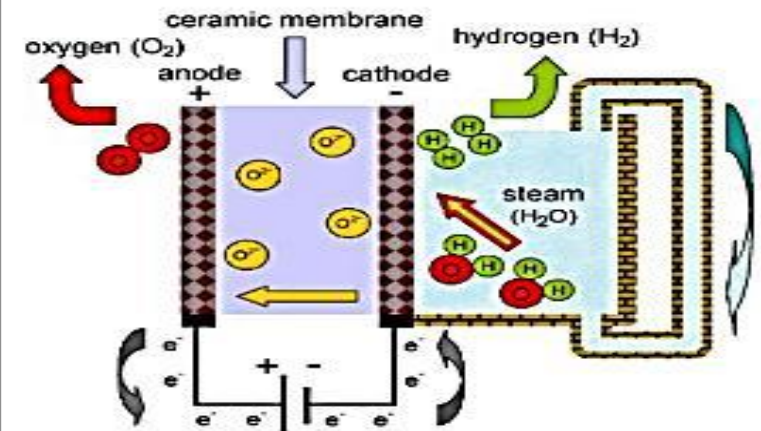
SEMI-REAZIONE ANODICA:



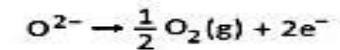
SEMI-REAZIONE CATODICA:



SOLID OXIDE ELECTROLYZER (SOE)



SEMI-REAZIONE ANODICA:

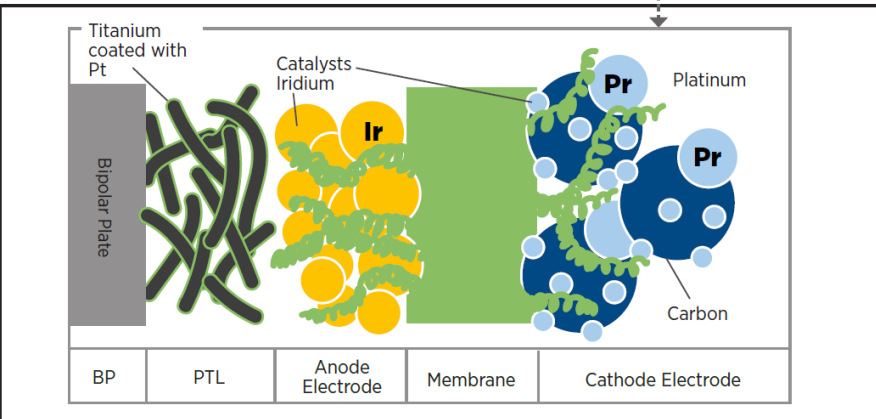


SEMI-REAZIONE CATODICA:

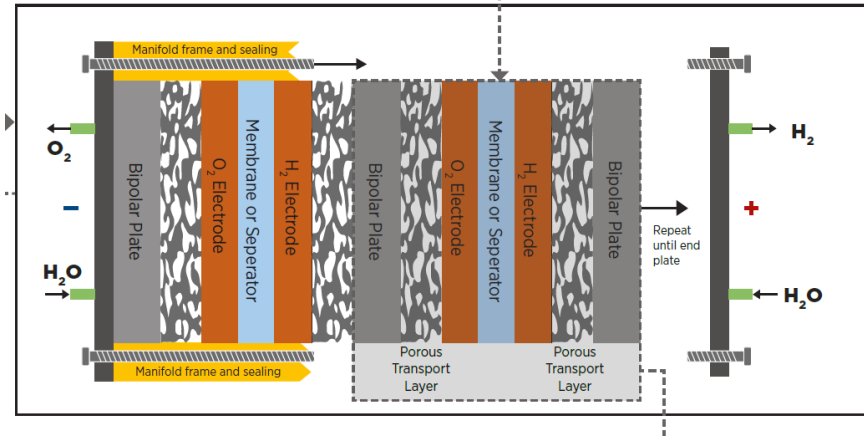


L'elettrolizzatore i diversi livelli

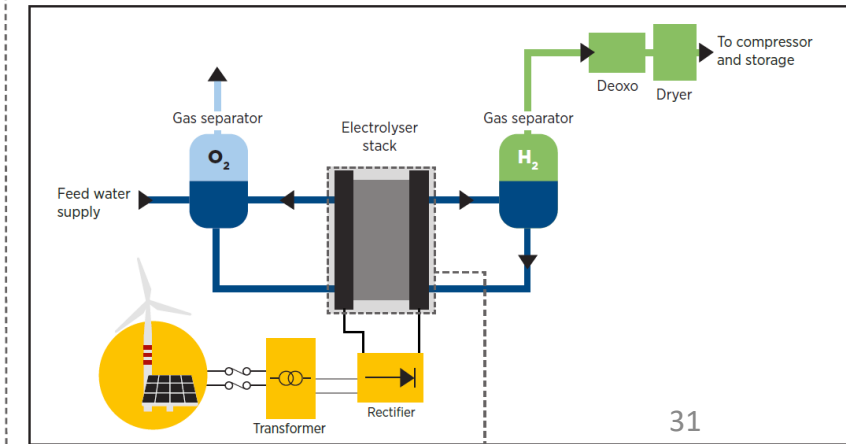
CELL LEVEL



STACK LEVEL



SYSTEM LEVEL



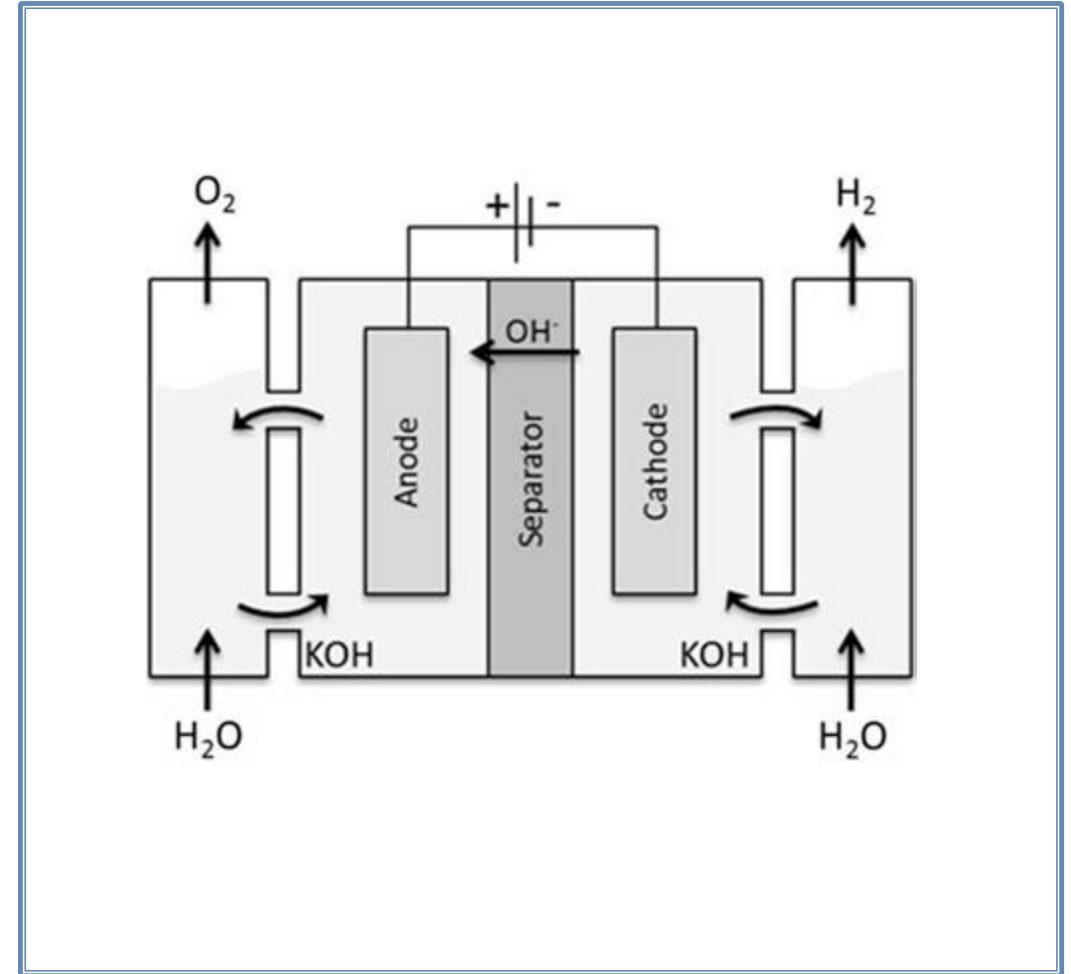
L'elettrolizzatore alcalino

Condizioni operative e caratteristiche principali:

Intensità di corrente	400 mA cm ⁻² ,
Temperatura	70–90 °C,
Voltaggio della cella	1.85–2.2 V,
Elettrolita	KOH o NaOH
Separatore	base di ZrO ₂
Elettrodi	base di Ni
Efficienza di conversione	50–70%.

Vantaggi principali

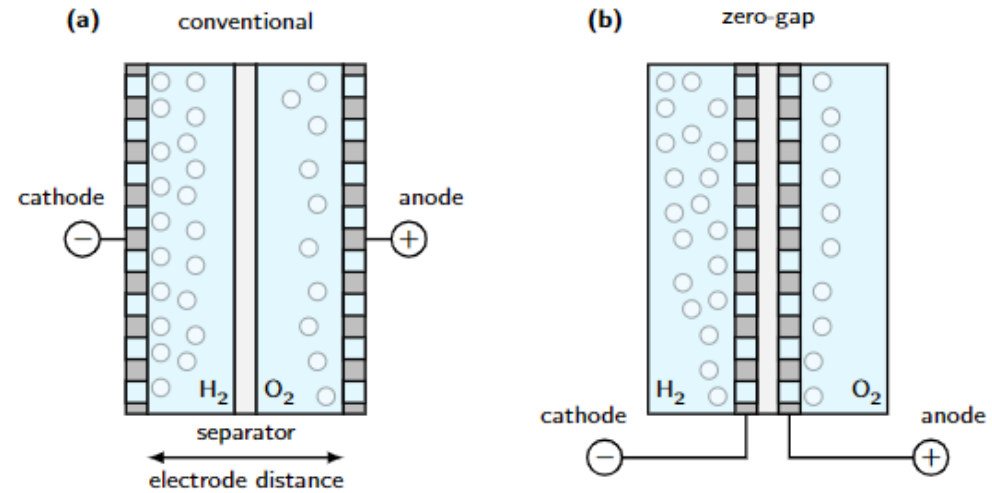
- Catalizzatori non sono metalli nobili
- Bassa temperatura
- Alta maturità commerciale



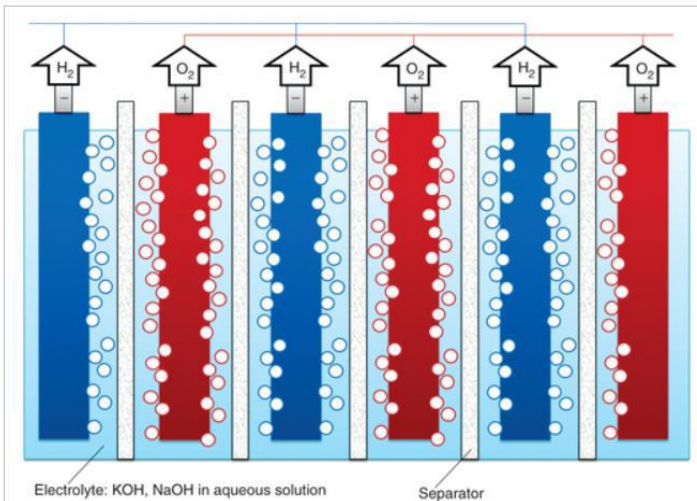
L'elettrolizzatore alcalino-design cella

Setto separatore

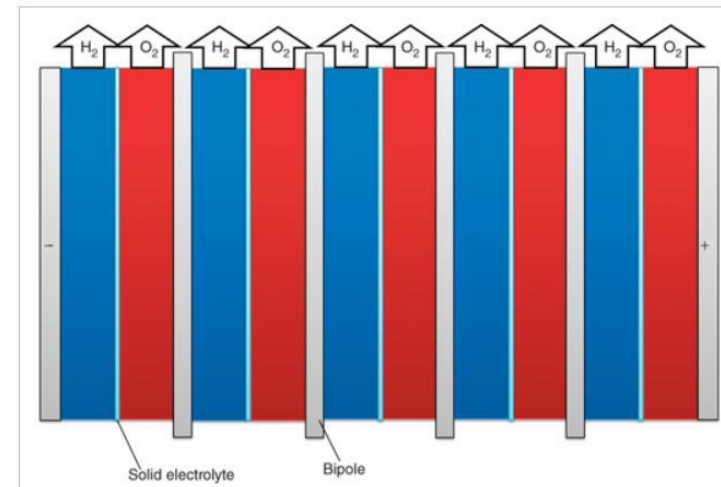
- Convenzionale
- Zero gap



Disposizione degli elettrodi

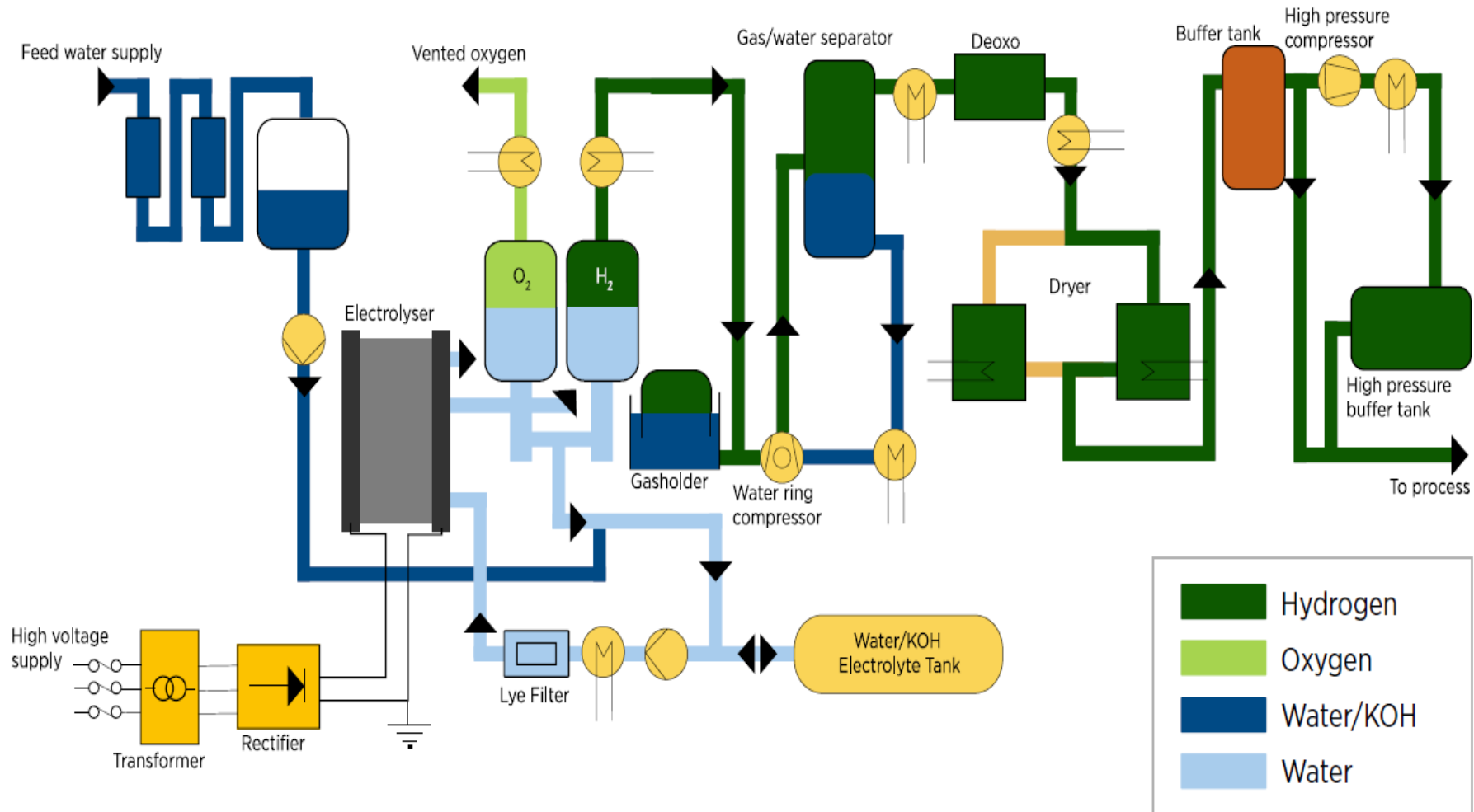


Unipolare



Bipolare

Rappresentazione schematica di un elettrolizzatore alcalino



McPhy

McLyzer elettrolizzatori alcalini con una produzione di idrogeno nominale da 100 Nm³/h (0,5 MWe) a 800 Nm³/h (4 MWe)



