

Roma, 1 ottobre 2024

Ing. Paolo Fioretti

The logo of INAIL (Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura degli Infortuni sul Lavoro e delle Malattie Professionali) is displayed in white capital letters on a dark blue rectangular background.

L'idrogeno da rifiuti



Ordine
degli Ingegneri
della Provincia di Roma

Seminario di aggiornamento
"Sostenibilità, economia circolare e transizione ecologica"

Obiettivo di questa presentazione



- **Perché idrogeno?**
- **Idrogeno per fare cosa?**
- **Quale idrogeno?**
- **Come idrogeno?**

Idrogeno

- È un vettore energetico pulito: la sua combustione produce solo acqua. Forse.
- Può essere prodotto da fonti rinnovabili (idrogeno verde).

- Quanto è sicuro?



DRAFT
International
Standard

ISO/DIS 22734-1

**Hydrogen generators using water
electrolysis —**

**Part 1:
General requirements, test
protocols and safety requirements**

ISO/TC 197
Secretariat: SCC
Voting begins on:
2024-05-01
Voting terminates on:
2024-07-24



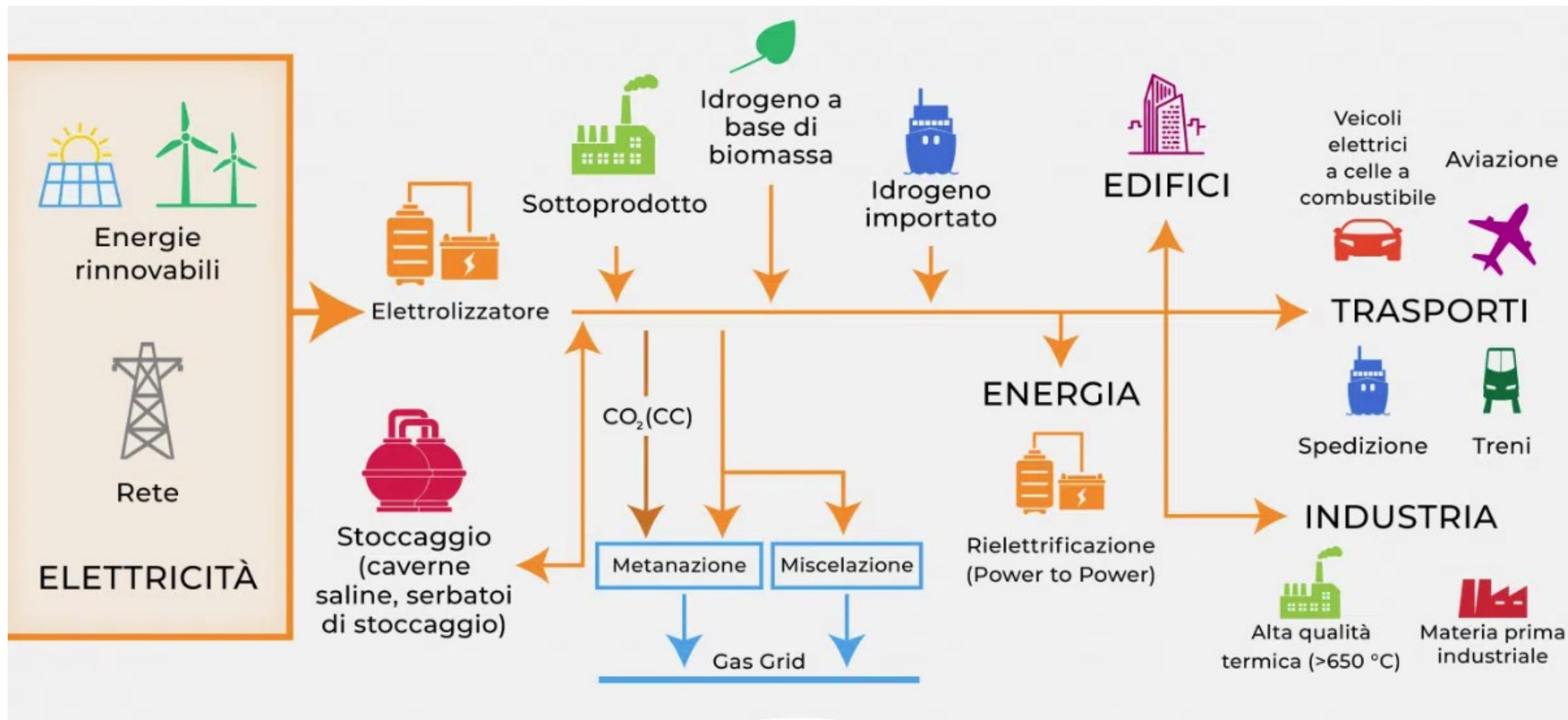
12 settembre 2024

Le emissioni di metano hanno raggiunto nuovi massimi e potrebbero portarci su un percorso climatico pericoloso

di Pep Canadell, Marielle Saunio e Rob Jackson/The Conversation



Un fumo bianco e denso di gas metano emana dagli strati di immondizia e rifiuti nella zona di discarica di Belgharia (India). Il Paese è risultato tra i cinque principali emettitori al mondo. La cattura del metano di discarica e il suo utilizzo per la produzione di energia o di calore, come anche l'introduzione di additivi nei mangimi per ridurre il contributo degli allevamenti, sono soluzioni applicabili sul breve termine per limitare l'impatto ambientale di questo gas (© Jonas Gratzner/LightRocket via Getty Images) (1)



