



CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Webinar

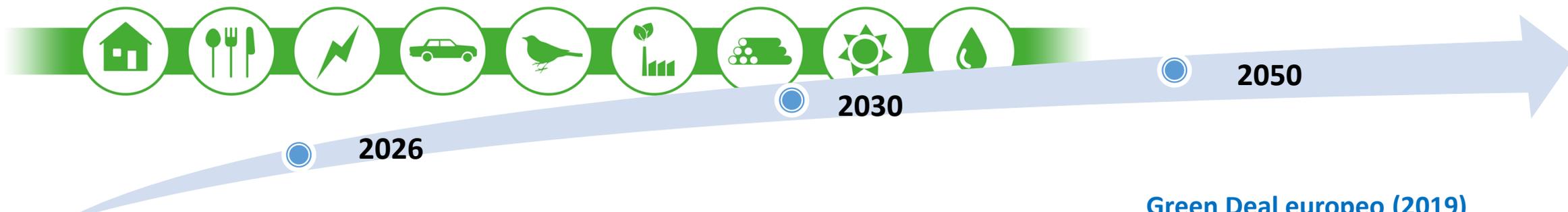
giovedì 21 dicembre 2023, ore 15.00 – 18.00

Ingegneria e sostenibilità

**Le tecnologie di cattura e utilizzo
della CO₂ e conversione in
combustibili rinnovabili**



La Timeline UE e Nazionale in campo energetico



Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza PNRR (2021)



Misura 2

- Componente 3 Promuovere la produzione, la distribuzione e gli usi finali dell'idrogeno (2,99 G€)
Interventi: aree dismesse Hard to abate, mobilità stradale e ferroviaria, ricerca e sviluppo

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

PACCHETTO "FIT FOR 55" (2021)

Riduzione delle emissioni del 55% rispetto al 1990



PNIEC (2023)

Rinnovabili ed efficienza energetica per raggiungere gli obiettivi dell'UE
Ruolo delle CCS



Strategia per l'Idrogeno(2021)

2% H₂/domanda energetica, 5 GWe da elettrolisi



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



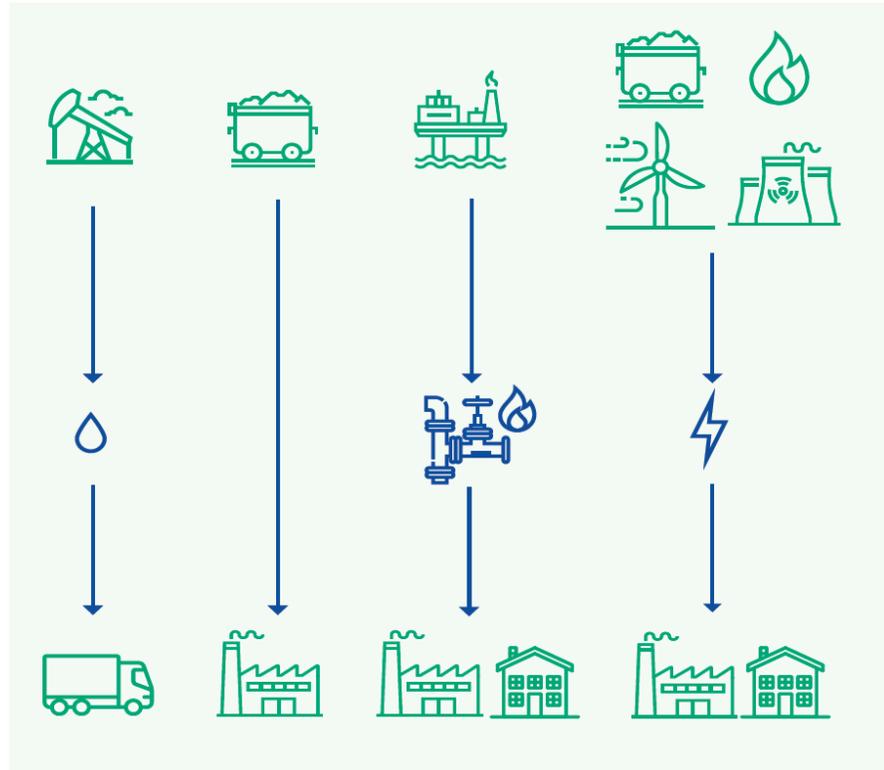
Strategia a lungo termine (2021)

Completa decarbonizzazione entro il 2050.
Contributo CCUS 25 ai 45Mt/a al 2050

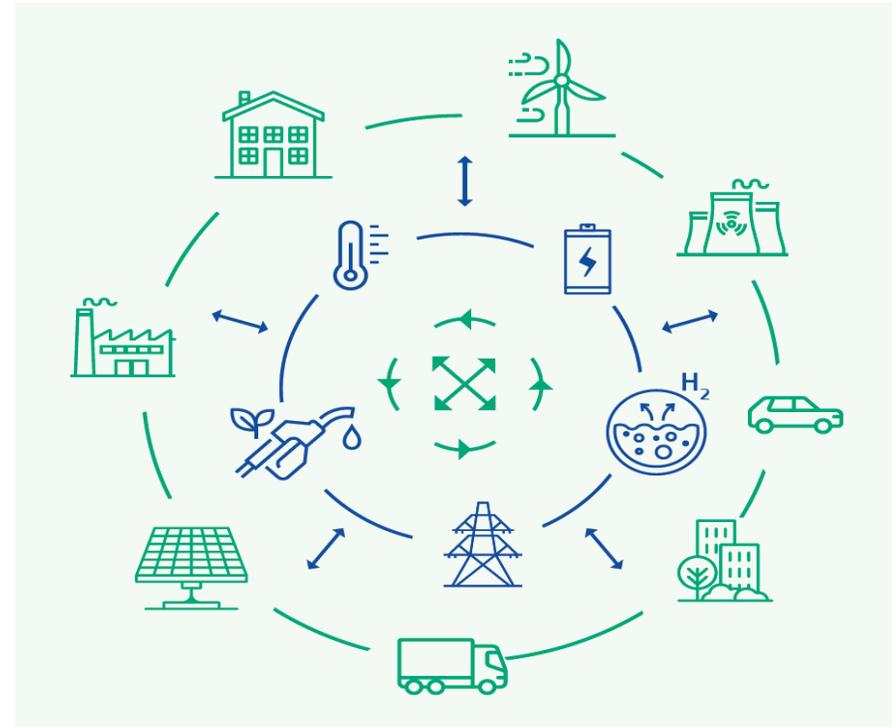


Il sistema energetico oggi e in prospettiva futura...

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



La Commissione europea ha presentato, il 14 luglio 2021, un articolato pacchetto di proposte denominato **"Pronti per il 55%"** ("**Fit for 55%**"), al fine di allineare la normativa vigente in materia di clima ed energia al nuovo obiettivo di riduzione, entro il 2030, delle emissioni nette di gas a effetto serra (emissioni previa deduzione degli assorbimenti) di almeno il 55 % rispetto ai livelli del 1990

Revisione direttiva ETS

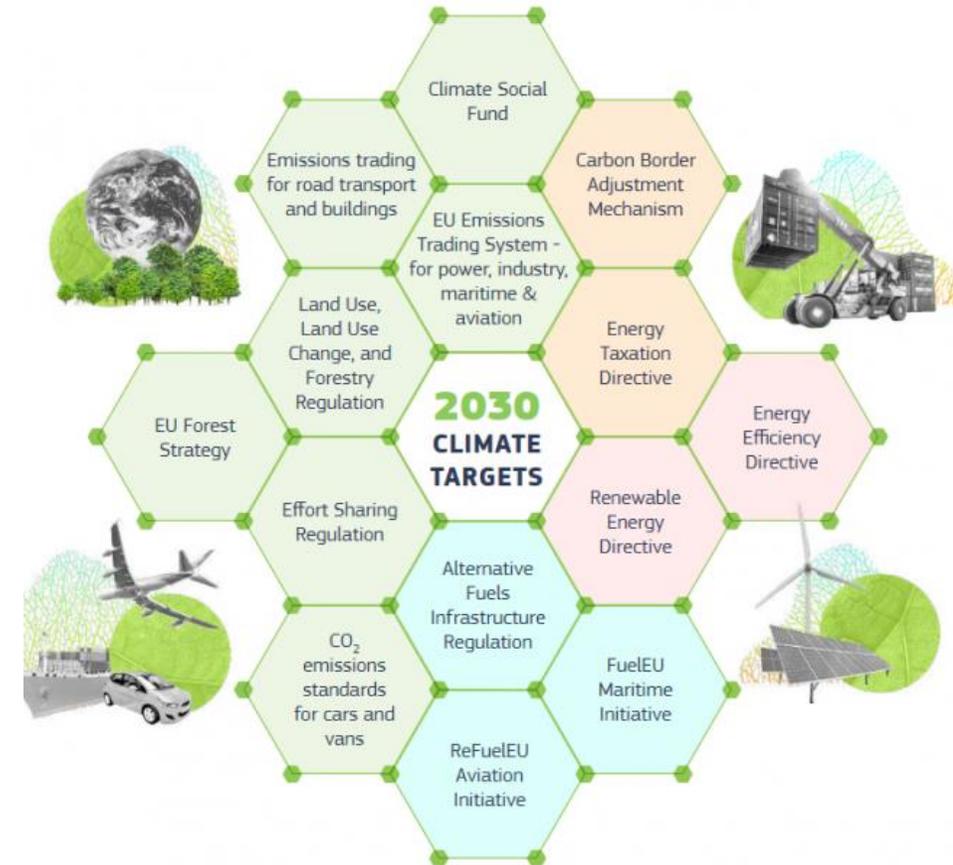
estensione del sistema al settore del trasporto marittimo, l'ampliamento dell'applicazione per il settore dell'aviazione – che è incluso già oggi nell'ETS – e la costituzione di un nuovo schema ETS per il settore del trasporto su strada.

ReFuelEU Aviation

regola i carburanti sostenibili per l'aviazione. ReFuelEU Aviation, iniziativa incentrata sui carburanti sostenibili per l'aviazione (Sustainable Aviation Fuel), obbligherà i fornitori a unire una quota crescente di carburanti sostenibili alla miscela con cui vengono riforniti gli aeromobili nell'UE; incentiverà inoltre l'uso di carburanti sintetici, noti come "elettrocarburanti". (2% di SAF al 2025 fino al 63% al 2030)

FuelEU Maritime

Iniziativa incentrata sulla diffusione di carburanti alternativi nel settore navale e sull'introduzione di nuovi obblighi per le navi in arrivo o in partenza dai porti dell'UE, volti a limitare il contenuto di GHG dell'energia utilizzata dalle medesime navi che fanno scalo nei porti europei (da -2% del 2025 al -75% del 2050)



IL SISTEMA PER LO SCAMBIO DI QUOTE DI EMISSIONE DELL'UE

Il sistema attuale, che copre circa il **36% delle emissioni di gas a effetto serra dell'Unione**

- settori della produzione di energia elettrica,
- dell'industria ad alta intensità energetica
- trasporto aereo
- trasporto marittimo



Il sistema fissa il prezzo del carbonio. Ogni anno i soggetti interessati dall'ETS devono acquistare "quote" corrispondenti alle loro emissioni di gas a effetto serra.



Ogni anno è fissato un massimale relativo al numero di quote immesse sul mercato per l'anno in questione e per ciascun anno, massimale che diminuisce di anno in anno. In questo modo le imprese hanno incentivi finanziari a ridurre le emissioni.



Tuttavia, determinati settori esposti al rischio di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio ottengono quote a titolo gratuito a sostegno della loro competitività.

Emission trading system – EU ETS principio del "cap and trade" (limitazione e scambio).

Il sistema si basa sulla fissazione di un tetto massimo o massimale (cap) alle emissioni di gas ad effetto serra sul territorio dell'UE, a cui corrisponde un numero equivalente di "quote" di emissione (**1 tonnellata di CO2 equivalente= 1 quota o European Union Allowance, EUA**) che possono essere acquistate/vendute sul mercato (exchange).

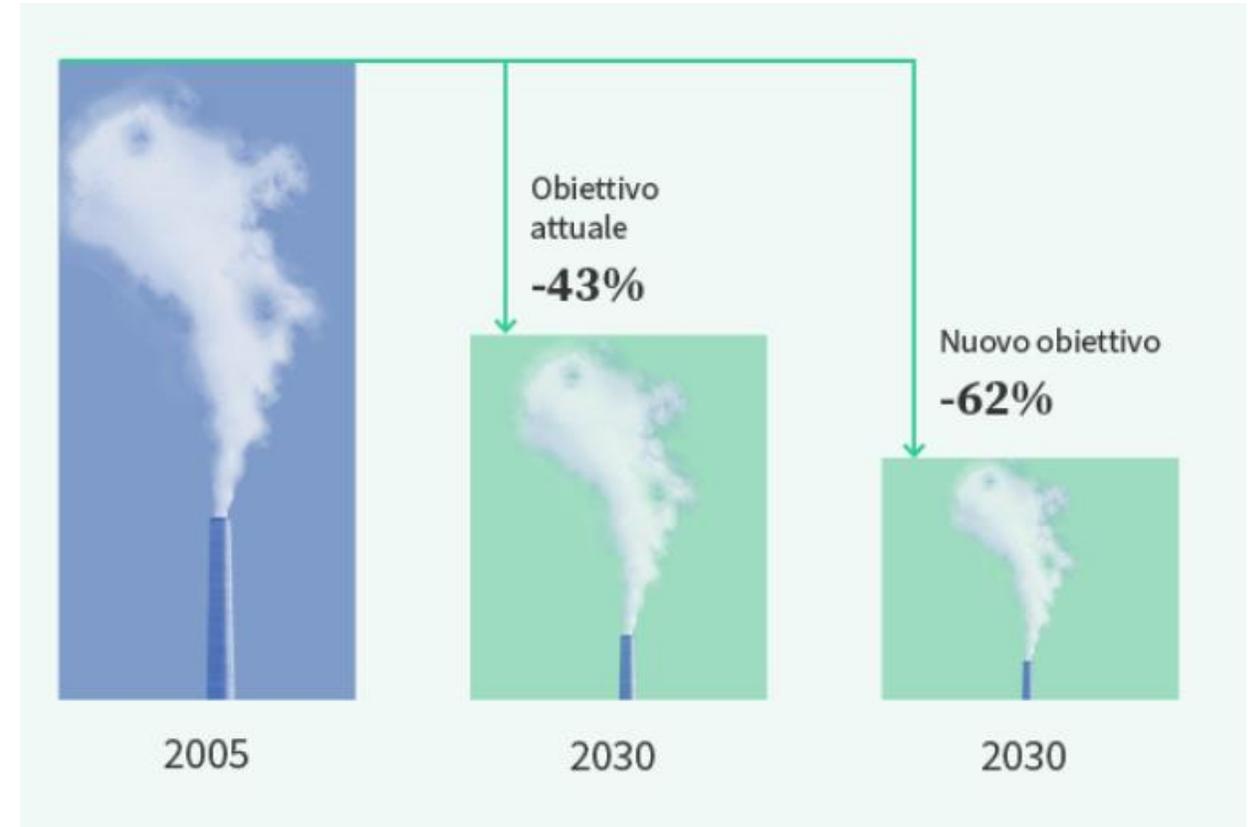
Obiettivo di riduzione delle emissioni di CO2 dell'EU ET entro il 2030 del **43% rispetto ai livelli del 2005**.

La Commissione europea stima che i settori ricompresi nell'ETS raggiungerebbero nel 2030 una riduzione- 51% rispetto al 2005

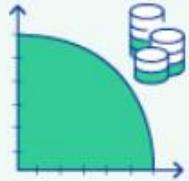
Il pacchetto Fit for 55 propone un nuovo obiettivo di riduzione delle emissioni del 61% rispetto ai livelli del 2005 entro il 2030.

La proposta della Commissione intende incoraggiare il ricorso a tutte le soluzioni tecnologiche per ridurre le emissioni, compresa la cattura e l'utilizzo del carbonio, ai fini del perseguimento degli obiettivi più ambiziosi in materia di clima.

Tutti i proventi dell'ETS dovranno essere impiegati per interventi legati al clima (attualmente solo il 50% è vincolato così).



Il sistema EU ETS



eliminazione graduale delle quote a titolo gratuito per determinati settori (parallelamente all'introduzione del **meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere**, un sistema di fissazione del prezzo del carbonio applicabile ai prodotti ad alta intensità energetica importati nell'UE per evitare la rilocalizzazione delle emissioni di carbonio)



INNOVATION FUND

Deployment of net-zero and innovative technologies

Funded by: EU Emissions Trading System



Supporting manufacturing, production and use in:



*based on a carbon price of 75 EUR/tonne

CBAM Carbon Boarder Adjustment Mechanism

CBAM (Carbon Boarder Adjustment Mechanism). meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere regolamento (UE) 2023/956 - Parlamento europeo e del Consiglio, del 10 maggio 2023

Si tratta di una misura economica identificata per affrontare il rischio di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio dell'industria, che agisce sulle importazioni di prodotti a maggior intensità di carbonio da paesi extra UE per garantire che non siano vanificati gli sforzi di riduzione all'interno dell'UE, ottenuti dall'EU ETS.

Ambito di applicazione: prodotti importati (cemento, ferro e acciaio, alluminio, fertilizzanti, elettricità ed idrogeno)





tecnologie strategiche a zero emissioni nette



Solare fotovoltaico e solare termico



Elettrolizzatori e celle a combustibile



Energia eolica onshore ed energie rinnovabili offshore



Biogas/biometano sostenibile



Batterie e mezzi di stoccaggio



Cattura e stoccaggio del carbonio



Pompe di calore ed energia geotermica



Tecnologie di rete

Azioni



Net-Zero Strategic Projects

Priority projects essential for reinforcing the resilience and competitiveness of the EU net-zero industry



CO₂ injection capacity target

Carbon capture and storage projects will be supported, notably by enhancing the availability of CO₂ storage sites



Facilitating access to markets

Sustainability and resilience criteria in procurement procedures and auctions to help boost demand of renewables



Enhancing skills

Net-Zero Industry Academies, with the support and oversight by the Net-Zero Europe Platform, will provide training and education on net-zero technologies, and lead to quality job creation



Cutting red tape and accelerated permitting

Lower administrative burden for developing net-zero manufacturing projects and simpler and faster permitting procedures, in particular for strategic projects which will benefit from even faster permitting, to increase planning and investment certainty



Attracting investment

A Net-Zero Europe Platform and the European Hydrogen Bank will help attract investment



Innovation

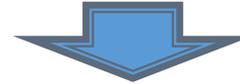
Regulatory sandboxes to help develop and test innovative net-zero technologies and create a level-playing field for innovation



Il PNIEC 2023 e le CCS



Commissione invita ad includere nei PNIEC aggiornato le CCS



20-40 milioni di tonnellate di CO₂ (MtCO₂) l'anno che potrebbero essere tagliate grazie al ricorso alla CCS, contenuto nella Strategia Italiana di Lungo Termine

QUADRO NORMATIVO è in corso di aggiornamento per velocizzare l'iter di autorizzazione, definire le regole e le prescrizioni tecniche relative al trasporto e allo stoccaggio della CO₂

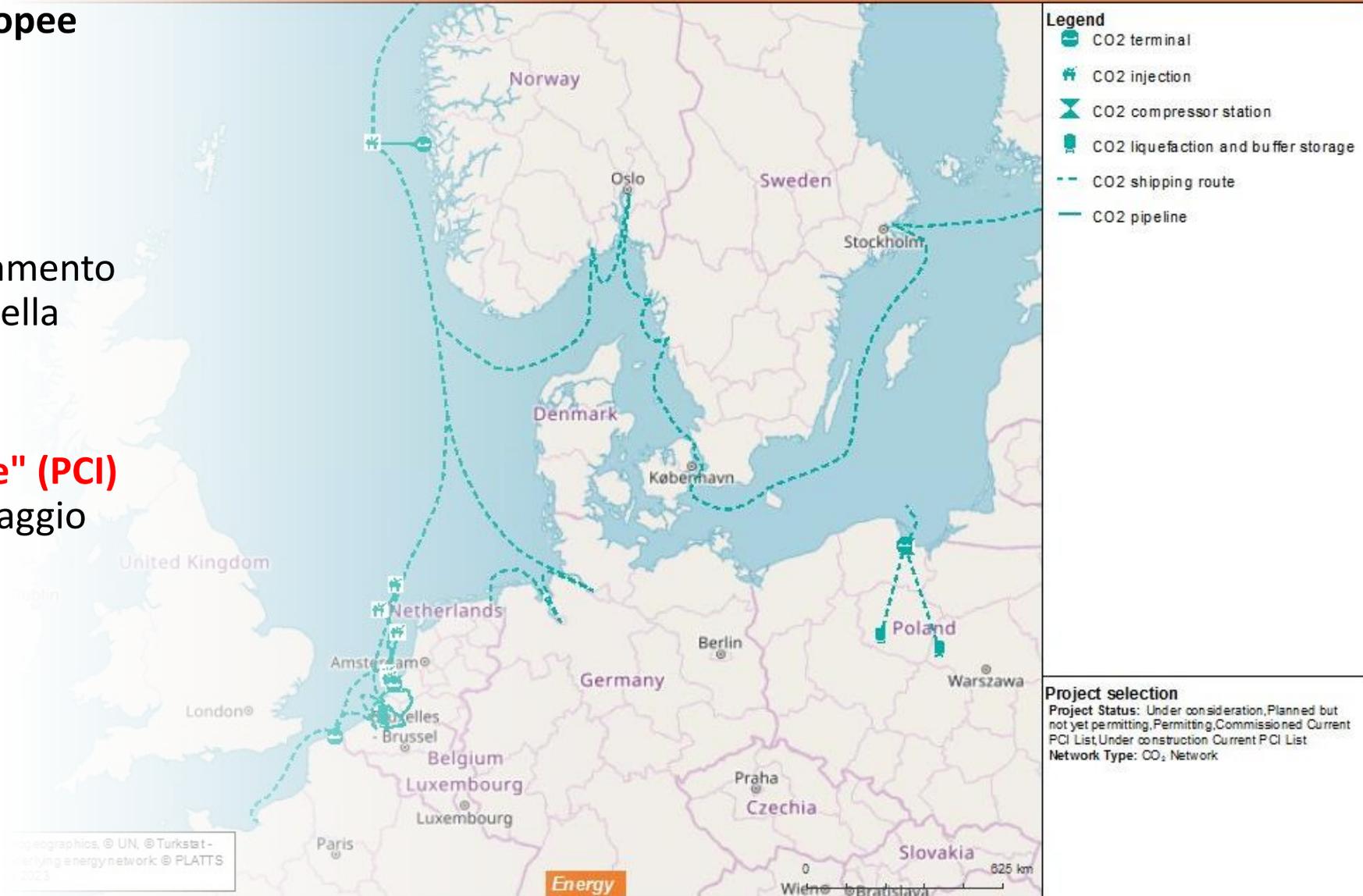
Decreto-legge 76/2020 e decreto-legge 77/2021

Gli impianti di cattura, trasporto e stoccaggio del carbonio sono stati inclusi esplicitamente nell'elenco delle infrastrutture necessarie per il raggiungimento degli obiettivi PNIEC. In quanto tali, sono di interesse pubblico prevalente e ammissibili a un processo di autorizzazione accelerato dedicato

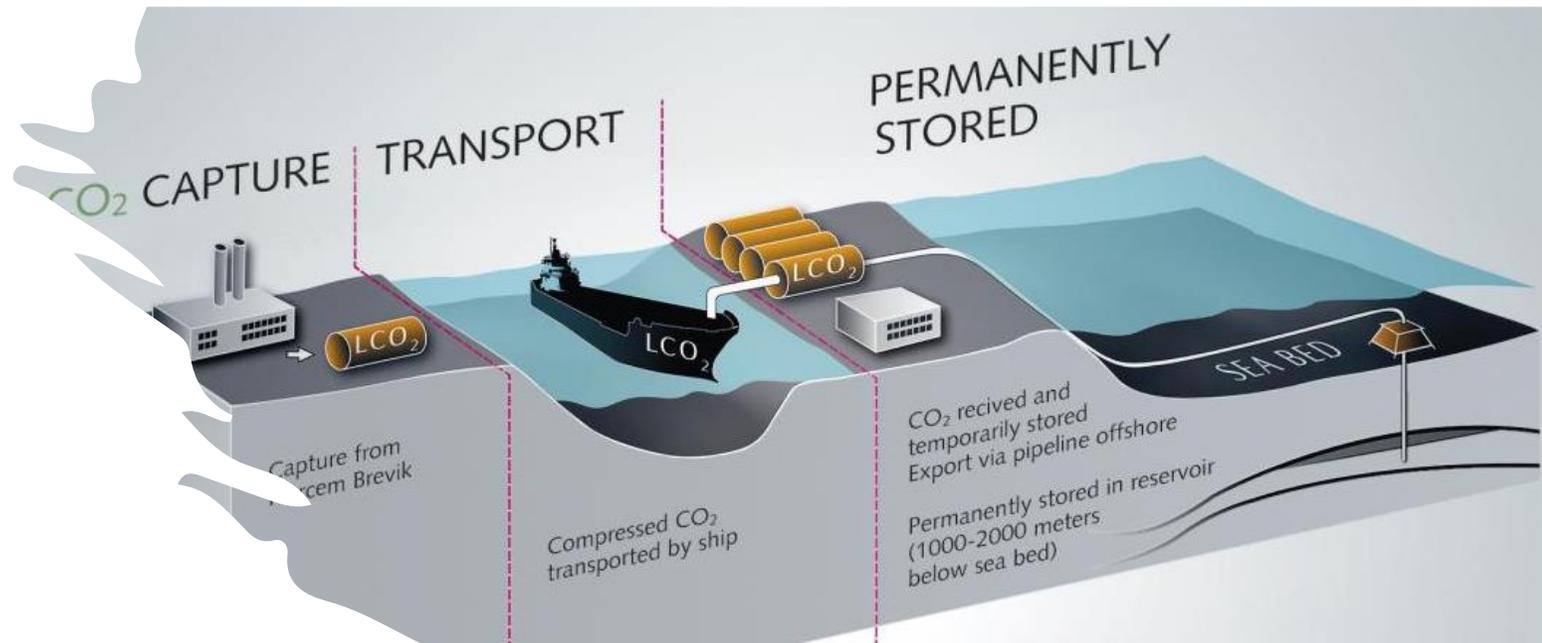
Regolamento sulle reti transeuropee per l'energia (TEN-E) 2022

- incluso il sostegno a una rete transfrontaliera per il biossido di carbonio, consentendo il finanziamento della cattura e dello stoccaggio della CO2 come priorità.