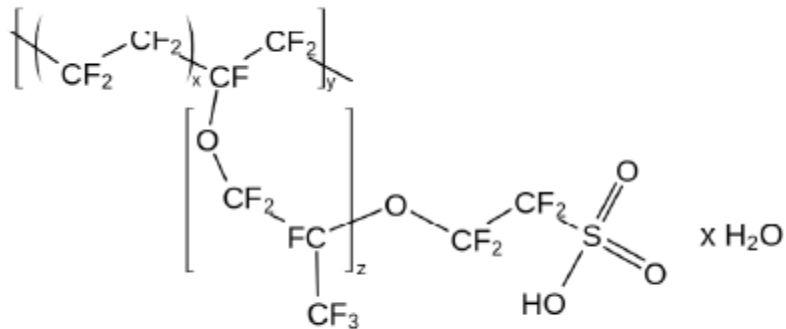
'Augmented McLyzer' moduli da 8 MWe

Progetto GreenH2Atlantic taglia complessiva 100 MW di capacità (Sines, in Portogallo)

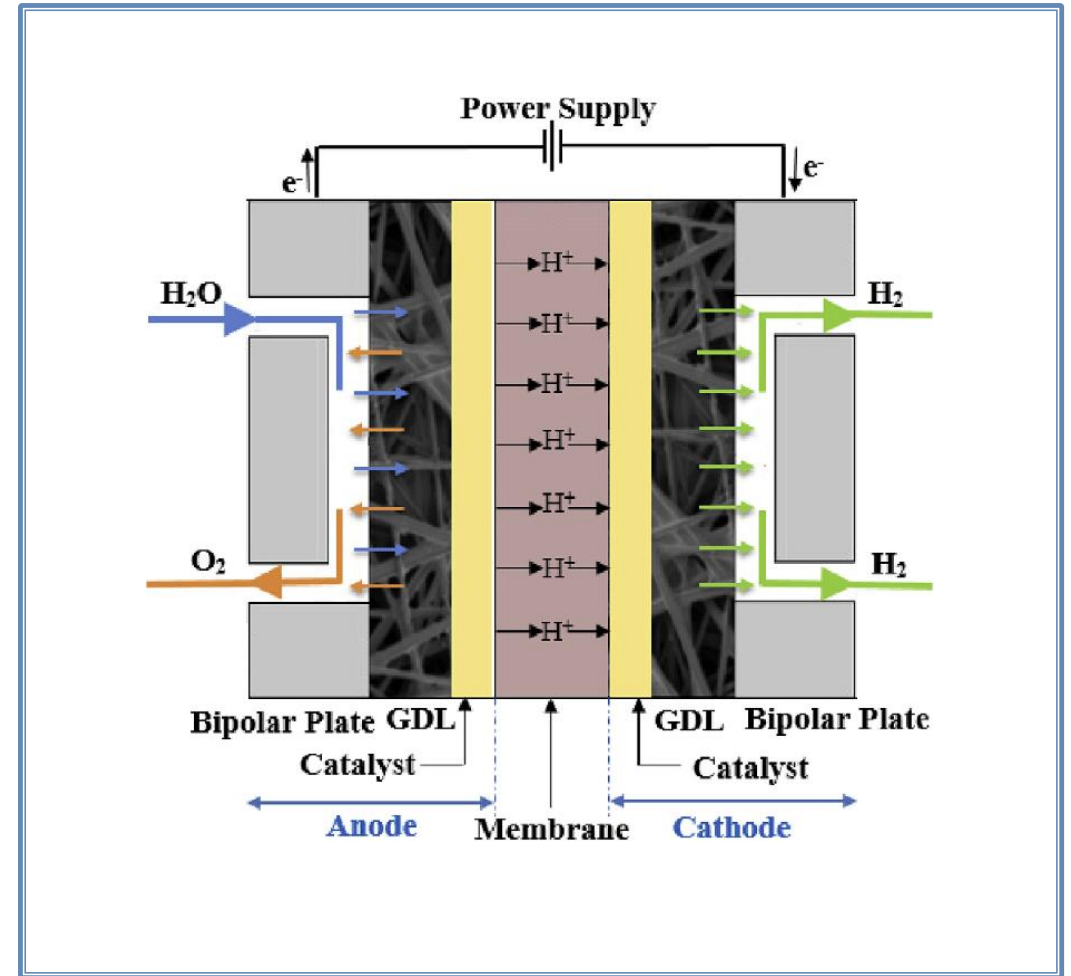
L'elettrolizzatore polimerico

Condizioni operative e caratteristiche principali:

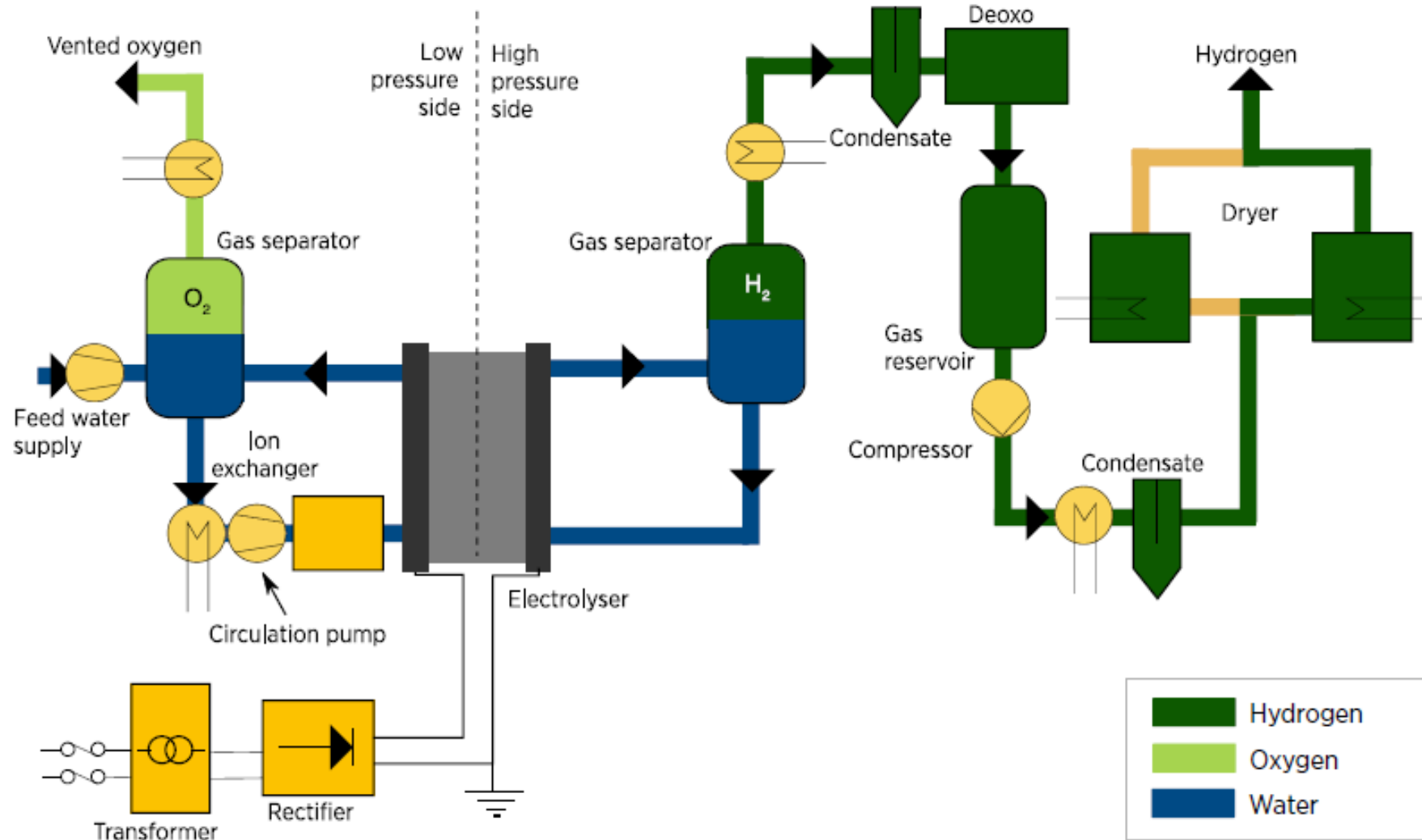
Intensità di corrente	2000 mA cm ⁻² ,
Temperatura	60-80 °C,
Voltaggio	range 1-6 V
Membrana	base di Nafion
Elettrodi	base di Platino e Iridio



· Rappresentazione schematica della struttura chimica del Nafion®.



Rappresentazione schematica di un elettrolizzatore PEM

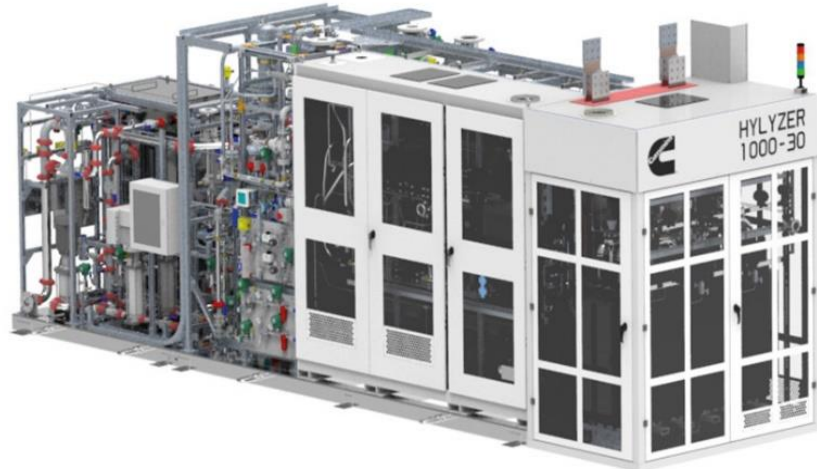
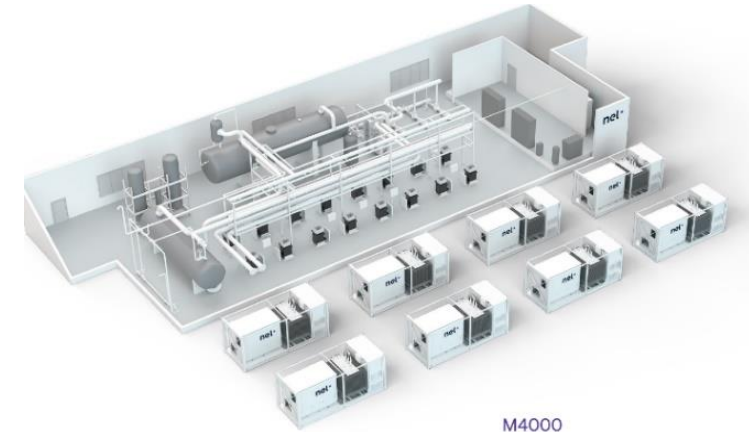


Esempi di elettrolizzatori PEM su scala commerciale

PEM containerizzati

- MC250 1,25 MWe per una produzione di 246 Nm³/h
- MC500 2,5 MWe per una produzione di 492 Nm³/h di idrogeno

nel



Elettrolizzatori PEM HyLYZER

HyLYZER[®] 200-30 con una produzione di 200 Nm³/h di idrogeno a 30 bar ed una taglia nominale di 1 MWe

l'HyLYZER[®] 4000-30 con una produzione di 4000 Nm³/h di idrogeno ed una taglia nominale di circa 8 MW



Confronto PEM e alcalino

Vantaggi

Densità di corrente maggiore
Tensione operativa più alta
Maggiore efficienza
Range di carico parziale più ampio
Design compatto del sistema
Maggiore purezza del gas
Funzionamento in dinamico
Rapidità di risposta del sistema a una variazione delle condizioni operative

Svantaggi

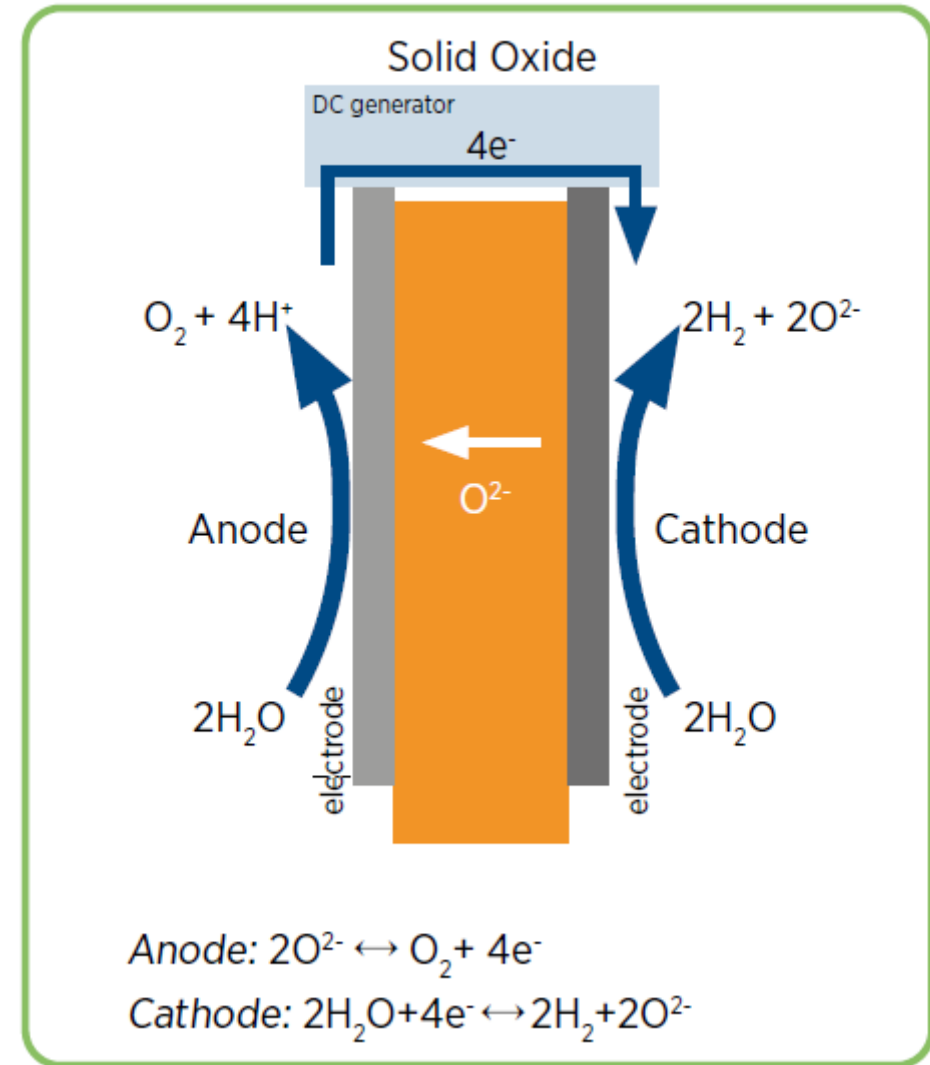
Alto costo delle materie prime per costruirlo
Commercializzazione
Durata di vita inferiore