L'idrogeno: più di un semplice combustibile

➤ **Stoccaggio energetico:** l'idrogeno può immagazzinare l'energia in eccesso prodotta da fonti rinnovabili (solare, eolica, biodigestione rifiuti, etc.) per utilizzarla quando serve* ** o come materia prima per l'industria**

- Possibilmente con celle a combustibile

**** Preferibilmente nelle vicinanze del nodo di rete da bilanciare o della produzione**

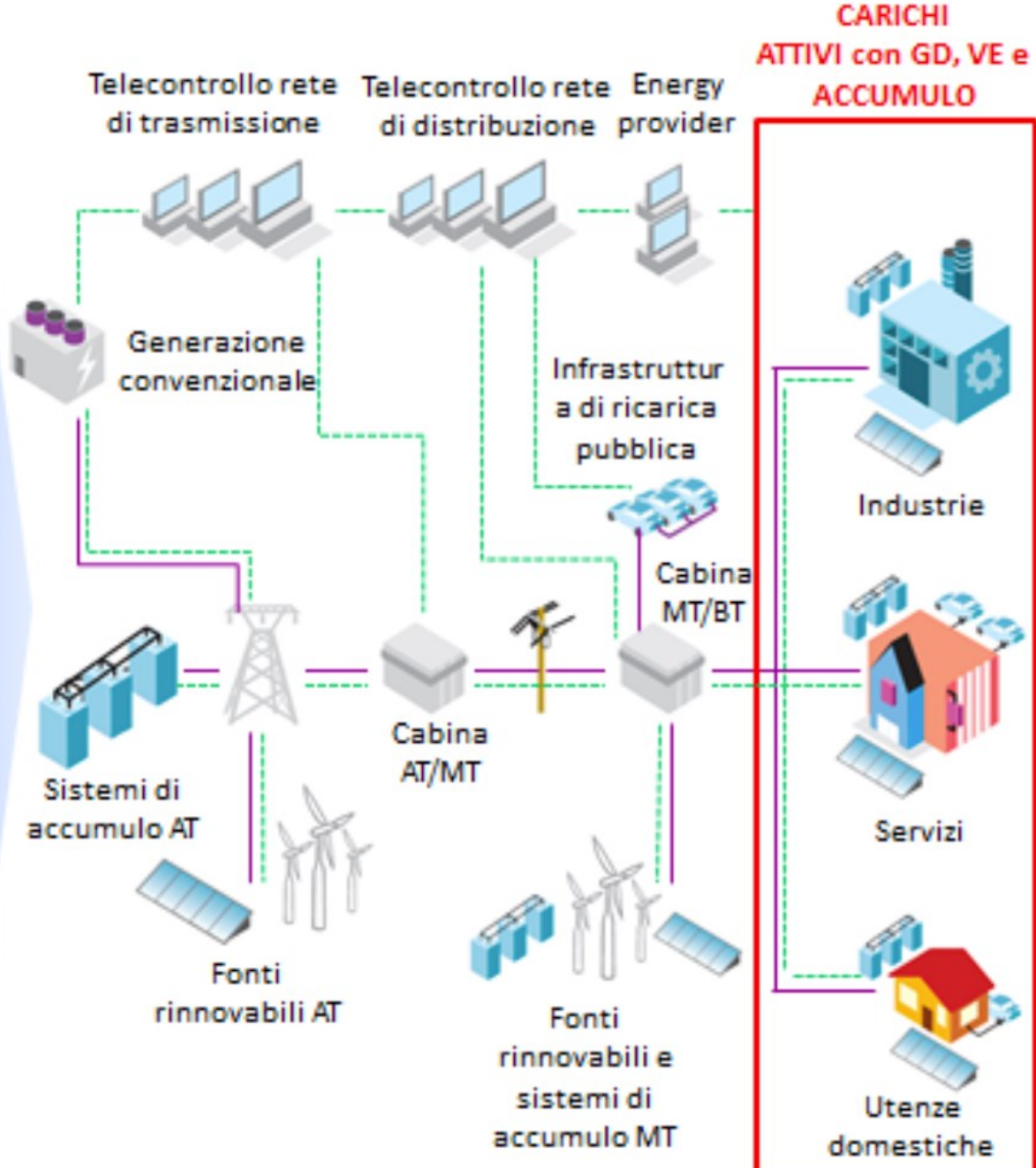
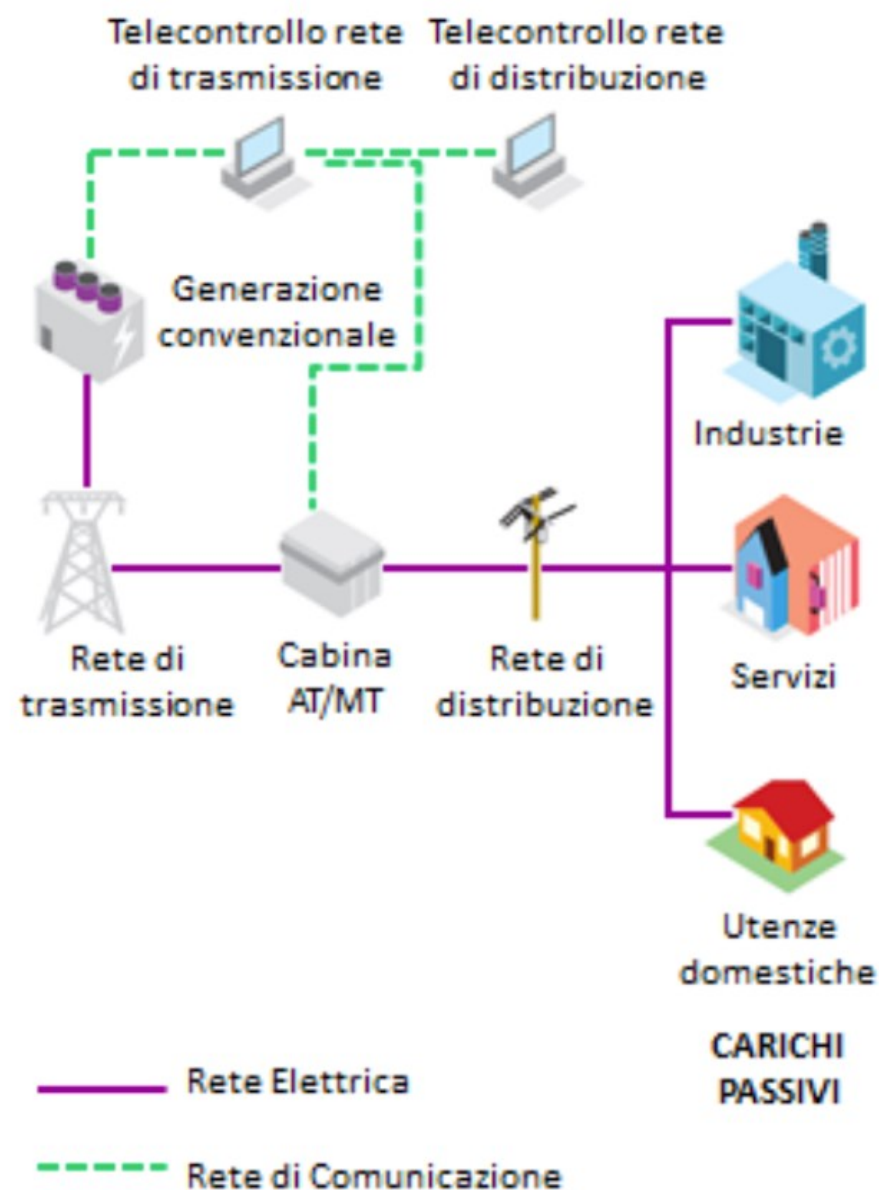


L'idrogeno: più di un semplice combustibile

- **Bilanciamento della rete:** la produzione degli elettrolizzatori può stabilizzare la rete elettrica, compensando le fluttuazioni nella produzione di energia rinnovabile (ISO/WD 27734-2).

10







L'idrogeno: più di un semplice combustibile

- **Materiale di base:** È un elemento fondamentale per la produzione di numerosi prodotti chimici e fertilizzanti e sostituire reattivi a maggior impatto sull'ambiente.

L'idrogeno: la decarbonizzazione dell'industria

- **Decarbonizzazione dei processi industriali:** l'idrogeno può sostituire i combustibili fossili in molti processi ad alta intensità energetica, riducendo drasticamente le emissioni di CO₂.
- **Produzione di acciaio e cemento a basse emissioni:** l'idrogeno può essere utilizzato nei forni fusori per ridurre le emissioni di carbonio nella produzione di acciaio e cemento.
- **Sostenibilità nella chimica:** L'idrogeno verde può alimentare reazioni chimiche più pulite e sostenibili.