- 6 Progetti di interesse comune" (PCI)** riguardano il trasporto e lo stoccaggio della CO2

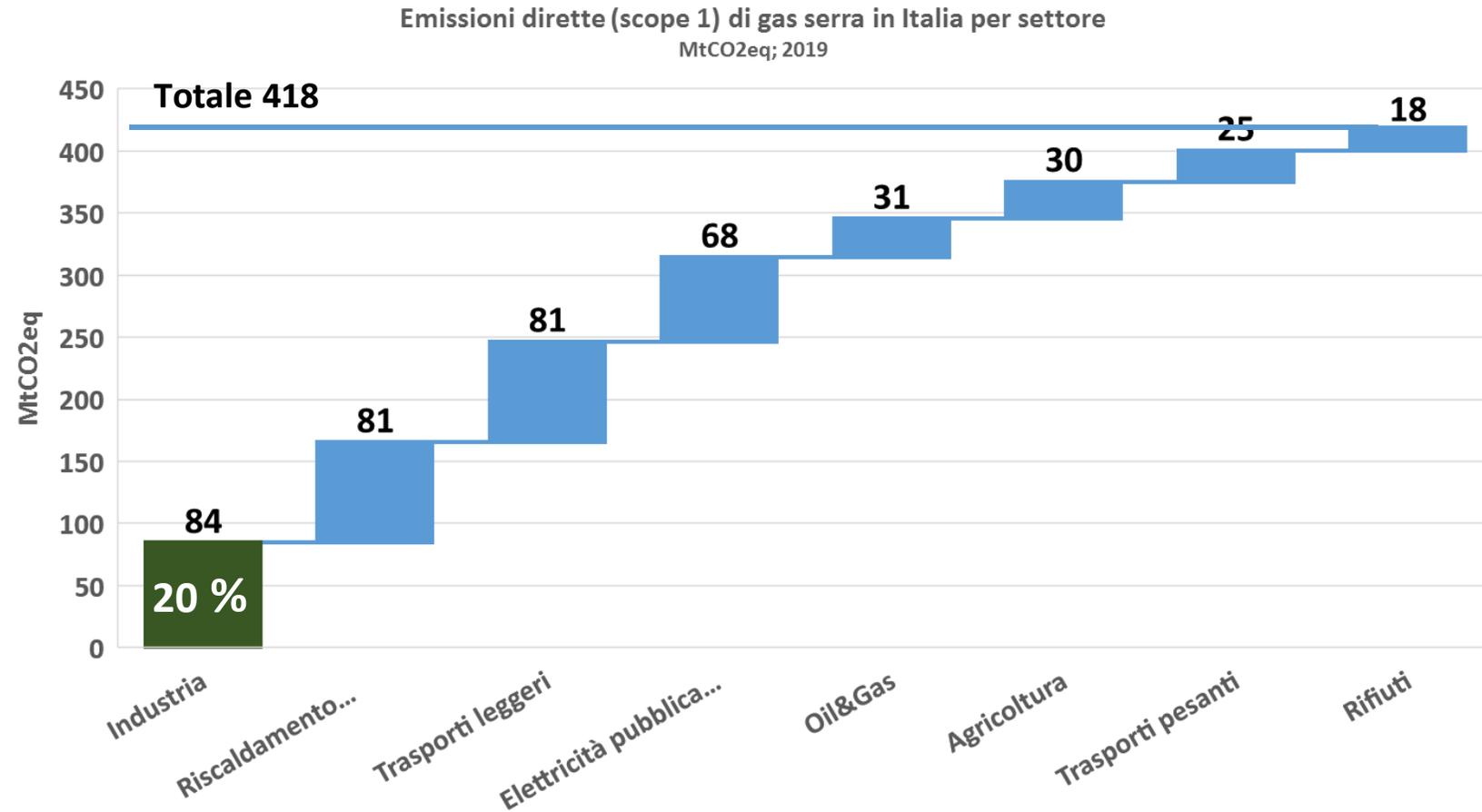


CCS
decarbonizzare
l'industria
hard to abate



L'industria nazionale: prima per emissioni GHG dirette

Emissioni CO₂eq dirette

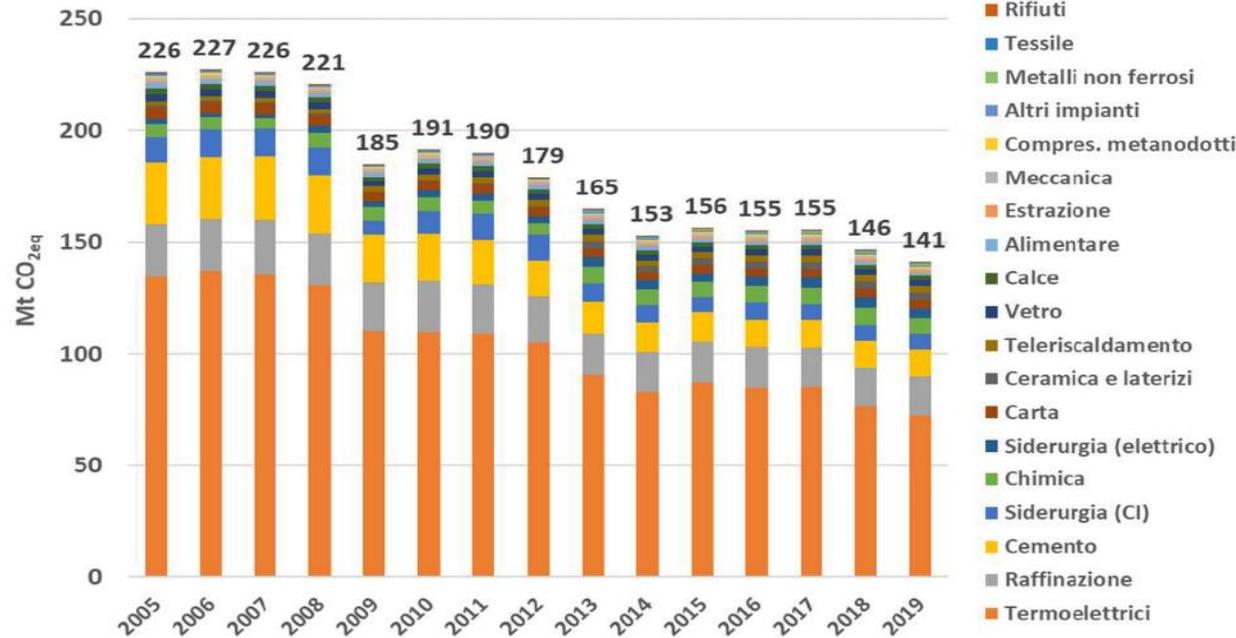


Fonte: Analisi trimestrali ISPRA delle emissioni in atmosfera di gas serra
2020 vs. 2019 per il quarto trimestre dell'anno

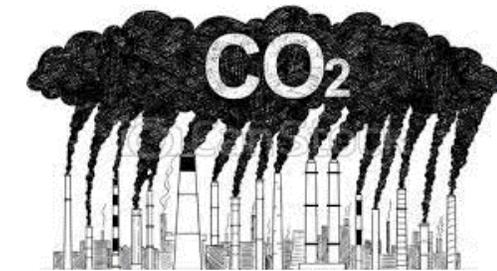
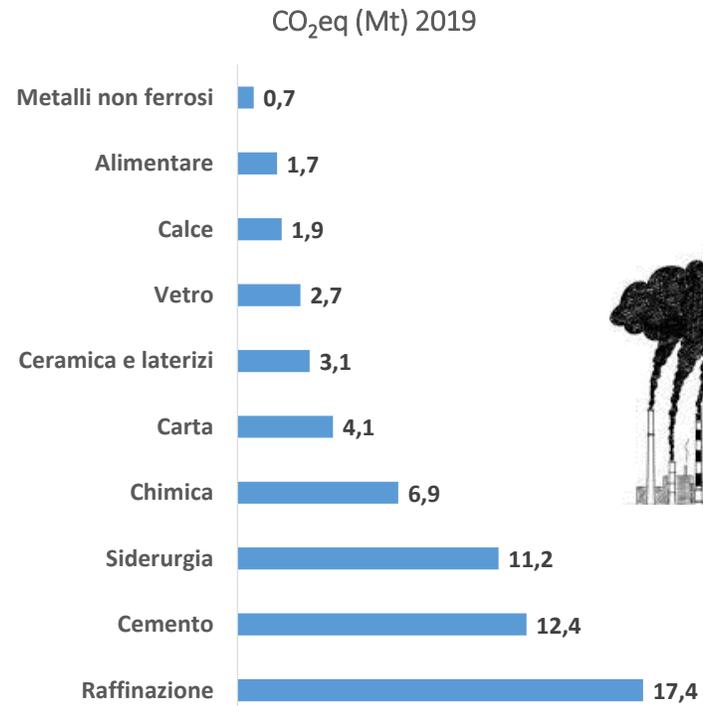
Le emissioni ETS di CO₂ nell'Industria nazionale

Quote complessive ETS al 2019

141 Mt CO₂eq

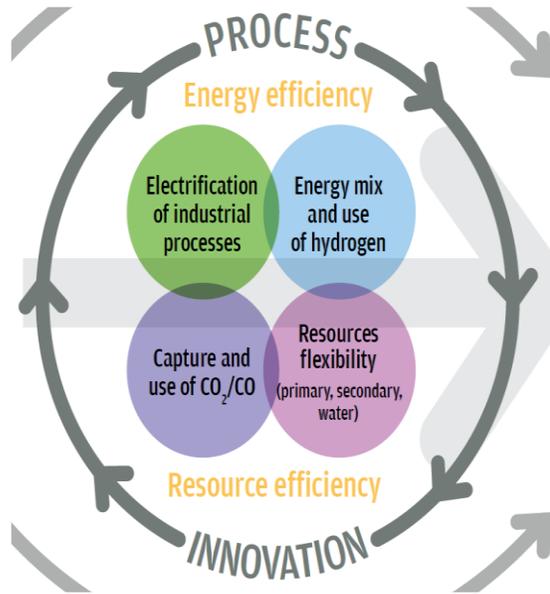


Settori Hard To Abate complessivamente contribuiscono per il **44 %**



Fonte: Analisi trimestrali ISPRA delle emissioni in atmosfera di gas serra 2020 vs. 2019 per il quarto trimestre dell'anno

Quali vie per la decarbonizzazione?



SPIRE
Sustainable Process Industry through
Resource and Energy Efficiency



Elettrificazione spinta dei processi/consumi



Switch dai combustibili fossili ai combustibili rinnovabili quali idrogeno, biofuel e synthetic fuel



Il ricorso alla cattura, utilizzo e stoccaggio della CO₂



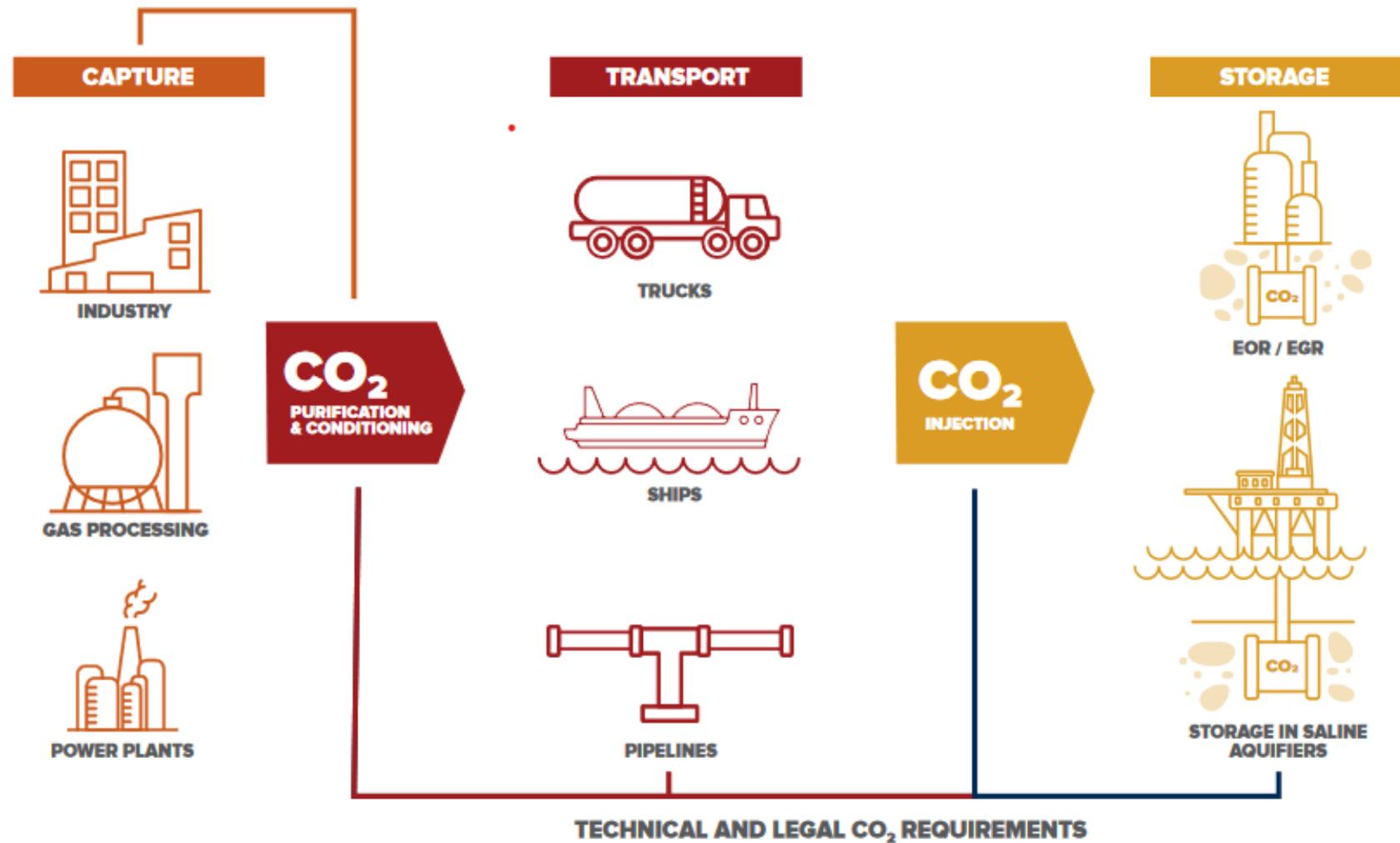
Circolarità energetica ed economia circolare

Le tecnologie CCUS

- ✓ Applicazione di tecnologie CCUS **processi industriali energivori**: il settore chimico e petrolchimico, il siderurgico, la produzione di cemento, la produzione dell'ammoniaca
- ✓ Applicazione delle tecnologie CCUS per la **produzione di idrogeno** dal reforming con vapore del metano (SMR)
- ✓ Applicazione delle tecnologie CCUS per la **produzione di biometano**

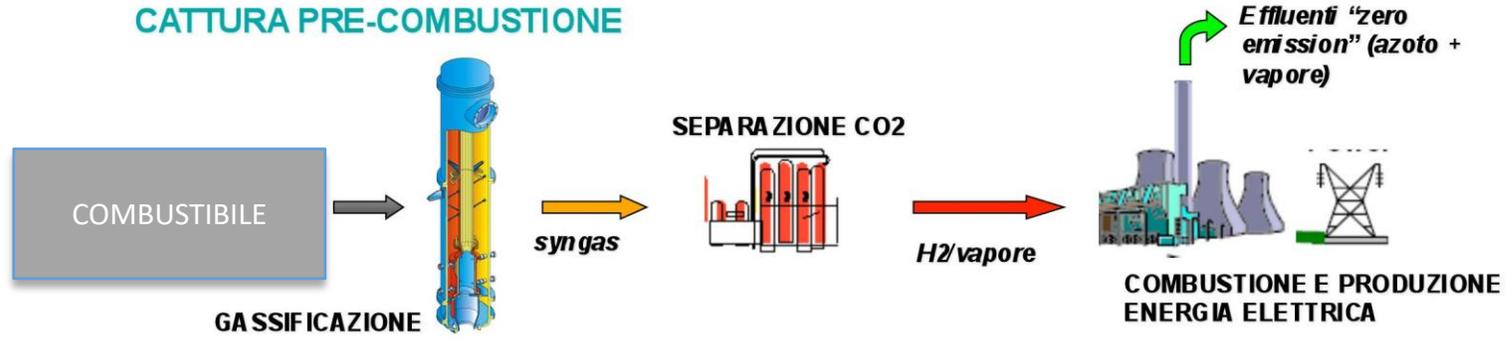


Le technologie CCS

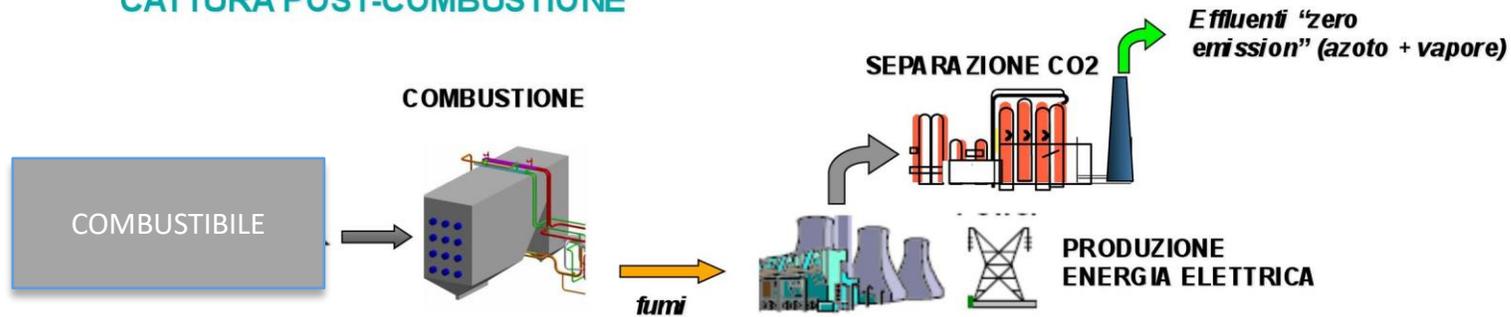


Le tecnologie CCS: cattura

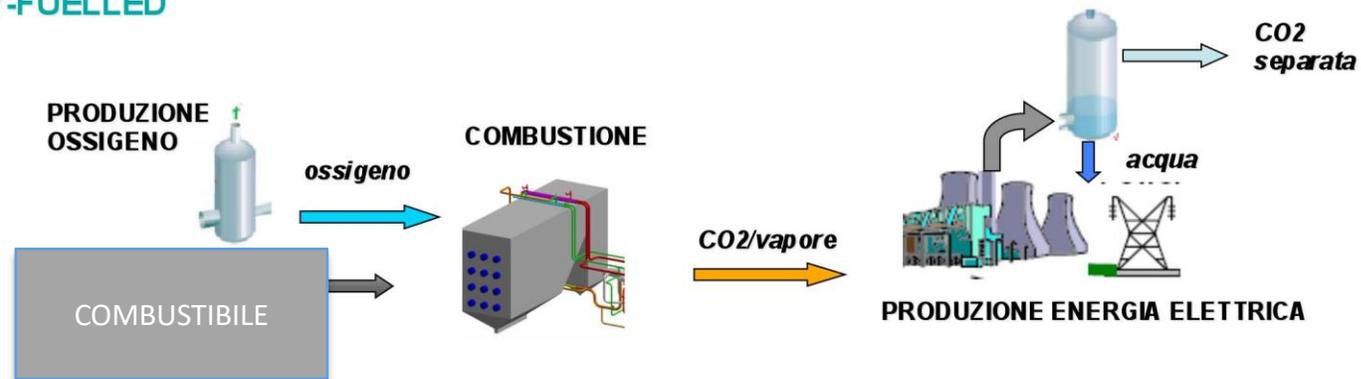
CATTURA PRE-COMBUSTIONE



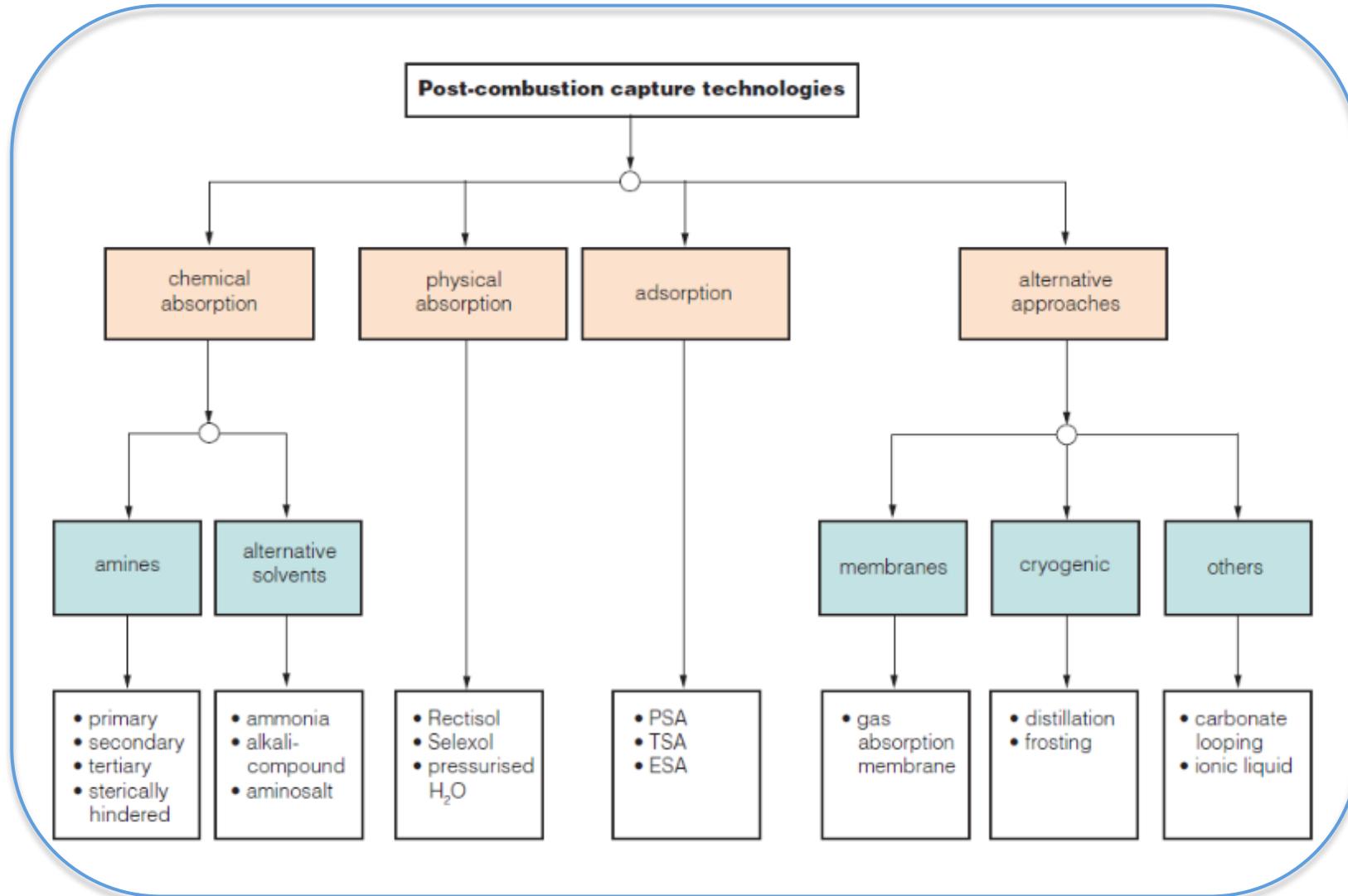
CATTURA POST-COMBUSTIONE



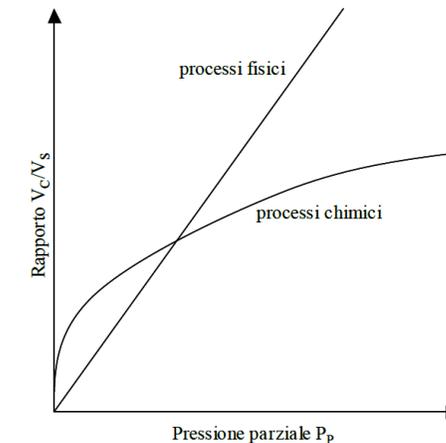
OXY-FUELLED



Le tecnologie CCS: cattura



Tecnologia dipende dalla pressione parziale della CO₂

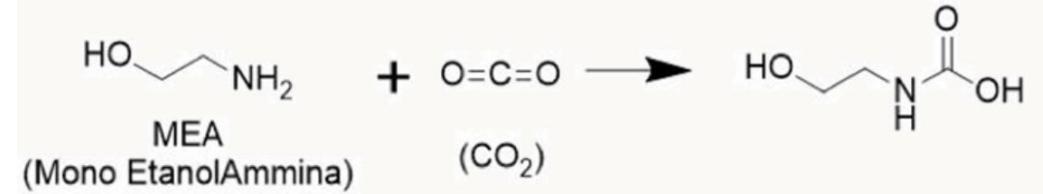


L'implementazione e la cattura genera un calo del rendimento dai 5 ai 10 % e quindi un consumo maggiore di energia

Le tecnologie CCS: cattura

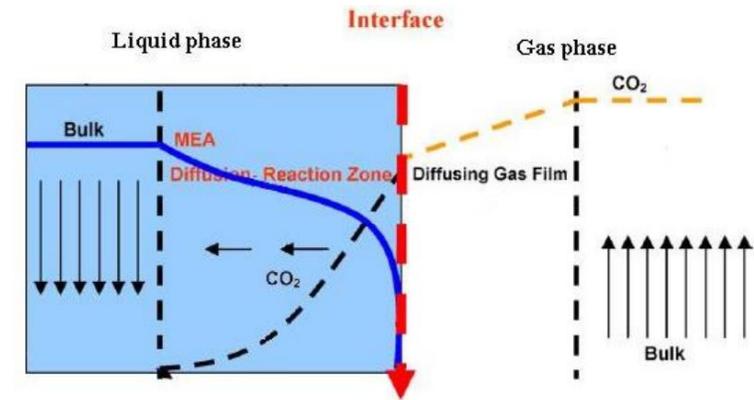
Assorbimento
di tipo chimico

Assorbimento chimico
solventi acquosi di ammine
(in particolare MEA o DMEA)



Assorbimento
di tipo fisico

Assorbimento fisico solventi
come il Selexol_{TM} o il
Rectisol_{TM}.

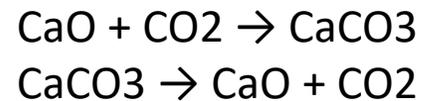


Le tecnologie CCS: cattura

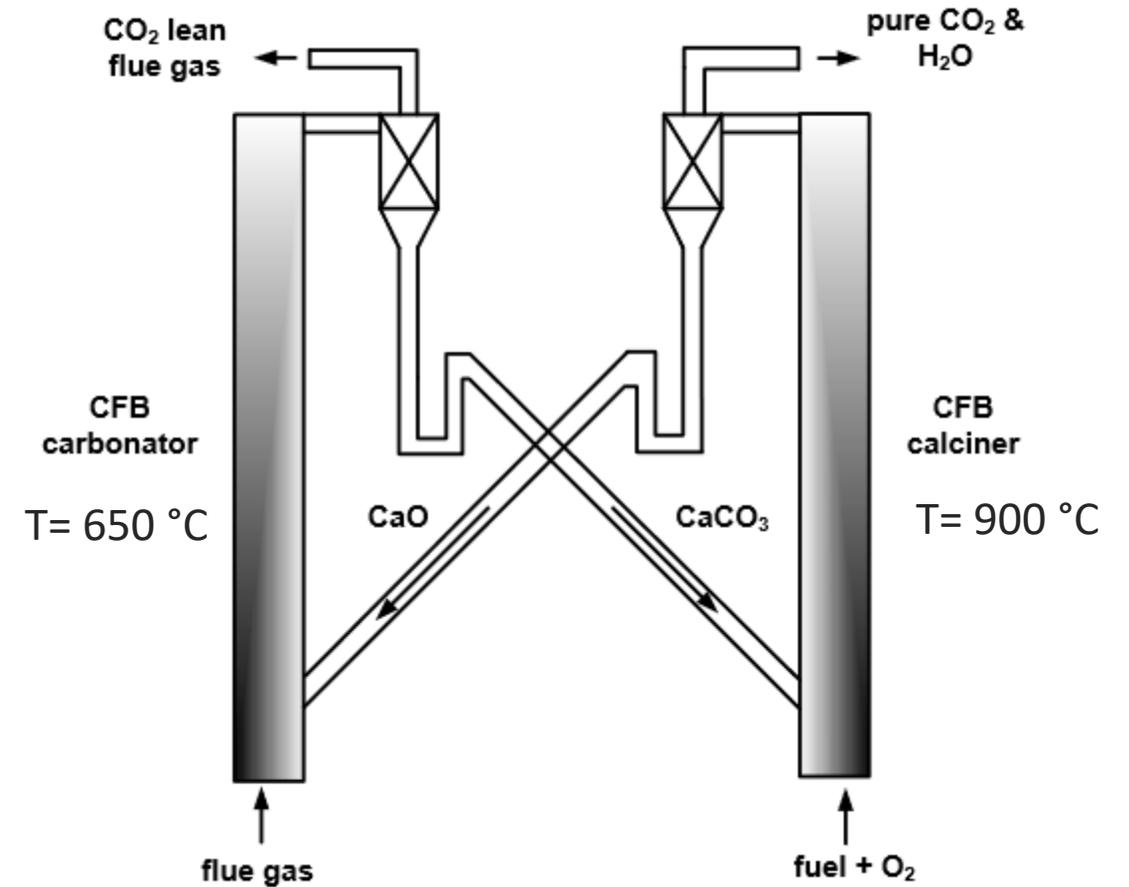
Calcium Looping

- Processo per la separazione della CO₂ ad alta temperatura in cui un sorbente a base di CaO reagisce ciclicamente con la CO₂ in due reattori.
- Le prestazioni di questo processo teoricamente possono raggiungere il valore di 0.78 gCO₂/gCaO

Carbonation :
Calcination :



$\Delta H = -178 \text{ kJ}$
 $\Delta H = +178 \text{ kJ}$



Le tecnologie CCS: cattura

PSA

la separazione della CO₂ dall'H₂ avviene mediante l'adsorbimento su una sostanza solida, come setacci molecolari, carbonio attivo, zeoliti, ossidi di calcio, idrotalciti e zirconato di litio. Il gas attraversa un letto di riempimento costituito da particelle di materiale adsorbente finché non viene raggiunta la condizione di saturazione. Il solido adsorbente è quindi rigenerato riducendo la pressione.