L'elettrolizzatore SOEC ad alta temperatura

celle elettrolitiche ad ossidi solidi
Solid Oxide Electrolyzers – SOEC

Condizioni operative e caratteristiche principali:

Temperatura	700-900 °C
Uso di catalizzatori non nobili	Ni
Elettrodo lato O ₂	Perovskite-type (e.g. LSCF, LSM)
Elettrodo lato H ₂	Ni/YSZ



L'elettrolizzatore SOEC svantaggi e vantaggi

Principali svantaggi

- Elevata temperatura di processo, che richiede diversi accorgimenti impiantistici da un punto di vista del *Balance of Plant*
- Ridotta vita utile 10.000-20.000 h in sistemi commerciali
- Scarsa capacità di operare in dinamico
- Basso grado di maturità della tecnologia, che ne incrementa i costi di investimento
- Scarsità di assemblatori/manutentori qualificati.
- Il costo della tecnologia è ancora elevato ed estremamente variabile

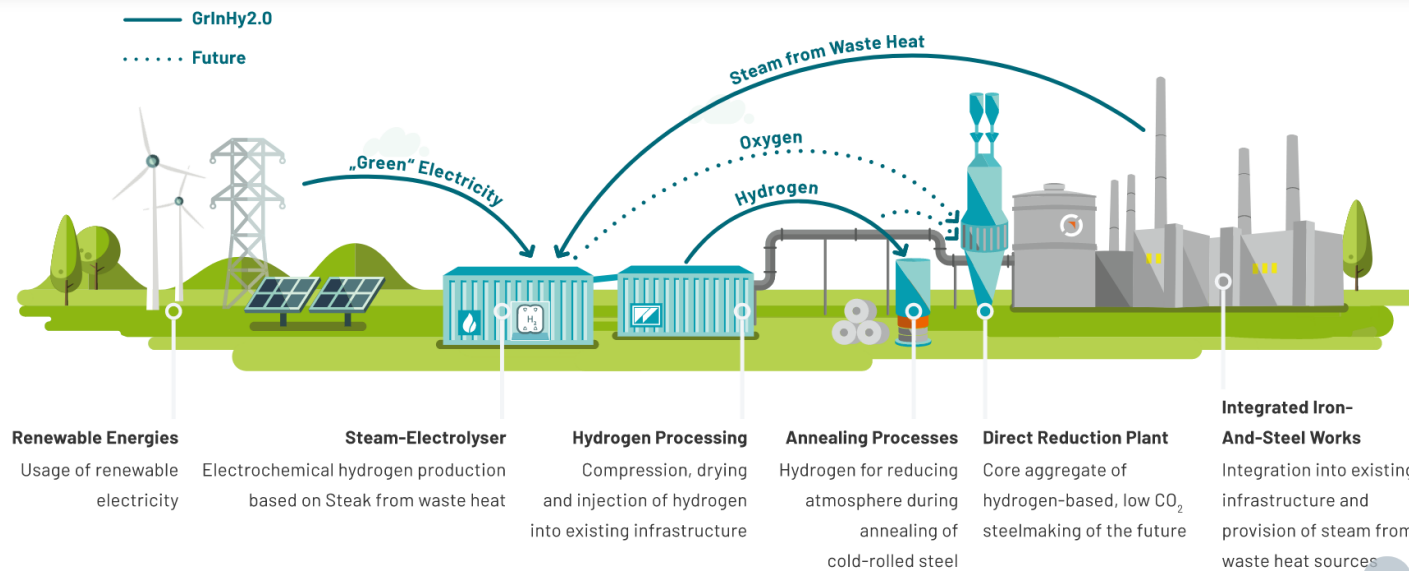
Principali vantaggi

- Integrazione con sistemi in cui è presente calore/vapore in eccedenza come sottoprodotto di diversi processi
- Alta efficienza raggiungere bassi consumi specifici (<40 kWh/kg)
- Possibilità di esercire in modalità reversibile
- Possibilità di fare la co-elettrolisi

Esempi di applicazioni dell'elettrolizzatore SOEC



Elettrolizzatore SOEC da 200 Nm³/h (720 kWe) presso l'acciaiera della Salzgitter



Partner: Salzgitter, Sunfire, Paul Wurth, Tenova e il centro di ricerca francese CEA
EU Funded FCHJU

Parametro	Unità	Alcalino	PEM	SOEC
Elettrolita		Liquido 25-30 % (KOH)aq	Solido Acido PFOA	Solido YSZ, ScSZ
Anodo		NiCo, LSC, Co ₃ O ₄	Ossidi Ir/Ru	LSM, LSCF
Catodo		Ni foam/Ni- acciaio Ni-Mo/ZrO ₂ -TiO ₂	Platino	Ni-YSZ
Parametri tecnici				
Temperatura	°C	70-90	50-80	700-850
Pressione	bar	1-30	1-70	1-5
Purezza H ₂ prodotto	% vol.	99,9 %-99,9998%	99,9 %-99,9999%	99,99 %
Densità di corrente	A/cm ²	0,2-0,8	0-3 (fino a 20)	0-2
Tensione di cella	V/cella	Fino a 2	Fino a 2	<1.5

Parametro	Unità	Alcalino	PEM	SOEC
Consumo energetico (stack)	kWh _e /kg _{H2}	47-66	47-66	35-50
Consumo energetico (sistema)	kWh _e /kg _{H2}	50-80	50-80	40-60
Efficienza (sistema)	%	50-80	50-70	75-95
Capacità media	Nm ³ /h	1-500	1-500	1Modulo: 63 Nm ³ /h
Taglia media dello Stack	kW _e	1000-2500	1000-2500	1-52 Modulo: 225 kW
Vita utile stack	ore	80000	60000	20000
Variazioni di carico	%	15-100	10-160	5-100
Flessibilità a freddo	min	<40	<10	300-500

L'elettrolizzatore AEM

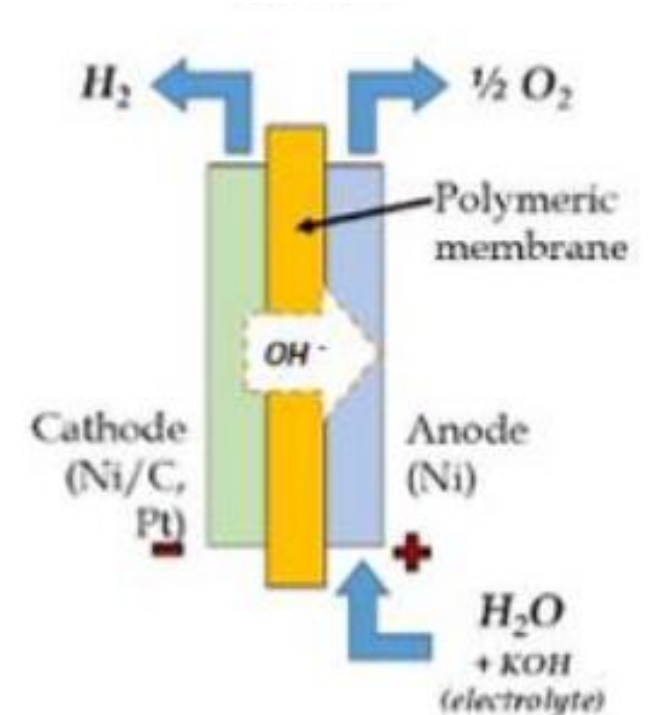
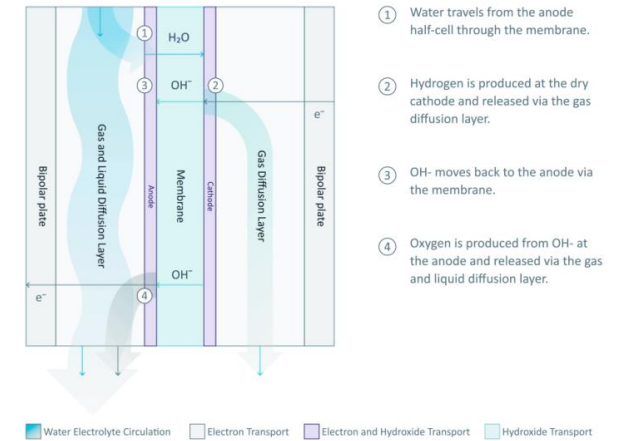
AEM: elettrolisi dell'acqua con membrana a scambio anionico

Unisce i vantaggi dei sistemi alcalini e PEM

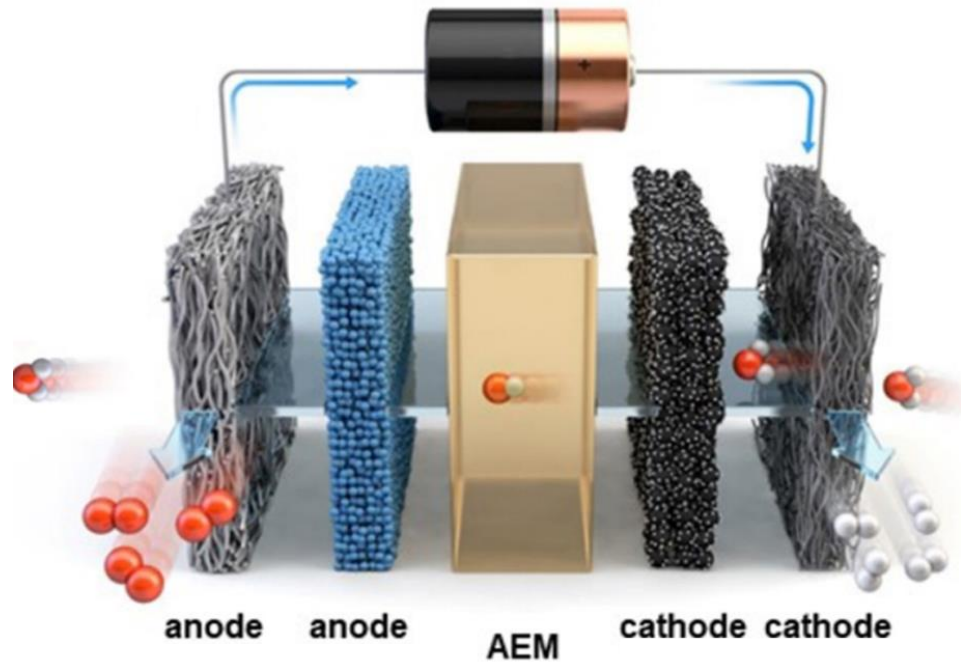
Elettrolita: soluzione acquosa di idrossido di potassio o acqua pura più una membrana polimerica.

Condizioni operative e caratteristiche principali:

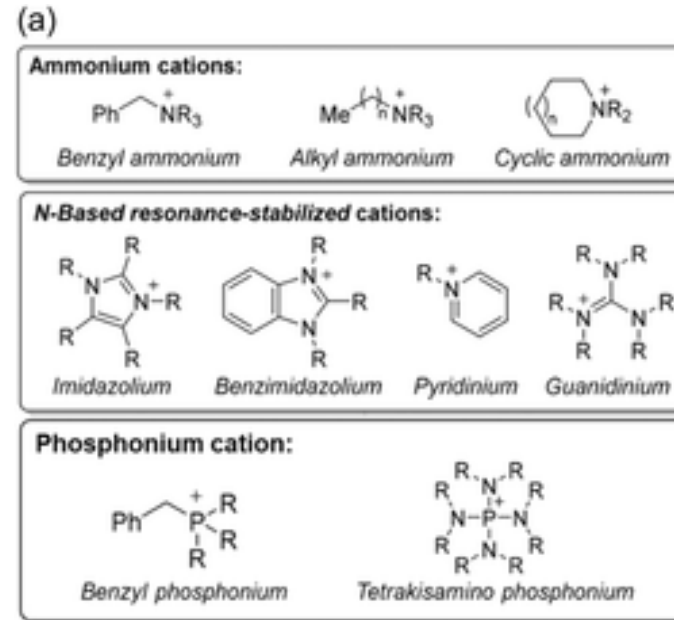
Intensità di corrente	1000-2000 mA cm ⁻² ,
Temperatura	40-80 °C
Membrana	materiale polimerico accoppiato con un gruppo funzionale di scambio anionico
Elettrodi	
Anodo	IrO ₂ , Ni, leghe Ni-Fe e Grafene
Catodo	Pt, Ni-Mo, Ni,



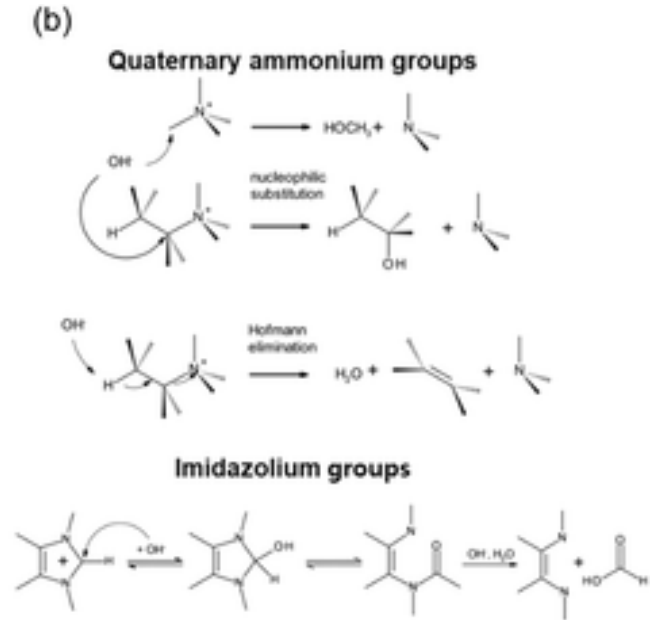
L'elettrolizzatore AEM



Fonte: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.002>



Fonte: <https://doi.org/10.1002/cnl2.9>



L'elettrolizzatore AEM

AEM Electrolyser EL 4.0

 Enapter



Production rate	Up to 500 NL/h, up to 1.0785 kg/24 h
Hydrogen output purity	35 barg: 99.9% (< 1,000 ppm H ₂ O and < 5 ppm O ₂) at 25 °C 8 barg: 98,8% (< 12,000 ppm H ₂ O and < 5 ppm O ₂) at 25 °C
Output pressure	Up to 35 barg
Nominal power consumption per Nm³ of H₂ produced	4.8 kWh/Nm ³ , beginning of life
Operative power consumption	2.4 kW, beginning of life
Peak power consumption	3 kW
Heat dissipation	0.6 kW, beginning of life
Max heat dissipation	0.9 kW, end of life
Standby power consumption¹	0.3 kW
Power supply	220 – 240 V (AC), 50/60 Hz
Maximum water input conductivity	20 μS/cm at 25 °C
Water consumption	~ 420 mL/h at 25 °C
Water input pressure range	1 – 4 barg
Ambient operative temperature range	5 °C – 45 °C
Ambient operative humidity range	Up to 90% humidity, non-condensing
IP rating	IP 20
Dimensions	W: 482 mm × D: 635 mm × H: 266 mm
Weight	42 kg

L'elettrolizzatore AEM

- L'AEM Multicore:
 - 210 Nm³/h di idrogeno verde all'ora (450 kg/d)
 - purezza del 99,999%
 - 1 MW