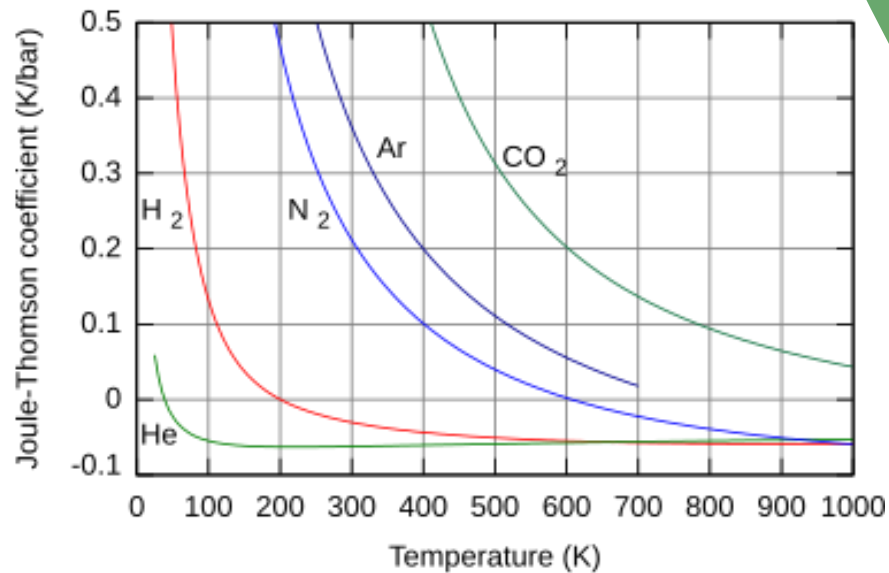


Il futuro dell'idrogeno: un sistema energetico integrato

- ❖ **Sistema energetico integrato:** L'idrogeno può contribuire a creare un sistema energetico più flessibile e resiliente, integrando fonti rinnovabili, stoccaggio e diversi settori.
- ❖ **Mobilità sostenibile:** L'idrogeno può alimentare veicoli a celle a combustibile, offrendo un'alternativa pulita ai combustibili fossili.
- ❖ **Scalabilità:** L'idrogeno può essere prodotto e utilizzato su larga scala, soddisfacendo le esigenze energetiche di un'economia decarbonizzata.



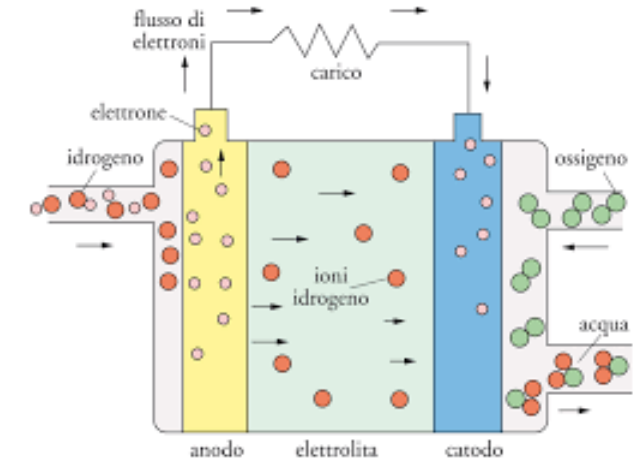
Brevi riflessioni



- Chi può produrre idrogeno «verde»?
- Come evitare nuove dipendenze?
- Quanto costa un kg di idrogeno «*cell-grade*»?
 - Quanta benzina vale?
 - Quali serbatoi?
 - Quali procedure di travaso? (effetto Joule-Thompson)

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H = \frac{\frac{2a}{RT} - b}{C_p}$$

- *Cell grade*
- *Materia prima per l'industria*
- *Combustibile?*



Carburante? ?



I colori dell'idrogeno

IDROGENO VERDE – elettrolisi, con energia elettrica da fonti rinnovabili (*anche ottenuto da termovalorizzazione dei rifiuti*)

IDROGENO BLU - steam reforming del metano (*anche ottenuto da rifiuti*) con successiva cattura delle emissioni di carbonio (CCS)

IDROGENO TURCHESE – pirolisi o gassificazione di substrati diversi, *applicabile anche a categorie di rifiuti*

IDROGENO GRIGIO - steam reforming del metano (*anche ottenuto da rifiuti*) senza cattura delle emissioni di carbonio *