Membrane

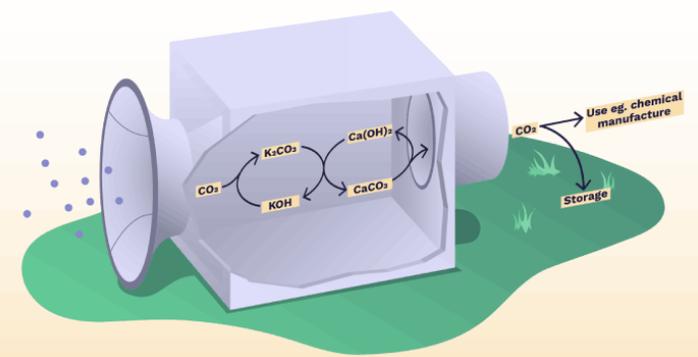
Esistono differenti tipi di membrane per la separazione dei gas, che includono membrane di ceramica porosa, membrane al palladio, membrane polimeriche e zeoliti. Le prestazioni di un sistema a membrana sono fortemente influenzate dalle condizioni della miscela gassosa da separare, come la bassa concentrazione di CO₂ e la pressione, che costituiscono gli ostacoli principali per l'applicazione di questa tecnologia.



Direct Air Capture (DAC)

Bassa concentrazione di CO₂ nell'atmosfera ~400 ppm

1. **Solid DAC (S-DAC)** bassa p medie T (80-120°C) sorbenti a base di Ca Mg ammine supportati
2. **Liquid DAC** una soluzione di idrossido temperatura di rilascio 300-900°C

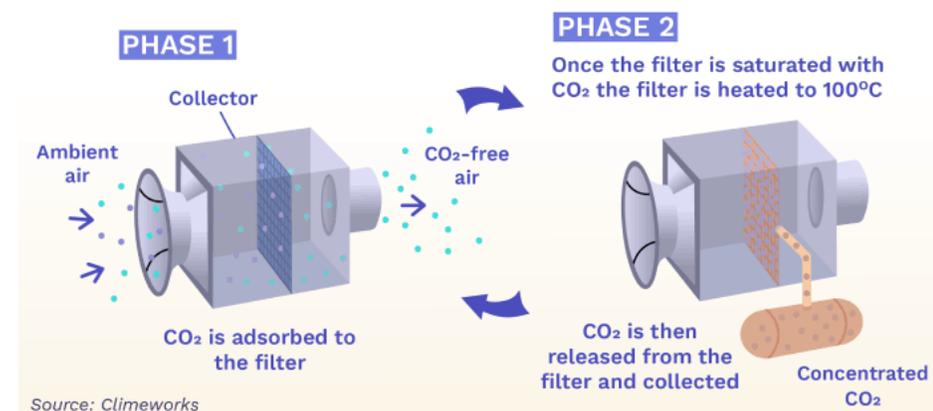


DUE FASI

1. Il collettore intrappola le particelle di anidride carbonica.
2. Filtro saturo di CO₂, il collettore si chiude viene rigenerato



The Solid Adsorbent Process



Source: Climeworks

<https://climatescience.org/>

Le tecnologie CCS: cattura DAC

Energy intensive 6-9 GJ/ton CO₂

	S-DAC	L-DAC
CO ₂ separation	Solid adsorbent	Liquid sorbent
Specific energy consumption (GJ/tCO ₂)	7.2-9.5	5.5-8.8
Capture capacity	Modular (e.g. 50 tCO ₂ /year per unit)	Large-scale (e.g. 0.5-1 MtCO ₂ /year)
Net water requirement (tH ₂ O/tCO ₂)	-2 to none	0-50
Land requirement (km ² /MtCO ₂)	1.2-1.7	0.4
Life cycle emissions (tCO ₂ emitted/tCO ₂ captured)	0.03-0.91	0.1-0.4
Levelised cost of capture (USD/tCO ₂)	Up to 540	Up to 340

<https://carboncredits.com>

27 impianti DAC mondo con 0,01 Mt di CO₂/anno catturata



Islanda impianto ORCA 4000 t/anno di CO₂ catturata

Le tecnologie CCS: trasporto e stoccaggio

TRASPORTO:

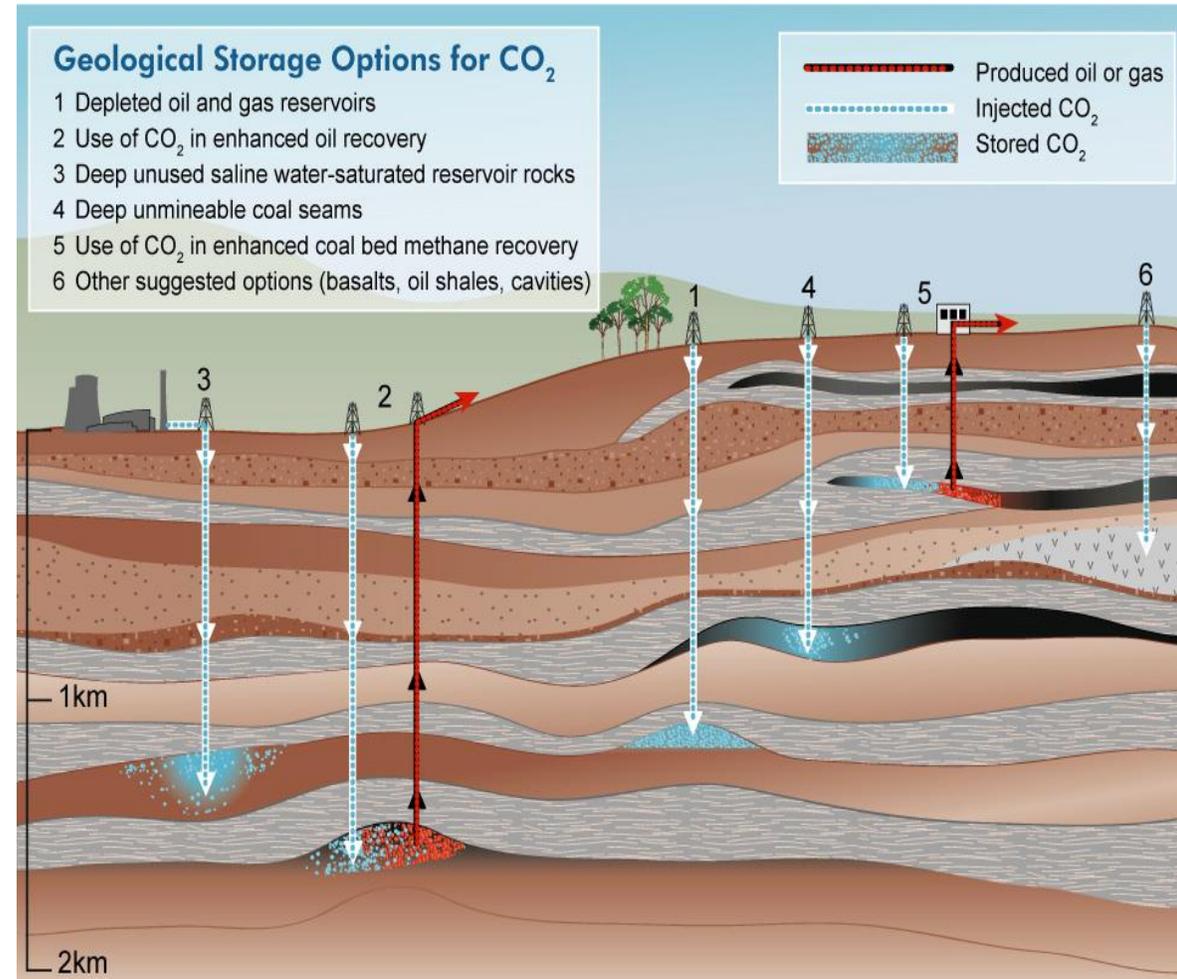
- ONSHORE PIPELINES
- OFFSHORE PIPELINES
- NAVI CISTERNA



STOCCAGGIO:

- MINERALIZZAZIONE
- BIOFISSAZIONE
- DEEP OCEAN
- STORAGE GEOLOGICO

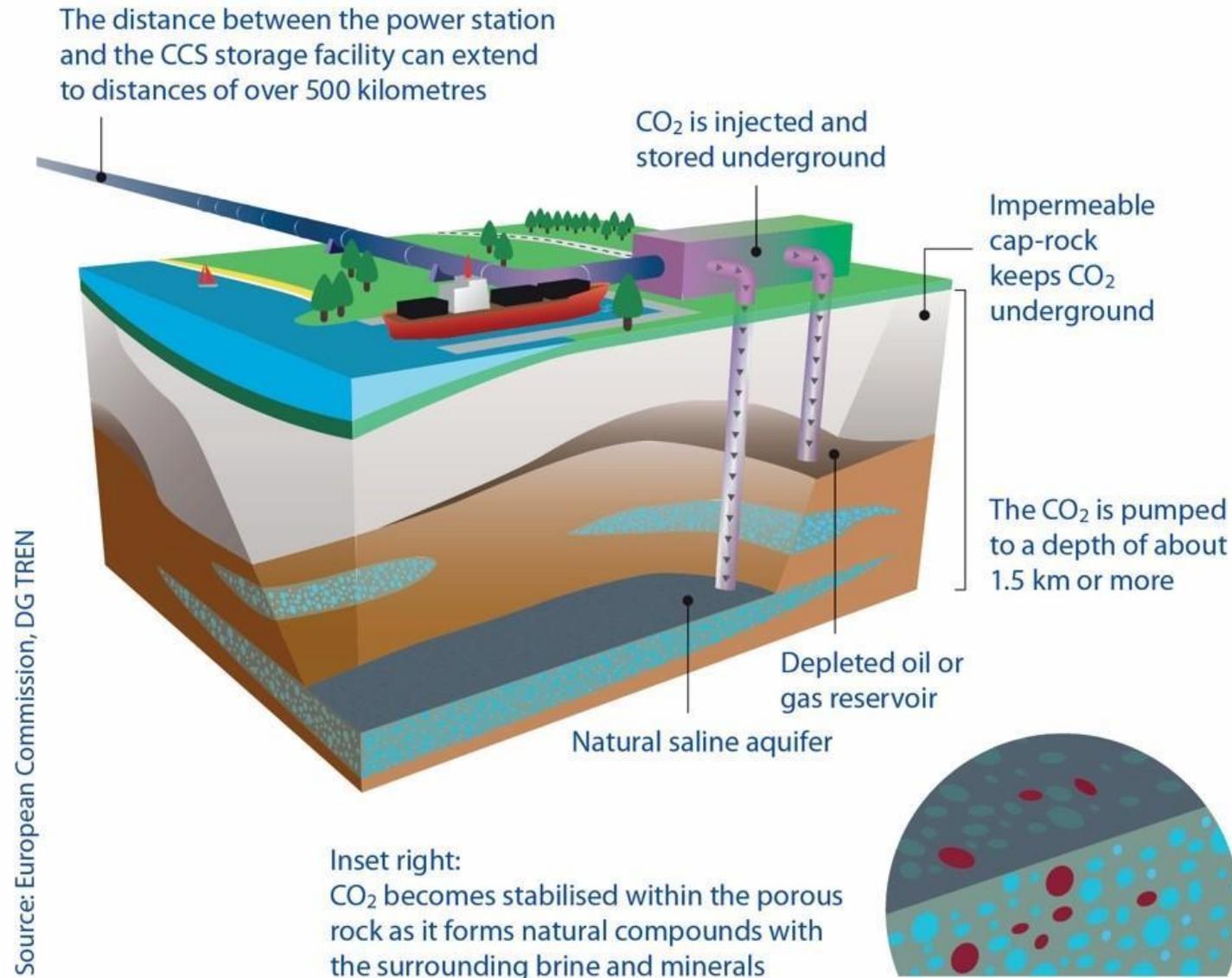
- IN FORMAZIONI SALINE PROFONDE
- IN POZZI ESAURITI DI PETROLIO E GAS
- IN GIACIMENTI DI CARBONE NON SFRUTTABILI



STOCCAGGIO

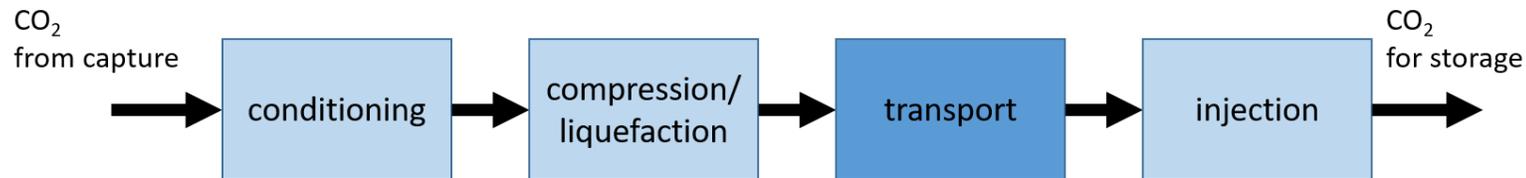
- Intrappolamento strutturale (structural trapping)
- Intrappolamento residuale (residual trapping)
- Dissoluzione (dissolution trapping)

Carbon Capture and Storage (CCS)



Le tecnologie CCS: trasporto

- Trasporto via pipeline;
- Trasporto via nave;
- Trasporto a mezzo di carri cisterna su gomma o su rotaia.



Il trasporto via gasdotto è (e si prevede che sia) la modalità più comune e più conveniente per trasportare ingenti quantità (> 1-5 MtCO₂/a) per grandi distanze (> 100-500 km).

Gli intervalli operativi di temperatura e pressione

$T = 12 - 43 \text{ }^\circ\text{C}$ e $p = 8 - 15 \text{ MPa}$

L'energia necessaria per il trasporto e la compressione della CO₂ dipende dalla distanza e dalla pressione finale.

Un tipico valore è compreso tra 0.2 GJ e 0.5 GJ di elettricità/tCO₂ (per 100-200 km)

La mineralizzazione



- [Government of Iceland](#)
- [ÍSAL - Rio Tinto Group](#)
- [Norðurál - Century Aluminium](#)
- [Fjarðaál - Alcoa](#)
- [Elkem Iceland](#)
- [PCC BakkiSilicon](#)
- Carbfix - [Reykjavik Energy Group](#)



CO₂



18.7

CO₂ injected today
(metric tonnes)

98,423.6*

CO₂ injected since 2014
(metric tonnes)

*(Not for official purposes)

CO₂
dissolved
in water



H₂O

Stable carbonate minerals



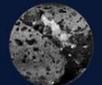
Basalts and other reactive rock formations

+



CO₂ dissolved in water

=

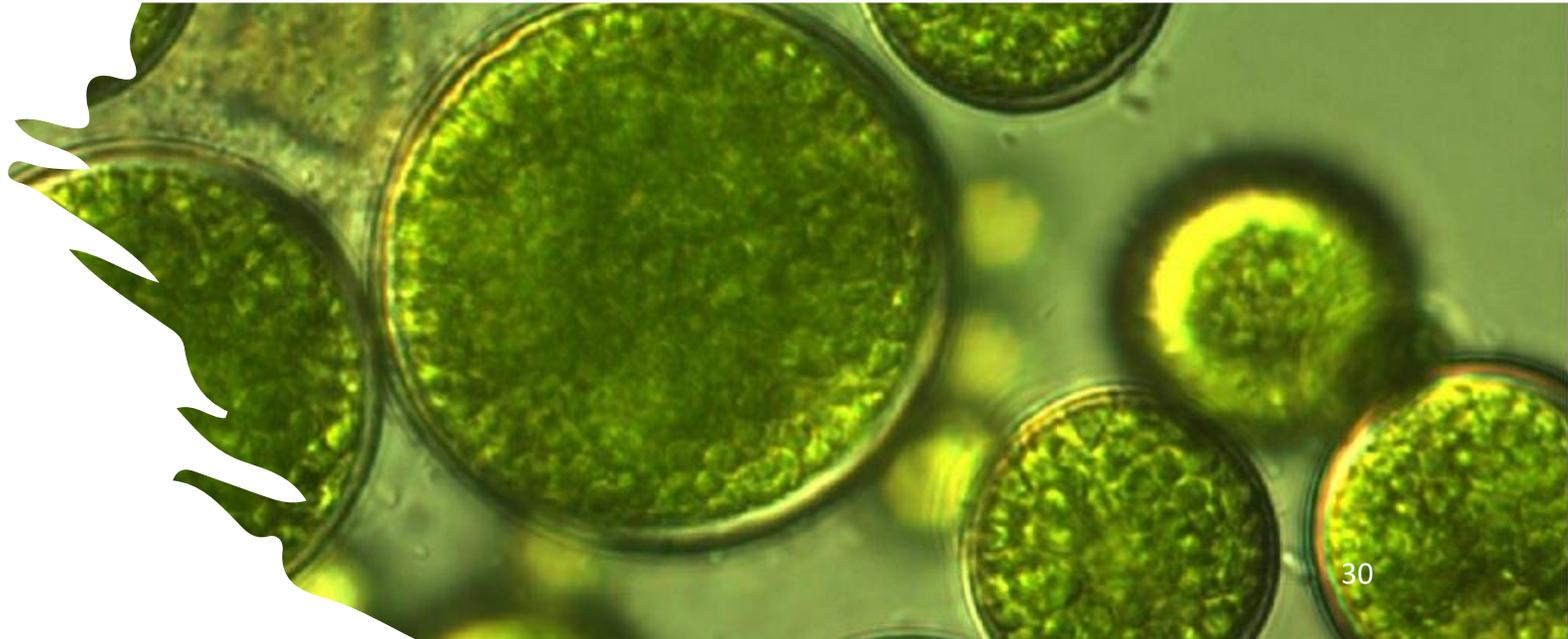


Solid carbonates

La biofissazione

MICROALGHE

- Organismi sia eucariotici che procariotici (cianobatteri)
- Caratterizzati elevata capacità adattativa a diverse condizioni ambientali che li rende ubiquitari in tutti gli ecosistemi.
- Le alghe, per ogni tonnellata di biomassa prodotta, rimuovono circa 1,83 t di CO₂

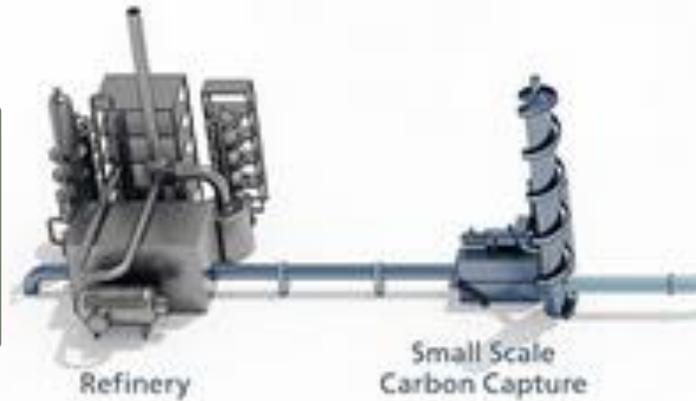


La cattura della CO₂ nell'industria

Industria ad alta intensità
energetica
Cementificio



Industria ad alta intensità
energetica
Raffineria

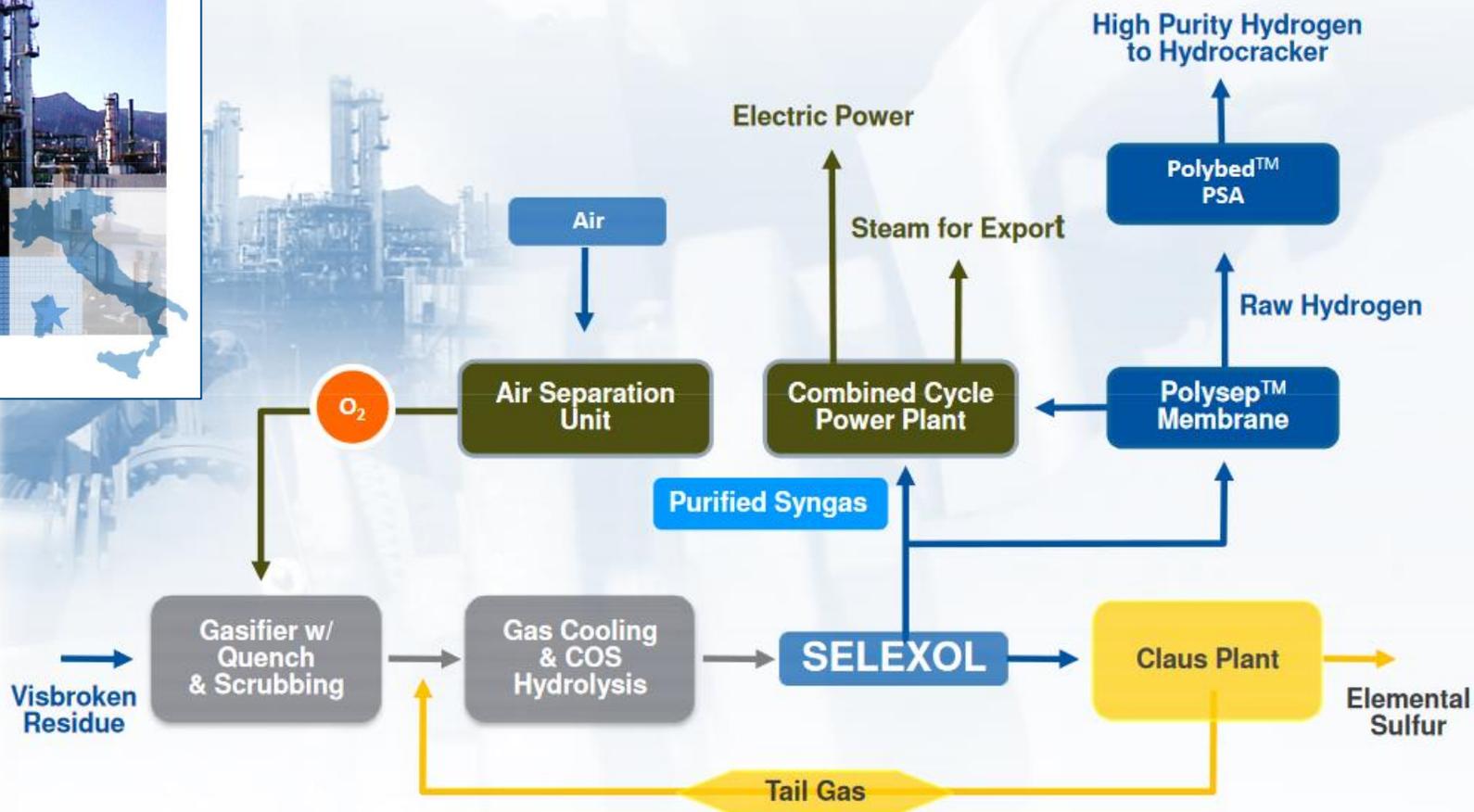


Settore della raffinazione

• IMPIANTO Sarlux IGCC presso la raffineria SARAS

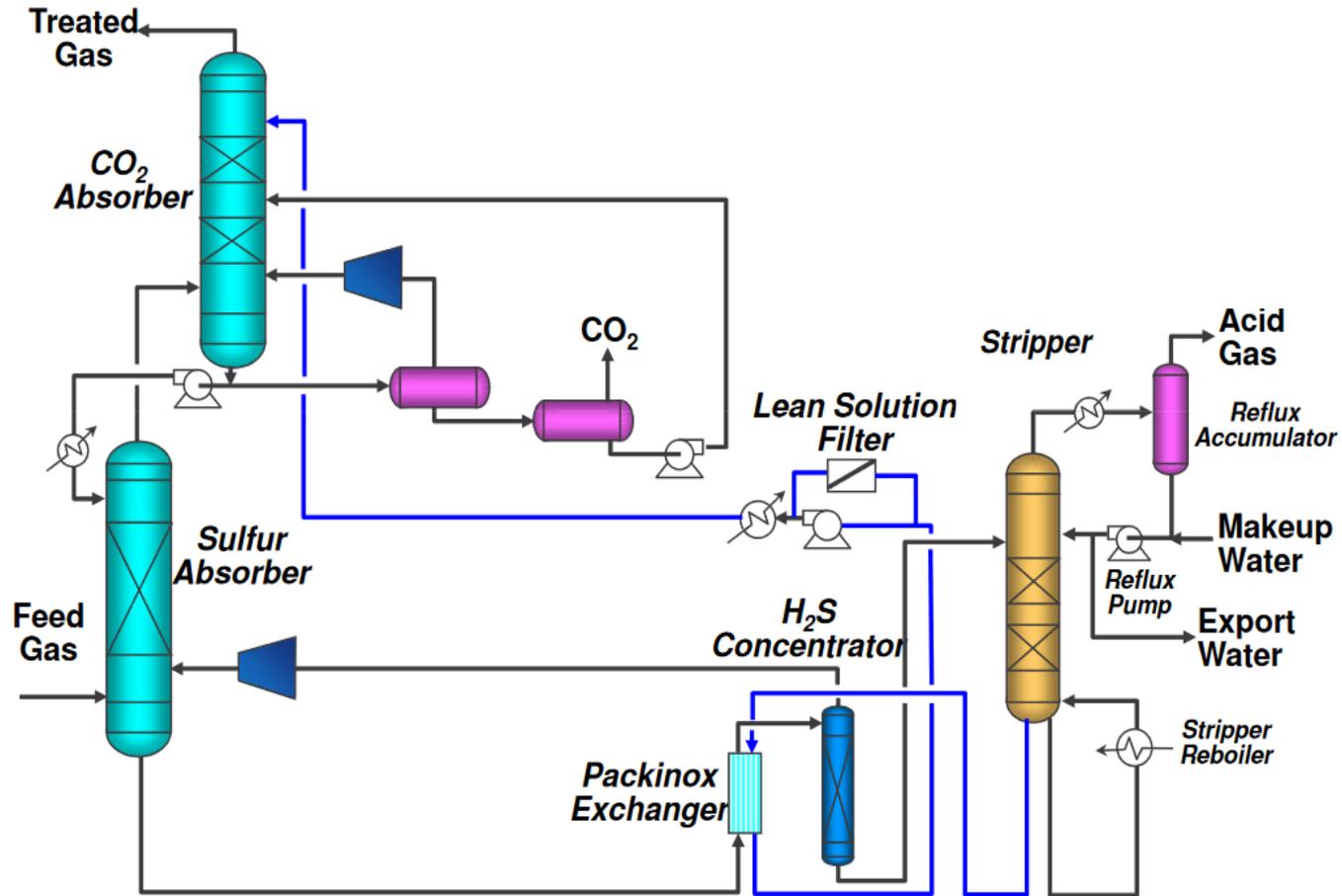
Sarlux IGCC Complex Plant

Start-Up	2000
Application	Power H ₂ Production
Production	550 MW net / 40000 Nm ³ /h
AGRU Duty	Sulfur
Syngas Flow	404 MMSCFD @420 psia
Feedstock	Visbreaker Residue



Settore della raffinazione

- Processo Selexol



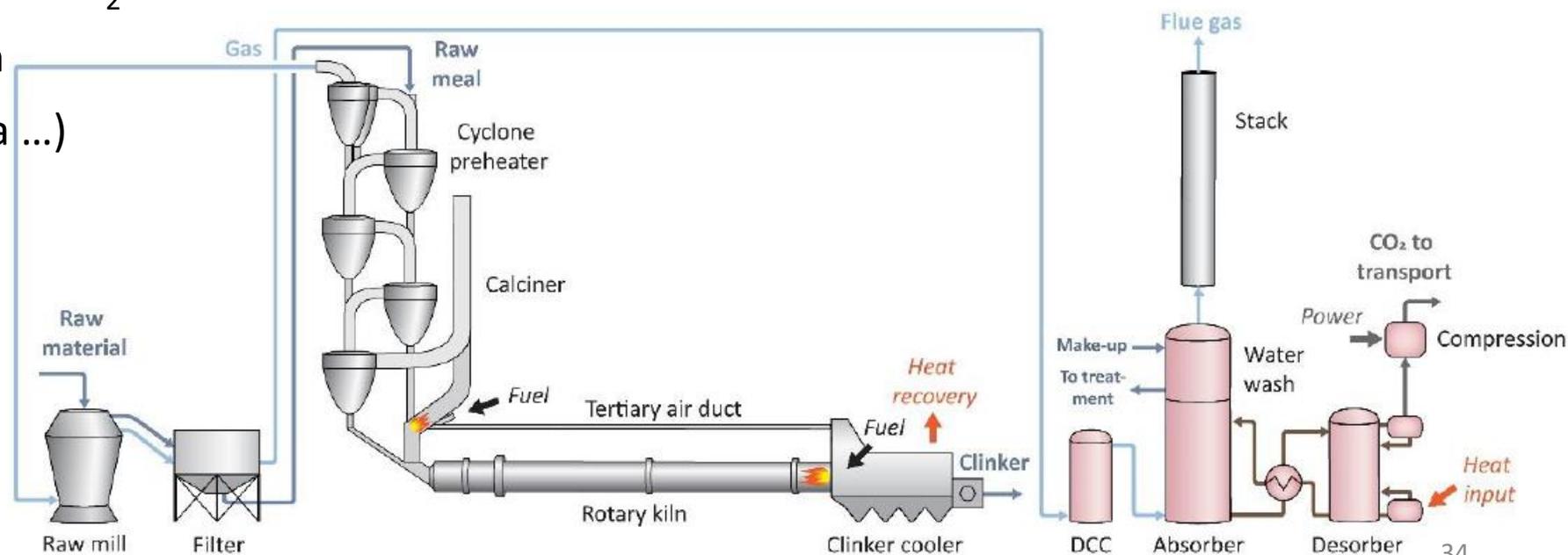
Settore del cemento

2/3 delle emissioni provengono dalle reazioni chimiche
CCUS è la soluzione migliore per decarbonizzare il settore.