AEM Multicore™
~ 450 kg/24 h



AEM stack module



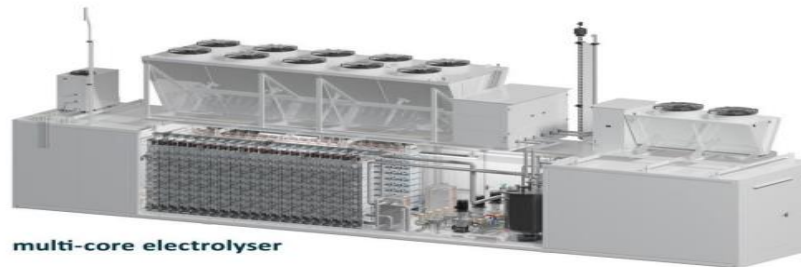
single-core electrolyser



cabinet



cluster

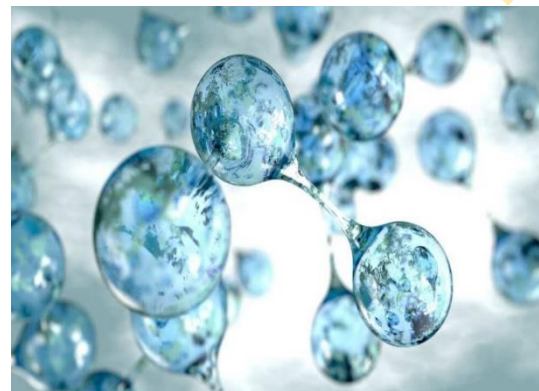


multi-core electrolyser



CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

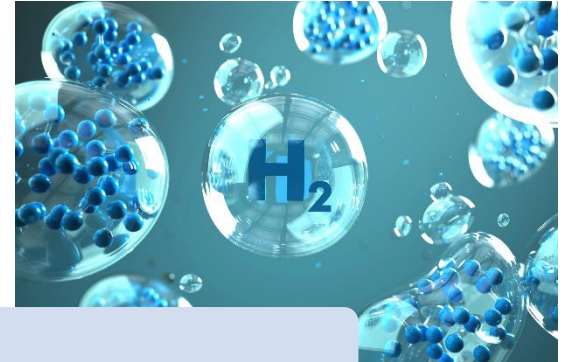
FINE 1° PARTE



Tecniche di produzione e metodi di impiego di idrogeno rinnovabile



I PROCESSI DI PRODUZIONE DELL'IDROGENO I COSTI



I costi di installazione



Il costo di produzione dell'idrogeno



Analisi di sensitività dei costi



Esempio applicativo di calcolo LCOH

Costi dei sistemi di elettrolisi

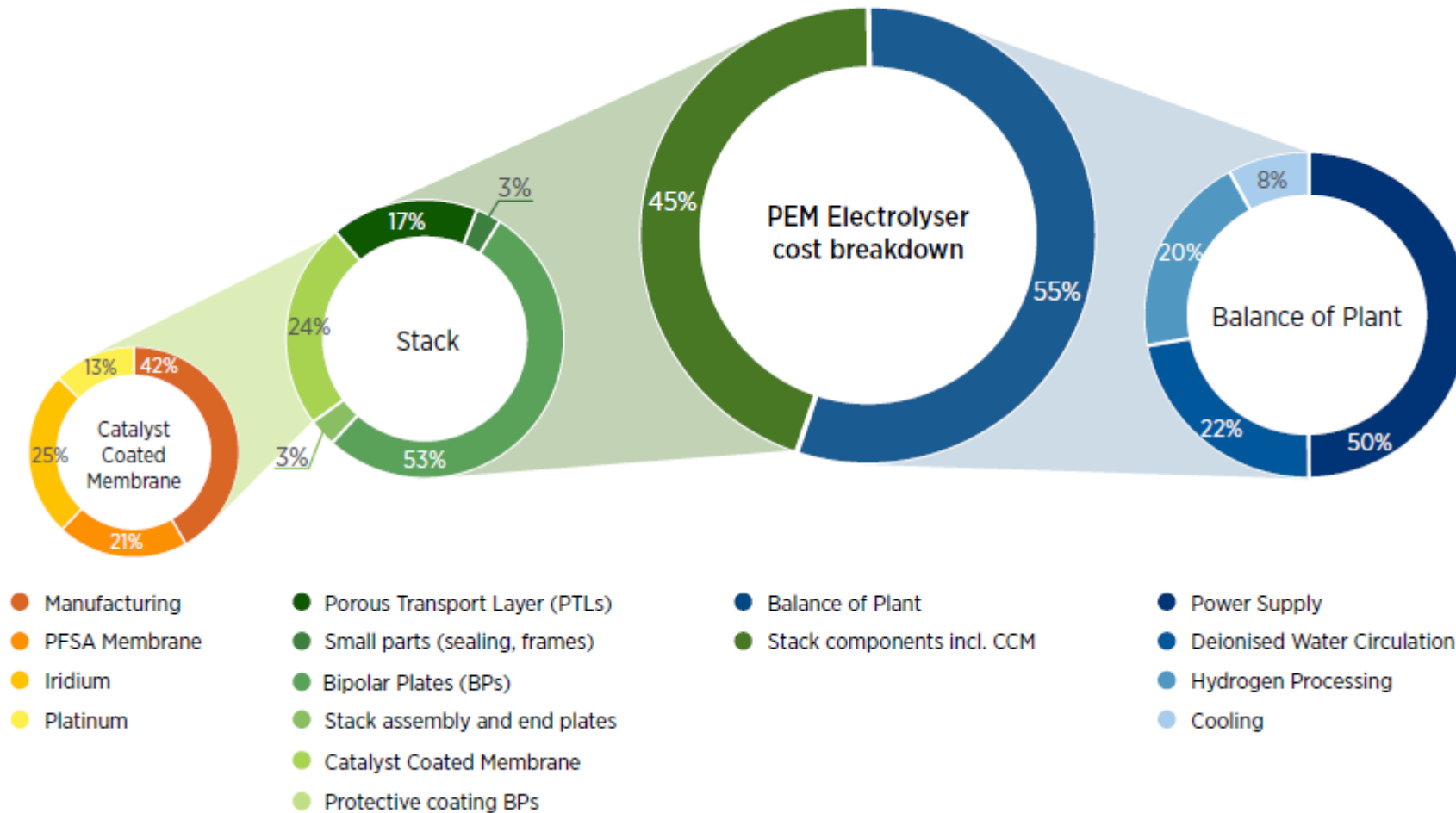
Parametri economici				
		Alcalino	PEM	SOEC
CAPEX impianto	\$/kWe	500-1000	700-1400	2000-5600
CAPEX sostituzione stack	\$/kWe	160-270	300-350	500-800
OPEX	%CAPEX	2-3	2-3	2-3

Caratteristiche tecniche-economiche delle principali tecnologie di elettrolisi dell'acqua al 2030 (IRENA)

Parametro	Unità	Alcalino	PEM	SOEC
Consumo energetico (sistema)	(kWh/kgH ₂)	<50	<55	<40
Efficienza (sistema)	(%)	>70	>65	>90
CAPEX impianto	(\$/kWe)	450-500	500-750	<1000
Vita utile stack	(ore)	>90.000	>50.000	>40.000

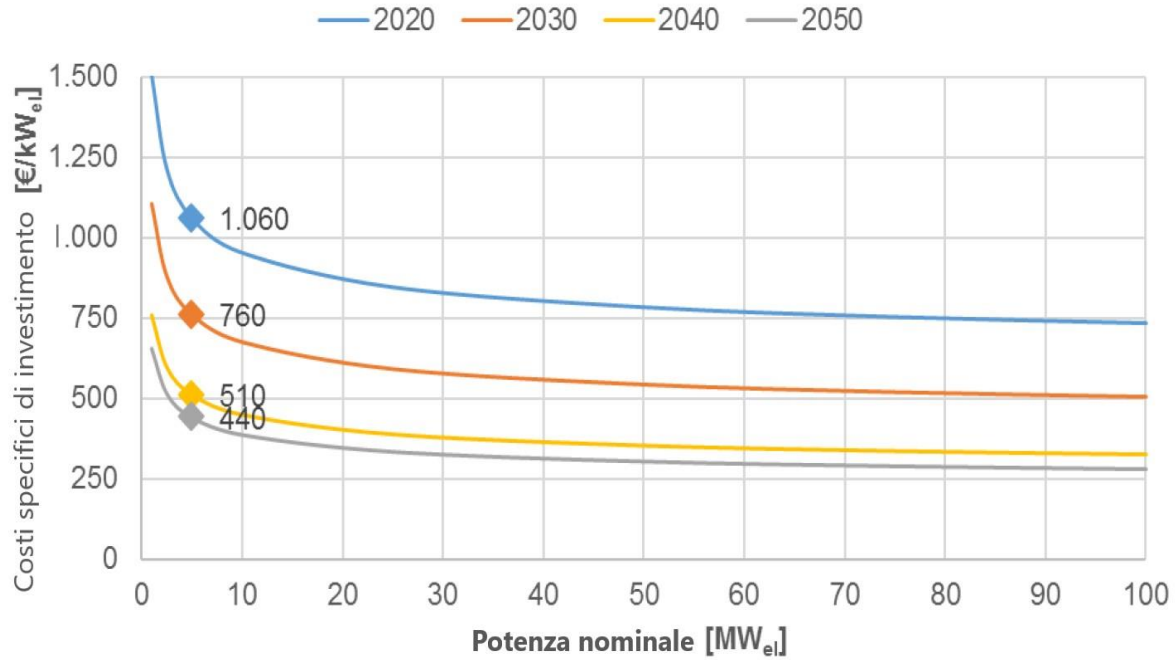
Composizione del costo

Composizione del costo di un elettrolizzatore da 1 MWe di tipologia PEM (IRENA)