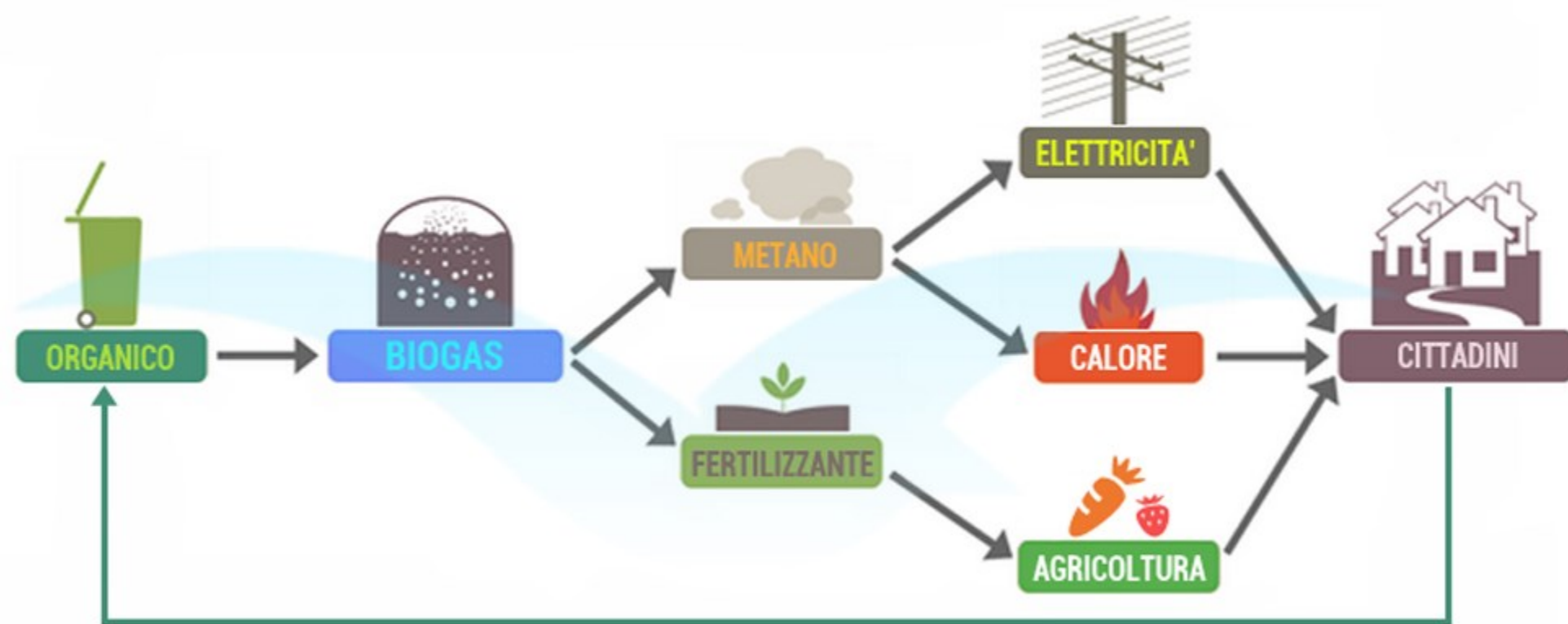
IDROGENO NERO - gassificazione del carbone.