CEMCAP project CO₂ capture from cement production



- Concentrazione 15-25% vol. CO₂
- Tecniche post combustione
(ammine, ammoniaca ...)
- Oxyfuel



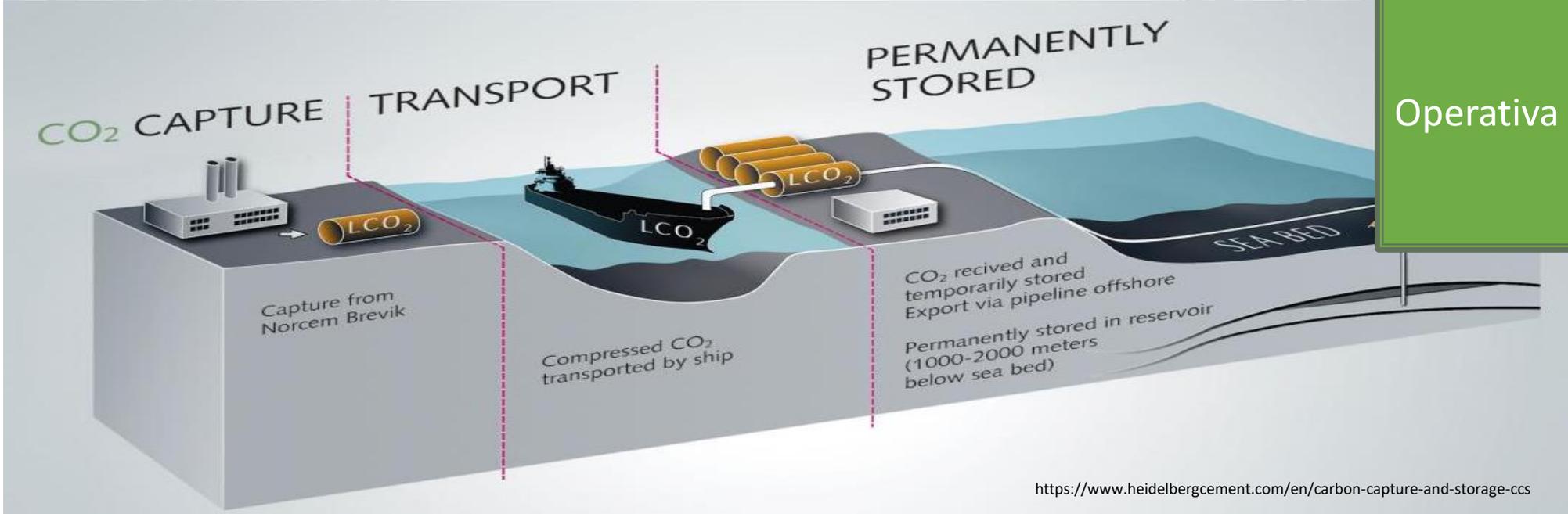
Settore del cemento



400,000 t/a CO₂,
Heidelberg Cement Brevik
Norvegia

Utilizzo di Ammine

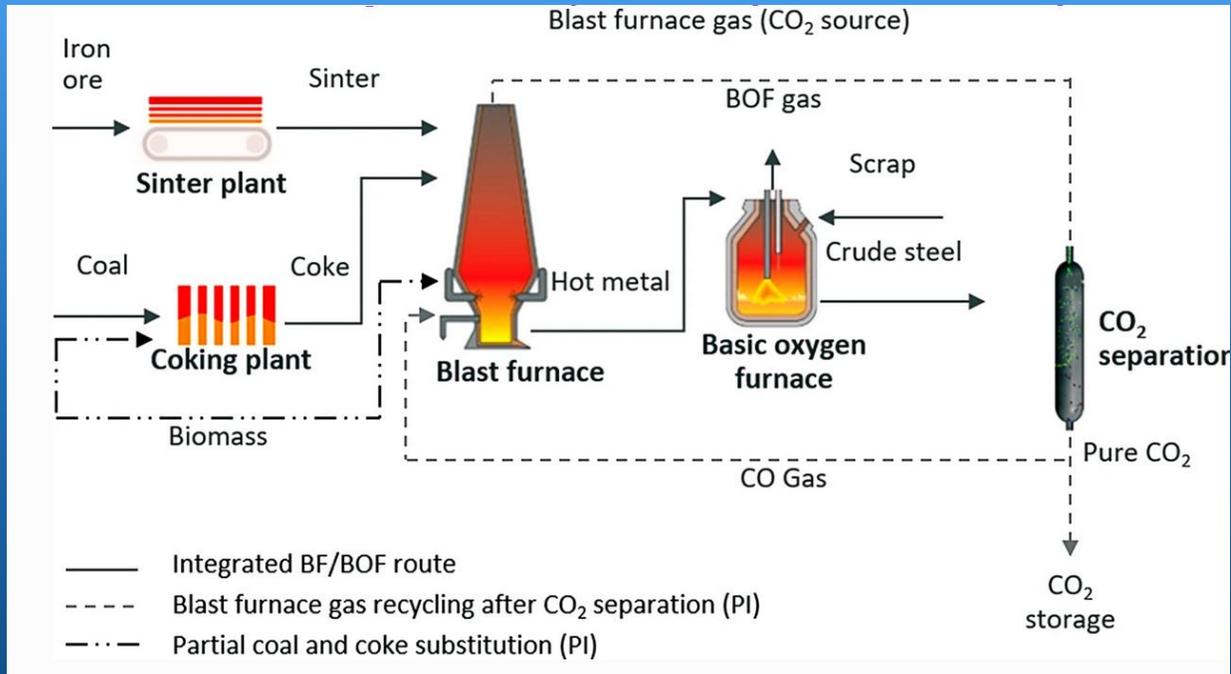
Operativa nel 2024



Settore siderurgico

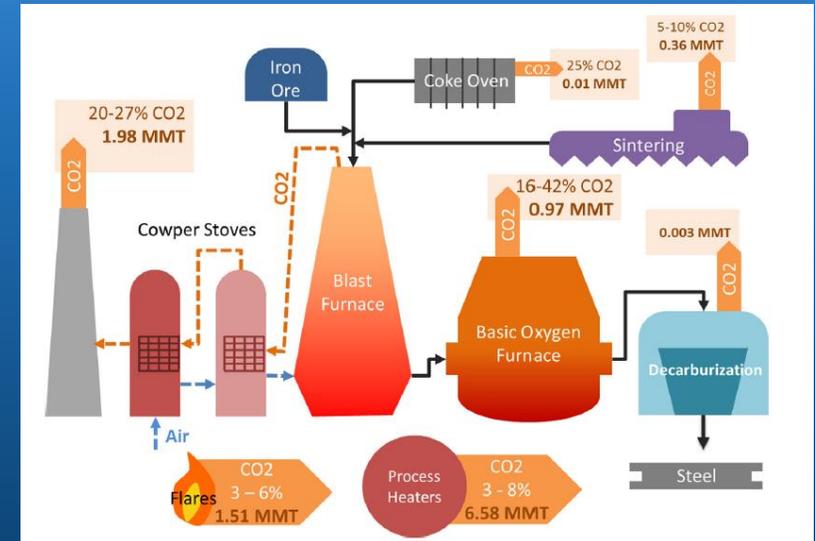
emissione specifica media di CO₂ = 1800 kg/t acciaio grezzo prodotto

emissione specifica media di CO₂ = 100 kgCO₂/t acciaio grezzo prodotto attraverso EAF (con emissione di CO₂ dalla rete di circa 0.023 kgCO₂/kWh)

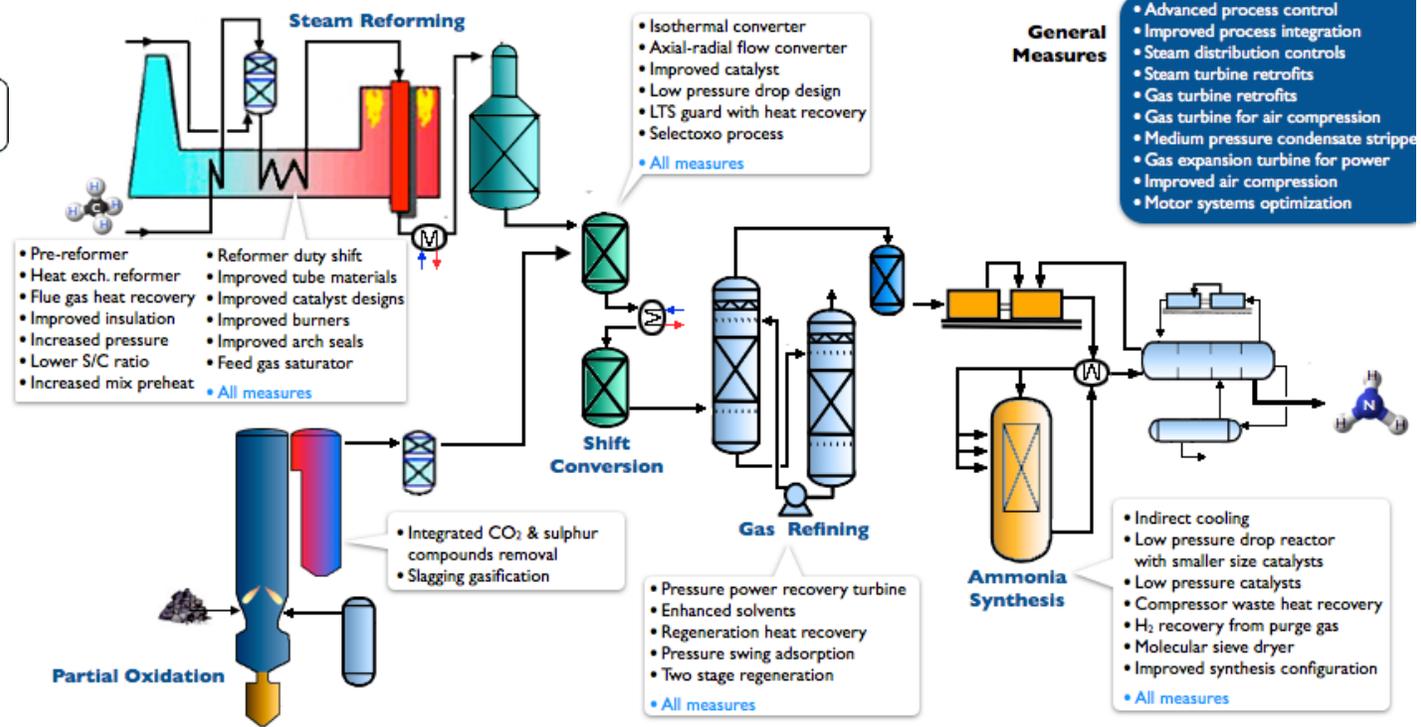
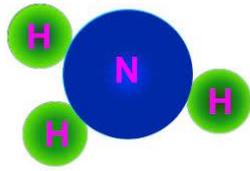
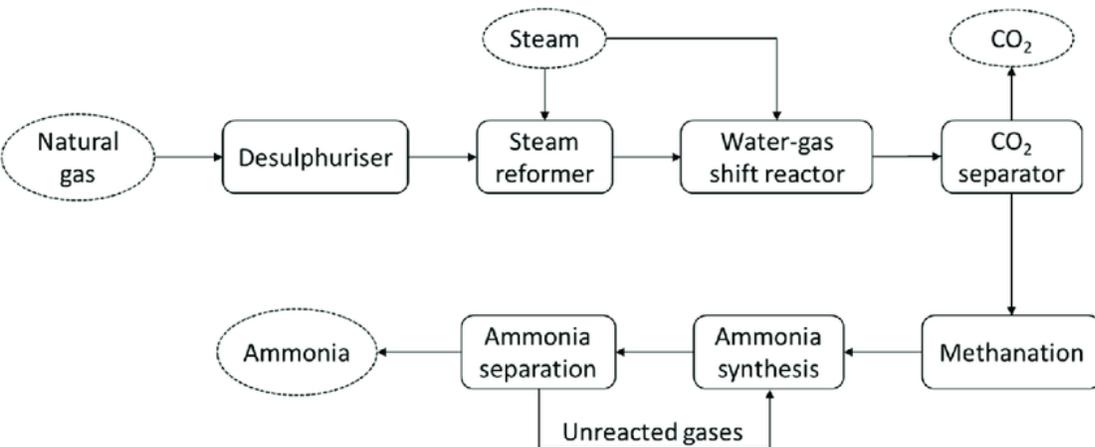


Schema delle principali misure di mitigazione
 RINA Consulting (2019) Low carbon future, www.lowcarbonfuture.eu (28.11.2019)

Gas d'altoforno attraverso ammine (MDEA, Metil Di Etanolo Ammina) per la produzione di un gas ad alto contenuto di H₂ da utilizzare come gas riducente nella produzione (Top Gas Recycling,

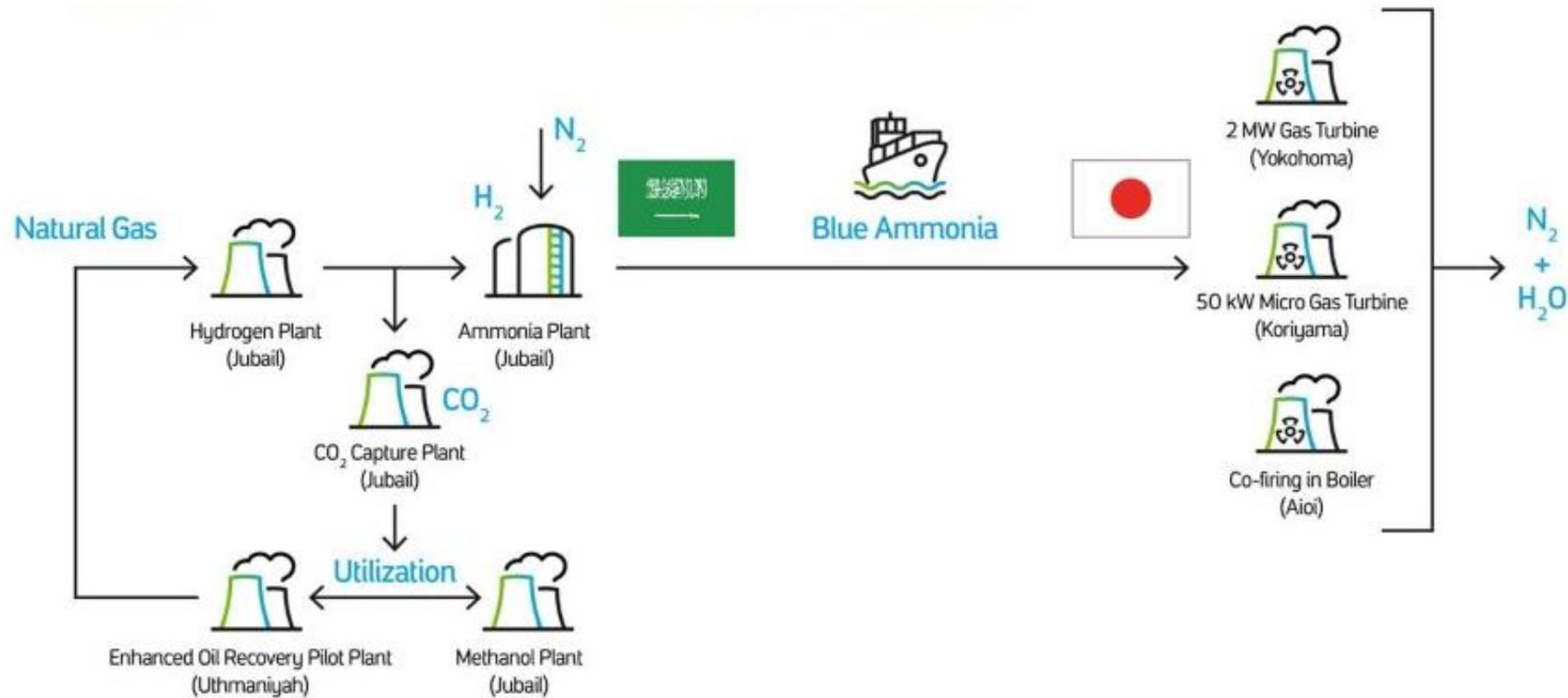


CCS: produzione ammoniaca blu



CCS: produzione ammoniaca blu

Saudi-Japan blue ammonia supply network



CCS: la produzione di idrogeno blu

I colori dell'idrogeno!!



Idrogeno verde

Materia prima: **acqua**

Energia proveniente da **fonti rinnovabili**



Zero
CO₂ generata



Idrogeno grigio

Materia prima: **combustibili fossili**

Prodotto utilizzando energia da **combustibili fossili**



9kg
di CO₂ generata
per ogni kg prodotto

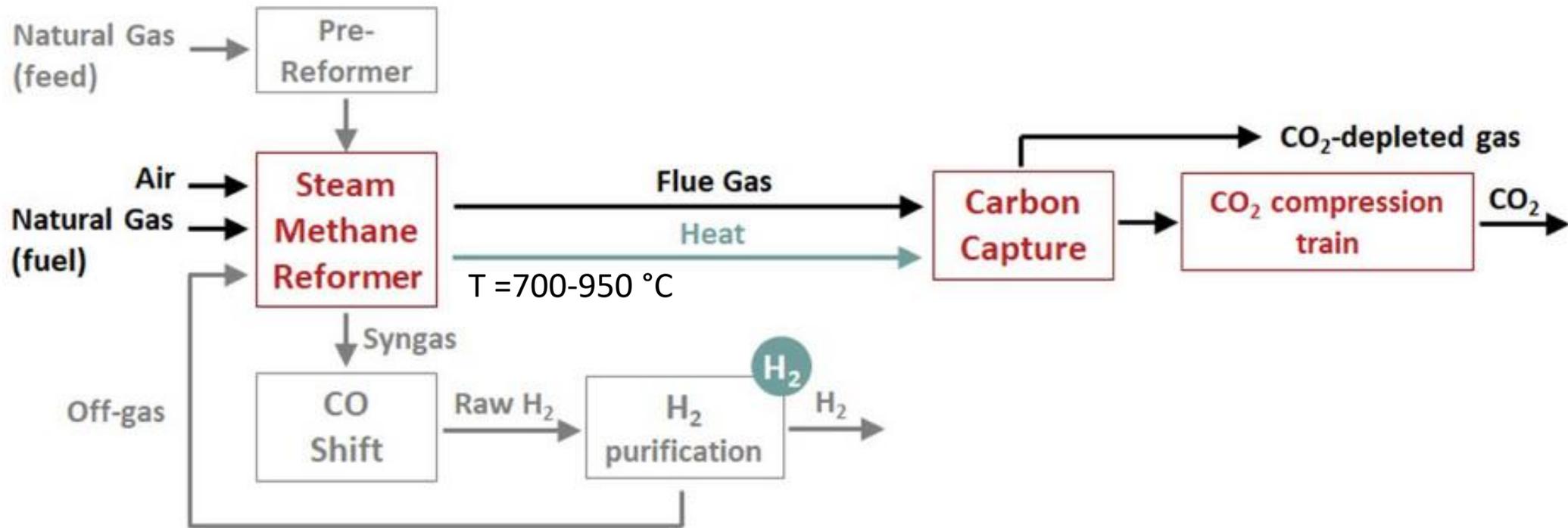


Idrogeno blu

La CO₂ generata viene **catturata e stoccata**
nei giacimenti esausti



CCS: SMR la produzione di idrogeno blu

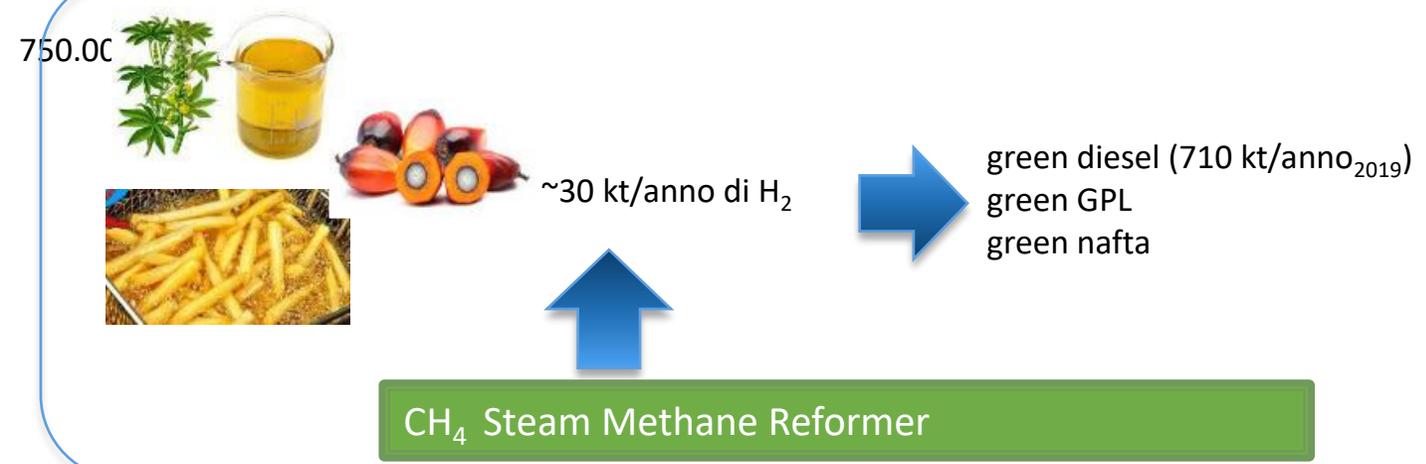
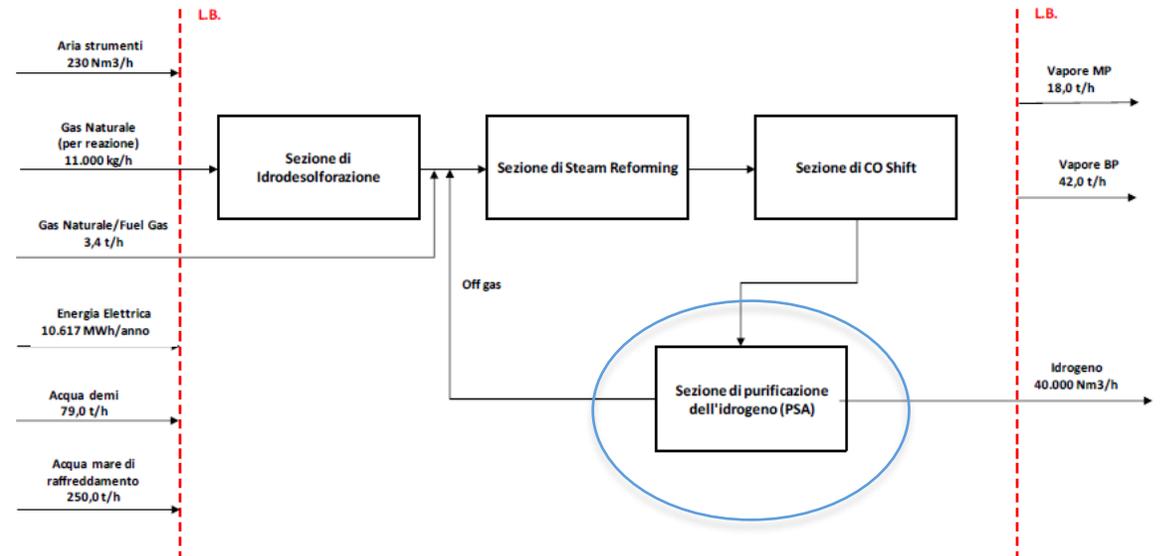


Front. Energy Res., 18 August 2020 Hydrogen Storage and Production
Volume 8 - 2020 | <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00180>



Reattori tipo PFR

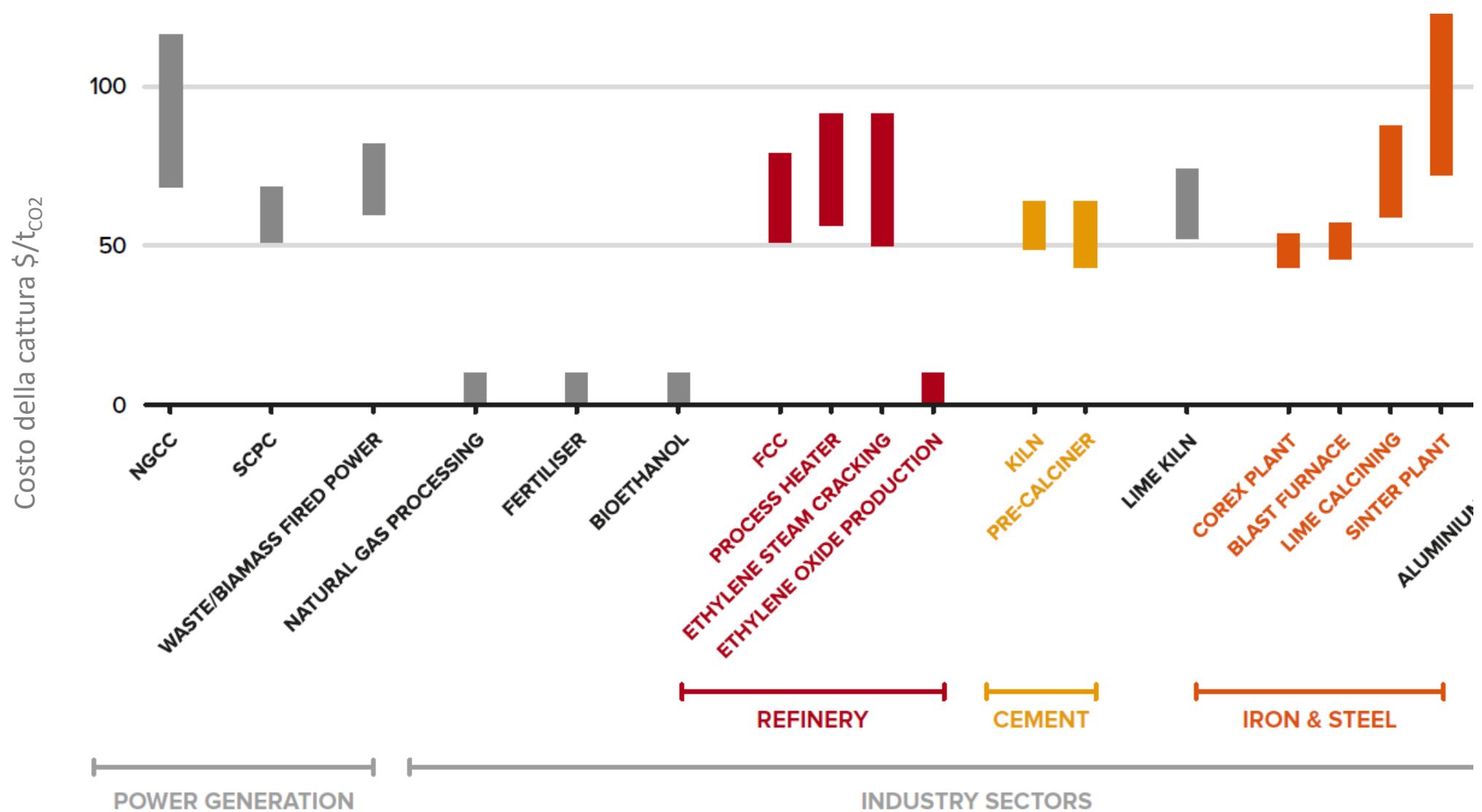
La filiera del petrolchimico: la bioraffineria di Gela