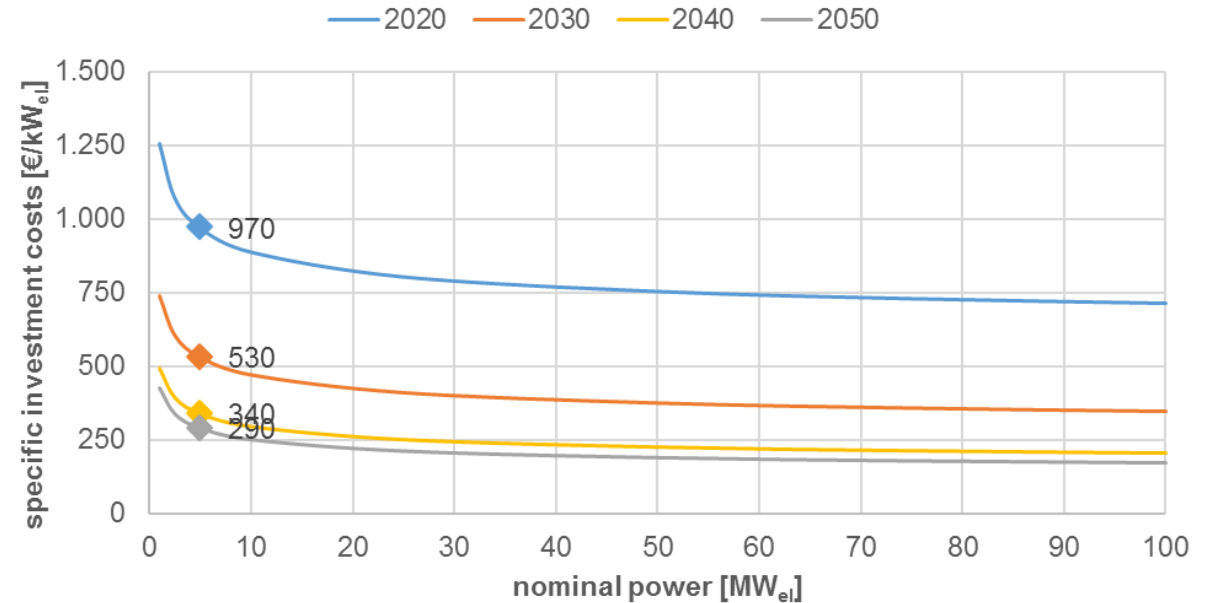


I costi degli elettrolizzatori dipendono dalla scala

Elettrolizzatore alcalino



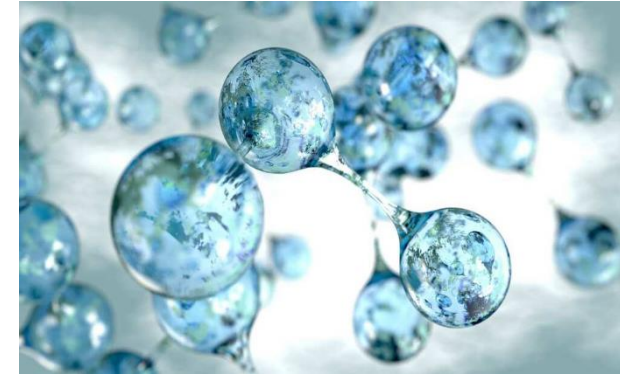
Elettrolizzatore polimerico



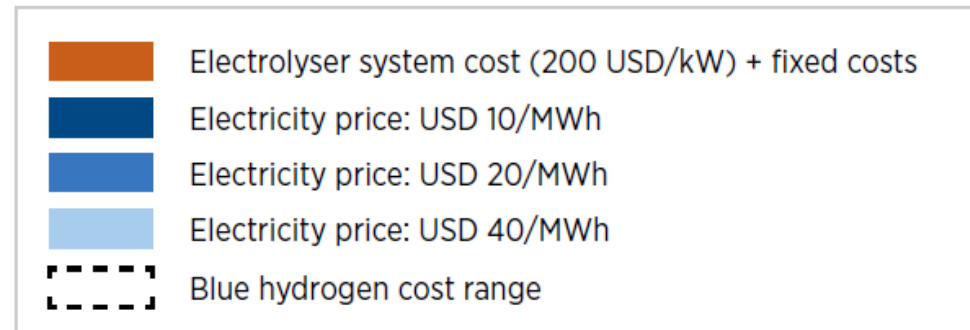
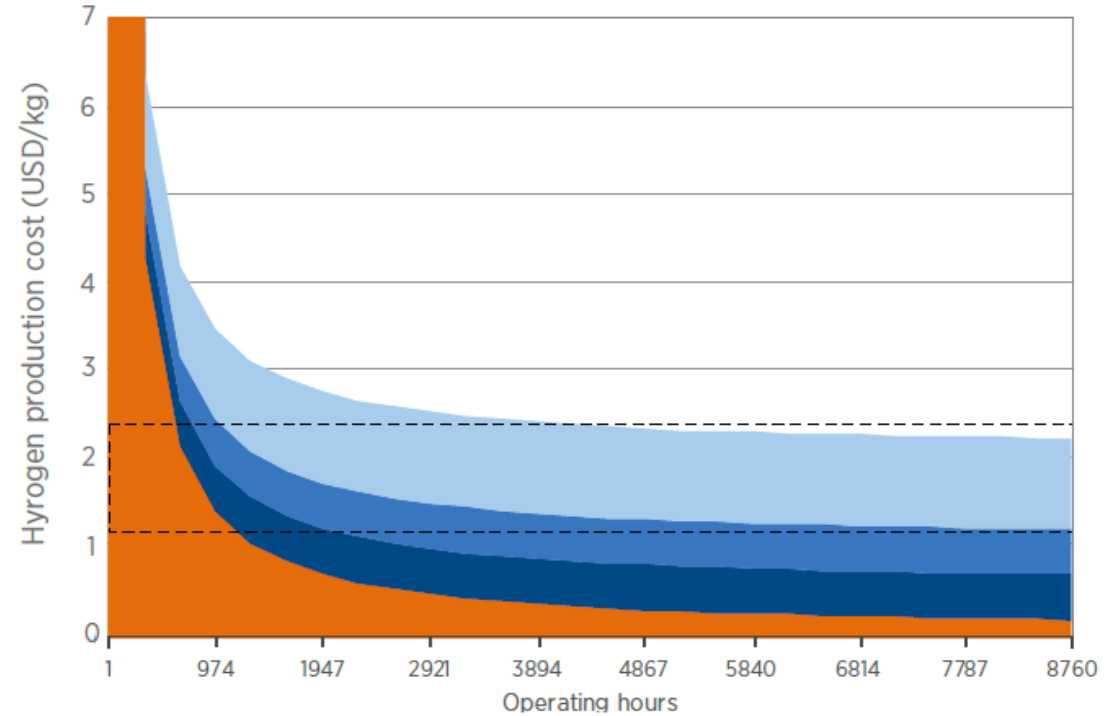
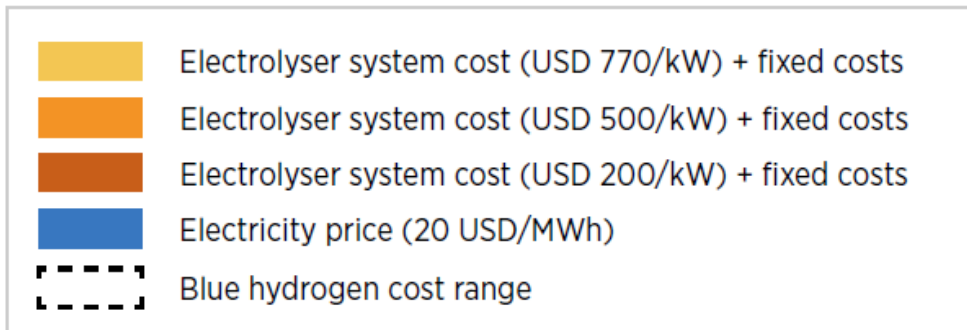
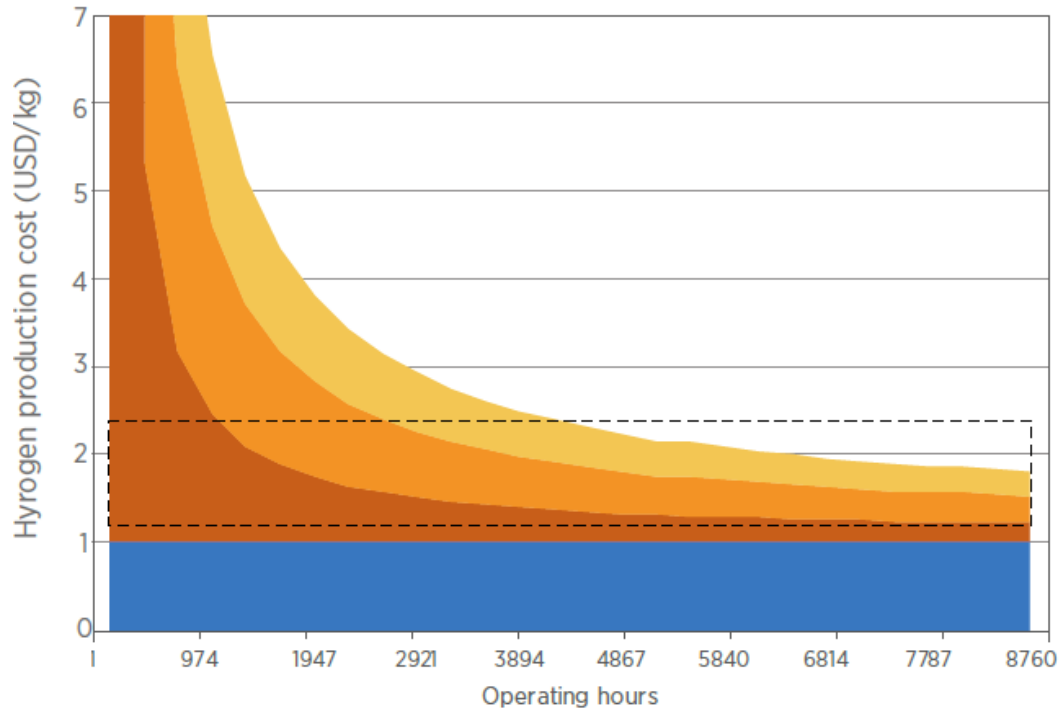
Il costo specifico di produzione dell'idrogeno

Levelised Cost Of Hydrogen LCOH

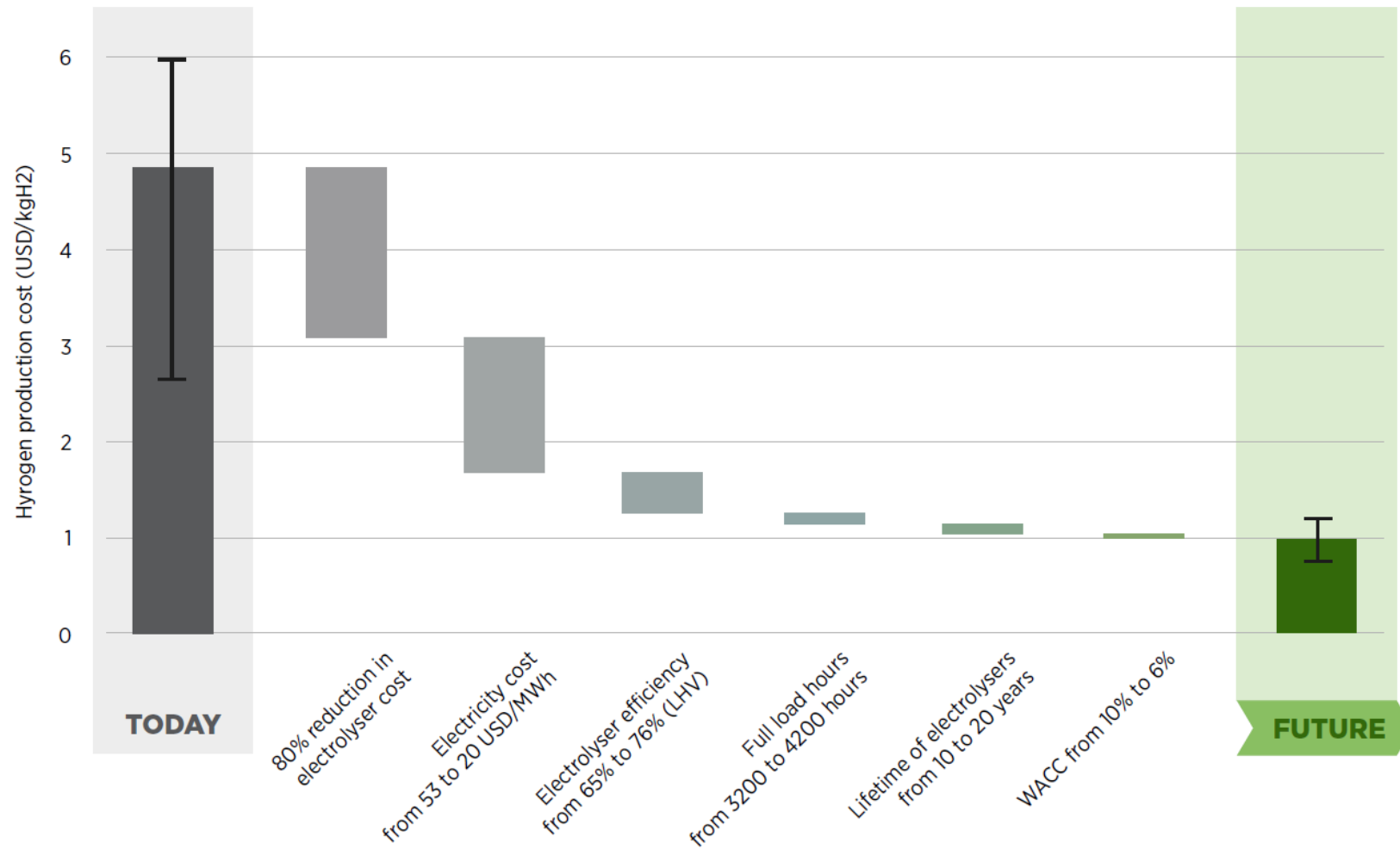
$$LCOH = \frac{\sum_{t=1}^n (CAPEX + OPEX + costo_{elettricit\grave{a}} + costo_{acqua})}{(1+i)^t} \frac{1}{\sum_{t=1}^n \frac{quantit\grave{a} \text{ di prodotto annuale } H_2}{(1+i)^t}}$$



LCOH in funzione del load factor e del costo dell'elettricità

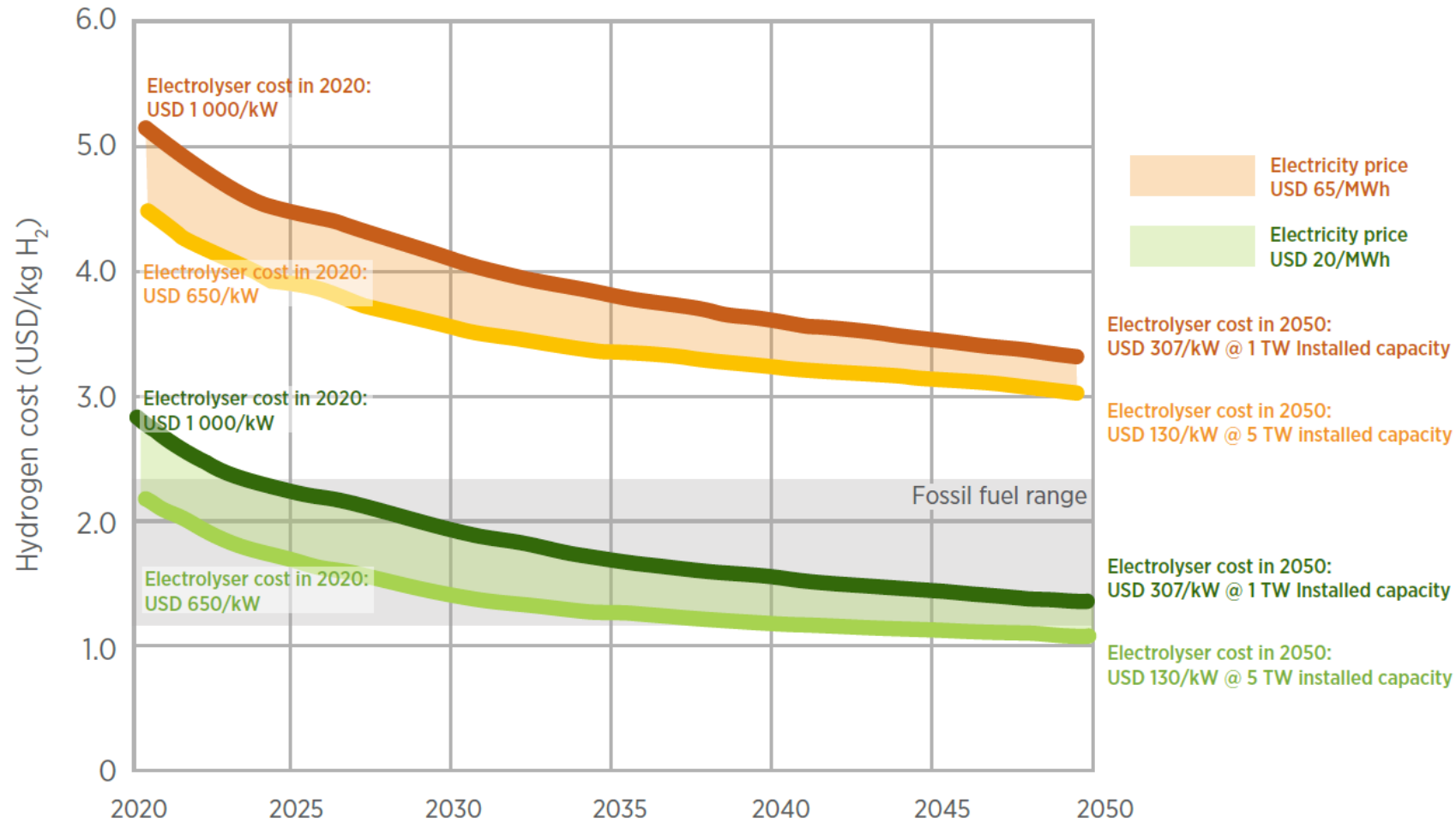


Riduzione dei costi di produzione dell'idrogeno nel lungo termine

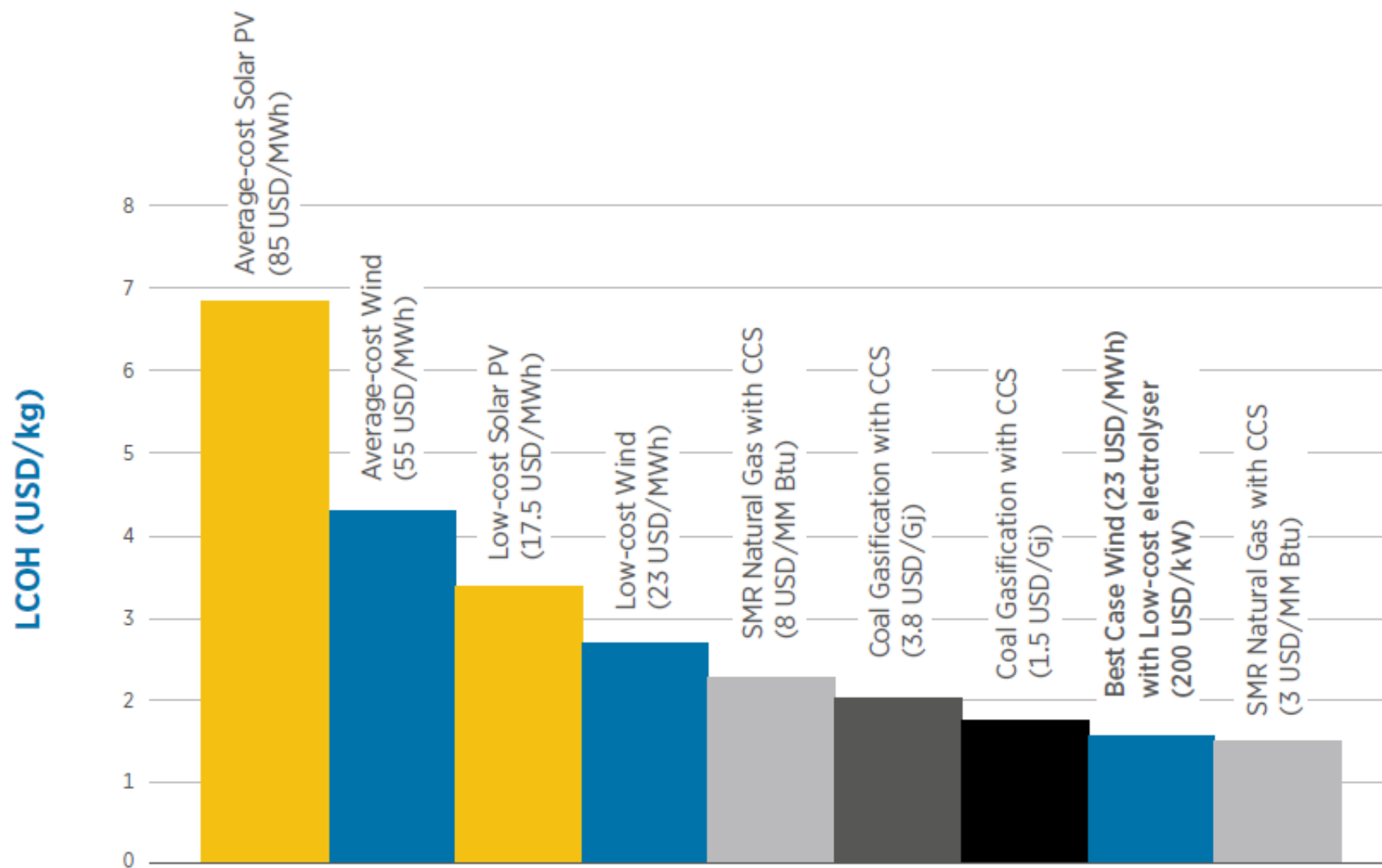


Una combinazione di riduzioni dei costi di elettricità ed elettrolizzatori, combinati con maggiore efficienza e durata operativa, può fornire una riduzione dell'80% costo dell'idrogeno