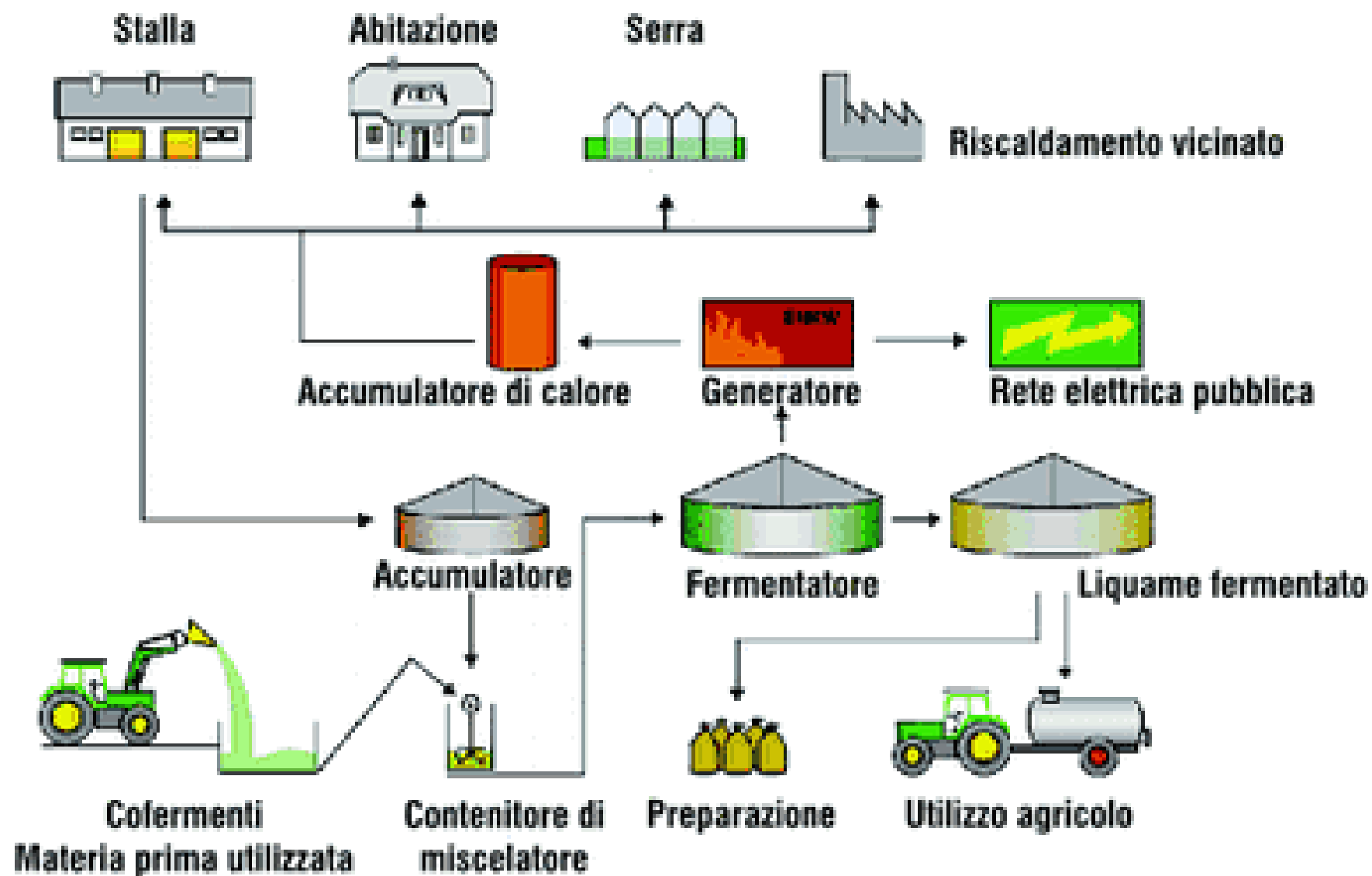
IDROGENO MARRONE – elettrolisi dell'acqua con energia elettrica. prodotta da reattori nucleari

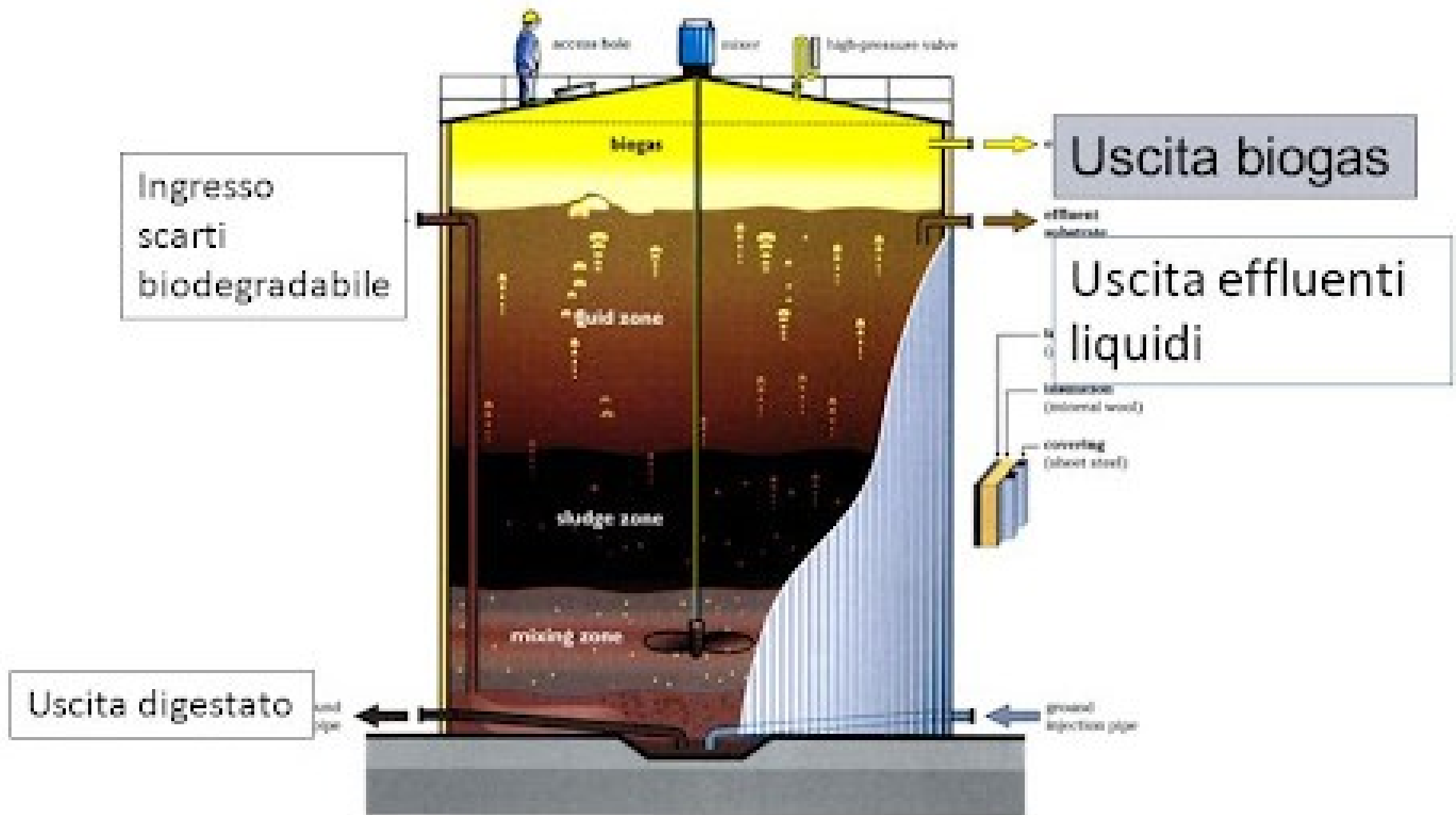
*95% della produzione italiana, circa 600.000 t/h su una capacità di 830.000 t/h
(Regional and Environmental Economics, 24 agosto 2024)