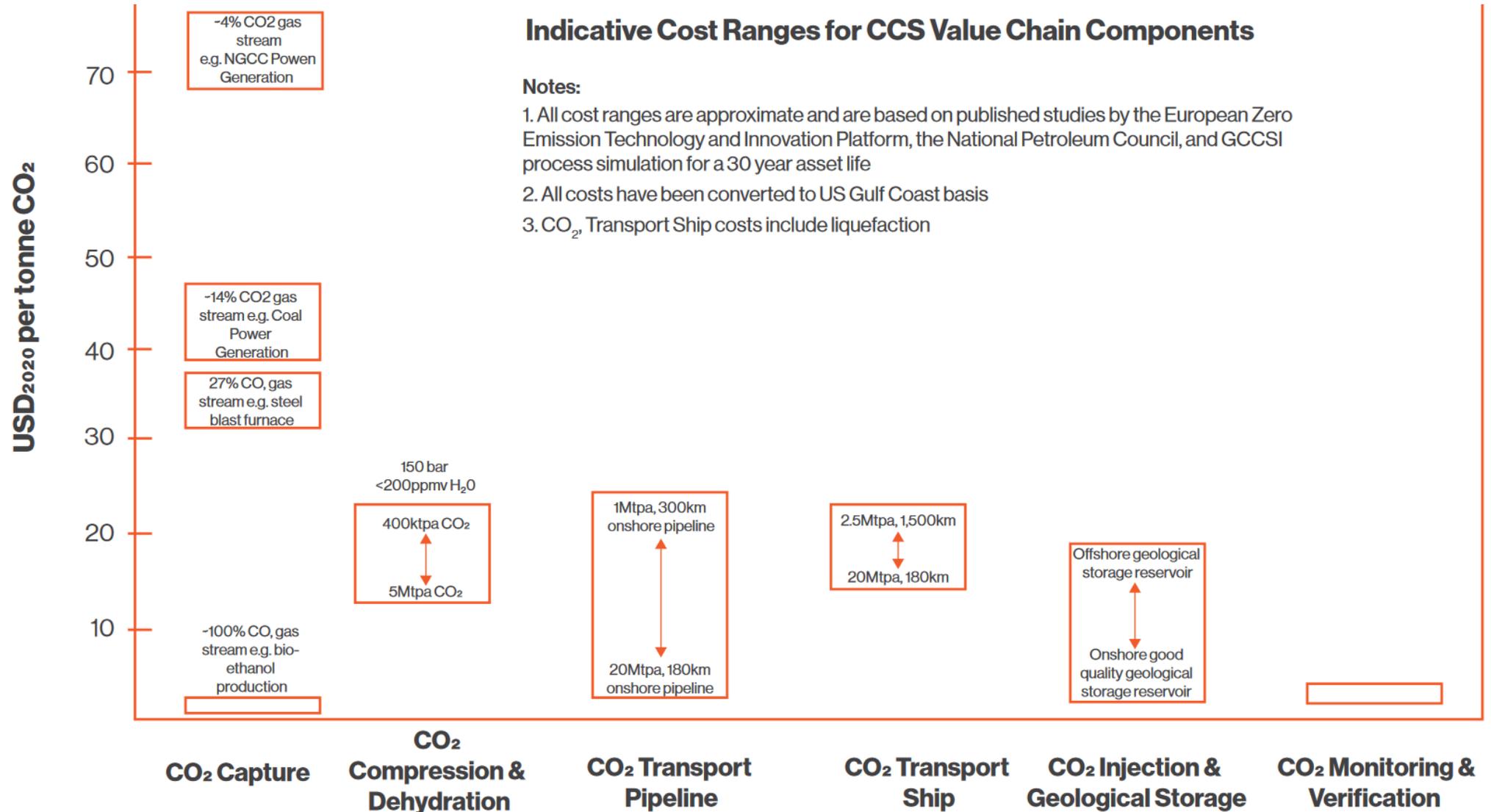
Progetto pilota finalizzato alla **biofissazione della CO₂ con microalga** per ricavare prodotti dal valore aggiunto

CCS: CO₂ costi di cattura

Fonte: TECHNOLOGY
READINESS AND COSTS OF
CCS Global CCS Institute
March 2021



CCS: CO₂ costi di trasporto e stoccaggio



CCS: mappa dei progetti in Europa

Overview of existing and planned CCUS facilities

AUSTRIA

1. Vienna Green CO₂*

BELGIUM

1. Leilac 1
2. Antwerp@C*
3. Carbon Connect Delta
4. Steelanol
5. C4U
6. North-CCU-Hub
7. Power-to-Methanol Antwerp BV
8. Kairos@C*
9. H2BE*

BULGARIA

1. ANRAV*

CROATIA

1. Petrokemija Kutina*
2. Bio-Refinery Project*
3. CCGeo*

DENMARK

1. Greensand*
2. C4: Carbon Capture Cluster Copenhagen
3. Bifrost*

FINLAND

1. SHARC*

FRANCE

1. DMX Demonstration in Dunkirk*
2. Pycasso*
3. K6*
4. CalCC*
5. Cryocap
6. D'Artagnan

GERMANY

1. H2morrow*
2. Leilac 2
3. BlueHyNow*
4. OXYFUEL100 [subproject of Westkuste100]
5. H2GE Rostock*

GREECE

1. Prinos CCS
2. RECODE

ICELAND

1. Orca
2. Silverstone*
3. Coda Terminal*

ITALY

1. CCS Ravenna Hub*
2. Cleankerk

THE NETHERLANDS

1. Porthos*
2. Aramis*
3. H2M*
4. H-Vision*
5. Twence*
6. AVR-Duiven
7. AZUR*
8. L10 CCS

NORWAY

1. Sleipner CO₂ Storage*
2. Longship [including Northern Lights]*
3. Barents Blue*
4. Norsk e-fuel
5. Borg CO₂*
6. Snehvit CO₂ Storage*
7. Smeaheia*

POLAND

1. Poland EU CCS Interconnector
2. Go4ECOPlanet*

REPUBLIC OF IRELAND

1. Ervia Cork CCS

SPAIN

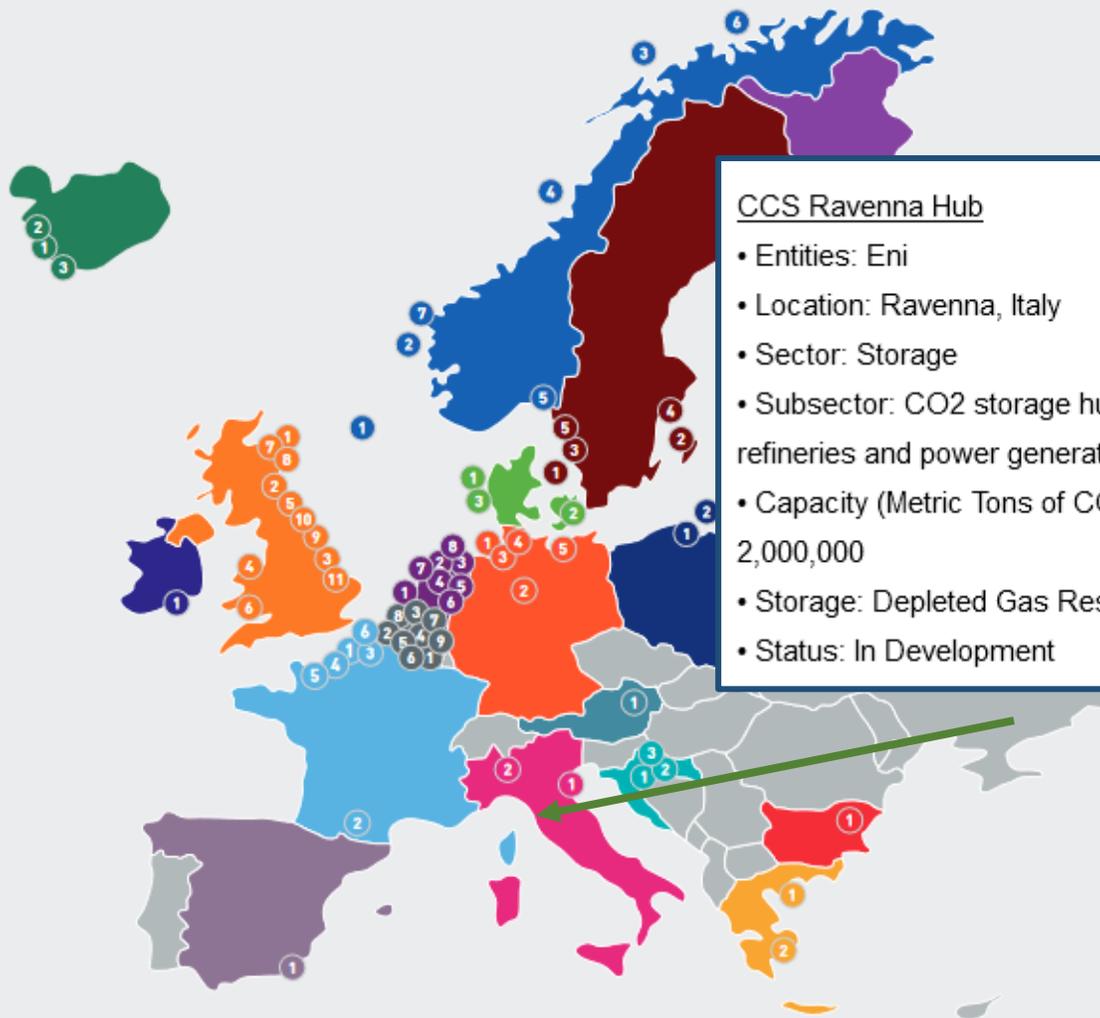
1. ECCO2

SWEDEN

1. Preem CCS*
2. Slite CCS
3. CinfraCap
4. BECCS@STHLM*
5. Project AIR*

UK

1. Acorn*
2. Caledonia Clean Energy
3. Zero Carbon Humber*
4. HyNet*
5. Net Zero Teesside*
6. South Wales Industrial Cluster
7. Peterhead CCS Power Station*
8. Acorn CO₂ SAPLING*
9. Northern Endurance Partnership*
10. H2Teesside*
11. H2H Saltend*



CCS Ravenna Hub

- Entities: Eni
- Location: Ravenna, Italy
- Sector: Storage
- Subsector: CO₂ storage hub for refineries and power generation
- Capacity (Metric Tons of CO₂/year): 2,000,000
- Storage: Depleted Gas Reservoir
- Status: In Development

* Project where IOGP Members are involved
 † EU Innovation Fund (11 selected, 4 awarded)
 Projects listed in **bold** are in operation

Total number of projects: **71**
 Around 80 MtCO₂/yr stored by 2030

CCUS BARRIERE



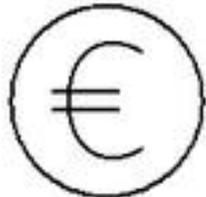
Lack of technical expertise
due to long industry chain



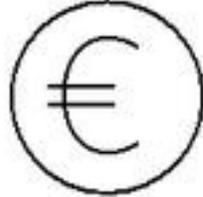
Resource usage at scale
removing 1 Gtpa could consume as much as 1.4x the total electricity generation for the EU in 2018



Technology performance
CCS still in developing phase with uncertainty in performance



CAPEX uncertainly
immaturity of CCUS & uniqueness of industrial sites limits replicability & cost estimation



OPEX uncertainty
uncertainty of future oil prices



Risk perception
investors require high ROI due to high risk



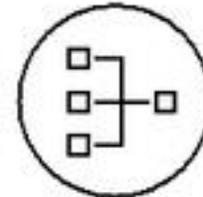
Lack of revenue model
due to low CO₂ prices & insufficient utilisation opportunities



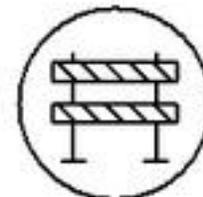
Uncertainty in demand
for industrial products



Public resistance
often because of lack of knowledge



Policy uncertainty
lack of comprehensive frameworks and business models to facilitate CCUS



Regulations & infrastructure
admin causes 5-10 year delays and slow the pace of construction

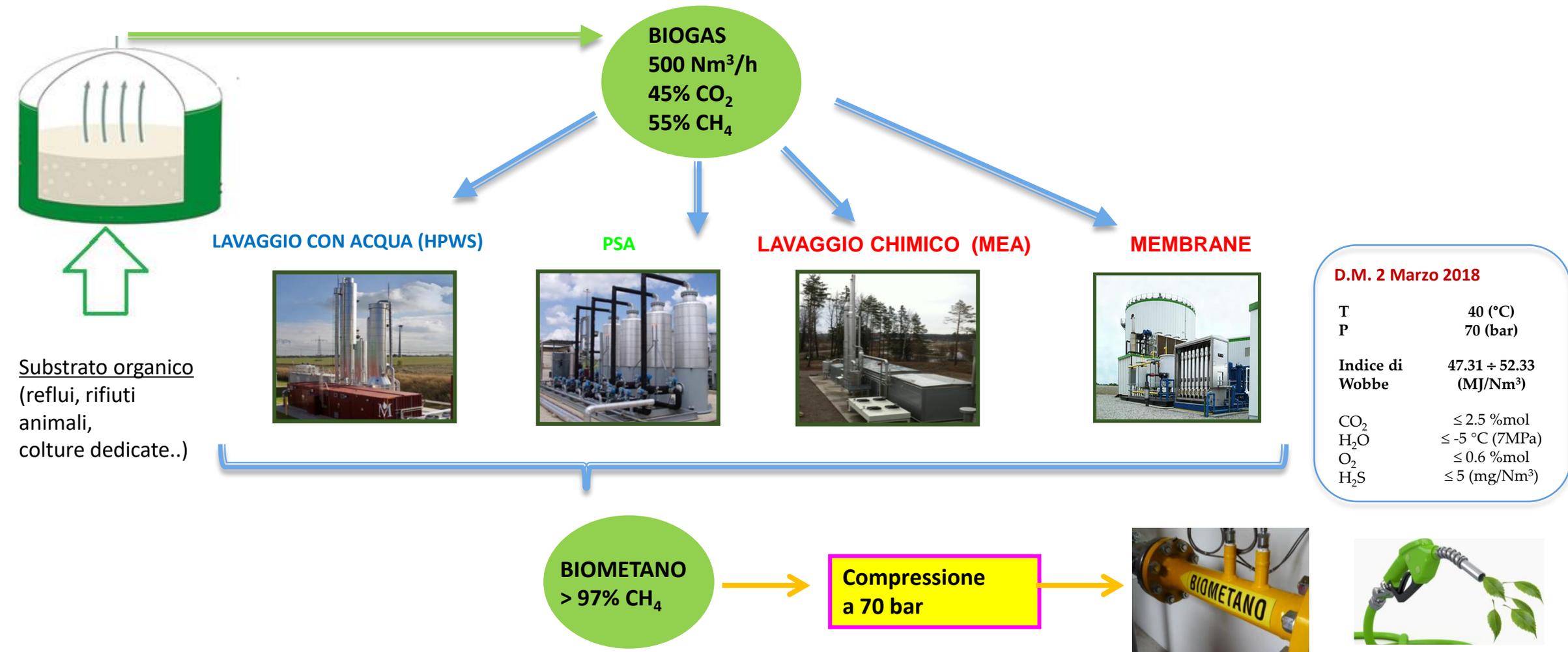


Cross-chain integration
many uncertainties in coordination between many stakeholders, volume risk of CO₂ & CO₂ reliability transfer

CCS: BIOMETANO



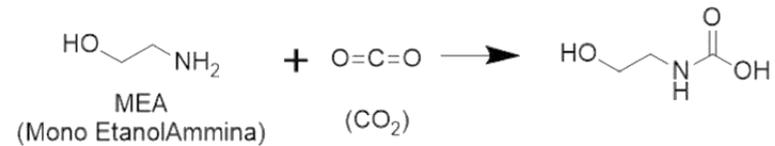
CCS: la produzione di biometano



Target immissione biometano al 2030 8 mld stm³/anno

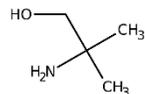
Upgrading biogas: utilizzo soluzione amminica

L'assorbimento chimico è una tecnologia che prevede il chemisorbimento della CO₂



Soluzioni acquose di ammine:

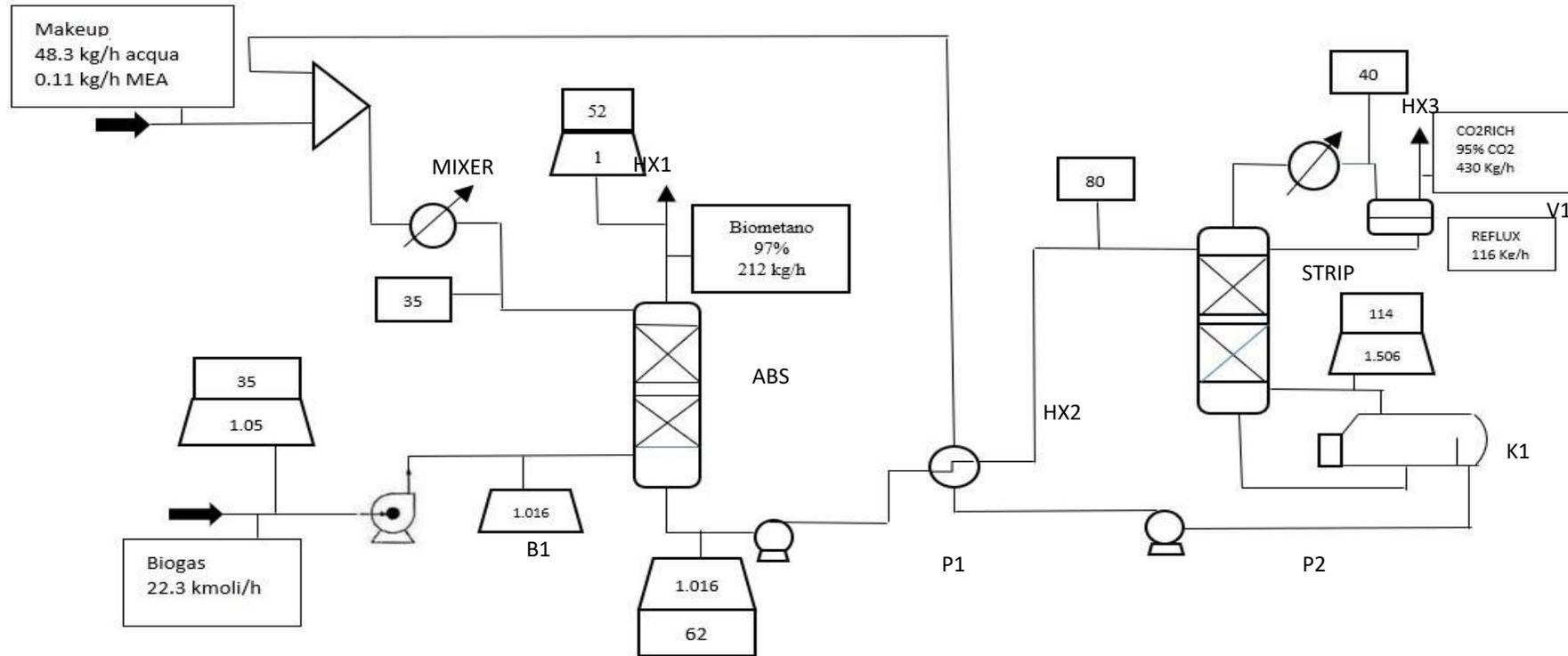
- monoetanolammina (MEA)
- dietanolammina (DEA)
- metildietanolammina (MDEA).
- Ammine stericamente impedita (2-ammino-2-metil-1-propano AMP)



Name	Absorption capacity (molCO ₂ / mol amine)	Advantages	Disadvantages
Monoethanolamine (MEA)	0.45–52	<ul style="list-style-type: none">• High reactivity• Low solvent cost• Low molecular weight• Reasonable thermal stability and degradation rate	<ul style="list-style-type: none">• High regeneration energy requirement• Uneconomical process• Relatively low CO₂ loading capacity results in large recirculation rates which eventually demands for large equipment sizes and high capital cost
Diethanolamine (DEA)	0.21–0.81	<ul style="list-style-type: none">• Lower regeneration energy requirement• Low heat of reaction	<ul style="list-style-type: none">• High solvent losses and degradation and high vapour pressure• High losses and degradation but relatively to a lesser extent than MEA• Regeneration of the spent DEA solutions is more complex as vacuum distillation may be required
<i>N</i> -methyldiethanolamine (MDEA)	0.20–0.81	<ul style="list-style-type: none">• Relatively low regeneration energy requirement for regeneration• Less degradable and corrosive• Low vapour pressure and basicity• lower circulation rates, smaller plant size and costs	<ul style="list-style-type: none">• Relatively slow kinetics• Low absorption capacity

Upgrading biogas: utilizzo soluzione amminica

Assorbimento chimico con soluzione acquosa di MEA (ammina)



Consumi per la rigenerazione dell'ammina 0.55 kWh/Nm³_{biogas}

Simbolo	ABS	P	B	HX	V	STRIP	K
Apparecchiatura	Absorber	Pompa	Blower	Scambiatore	Vessel	Stripper	Kettle

Pressure Swing Adsorption: PSA

Le unità di **pressure swing adsorption** sono composte da letti di materiale adsorbente. Il principio che sta alla base di questa tecnologia è la capacità di questi materiali di adsorbire determinati composti ad alta pressione e in seguito di rilasciarli a pressione inferiore, spesso sotto vuoto.

La selettività di adsorbimento:

- **selettività termodinamica (o di equilibrio)**

Adsorbenti termodinamici la selettività è determinata dalla formazione di legami più forti tra la CO_2 e superficie del solido rispetto a quelli formati tra CH_4 e solido.

I componenti fortemente adsorbiti vengono trattenuti nella colonna, mentre il flusso di gas effluente contiene specie gassose con minore intensità interattiva con l'adsorbente l'intensità delle interazioni superficiali tra adsorbente e adsorbato è molto elevata.

- **selettività cinetica**

Funzione della dimensione dei pori; questi infatti possono avere una dimensione tale da consentire l'ingresso della CO_2 (diametro cinetico di 3,4 Å) e da impedire quello del metano (diametro cinetico 3,8 Å) La selettività cinetica si basa sulle differenze tra i tassi di diffusione delle molecole costituenti attraverso i pori dell'adsorbente

Pressure Swing Adsorption: PSA

- **selettività termodinamica (o di equilibrio)**

Materiali: carboni attivi, zeolite 13X, gel di silice e strutture organo-metalliche sono definiti come adsorbenti a base termodinamica, presentano interazioni superficiali più forti e una maggiore selettività verso la CO₂ e possono assorbirne carichi elevati

- **selettività cinetica.**

Tipicamente i più utilizzati in questa tecnologia sono zeoliti, carboni attivi e i setacci molecolari al carbonio



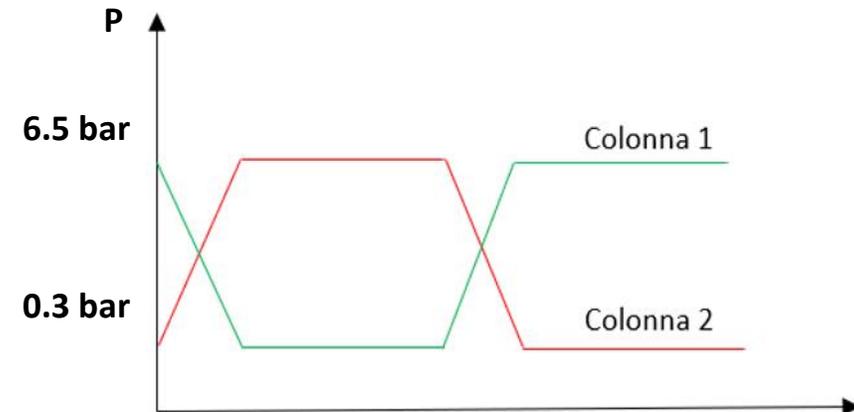
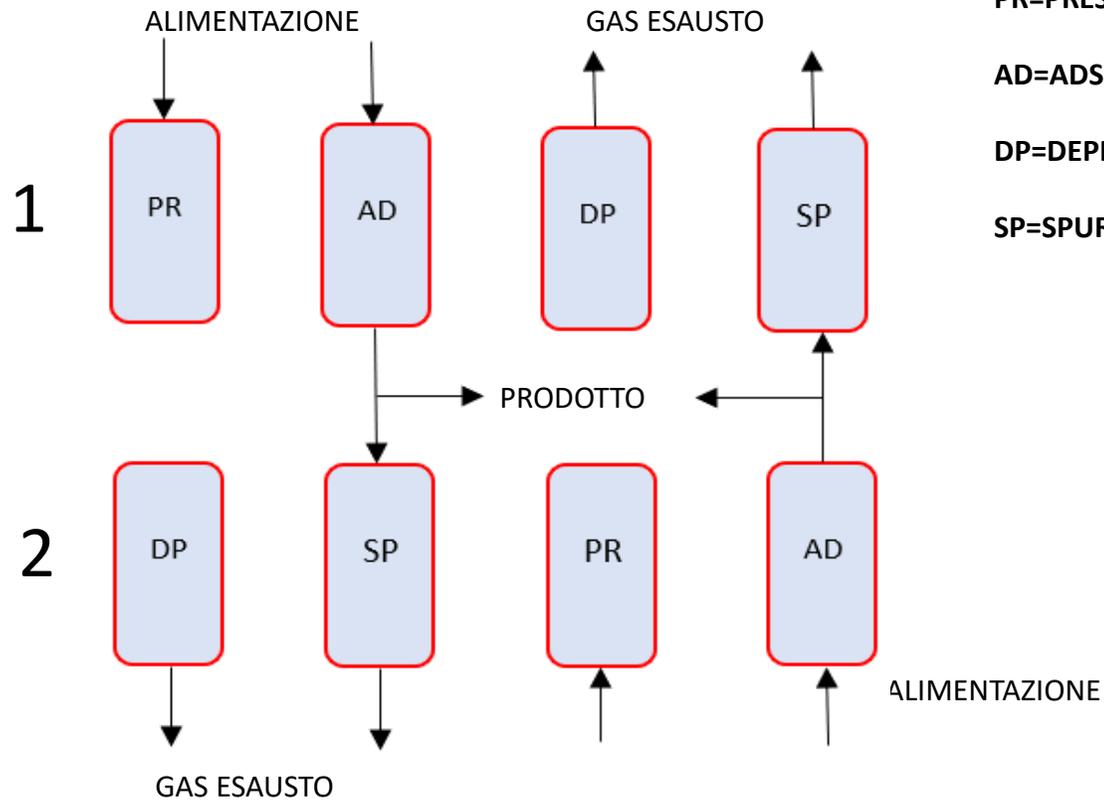
CMS-3K (Takeda Corp)
Carbon Molecular Sieve