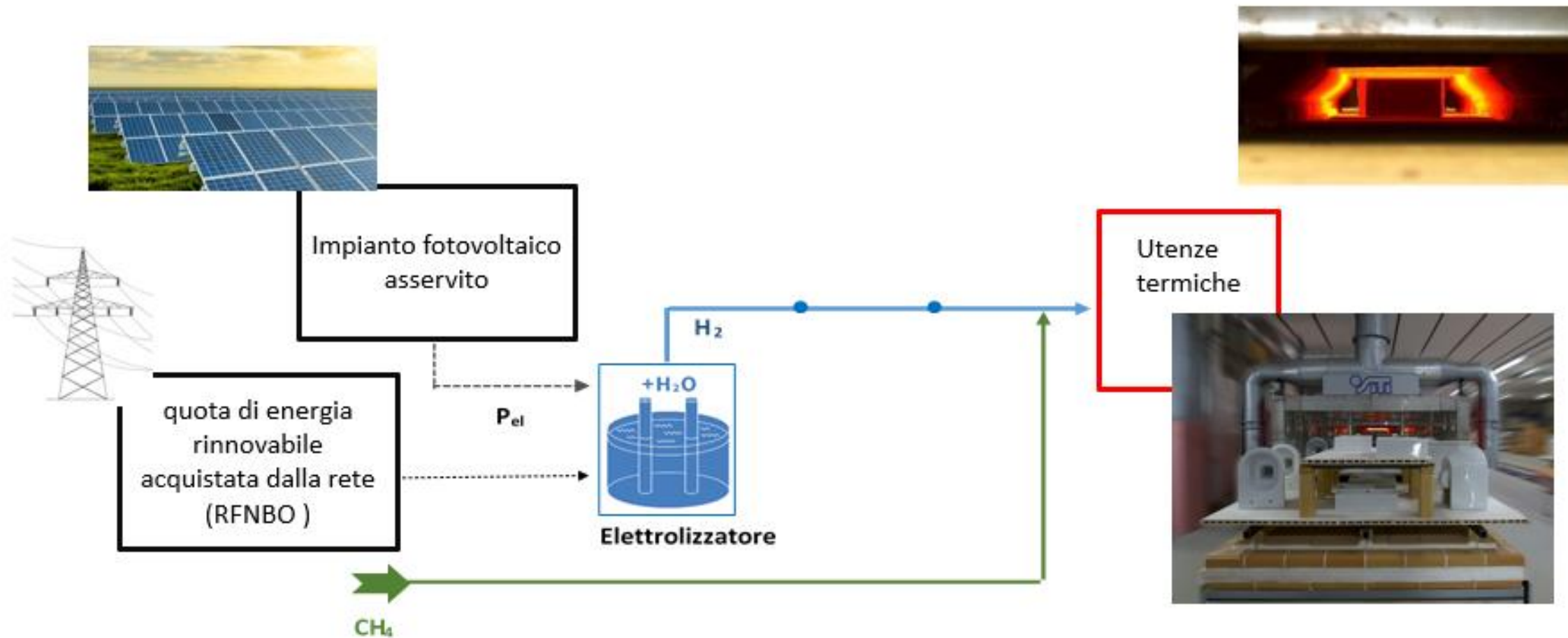
Riduzione dei costi di produzione dell'idrogeno nel lungo termine



LCOH per le differenti tecnologie di produzione



LCOH esempio calcolo

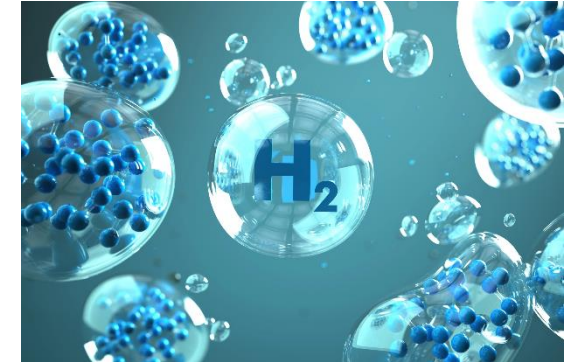


Esempio calcolo del LCOH

$$LCOH = \frac{\sum_{t=1}^n (CAPEX + OPEX + costo_{elettricit\grave{a}} + costo_{acqua})}{(1+i)^t} \bigg/ \frac{\sum_{t=1}^n \text{quantit\grave{a} di prodotto annuale } H_2}{(1+i)^t}$$

ASSUNZIONI

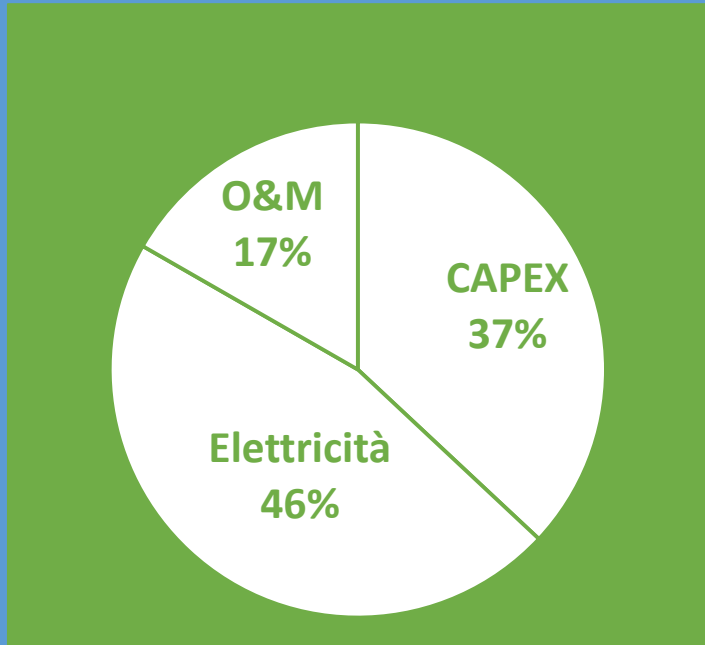
- ✓ Costi investimento attualizzati al 2021 fattore CECPCI
- ✓ Debito del 100 % dei CAPEX
- ✓ Costi operativi 4% CAPEX.
- ✓ No inflazione.
- ✓ No decomissioning.
- ✓ Non includono tasse e oneri o eventuali correlati alle tariffe della rete elettrica e del gas.
- ✓ Tasso di sconto r costante nel tempo
- ✓ Non si è applicata la curva di apprendimento ai valori dei costi di investimento



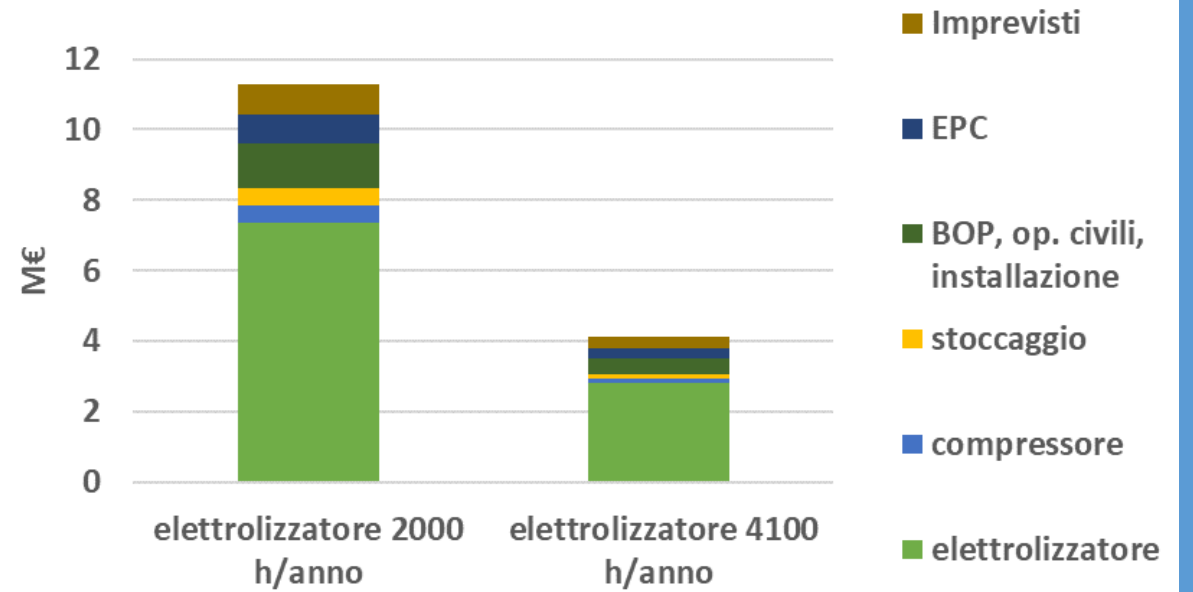
Parametri tecnici		
Tipologia di elettrolizzatore	°C	alcalino
Consumo Specifico - sistema	kWh/Nm ³	5
	kWh/kg	55,7
Consumo acqua	lt/Nm ³	1
Lifetime stack	h	60.000
Parametri economici		
CAPEX specifico elettrolizzatore	€/kW ₂₀₁₇	1100
Di cui stack	%	30%
O&M	% _{CAPEX} /anno	3
Autoconsumi	%	5
Orizzonte temporale (n)	anni	20
Costo elettricità	€/MWh	50
Consumi di acqua	litri _{acqua} /Nm ³ _{H2}	1,8
Costo acqua	€/m ³	1

Esempio calcolo del LCOH

LCOH $\approx 7,3$ €/kg_{H2}
2000 h

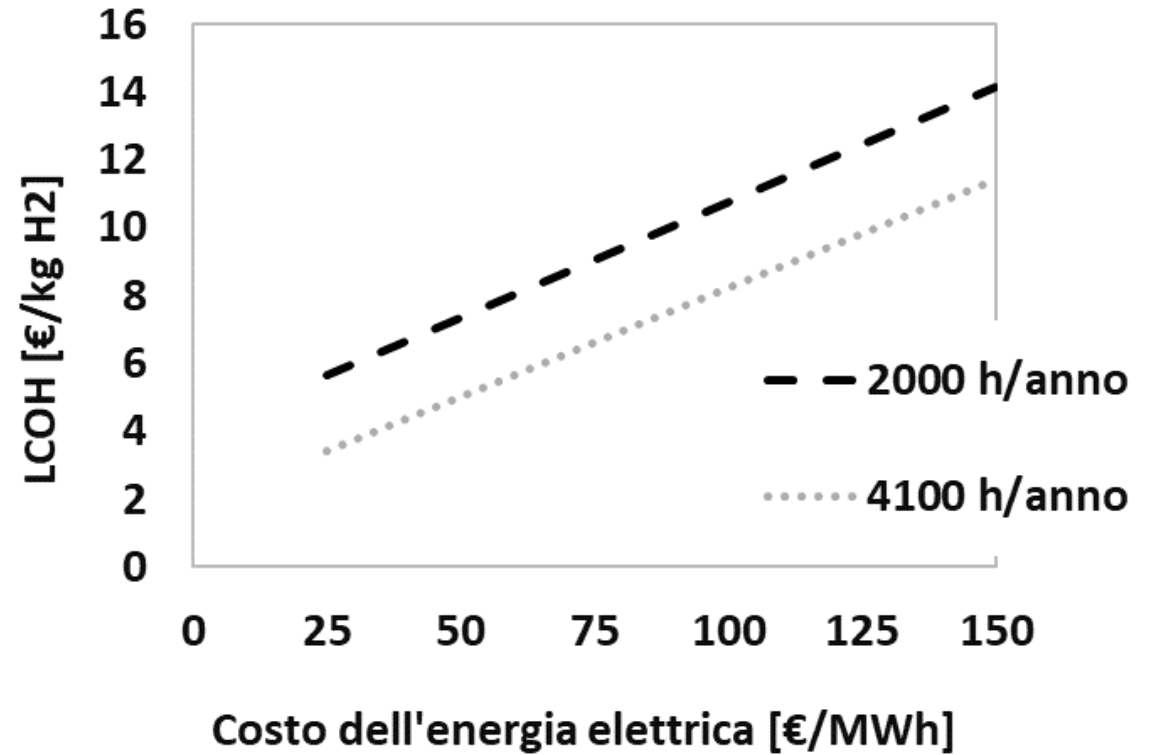
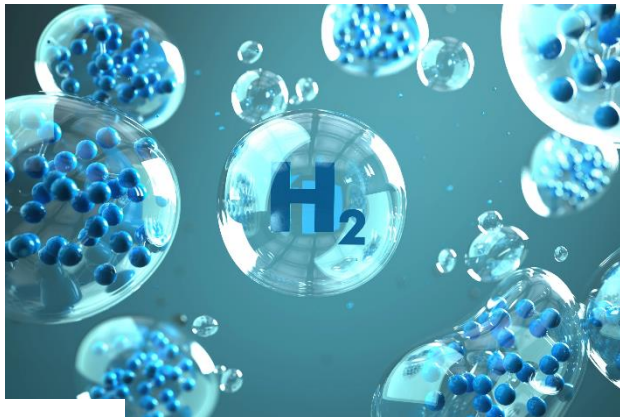


Costo di investimento (M€)