IDROGENO BLU - steam reforming del metano *ottenuto da rifiuti* con *eventuale* cattura delle emissioni di carbonio (CCS)







IDROGENO BLU - steam reforming del metano *ottenuto da rifiuti* con *eventuale* cattura delle emissioni di carbonio (CCS)

La **digestione anaerobica** dei rifiuti.

- **Produzione di energia:** il biogas prodotto può essere utilizzato per generare energia elettrica e termica.
- **Riduzione del volume dei rifiuti:** la digestione anaerobica riduce significativamente il volume dei rifiuti organici.
- **Produzione di fertilizzante:** il digestato può essere utilizzato come fertilizzante in agricoltura, arricchendo il suolo di sostanze nutritive.
- **Riduzione delle emissioni di metano:** la digestione anaerobica impedisce che il metano, un potente gas serra, venga rilasciato nell'atmosfera.
- **Trattamento di rifiuti difficili da gestire:** la digestione anaerobica può trattare una vasta gamma di rifiuti organici, compresi quelli umidi da cucina, i fanghi di depurazione e i rifiuti agricoli.



IDROGENO BLU - steam reforming del metano *ottenuto da rifiuti* con *eventuale* cattura delle emissioni di carbonio (CCS)

La **digestione anaerobica** dei rifiuti.

Quali sono gli svantaggi?

- **Costi di investimento:** La costruzione e la gestione di un impianto di digestione anaerobica richiedono un investimento iniziale elevato.
- **Tempo di trattamento:** Il processo di digestione anaerobica richiede tempo, solitamente da una a quattro settimane.
- **Requisiti specifici:** I rifiuti organici devono essere preparati in modo adeguato prima di essere introdotti nel digestore.



IDROGENO BLU - steam reforming del metano *ottenuto da rifiuti con eventuale* cattura delle emissioni di carbonio (CCS)

II BIOGAS.

Componenti principali:

- **Metano (CH_4)**: È il componente principale e più energetico del biogas. La sua percentuale può variare dal 50% al 70%.
- **Anidride carbonica (CO_2)**: È il secondo componente per importanza e può rappresentare dal 30% al 50% del biogas.
- **Altri componenti**: In quantità minori possono essere presenti altri gas come:
 - Idrogeno (H_2)
 - Azoto (N_2)
 - Ossigeno (O_2)
 - **Idrogeno solforato (H_2S)**
 - Tracce di altri composti organici volatili



Perché depurare il biogas?

- **Rimozione dell'idrogeno solforato (H_2S):** gas corrosivo e può avvelenare i ***catalizzatori di conversione*** del syngas.
- **Rimozione di composti organici volatili (COV):** possono condensarsi nelle tubazioni e negli impianti, causando ostruzioni e problemi di funzionamento.
- **Rimozione di silice e particolato:** possono abradere le componenti meccaniche dei motori e degli impianti.
- **Aumento del potere calorifico:** rimozione di componenti inerti, come l'azoto.