ϵ_i 0.33
Raggio (mm) 0.9
Densità (kg/m³) 715

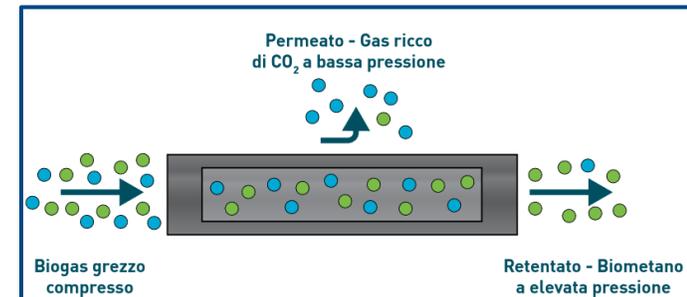
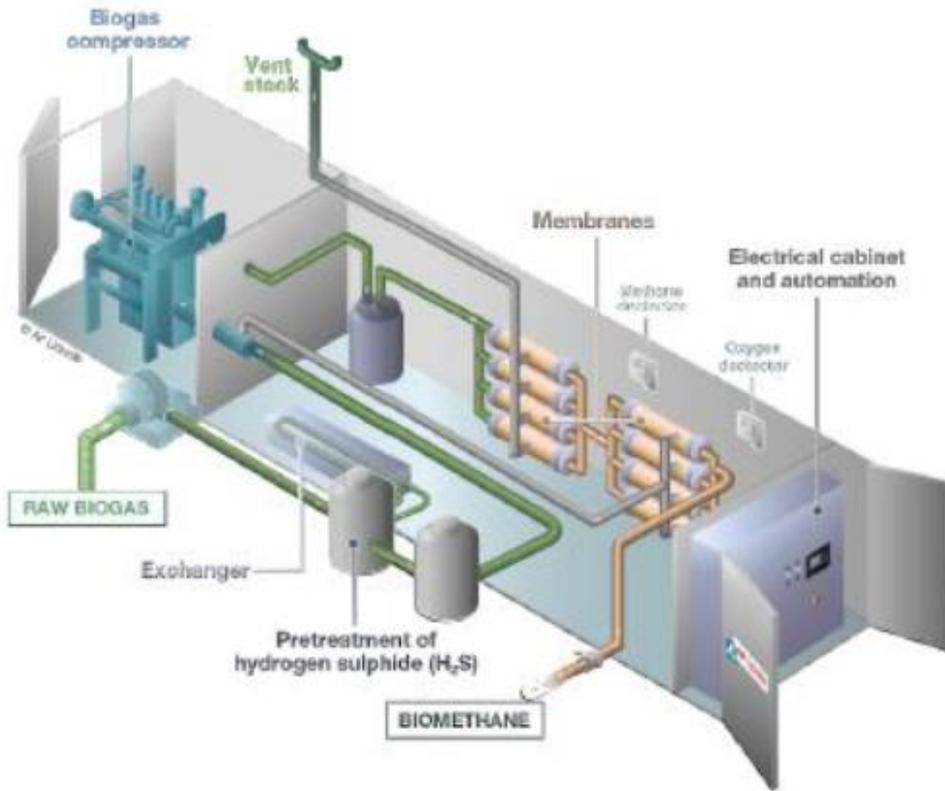
Adsorbent	Absorbent name	Type	CO ₂ /CH ₄ equilibrium selectivity	CO ₂ /CH ₄ kinetic selectivity
Activated carbon (AC)	PCB, Calgon Corp.	Equilibrium	3.29	–
Zeolite 5A	5A (Sinopec)	Equilibrium	5.19	3.6
Zeolite 13X	13X (Sinopec)	Equilibrium	8.92	4.5
Metal-organic frameworks (MOF)	Mg-MOF-74	Equilibrium	8.5	3.8
Activated carbon/carbon molecular sieves (AC/CMS)	CORK-DC-0	Kinetic	4.76	8.9
Metal-organic frameworks (MOF)	Cu-MOF	Kinetic	1.86	9.7

Pressure Swing Adsorption: PSA

Ciclo Skarstrom per due colonne 4 STADI



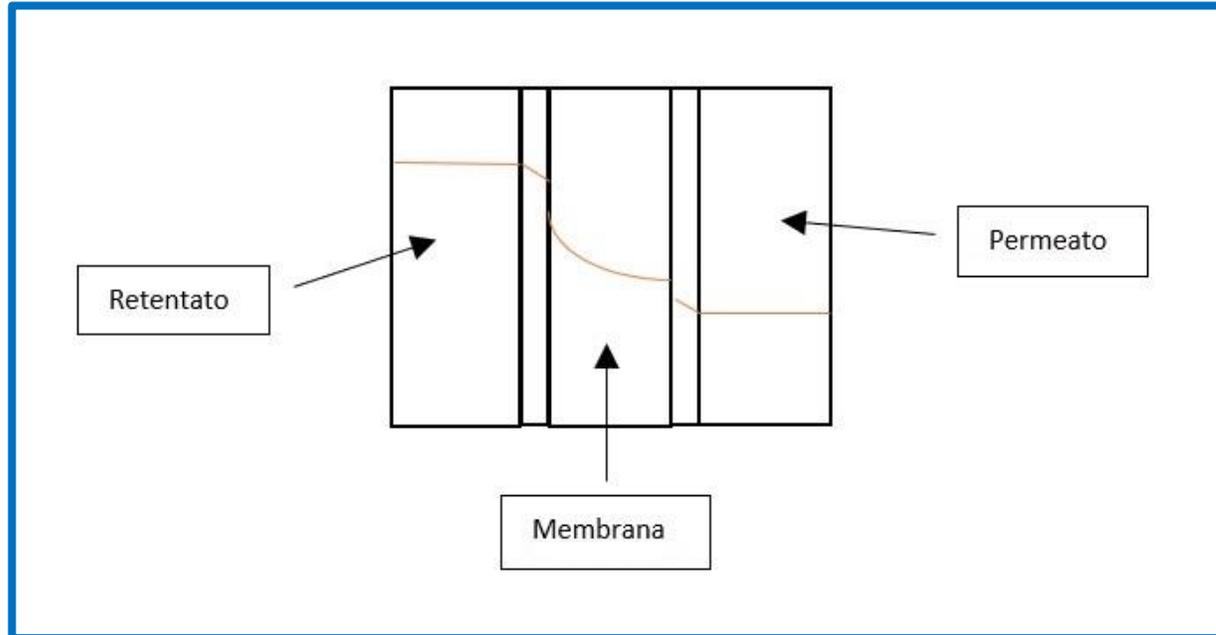
Upgrading biogas: membrane



Upgrading biogas: membrane

Performance di separazione di una membrana

- permeabilità: flusso di uno specifico gas attraverso la membrana.
- selettività: capacità della membrana di farsi attraversare da un gas piuttosto che da un altro.
- configurazione della membrana (foglio piatto o fibre vuote).
- progettazione del modulo (spirale avvolta, piatto-cornice, fibre vuote)



Meccanismo dissoluzione-diffusione

1. adsorbimento dalla parte del retentato del gas
2. diffusione del gas attraverso la membrana.
3. diffusione del gas verso il lato del permeato,
4. rilascio del gas verso il lato a bassa pressione della membrana.
5. desorbimento del gas

Upgrading biogas: membrane

Tipi di membrane utilizzate

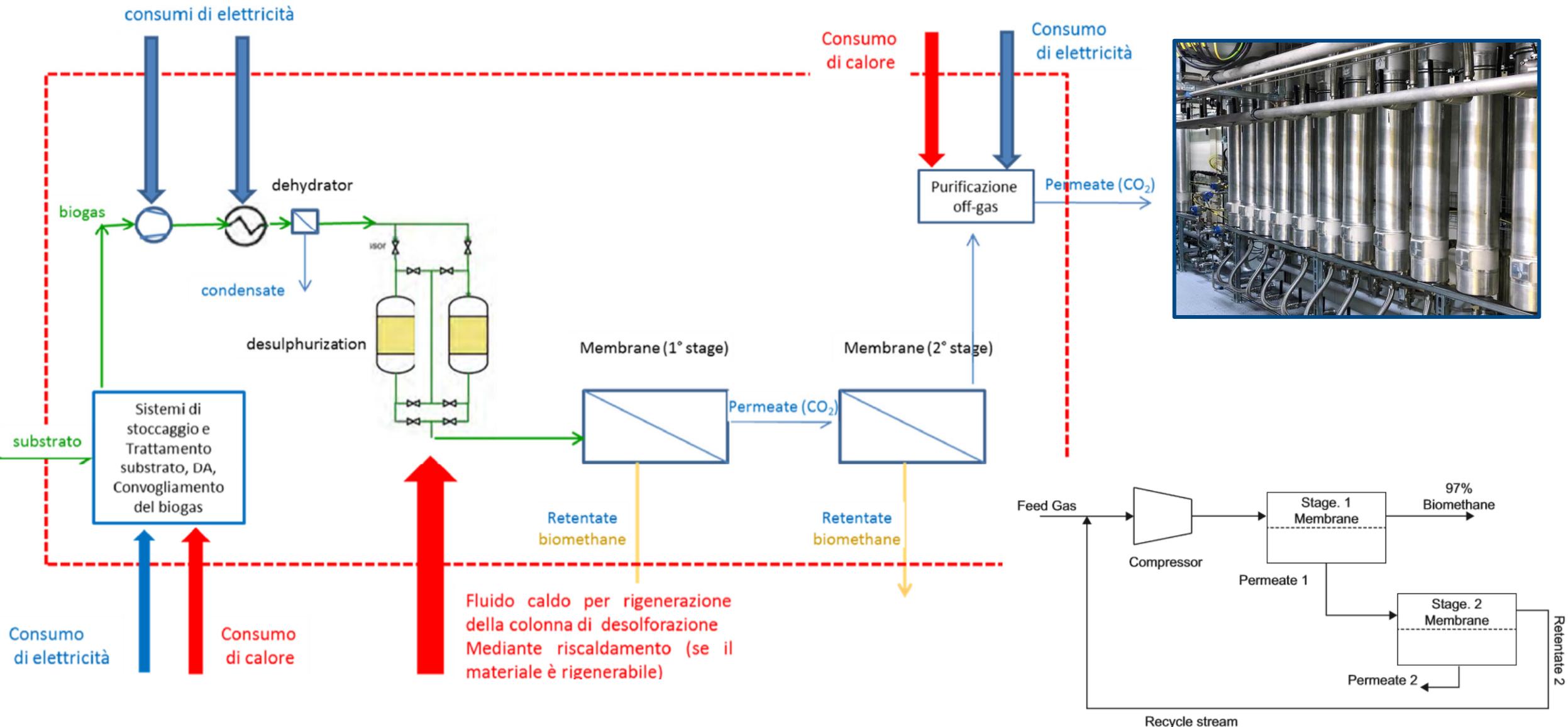
- 1. membrane polimeriche:** materiali organici come polisolfoni (Psf), poliimidi (PI), policarbonati (PC), polidimetilsiloxani (PDMS) e acetato di cellulosa (CA); un'elevata permeabilità selettiva, eccezionale resistenza meccanica e termica; hanno una semplice ed economica procedura di produzione
- 2. Inorganiche:** maggiori benefici in termini di elevata selettività, resistenza meccanica, stabilità termica e chimica. Zeoliti, carboni attivi, silice, nanotubi di carbonio (CNT) e matrici organo-metalliche (MOF); difficoltosa procedura di fabbricazione per ottenere un prodotto senza difetti a causa della loro struttura porosa rigida.
- 3. matrice mista (MMM):** fase continua di materiale polimerico con particelle di materiale inorganico come fase dispersa costi di produzione ragionevoli delle membrane polimeriche insieme alle migliori prestazioni offerte

Classification	Type	CO ₂ /CH ₄ selectivity (α)	
Polymeric	Cellulose acetate (CA)	30.0	
	Ethyl cellulose (EC)	1.39	
	Polycarbonate (PC)	32.5	
	Polydimethylsiloxane (PDMS)	3.38	
	Polyimide (PI)	42.8	
	Polymethylpentene (PMP)	5.75	
	Poly(<i>p</i> -phenylene oxide) (PPO)	6.89	
	Polysulphones (PSF)	22.4	
	MMM	SWNT-PSf (10% SWNT)	18.4
		Silica nanotubes- Psf (10% np)	24.5
Cu-BPY-HFS-PI (30 wt)		27.5	
Carrier facilitated transport membranes	PVAm on PSf support	700–1100	
	VSA-SA on PSf support	46.8	
	DMAEMA-AA on PSf support	255	
	PVAm/PEG blend	63	
Inorganic	SAPO-34 zeolite (on porous stainless steel tube)	120	
	Silicalite-1 (on porous alumina disk)	2.25	
	B-ZSM-5	8.19	
	Na-ZSM-5	6.29	

Fonte: Rimika Kapoor, Pooja Ghosh, Madan Kumar, Virendra Kumar Vijay, Evaluation of biogas upgrading technologies and future perspectives: a review, Springer Nature 2019, 15 Marzo 2019

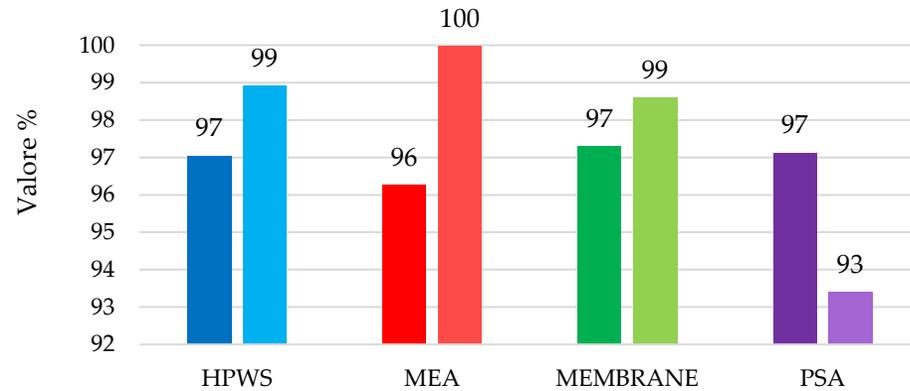


Upgrading biogas: membrane

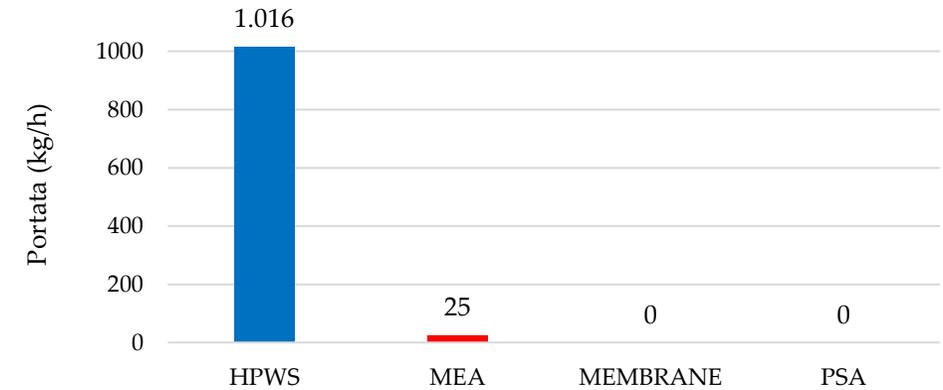


Confronto delle tecnologie su prestazioni e consumi

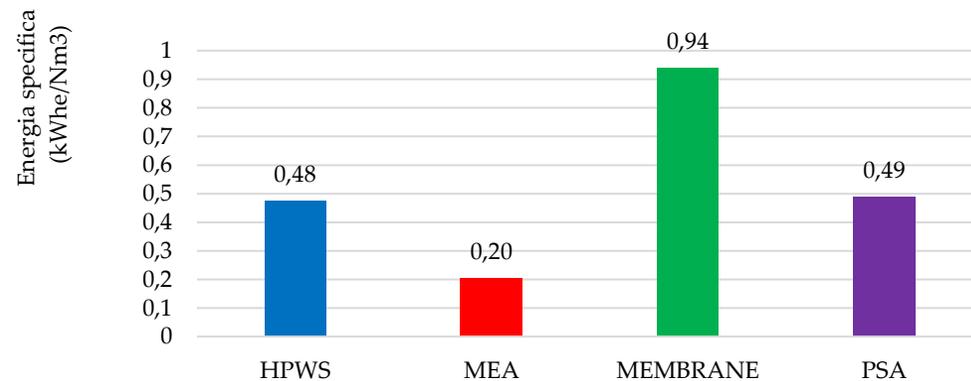
Purezza e recupero del CH₄



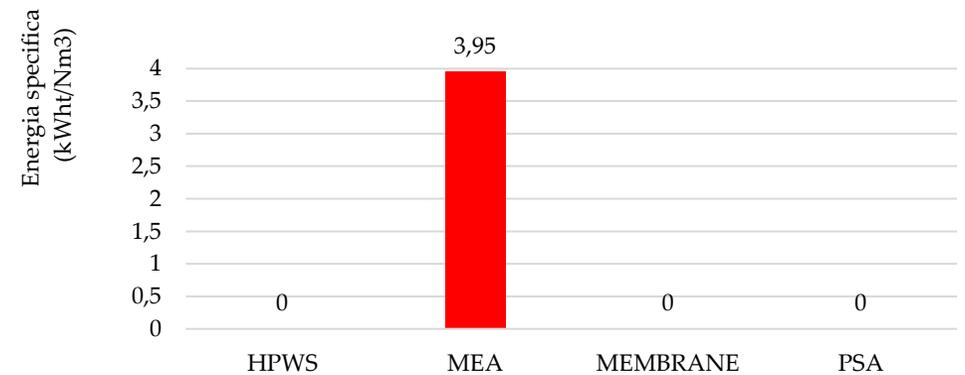
Consumo d'acqua



Consumi energetici specifici delle macchine operatrici



Consumi energetici specifici per il riscaldamento



Vantaggi e svantaggi delle tecnologie di upgrading

Tecnologia di upgrading	Vantaggi	Svantaggi
<p data-bbox="359 339 830 376">Lavaggio con acqua ad alta p</p> 	<ul data-bbox="1072 339 1658 634" style="list-style-type: none">➤ Alta efficienza (>97% CH₄).➤ Alto recupero (>98% CH₄).➤ Valori eccellenti degli indici di redditività.➤ Bassi costi di produzione specifici.➤ Rimozione simultanea di CO₂ e H₂S.➤ Alta efficienza energetica.	<ul data-bbox="1786 339 2333 619" style="list-style-type: none">➤ Consumo di acqua alto.➤ Possibile intasamento dovuto a crescita batterica.➤ Possibile formazione di schiuma.➤ Alto consumo elettrico specifico➤ Alti costi di produzione.
<p data-bbox="359 692 805 729">Pressure Swing Adsorption</p> 	<ul data-bbox="1072 692 1556 936" style="list-style-type: none">➤ Alta efficienza (>97% CH₄).➤ Basso consumo di acqua.➤ Bassi costi di produzione.➤ Basso consumo elettrico specifico.➤ Impianto molto compatto.	<ul data-bbox="1786 692 2283 936" style="list-style-type: none">➤ Basso recupero di CH₄.➤ Indici di redditività meno attrattivi.➤ Alto costo di investimento.➤ Alti costi di produzione specifici.➤ Bassa efficienza energetica.
<p data-bbox="359 1045 797 1082">Lavaggio chimico con MEA</p> 	<ul data-bbox="1072 1045 1556 1236" style="list-style-type: none">➤ Alta efficienza (>97% CH₄).➤ Indici di redditività buoni.➤ Alta efficienza energetica.➤ Recupero eccellente (>99.9% CH₄).	<ul data-bbox="1786 1045 2333 1339" style="list-style-type: none">➤ Alti costi di produzione.➤ Elevata potenza termica richiesta.➤ Uso di Chemicals.➤ Consumo di acqua alto.➤ Probabile corrosione.➤ Possibile avvelenamento delle ammine.

CCUS

L'utilizzo della

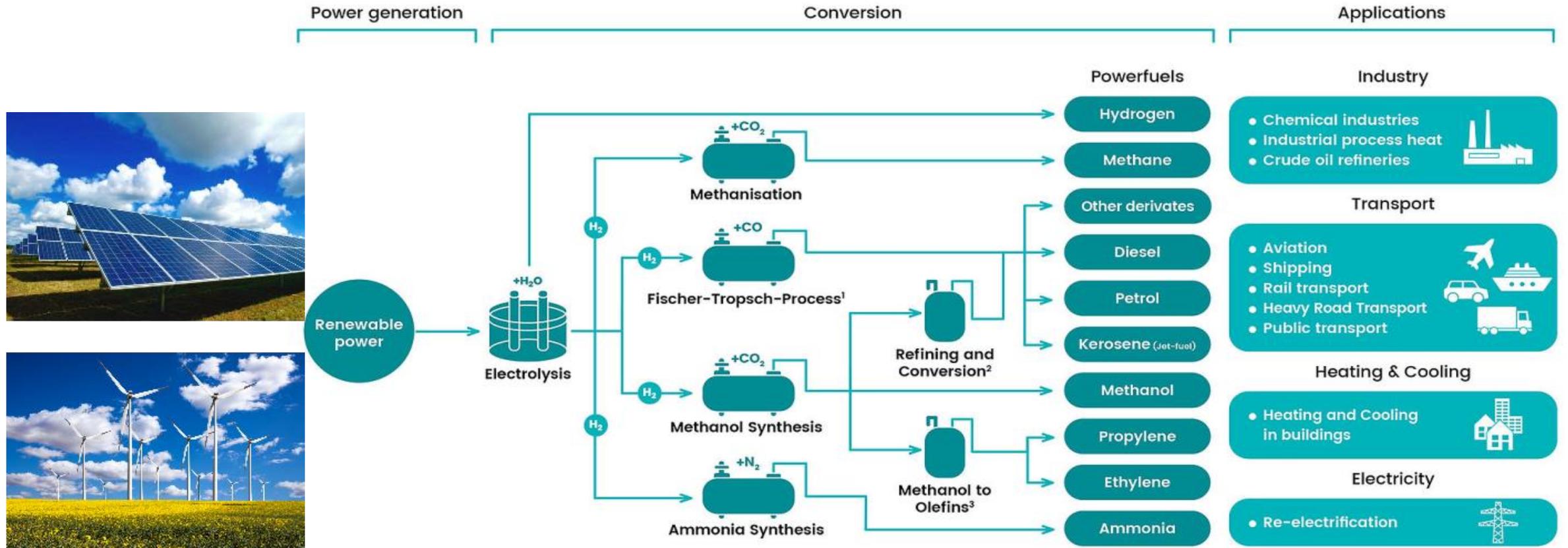
CO₂

Efuels



Efuel possibili filiere

Power to G/L



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

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

③ Methanol-to-olefins process.



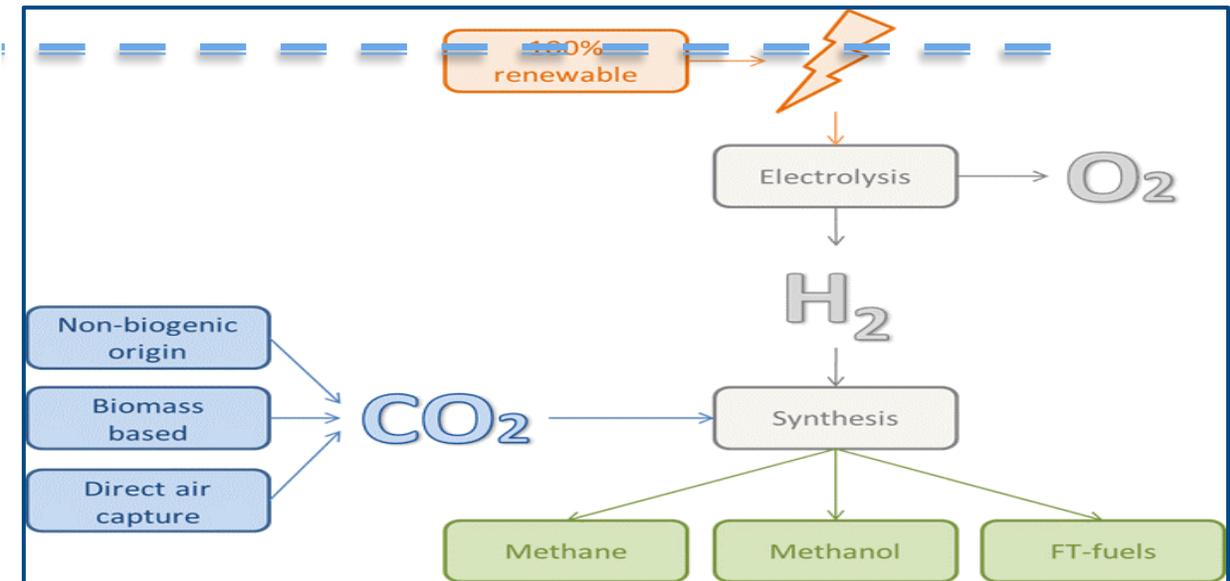
DEFINIZIONE DI EFuel

Secondo la DIRETTIVA (UE) 2018/2001 RED II

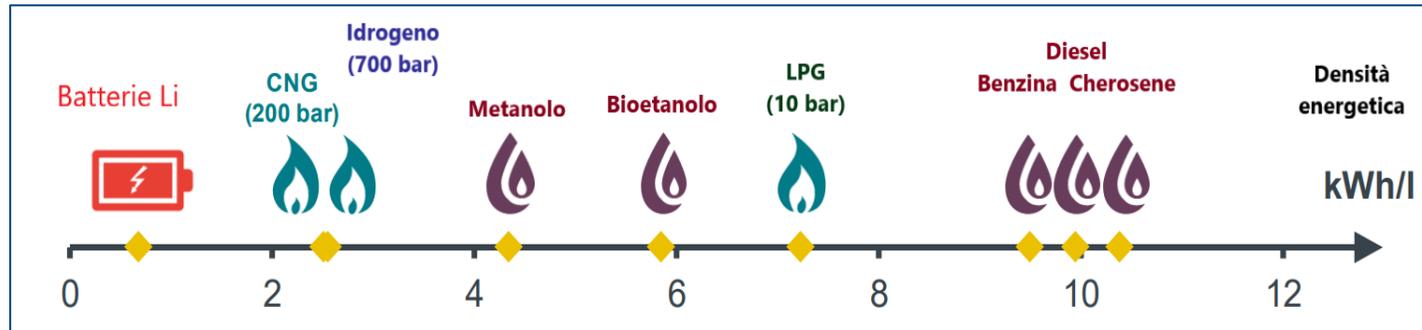
La definizione di E-Fuel può essere individuata nei carburanti rinnovabili liquidi e gassosi di origine non biologica (**renewable fuels of non-biological origin RFNBO**), che vengono così definiti: carburanti liquidi o gassosi, diversi dai biocarburanti o dai biogas, il cui contenuto energetico proviene da fonti rinnovabili diverse dalla biomassa

Efuels: provenienza della CO₂

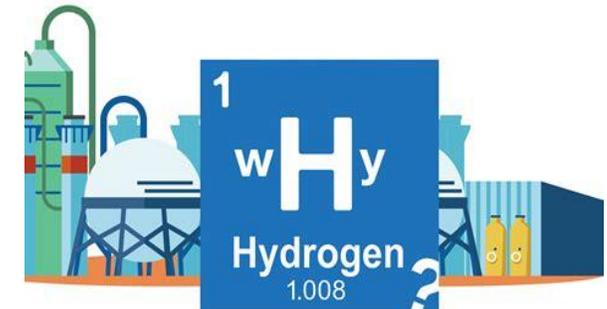
	Fonte di CO ₂	Concentrazione [% vol.]
Biomasse	Digestione anaerobica	15-50
	Biogas upgrading	100
	Produzione del bioetanolo	100
Impianti di generazione elettrica	Gas naturale	3-5
	Carbone	10-15
Processi industriali	Cementifici	15-30
	Acciaierie	20-30
	Produzione dell'ossido di etilene	100
Ambiente	Aria	0.04



Densità e contenuto energetico

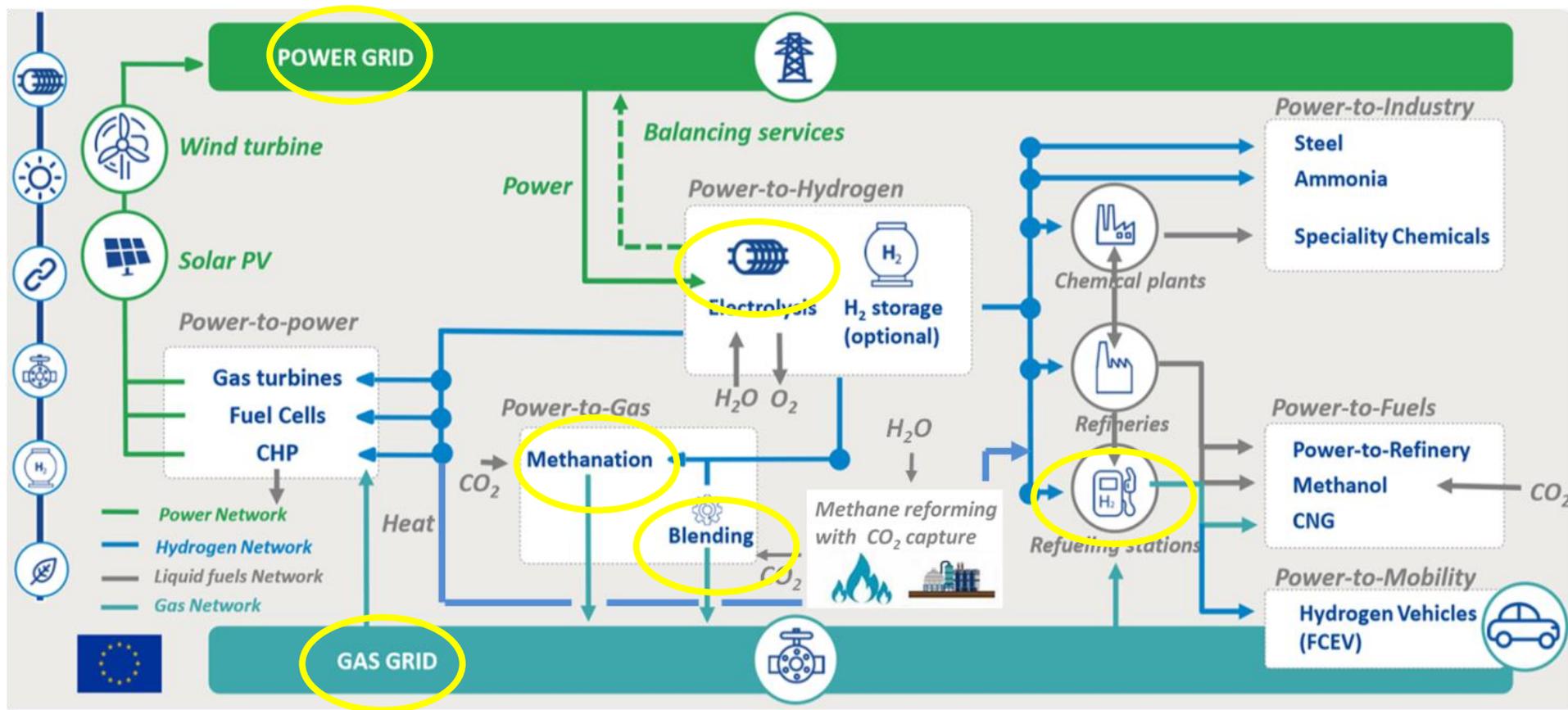


Tipologia di e-fuels	stato a $T_{ambiente}$ $P_{ambiente}$	Potere calorifico inferiore	Potere calorifico inferiore
		MJ/kg	MJ/l
e-metano (CH_4)	gas	50	0.04
e-idrogeno (H_2)	gas	120	0.01
e-metanolo (CH_3OH)	liquido	19.9	15.8
e-DME	gas	28.4	19.0
e-benzina	liquido	41.5	31
e-diesel	liquido	44.0	34.3
e-kerosene	liquido	44.1	33.3