Esempio calcolo del LCOH

€



UTILIZZO DELL'IDROGENO

Enable **large-scale renewables integration** and **power generation**



Distribute energy throughout sectors and regions



Act as a **buffer** to increase system resilience



Decarbonize **transportation**



Help decarbonize **heating and power for buildings**

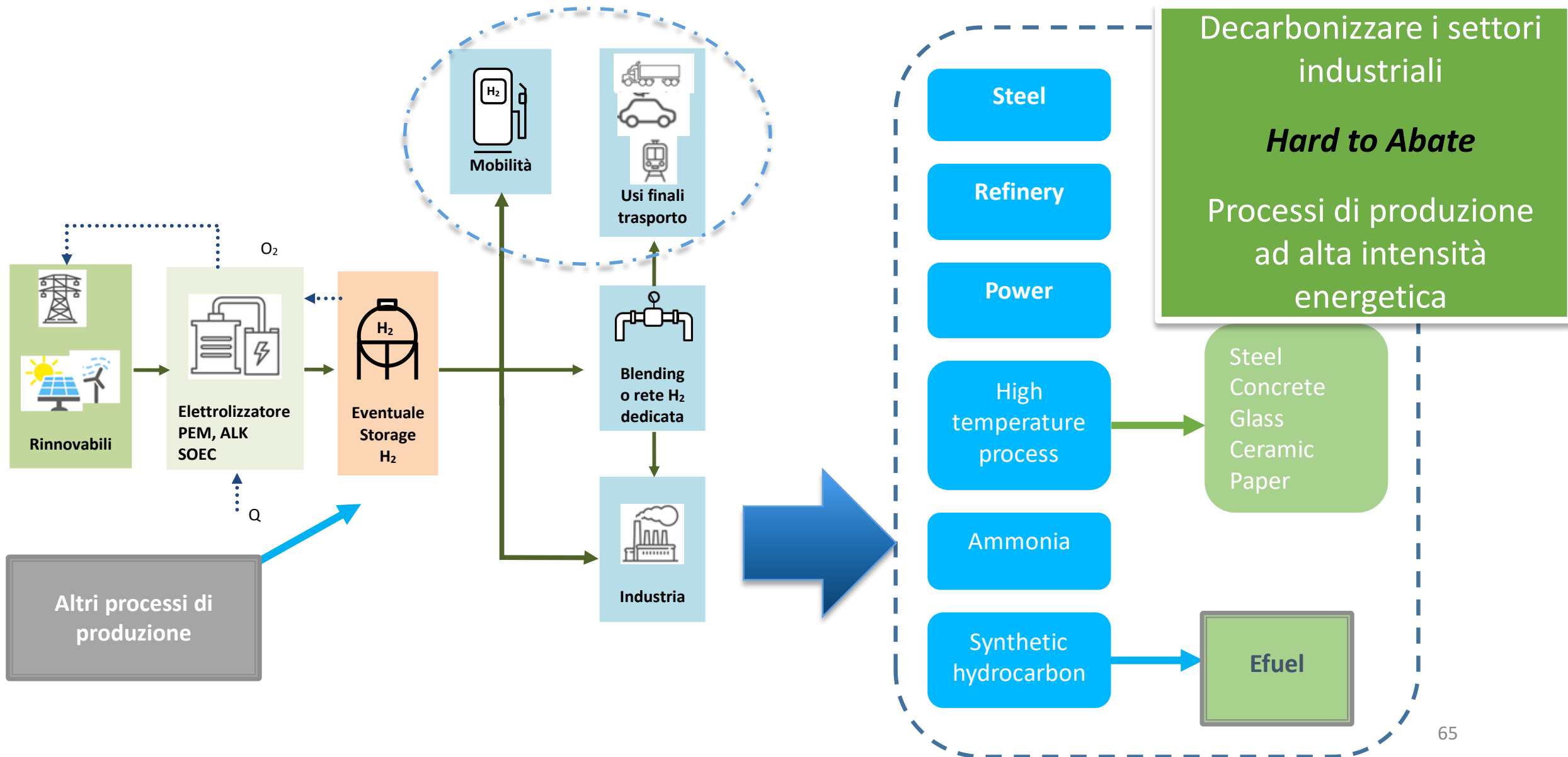


Decarbonize industry **heat use**

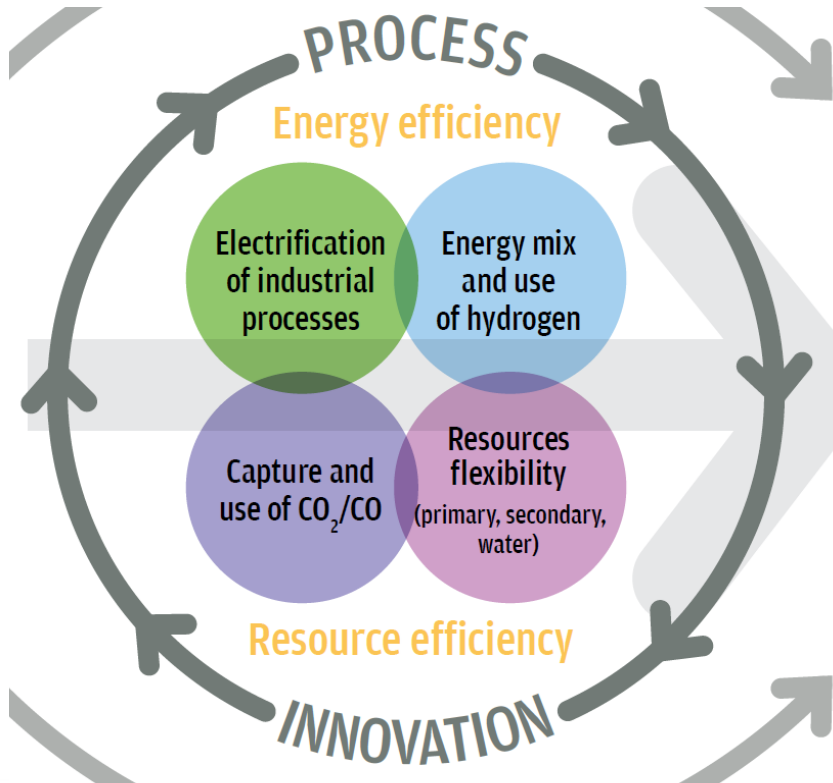


Serve as renewable **feedstock**

Filiere industriali abilitanti allo sviluppo dell'economia dell'H₂



Come si può decarbonizzare l'industria ad alta intensità energetica



L'elettrificazione spinta dei consumi



Lo switch da combustibili fossili ai combustibili rinnovabili **quali idrogeno**, bioenergie e fuel sintetici (prodotti dalla cattura e utilizzo della CO₂ generata dalle bioenergie)



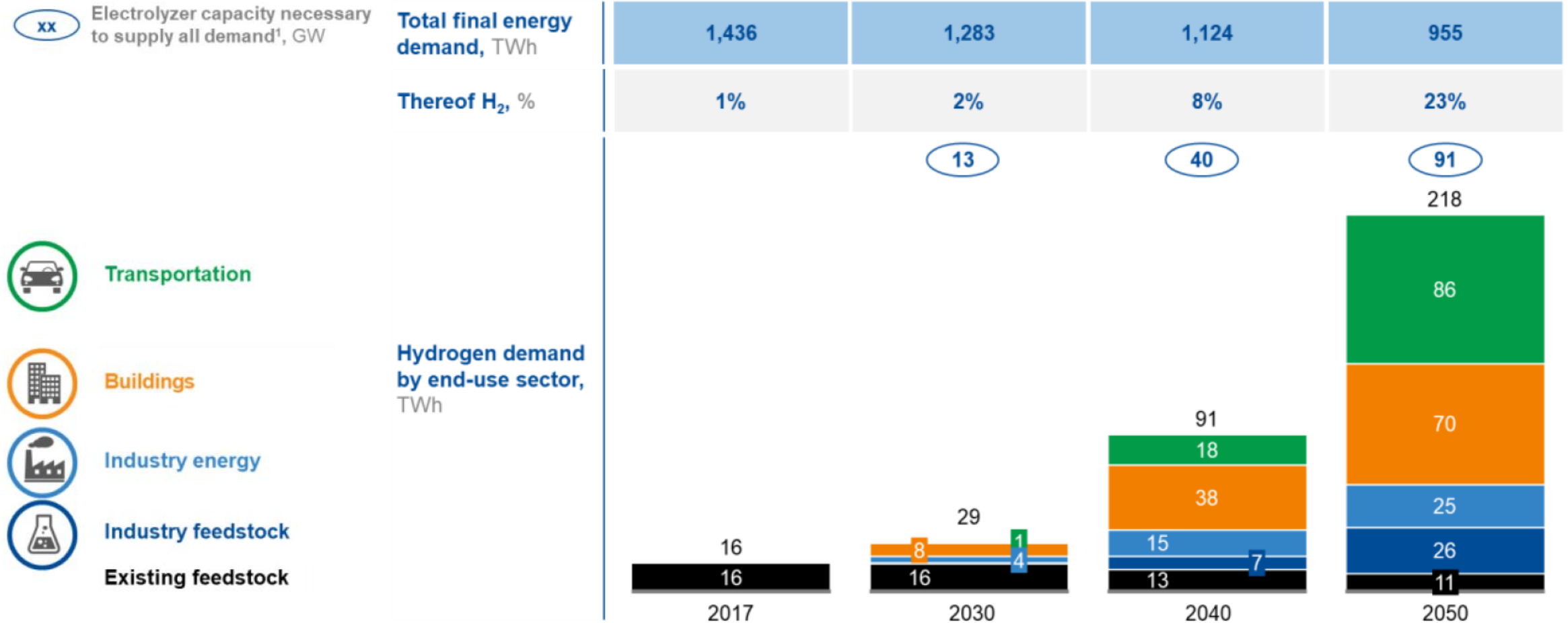
Nuove opzioni per l'economia circolare



Il ricorso a cattura e stoccaggio della CO₂

Scenari della domanda di H2 per settore di utilizzo

Possibile evoluzione della domanda di H2 in Italia secondo uno studio di SNAM

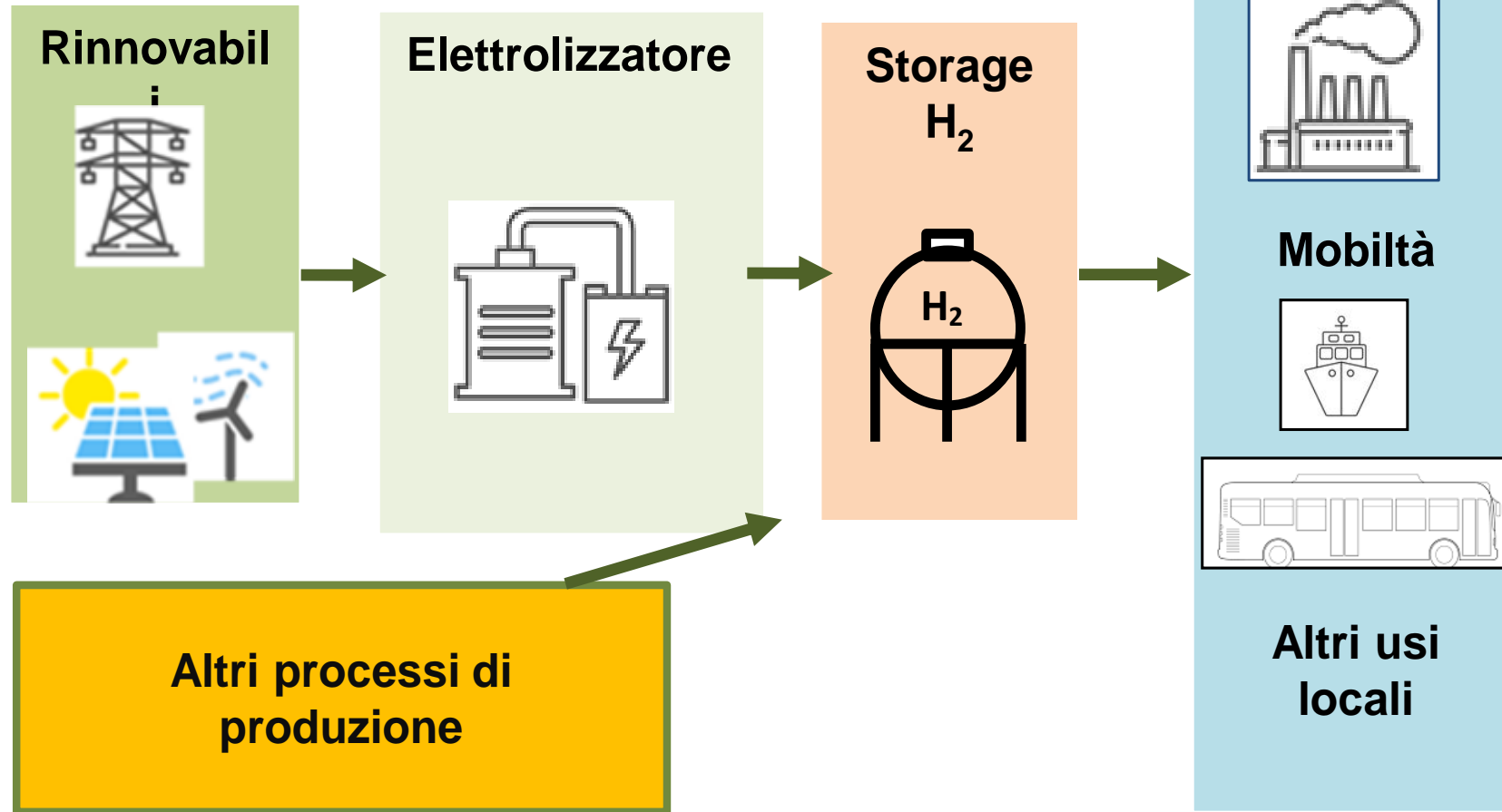


Modello centralizzato

Cluster industriali

siti industriali,
porti....

*Sviluppo delle
"hydrogen valleys»*



FILIERE INDUSTRIALI MODELLI DI SVILUPPO

Modello decentralizzato

Produzione centralizzata con trasporto di idrogeno



Elettrolizzatori centralizzati



Economie di scala elettrolizzatori
Beneficiari di maggiori load factors delle fonti rinnovabili

Sector Coupling

**Buffer energetico resilienza del Sistema elettrico
agendo da energy storage**



Produzione in loco con trasporto di energia elettrica



Elettrolizzatori decentralizzati



ATTUALE UTILIZZO DI H₂ nell'industria

16 TWh consumo attuale finale di idrogeno in Italia (**1% dei consumi finali di energia**)

480,000 t/anno

8,500 t/anno risultano commercializzati in bombole oppure convogliati in pipeline

Nella raffinazione del petrolio



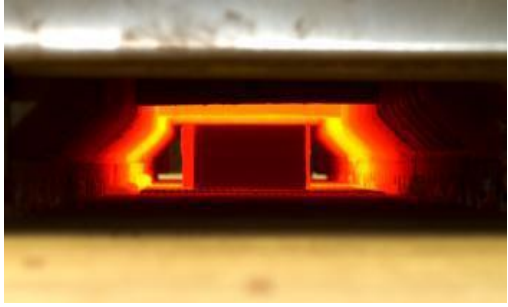
Produzione dell'ammoniaca



Produzione del metanolo



Utilizzo in prospettiva di H₂ nell'Industria



UTILIZZO POTENZIALE NEI SETTORI HARD TO ABATE

- **Materia prima nei processi industriali:**

- Gli utilizzi attuali sono prevalentemente legati alla raffinazione e alla chimica (ammoniaca, metanolo, H₂O₂)
- p.es. ulteriori utilizzi potenziali possono essere la DRI (direct iron reduction) in sostituzione del gas naturale

- **Calore di processo**

- In tutte le applicazioni che richiedono un riscaldamento ad elevate temperature altrimenti difficilmente elettrificabili
- p.es. tecnologie per la produzione di calore ad alta temperatura caldaie/forni alimentati a gas naturale

- **Mobilità**

Applicazione sulla mobilità mezzi pesanti, trasporto pubblico locale, treni e settore marittimo

La combustione dell'idrogeno

Combustibile termico per usi industriali ad alte temperature nei processi di fusione, essiccazione, generazione di reazioni chimiche, **e per il riscaldamento degli edifici.**

Le caratteristiche dell'idrogeno in questi usi richiedono tuttavia un adeguamento tecnologico degli impianti e degli apparecchi più o meno importante in termini di costi di conversione e ricerca applicata.

	densità	Potere calorifico	Limiti di infiammabilità in aria (% vol.)
Idrogeno	0,0899 Kg/Nm ³	3 kWh/Nm ³	4.%- 75.%
Metano	0.65 Kg/Nm ³	10 kWh/Nm ³	5%- 15 %

Il potere calorifico si definisce come la quantità di calore (kWh) sviluppata dalla combustione di una quantità unitaria di combustibile

Hy4Heat: programma UK per indagare l'utilizzo come combustibile

Adeguamento tecnologico degli impianti e apparecchi come costi di conversione e ricerca applicata

Principali barriere tecniche

- **variazioni nelle caratteristiche di scambio termico** degli apparecchi
- aumento delle emissioni di **NO_x**
- **compatibilità dei materiali**