PtG e il Sector Coupling

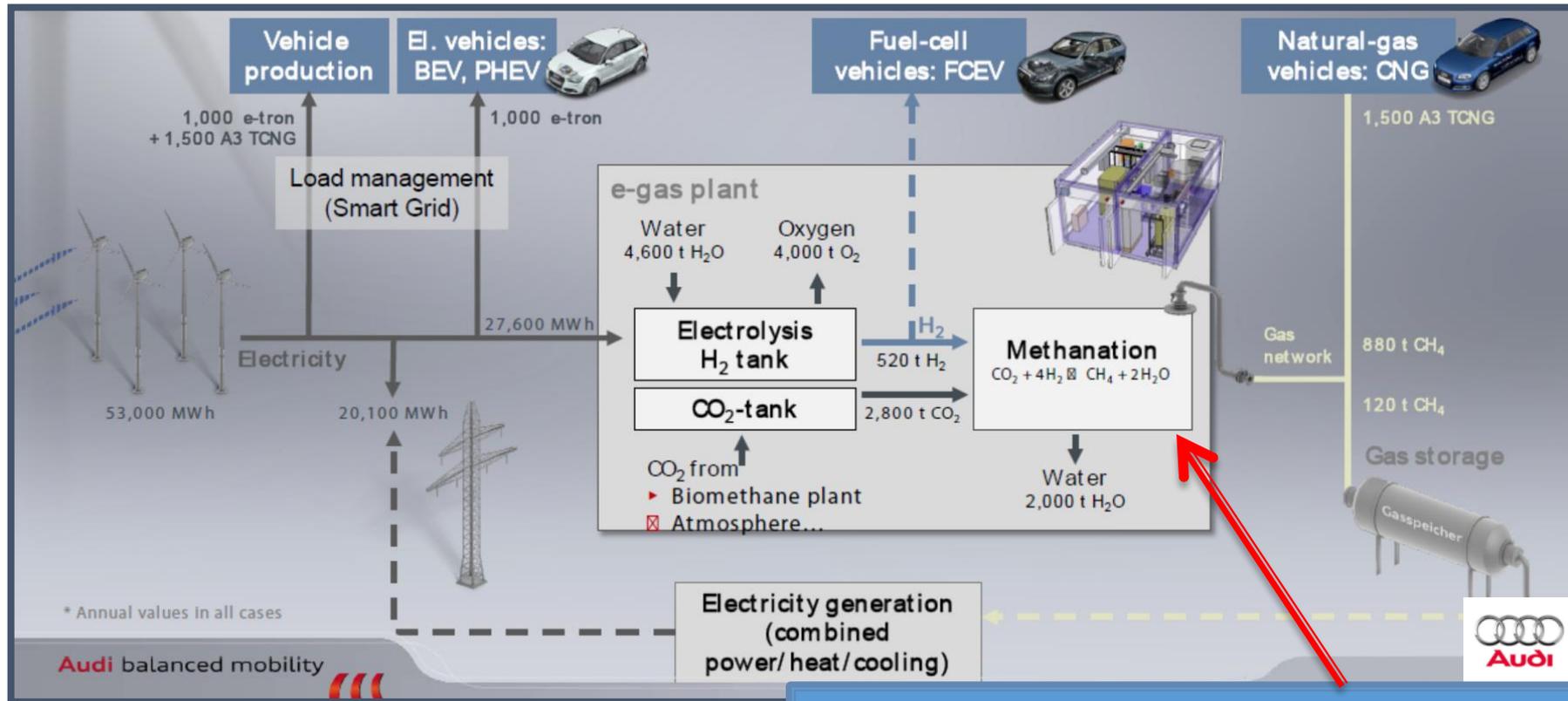
Power & Gas Grids: A new Paradigma...



Source FCJU

Esempi Impianti PtG

Audi Pilot Project with 6 MWe plant in Northern Germany (2015)



Methanation unit with fixed-bed reactor and heat dissipation via molten salt

Power_{input} electrolyzers
3 x 2 MW_e

Efficiency PtG: (using heat)
54 % → 70 %

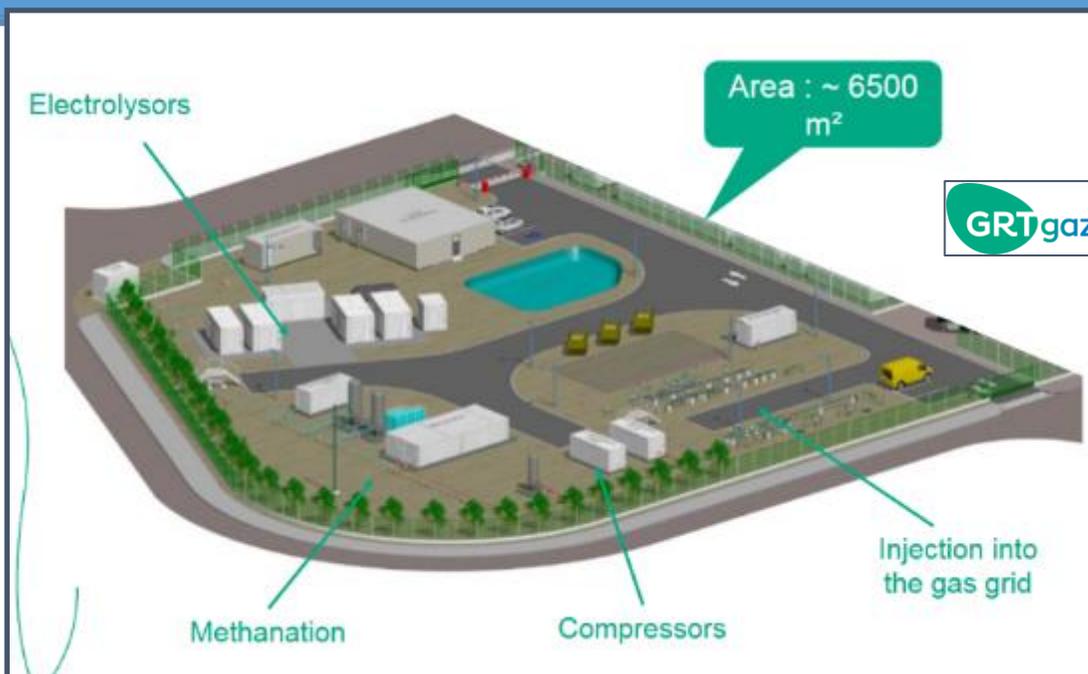
Max. H₂ output
1300 Nm³/h

Max. H₂ storage time
60 min

Max. CH₄ output
325 Nm³/h

Operation time
4.000 h/a

Stato dell'arte Francia: Jupiter1000

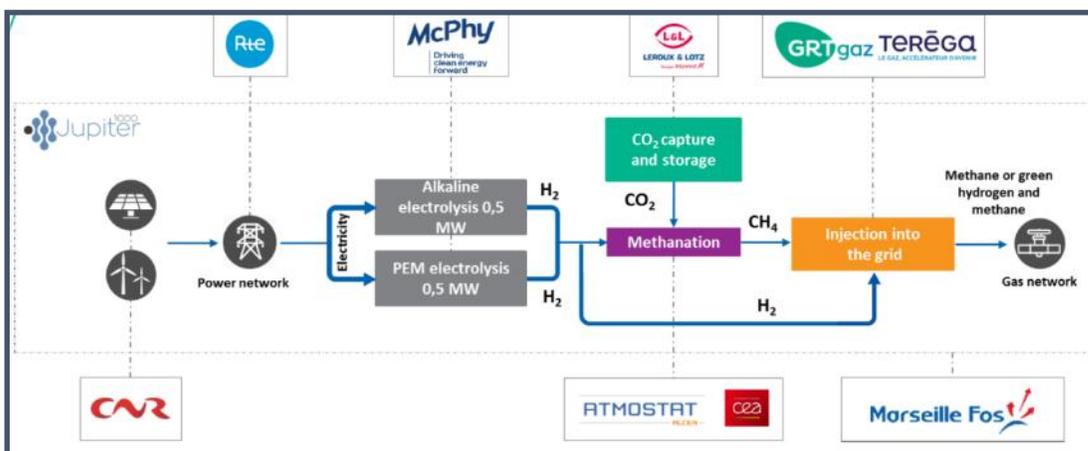


Coordinatore TSO francese GRTgaz
 Localizzazione: Fos sur Mer Francia (2018)
 Dimostrare l'applicazione pratica della tecnologia P2G.
 Implementazione di due tecnologie di elettrolisi: PEM (membrana di scambio protonico) e alcalina
 La CO₂ viene catturata da una fonte industriale
 Test di iniezione di H₂ miscelato al CH₄ a specifiche della rete gas francese H₂ (H₂ <6 % vol.)

Power_{input} elect 1 MW_e (0.5 Alcalino & 0.5 PEM)

Max. H₂ output 200 Nm³/h
 Max. CH₄ output 30 Nm³/h

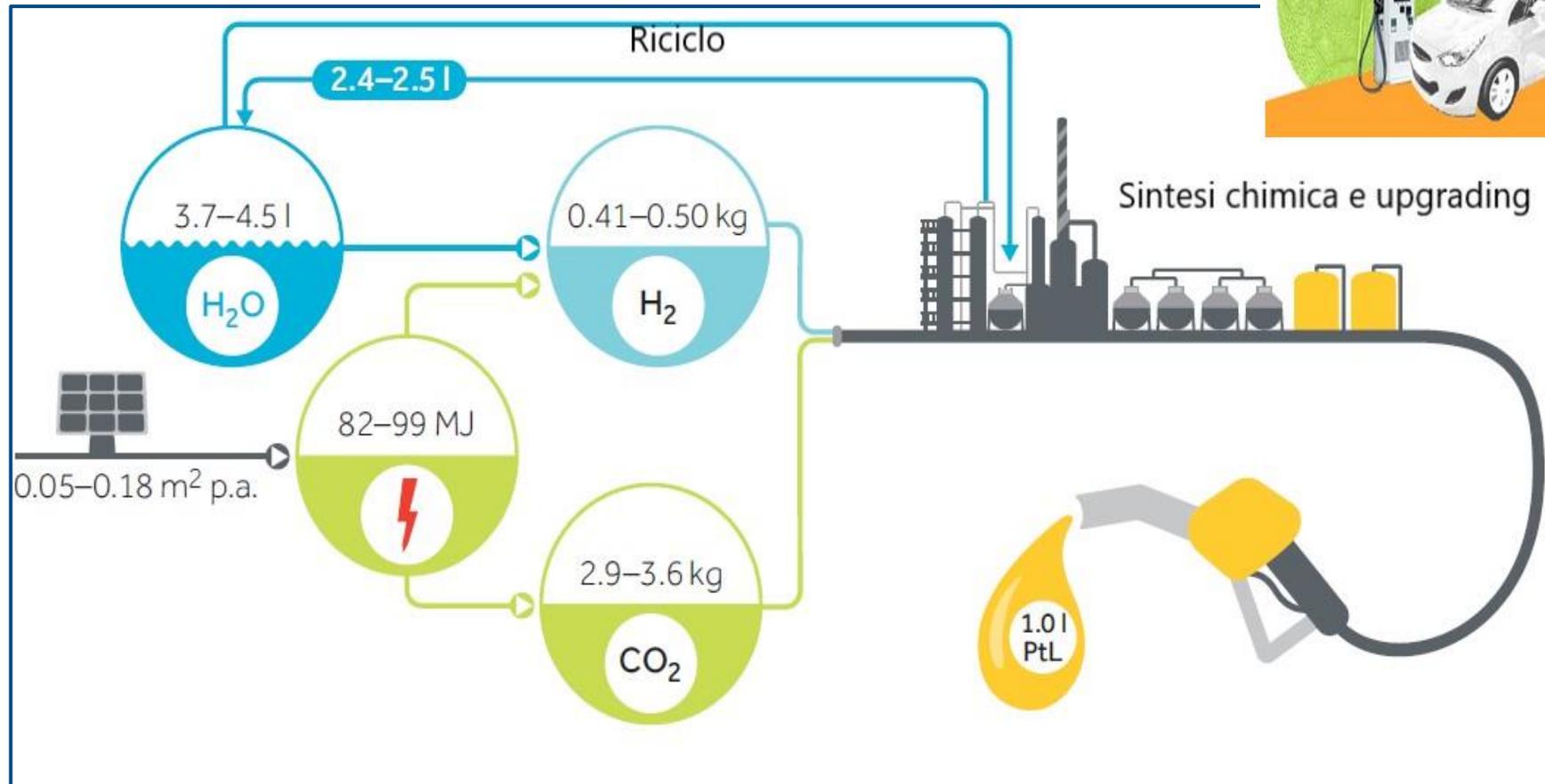
Finanziamento: 30 M€
 40% da GRTgaz (Attraverso la CRE)
 30% da Unione europea (FEDER), dallo stato francese (programma di investimento futuro ADEME) e dall'Autorità Regionale Provenza-Alpi-Costa Azzurra



Fonte: Future Role of Gas from a Regulatory Perspective CEER

Efuels: bilanci e consumi

Consumi necessari per la produzione di 1l di PtL



Iniziativa, agenzie, associazioni, standard...

eFuel
alliance



eFuel Alliance - Position Paper

The eFuel Alliance is a stakeholder initiative dedicated to the industrial production of synthetic liquid fuels from renewable energies and sustainable biomass.

It is open to all organisations and interested parties who share the goal of establishing and promoting eFuels as a contributor to climate protection



Global Alliance
Powerfuels

Members of the Global Alliance Powerfuels



La certificazione ISCC CORSIA

Technical Stakeholder Meeting "Sustainable Aviation Fuels"



Certificazione ISCC CORSIA

Soddisfa i requisiti per i combustibili sostenibili per l'aviazione (SAF)



ISCC CORSIA è uno schema volontario idoneo per per certificare il combustibile sostenibile per l'aviazione (SAF), in quanto soddisfa i requisiti CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) definiti dall'ICAO (Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile).

I combustibili per l'aviazione ammissibili per il programma CORSIA devono soddisfare i seguenti criteri:

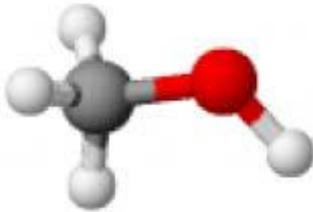
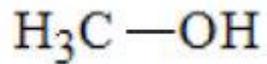
- un risparmio di gas serra del 10% rispetto allo scenario di riferimento, i combustibili non devono essere provenienti da biomassa di terreni con un elevato stock di carbonio e non possono essere coltivati su terreni sui quali è stato effettuato un cambio d'uso del suolo dopo il 1 gennaio 2008;
- con lo schema ISCC CORSIA, i produttori di carburante e tutte le aziende della filiera a monte e a valle possono dimostrare la conformità ai criteri di sostenibilità CORSIA.

p.es ENI/Versalis ha ottenuto la certificazione ISCC PLUS, un passo importante verso il lancio di prodotti certificati sostenibili sul mercato.

Il metanolo dalla CO₂ e dall'H₂

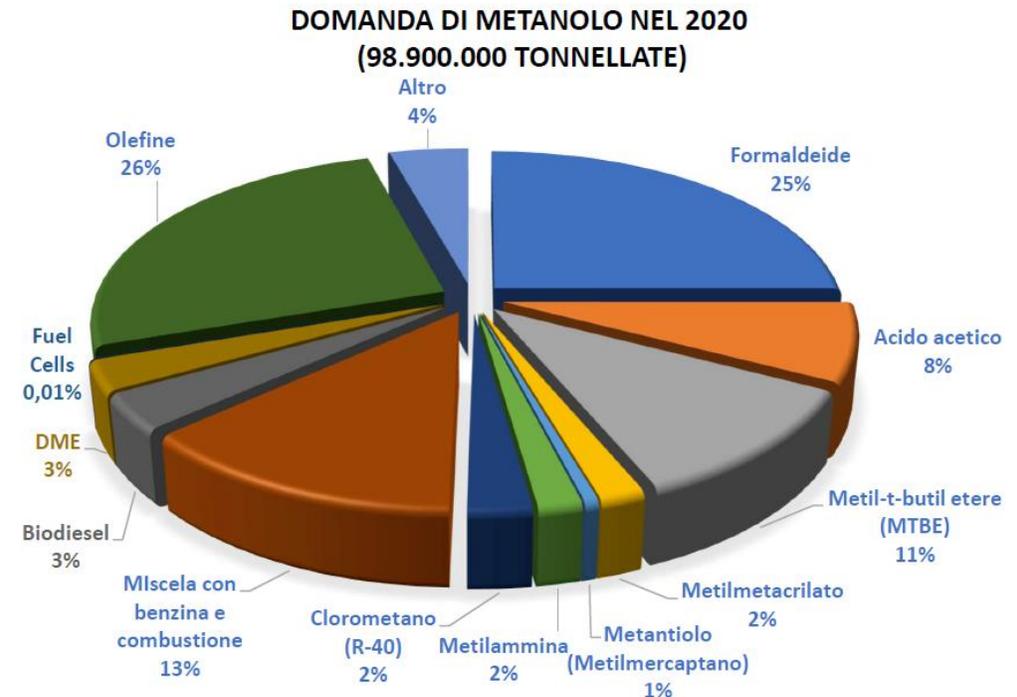
Nei primi decenni del XX secolo, per merito di ricercatori tedeschi, francesi e italiani (Natta e Casale), si riuscì a ottenere metanolo dal cosiddetto gas di sintesi.

Il metanolo è molto versatile grazie ad alcune particolari caratteristiche: è liquido a temperatura ambiente, solubile in acqua e biodegradabile



Materie plastiche, resine,
adesivi, polioli.
Combustibile anche
trasformato in Dimetiletere

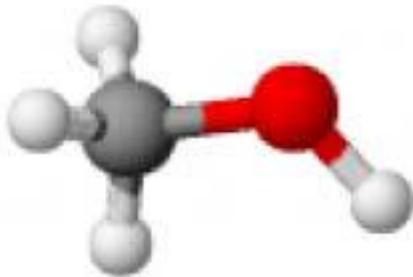
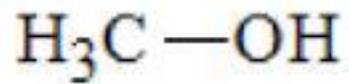
Il mercato mondiale del metanolo è in enorme espansione, con una produzione mondiale stimata dal Methanol Institute in circa 110 milioni di tonnellate all'anno, una domanda in continua crescita (qualcosa come 200.000 tonnellate al giorno), giri di affari per 55 miliardi di dollari americani all'anno e 90.000 posti di lavoro.



Il metanolo dalla CO₂ e dall'H₂

Nei primi decenni del XX secolo, per merito di ricercatori tedeschi, francesi e italiani (Natta e Casale), si riuscì a ottenere metanolo dal cosiddetto gas di sintesi.

Il metanolo è molto versatile grazie ad alcune particolari caratteristiche: è liquido a temperatura ambiente, solubile in acqua e biodegradabile



Materie plastiche, resine, adesivi, polioli.

Combustibile anche trasformato in Dimetiletere

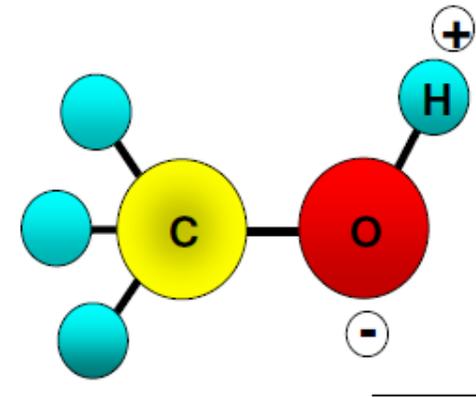


Il mercato mondiale del metanolo è in enorme espansione, con una produzione mondiale stimata dal Methanol Institute in circa 110 milioni di tonnellate all'anno, una domanda in continua crescita (qualcosa come 200.000 tonnellate al giorno), giri di affari per 55 miliardi di dollari americani all'anno e 90.000 posti di lavoro.

Il metanolo dalla CO₂ e dall'H₂

PRO:

- Il metanolo ha densità volumica di energia circa doppia di quella dell'idrogeno liquido e si trasporta in recipienti comuni. è **liquido** a temperatura ambiente, **solubile in acqua** e **biodegradabile**
- Può essere sintetizzato da CO₂ e H₂, un processo con un alto costo energetico che però può essere soddisfatto da energie rinnovabili
- Può essere trasformato in DME o in benzina
- Presenta un mercato vastissimo come materia prima. L'impiego principale è nella produzione di formaldeide, intermedio della chimica di base, che, a sua volta è il precursore di resine, materie plastiche, adesivi, polioli. Il metanolo è impiegato per la produzione di acido acetico che, a sua volta è un intermedio importante per materie plastiche e altri prodotti



CONTRO:

- E' tossico
- Il doppio processo di sintesi del metanolo e successiva dissociazione dell'idrogeno è poco efficiente

La produzione del metanolo



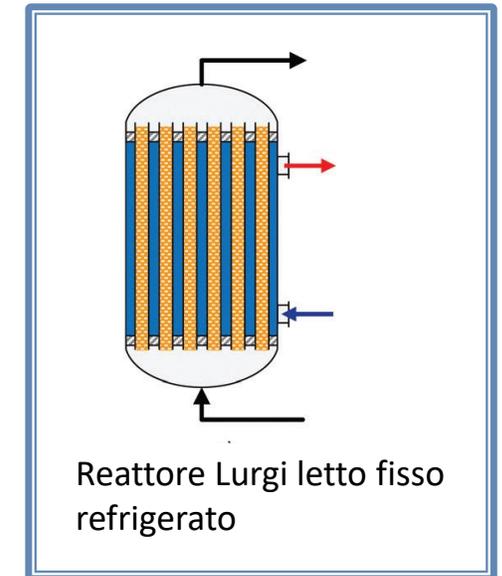
Reazione esotermica favorita a 250-350 °C e ad alta pressione (50 bar)

Conversione nel singolo passaggio bassa non oltre il 60 %

Commercialmente i catalizzatori sono basati su CuO and ZnO supportati su Al_2O_3

Reattori isotermi a letto fisso o isotermi adiabatici con interrefrigerazio e ricircolo

Reattori innovativi: slurry, membrana e altre tipologie



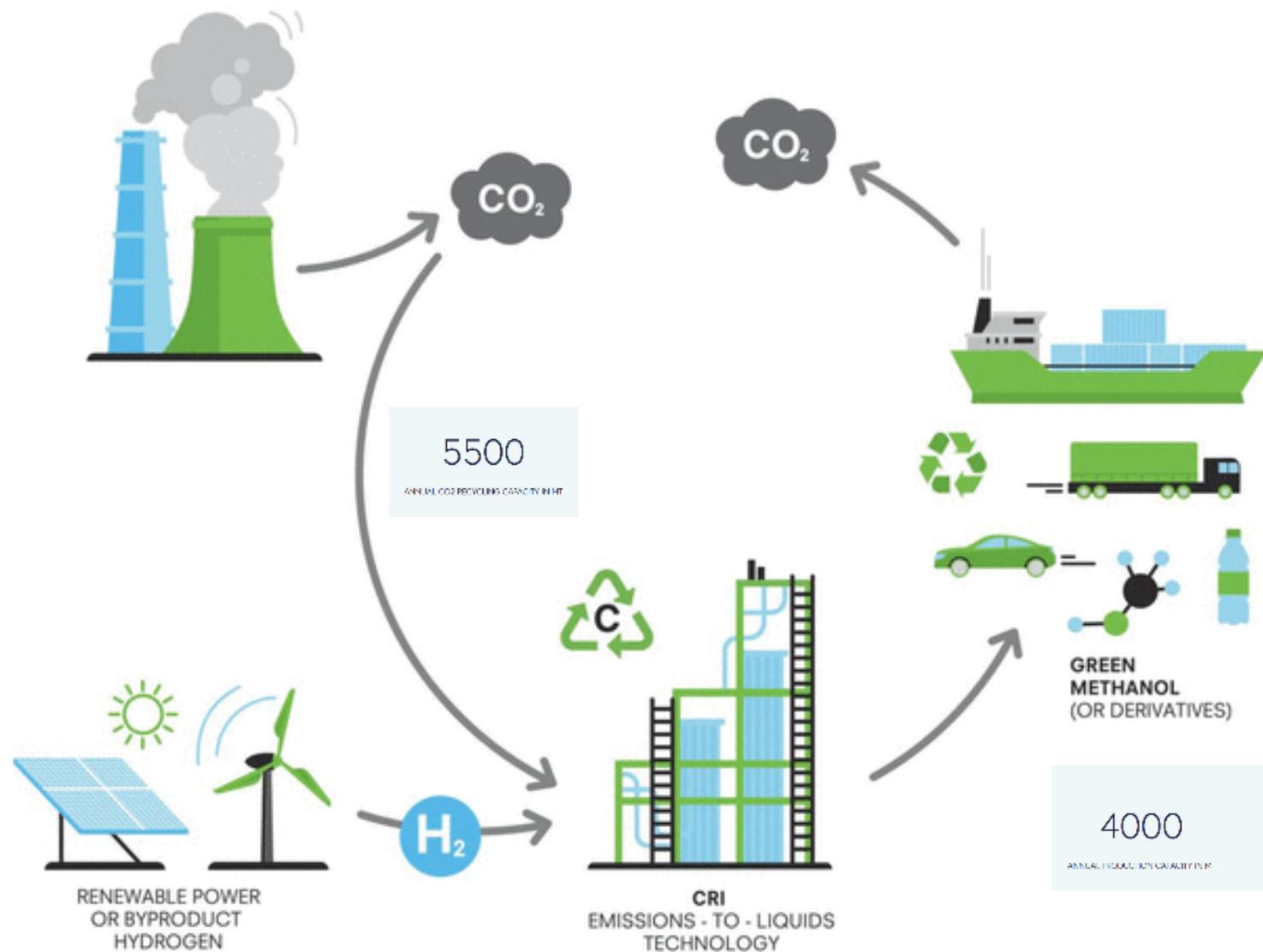
Impianto George Olah Il metanolo da CO₂ e H₂



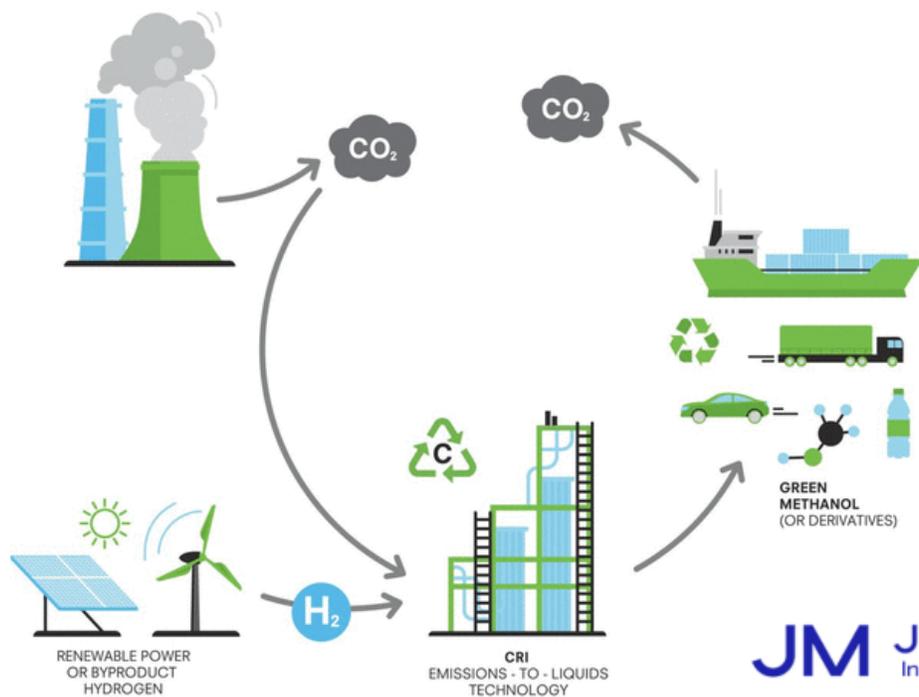
In pratica per ogni tonnellata di metanolo prodotto con il processo 'Power to Methanol' si evita circa una tonnellata di CO₂ immessa in atmosfera.