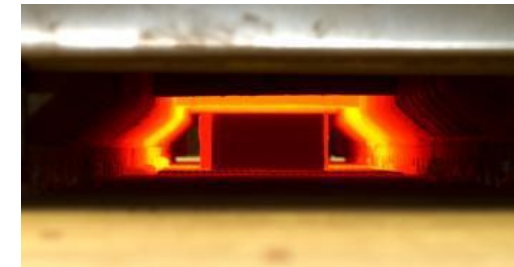
Altre barriere

- **Costo alto dell'energia:** (meccanismo di supporto che renda l'idrogeno competitivo con il gas naturale)
- **Alti capex e opex fissi e variabili** (meccanismo di supporto)

Sviluppo e test degli equipment → commerciabilità delle tecnologie 100% idrogeno

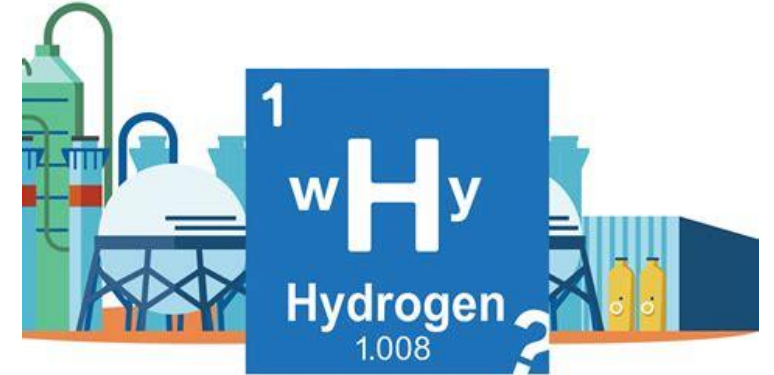
Settori industriali Hard To Abate

- Criticità relative al processo di combustione con tenori crescenti di H₂
- Aspetti ambientali legati alla produzione incrementata di NO_x
- Riduzione della vita dei componenti: variazioni nelle caratteristiche di scambio termico degli apparecchi, infragilimento da idrogeno (**embrittlement**), impatto sul refrattario
- **Impatto sulla qualità prodotto finale** qualora il processo preveda un opportuno dosaggio della trasmissione del calore con misurato equilibrio di trasmissione e irraggiamento o qualora il processo abbia una funzione essiccative (Es. Ceramica, vetro, alimentare)



Settori industriali Hard To Abate e residenziale

- Adeguamento dei dispositivi di **sicurezza** (Es. combustioni al 100 % di idrogeno strumenti di rilevamento della fiamma)
- Adozione di una **nuova componentistica**
- **Sicurezza** della **fornitura di idrogeno** per processi continui nell'arco dell'anno.
- **Limiti di spazio** da destinare ad un eventuale installazione di un elettrolizzatore e/o di un parco fotovoltaico da asservire alla produzione di idrogeno
- **Assenza di una rete distribuzione**, in particolare nell'applicazione per il residenziale



Decarbonizzare il settore della siderurgia

L'Agencia Internazionale dell'Energia ([IEA](#)) ha calcolato che la siderurgia è responsabile di circa il 5% delle emissioni dell'UE e del 7% a livello globale, nonostante si siano dimezzate dal 1960.

Poiché il percorso di produzione convenzionale dell'altoforno – fornace ad ossigeno di base – è ad alta intensità di CO₂ (di solito con un'impronta di carbonio di 1,6-2,0 tonnellate di CO₂ per tonnellata di acciaio grezzo prodotto), e la maggior parte delle acciaierie dell'UE stanno operando vicino all'efficienza ottimale, l'industria si sta ora concentrando sempre più sulla produzione di acciaio a base di idrogeno.



La produzione dell'acciaio

Decarbonizzazione della attività siderurgica mediante l'idrogeno

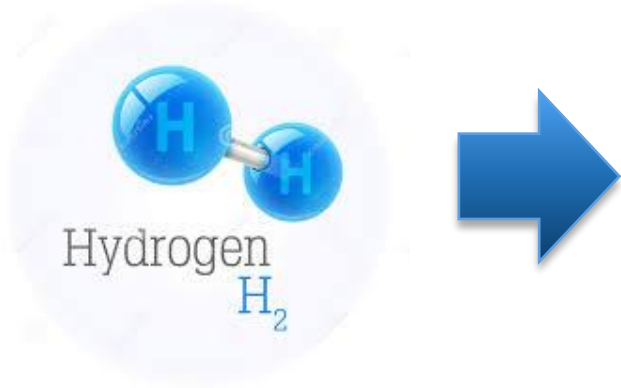
Acciaio è una lega di ferro contenente carbonio in percentuale non superiore al 2,11%. Oltre tale limite le proprietà del materiale cambiano e la lega assume la denominazione di ghisa.

Il ferro è estratto dai suoi minerali, principalmente l'ematite (Fe_2O_3) e la magnetite (Fe_3O_4), per riduzione con carbonio in una fornace (altoforno) di riduzione a temperature di circa 2000 °C

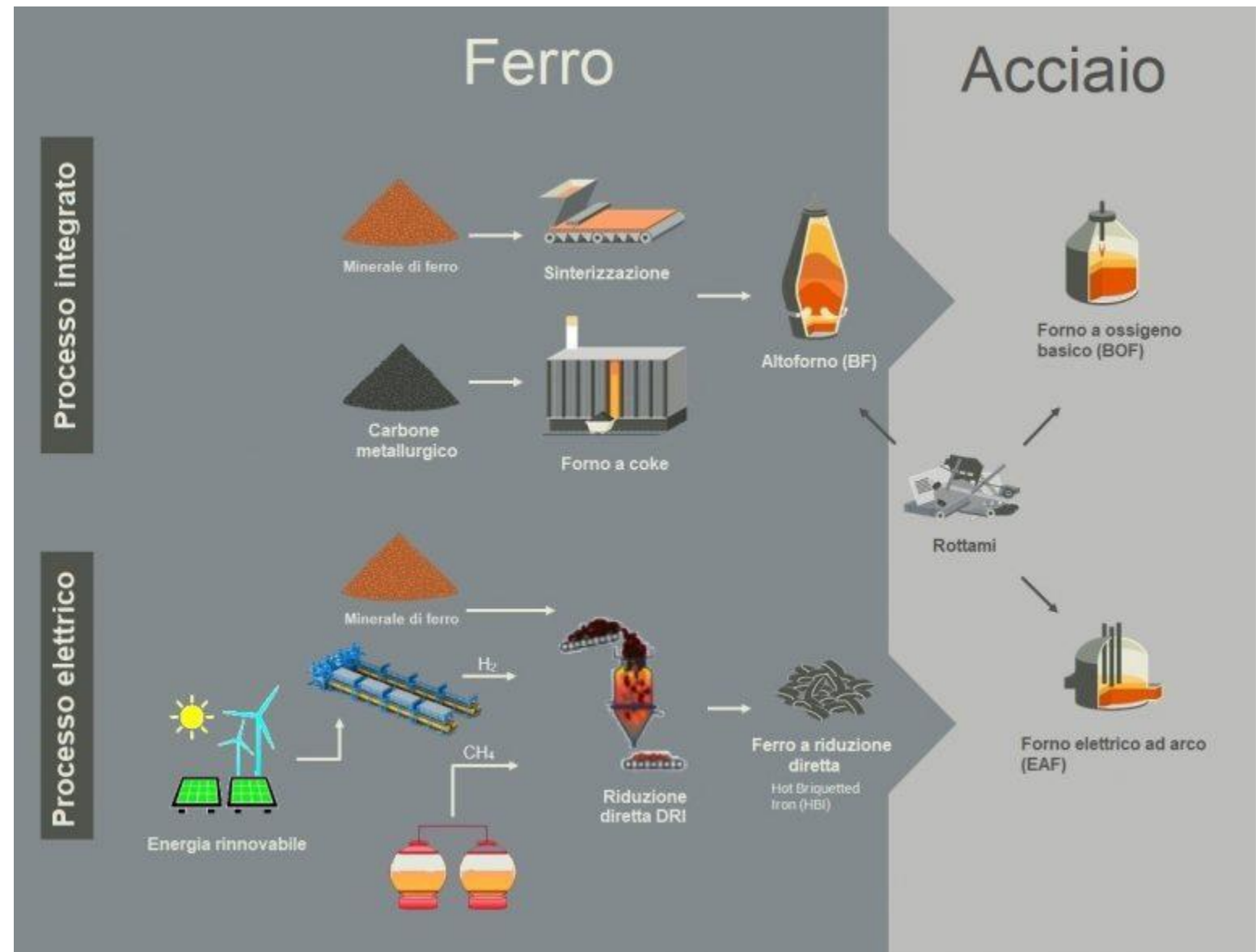


Il ciclo integrale, in siderurgia, è il processo di produzione dell'acciaio attraverso **l'altoforno**. Sono previsti vari passaggi suddivisi in due fasi distinte: dal minerale alla ghisa (attraverso i passaggi di pretrattamento, arricchimento e agglomerazione) e, quindi, da questa all'acciaio finale.

La produzione dell'acciaio: schema del processo



- Agente riducente del minerale di ferro in sostituzione del carbone
- Combustibile in sostituzione del gas naturale nei forni e nei processi di riscaldamento



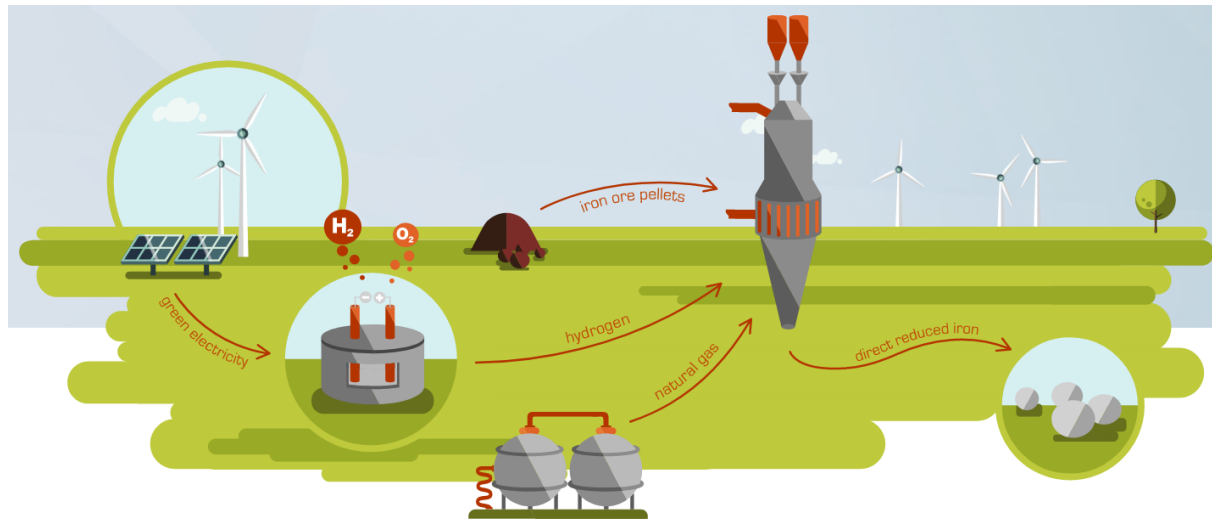
Idrogeno e la decarbonizzazione del settore siderurgico

SALCOS
Steelmaking. Reinvented.

tenova SALZGITTER
FLACHSTAHL
Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

PROGETTO: Salzgitter Low-CO2Steelmaking project

μDRAL impianto dimostrativo per la produzione di 2500 kg/d di Direct Reduced Iron (DRI), progettato per operare in flessibilità da 0 a 100 % con miscele di gas naturale ed idrogeno

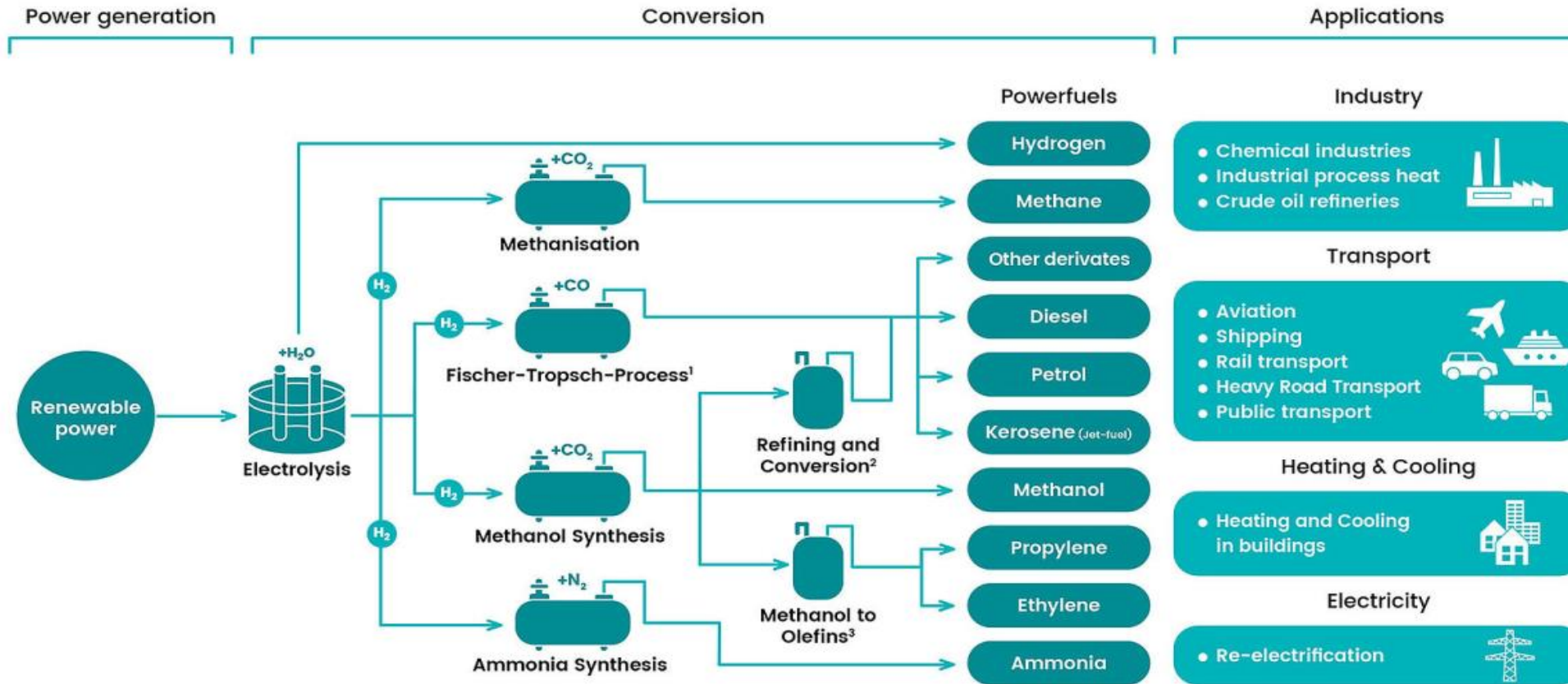


TENOVA e DANIELI: Impianti di implementazione del processo Direct Reduction Iron ENERGIRON ZR nel quale si utilizza l'idrogeno come agente riducente, l'obiettivo è di realizzare un processo a "0" emissioni di CO₂

ENERGIRON HYL
DRI TECHNOLOGY BY TENOVA AND DANIELI



Efuel o Power to X: cosa sono?



¹ Includes: Fischer-Tropsch synthesis, hydrocracking, isomerization and distillation.

² Includes: DME/OME synthesis, olefin synthesis, oligomerisation and hydrotrating.

³ Methanol-to-olefins process.

The background features a collection of small, translucent globes of the Earth, each showing blue oceans and green landmasses. These globes are interspersed with clear, realistic water droplets of various sizes. The entire scene is set against a soft, light blue background, creating a clean and fresh aesthetic.

**GRAZIE
PER LA CORTESE
ATTENZIONE**