Impianto in Islanda



Esempio impianto George Olah → metanolo green



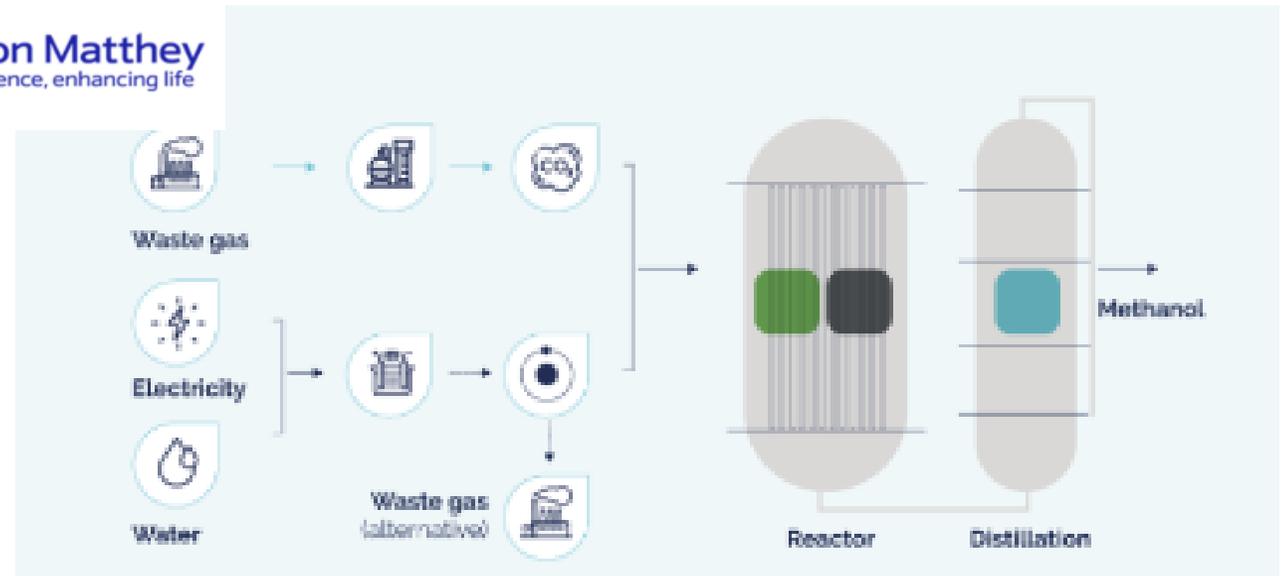
L'unico impianto di metanolo al mondo (dal 2011) progettato da Johnson Matthey/Jacobs vicino a Laguna blu islandese (Svartsengi)

Input

- 5,5 kt/a di CO₂ dalla vicina centrale geotermica Svartsengi
- energia rinnovabile dalla rete islandese
- 1200 Nm³/h idrogeno rinnovabile (elettrolizzatore alcalino da 6 MWeI)

Prodotti

4 kt/a di metanolo rinnovabile (commercializzato come Vulcanol[®] by CRI) realizzato a 250°C e 100 bar



Enel Green Power: Haru Oni Project

Enel Green Power, Siemens, Chilean power company AME, Exoon Mobile

Tomorrow's fuel
available soon from the Magallanes region

- Situato a Cabo Negro, a nord di punta arenas, nella regione di Magallanes CILE
- Turbina eolica da 3,4 MW di proprietà di enel green power
- Elettrolizzatore da 1,25 MW
- La fase pilota prevede una produzione iniziale di
 - 350 tonnellate l'anno di metanolo
 - 130.000 litri l'anno di benzina sintetica.
- Possibile sviluppo su scala commerciale

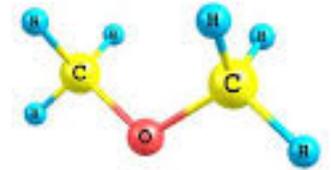
Progetti in corso per la produzione di metanolo

Country	Company	Start-up year	Capacity (kt/y)	Feedstock
Denmark	ReIntegrate	2022	8	n.a.
Belgium	Power-to-Methanol Antwerp BV Consortium (ENGIE, Fluxys, Indaver, INOVYN, Oiltanking, Port of Antwerp and the PMV)	2023	8	n.a.
Australia	ABEL Energy and ThyssenKrupp	2023	60	Biogenic CO ₂
Sweden	Liquid Wind	2023	4.5	Industrial CO ₂
Norway	Consortium of Companies / CRI	2024	100	n.a.
Belgium	North-C-Methanol / North-CCU-Hub (ArcelorMittal; Alco Biofuel; ENGIE; Fluxys; Oiltanking; Development Agency East-Flanders (POM); North Sea Port; Mitsubishi Power; Proman; and PMV)	2024	44	Industrial CO ₂
Chile	Haru Oni Project (Enel, AME, Siemens Energy, Porsche)	2024 (2026)	40 (400)	CO ₂ from DAC
Norway	Swiss Liquid Future / Thyssenkrupp	n.a.	80	CO ₂ from ferrosilicon plant
Canada	Renewable Hydrogen Canada (RH ₂ C)	n.a.	120	n.a.
The Netherlands	Consortium (Nouryon, Gasunie, BioMCN, McPhy, DeNora, Hinicio)	n.a.	15	n.a.
Germany	Dow	n.a.	200	n.a.
Denmark	Consortium	2023-2030	n.a.	CO ₂ from MSW and biomass
Germany	Consortium	n.a.	n.a.	CO ₂ from cement plant

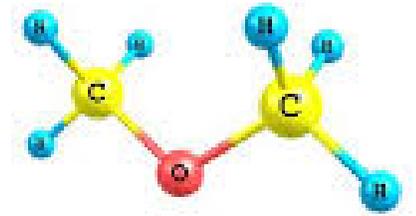
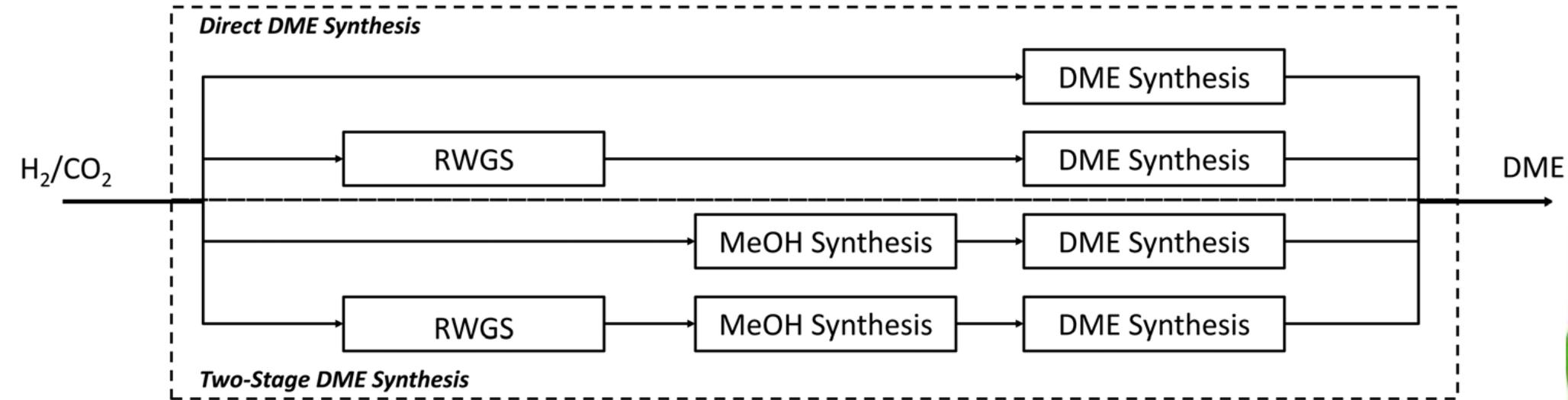
DME- Dimetiletere



- Il DME è un composto organico utilizzato principalmente al posto dei clorofluorocarburi come aerosol propellente in quanto non impattante sullo strato di ozono che ci protegge dai dannosi ultravioletti solari. non è un gas ad effetto serra
- impiegato come intermedio chimico per la produzione di prodotti chimici quali aromatici alchilici, dimetilsolfato, acetato di metile, olefine e altri ancora.
- Impiegato come combustibile sintetico nuovo e alternativo che può sostituire il GPL grazie alle sue eccellenti proprietà di combustione (numero di cetano = 55-60).
- Il DME può essere usato in un motore progettato per un diesel con una piccolissima modifica, e la sua combustione previene la formazione di composti azotati o solforati che sono dannosi per l'ambiente)



DME dal metanolo



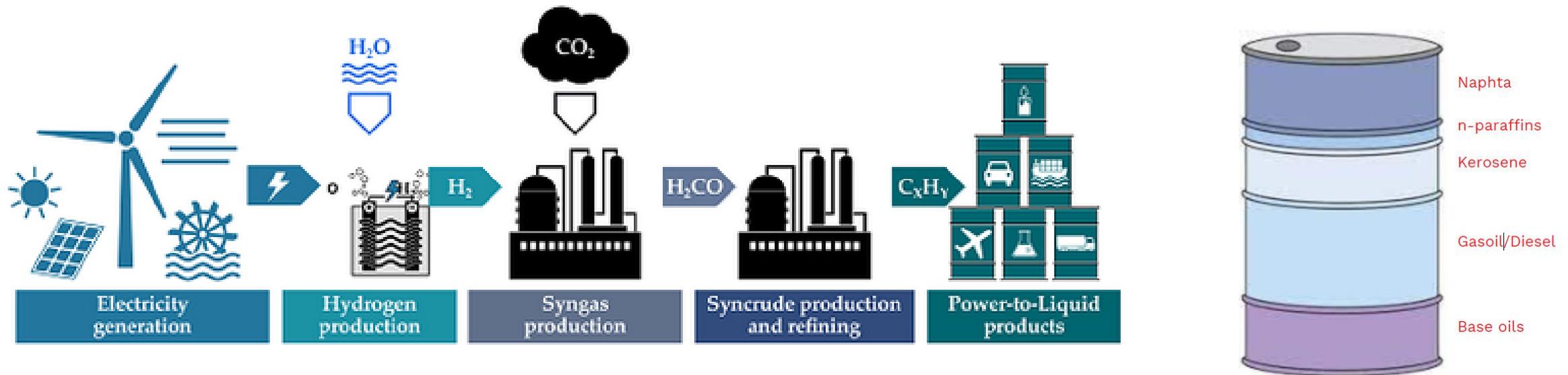
Sintesi del DME dalla CO_2

- Sintesi indiretta per disidratazione del metanolo su γ -alumina e zeoliti (HZSM-5)
- Sintesi diretta (catalizzatori bifunzionali)



La sintesi Fischer-Tropsch

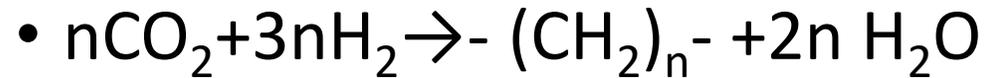
Il processo di sintesi Fischer-Tropsch prevede la conversione di miscele di CO_2/H_2 in catene di idrocarburi, che vanno a comporre il prodotto grezzo da raffinare per poi ottenere benzina, gasolio, cherosene e cere da destinare alla mobilità



I prodotti raffinati della sintesi Fischer-Tropsch possono sostituire completamente gli equivalenti fossili

Il processo Fischer-Tropsch vede le sue origini all'inizio del secolo, con sviluppi su scala industriale nella seconda guerra mondiale e nel dopoguerra negli anni 50 in Sud Africa, dove a partire dal carbone la società Sasol produce benzina, diesel, cherosene ed altri idrocarburi

E-FT: la sintesi Fischer-Tropsch da CO₂ e H₂ elettrolitico



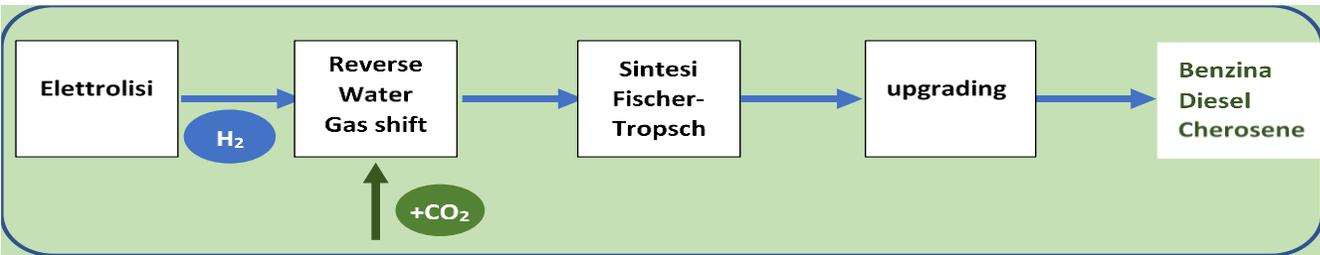
- Reazione esotermica favorita a 250-350 °C e 25-30 bar
- Commercialmente i catalizzatori sono basati su Fe e Co supportati su Al₂O₃ con promotori Ru, Rh Pt, Pd ecc.
- Le tipologie di reattori si differenziano principalmente nella modalità di rimozione del calore e vanno dai letti fissi con raffreddamento interno ai letti fluidizzati del tipo slurry.
- Reattori innovativi: slurry, membrana e altre tipologie
- La lunghezza delle catene idrocarburiche ottenute e la tipologia di prodotto finale dipende dalla formulazione dei catalizzatori e dalle condizioni di pressione e temperatura operative.



VANTAGGI

- **DROP IN** può essere utilizzato nei motori a combustione interna esistenti (ciclo Otto o Diesel) come sostituto (o in miscela con) benzina o diesel + possono essere distribuiti all'interno dell'infrastruttura di trasporto esistente
- **E-cherosene** è una valida alternativa al cherosene sintetico
- **Densità energetica elevata**

Schema del processo Fischer Tropsch- e FT



1. Renewable electricity

Renewable energy obtained from hydropower.



2. Electrolysis

Electrolysis splits water into hydrogen and oxygen. Oxygen dissipates into the surrounding air.



CO₂
CO₂ from sustainable sources or from the air.



3. Conversion

A two-step process turns CO₂ and hydrogen into hydrocarbon chains.



Heat for use in residential areas or in industry.



Renewable waxes for cosmetics, foodstuffs and chemical industries

Chemical synthesis

In the first step, hydrogen and CO₂ are converted to synthesis gas in the reverse water-gas shift reactor.

The Fischer-Tropsch reactor then uses this to build hydrocarbon chains.



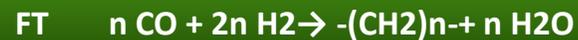
Infrastructure compatibility

e-diesel is compatible with existing infrastructure and engine technologies. It replaces fossil fuel.



Almost CO₂-neutral e-diesel for mobility

Indirect route:



Esempio impianto Sunfire : $\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{FT}$



Primo impianto dimostrativo e-FT (2015)

Installato a Dresda, Germania

reattore adiabatico rWGS funzionante in pressione a temperature superiori a 1000 °C

Microreattore FT operato a 200-230°C, 20 bar, con un catalizzatore a base di Co

INPUT

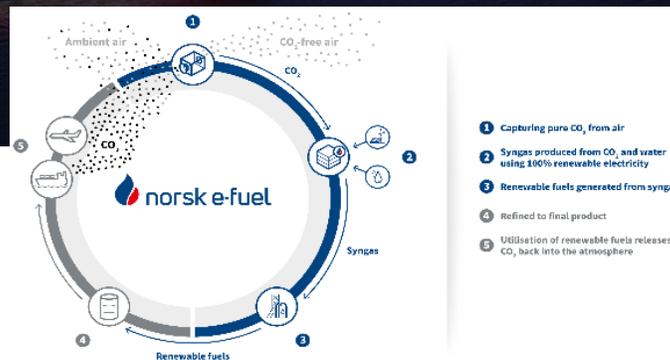
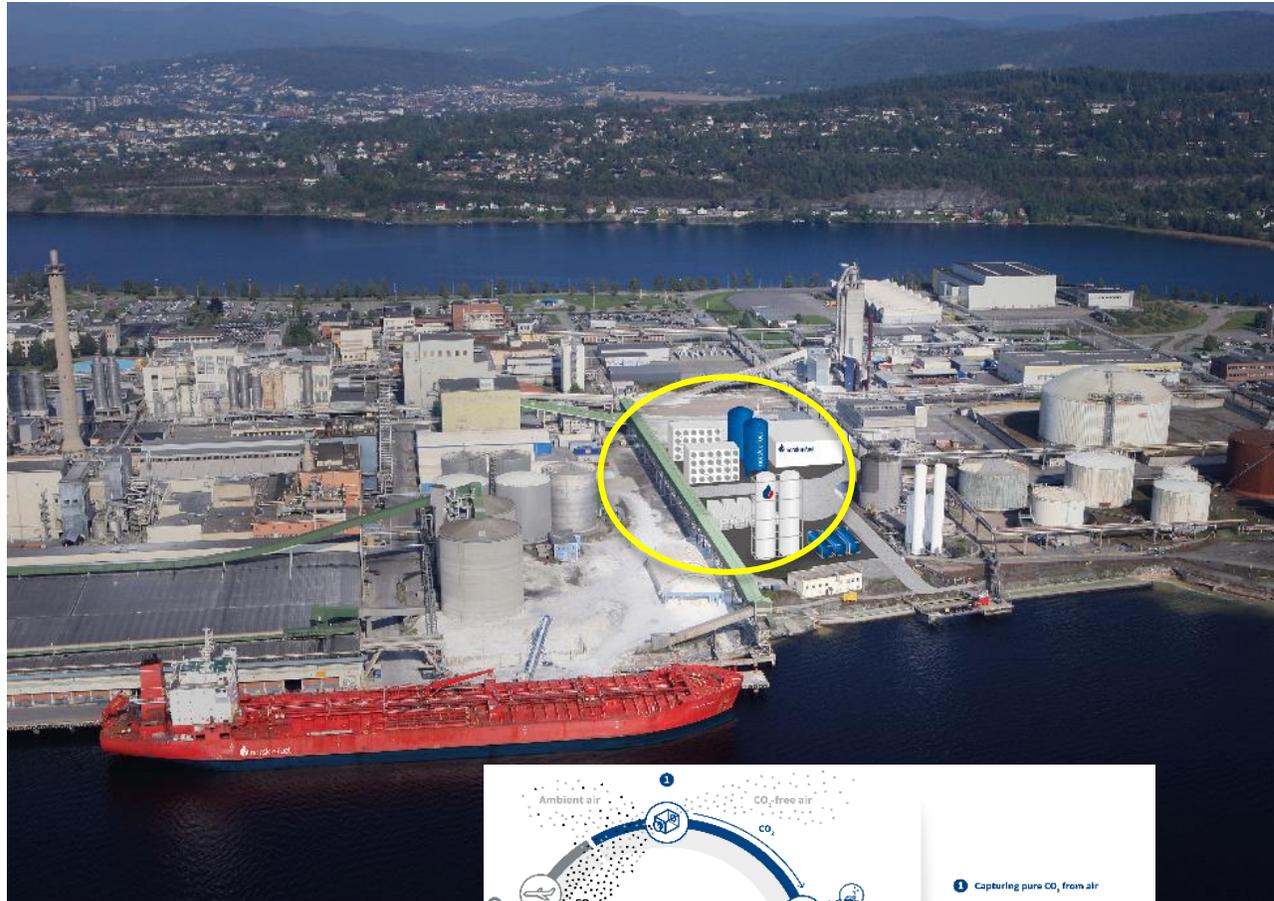
3 m³/h H₂ prodotti da un elettrolizzatore ad alta temperatura da 10 kW operante a 30 bar

CO₂ catturata dall'aria mediante la tecnologia DAC della da Climeworks (spin-off da ETH Zurigo)

PRODUZIONE

1 bbl syncrude /d

Esempio impianto Norsk E-fuel : $H_2 + CO_2 \rightarrow FT$



Primo impianto di taglia industriale (2017) presso il Parco Tecnologico di Herøya (Norvegia)
Operativo al 2024

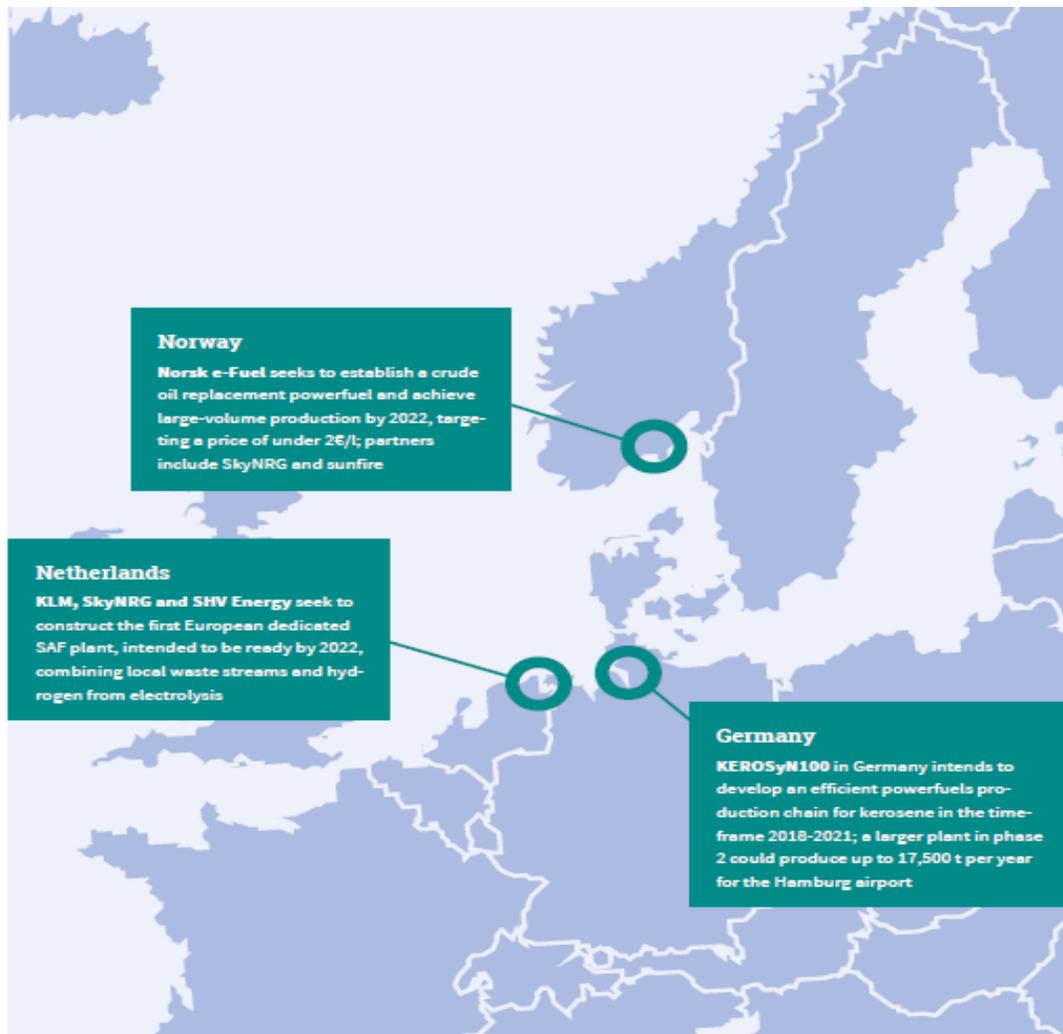
TECNOLOGIA:

- Elettrolizzatore PEM ad alta pressione da 20 MW
- Reattore rWGS operante a temperature fino a 1000°C
- Reattore a letto fisso per la sintesi di FT

Input: energia idroelettrica - CO₂ catturata dal gas di una fornace

Produzione: 8 kt syncrude /y (equivalente a 10 MI syncrude /y)

Iniziativa Europea: progetti...



Project Title	Project Aims	Applicable Sectors
ENABLEH2	To demonstrate the feasibility of utilising liquid hydrogen for civil aviation	Aviation
JETSCREEN	To provide aviation fuel producers with a streamlined screening tool to help evaluate the chances of success in the approval process	Aviation
Bio4A	To scale up the industrial production and the market uptake of sustainable aviation fuels, made from residual lipids.	Aviation
FlexJET	To develop a scalable and less capital-intensive process for the production of sustainable jet fuel from a diverse range of feedstocks (waste vegetable oils and organic solid waste)	Aviation
REWOFUEL	To demonstrate the potential to produce high-quality bio-jet fuel from residual soft woods	Aviation
Westküste 100	To produce synthetic jet fuel by combining hydrogen produced from electrolysis and CO ₂ captured from cement production	Aviation
FLAGSHIPS	To raise the readiness of hydrogen powered waterborne transport, through the deployment of two commercially operated zero-emission hydrogen fuel cell vessels in France and Norway	Maritime
ShipFC	To demonstrate the feasibility of ammonia as a zero-carbon marine fuel by retrofitting the vessel Viking Energy with a 2MW ammonia fuel cell	Maritime
HySHIP	To demonstrate the feasibility of hydrogen as a marine fuel through the construction of a roll-on/roll-off vessel powered by liquid hydrogen	Maritime
Hyundai H ₂ Xcient HGV	The delivery of hydrogen powered heavy goods vehicles for use in Switzerland	Road haulage
Daimler GenH2	The development of a 40-t hydrogen powered HGV with a claimed range of up to 1000 km	Road haulage
Sunfire PtL	Demonstration Power-to-Liquid plant, combining hydrogen produced from renewable electricity and captured CO ₂ to produce liquid fuels	Road haulage Maritime Aviation
Kopernikus P2X	The development of Power-to-X technologies, including for the production of liquid fuels	Road haulage Maritime Aviation
Carbon Recycling International	Commercial electrofuel plant, producing methanol from hydrogen produced from geothermal electricity and captured CO ₂	Maritime

Efuels: barriere vs azioni

- ✓ Barriere tecnologiche
- ✓ Economiche alti Capex (TCO) e Opex
- ✓ Barriere normative e mancanza di standard armonizzati.
- ✓ Assenza di una regolamentazione del mercato
- ✓ Mancanza di una chiara politica di incentivi.
- ✓ Mancanza di una strategia nazionale
- ✓ NIMBY Accettabilità sociale.
- ✓ Necessità di aumentare il coordinamento tra gli attori del mercato (es. elettrico e gas)



AZIONI !!!!!

- ✓ Sviluppo della normativa tecnica
- ✓ Sviluppo della regolamentazione del mercato
- ✓ Consapevolezza nel settore industriale
- ✓ Corretta diffusione e comunicazione
- ✓ Analizzare/comparare altre possibili soluzioni di decarbonizzazione
- ✓ Strategia di conversione a idrogeno stimando l'impatto in termini di rischi, costi e tempi

MARKET UPTAKE...finanziabilità ...





CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Webinar

giovedì 21 dicembre 2023, ore 15.00 – 18.00

Ingegneria e sostenibilità



Le tecnologie di cattura e utilizzo della CO₂ e conversione in combustibili rinnovabili



**GRAZIE
PER LA CORTESE
ATTENZIONE**

Ing. Claudia Bassano