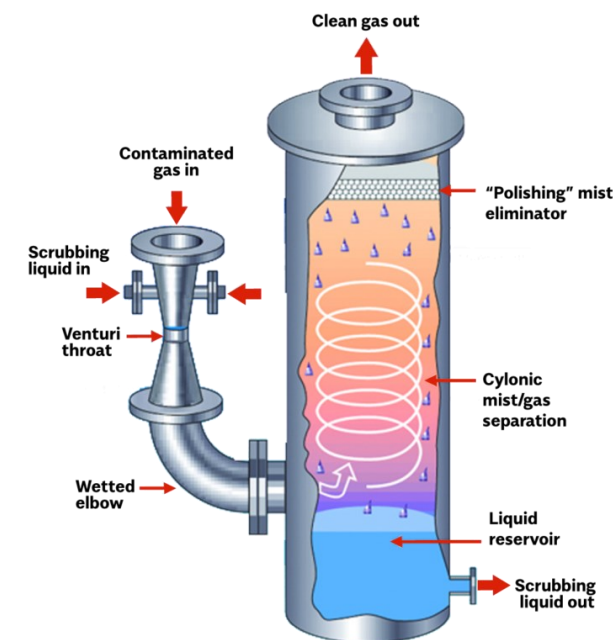
Come depurare il biogas?

Assorbimento chimico: soluzioni alcaline per assorbire l'idrogeno solforato.

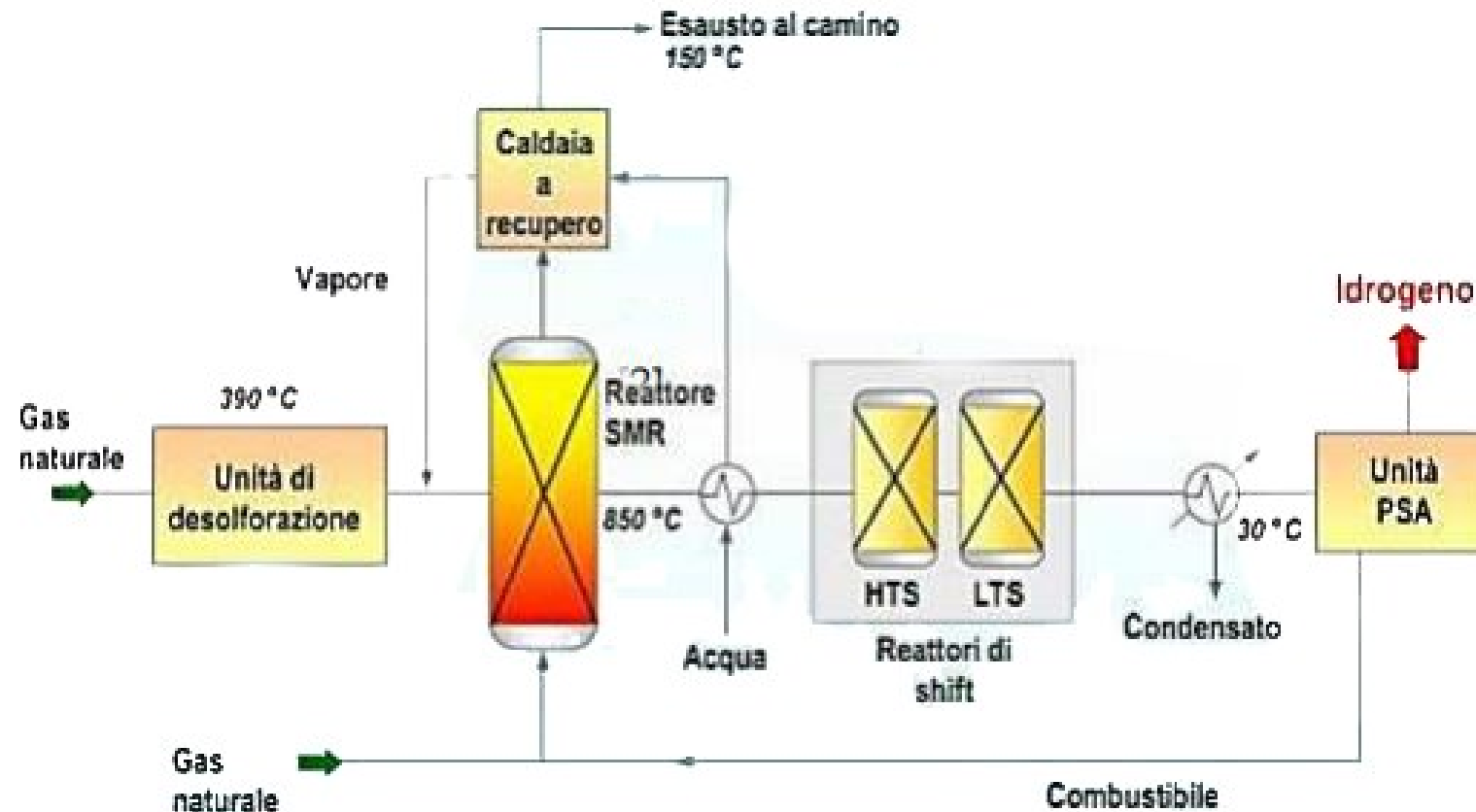
Assorbimento fisico: materiali adsorbenti, come il carbone attivo, per rimuovere diverse impurità.

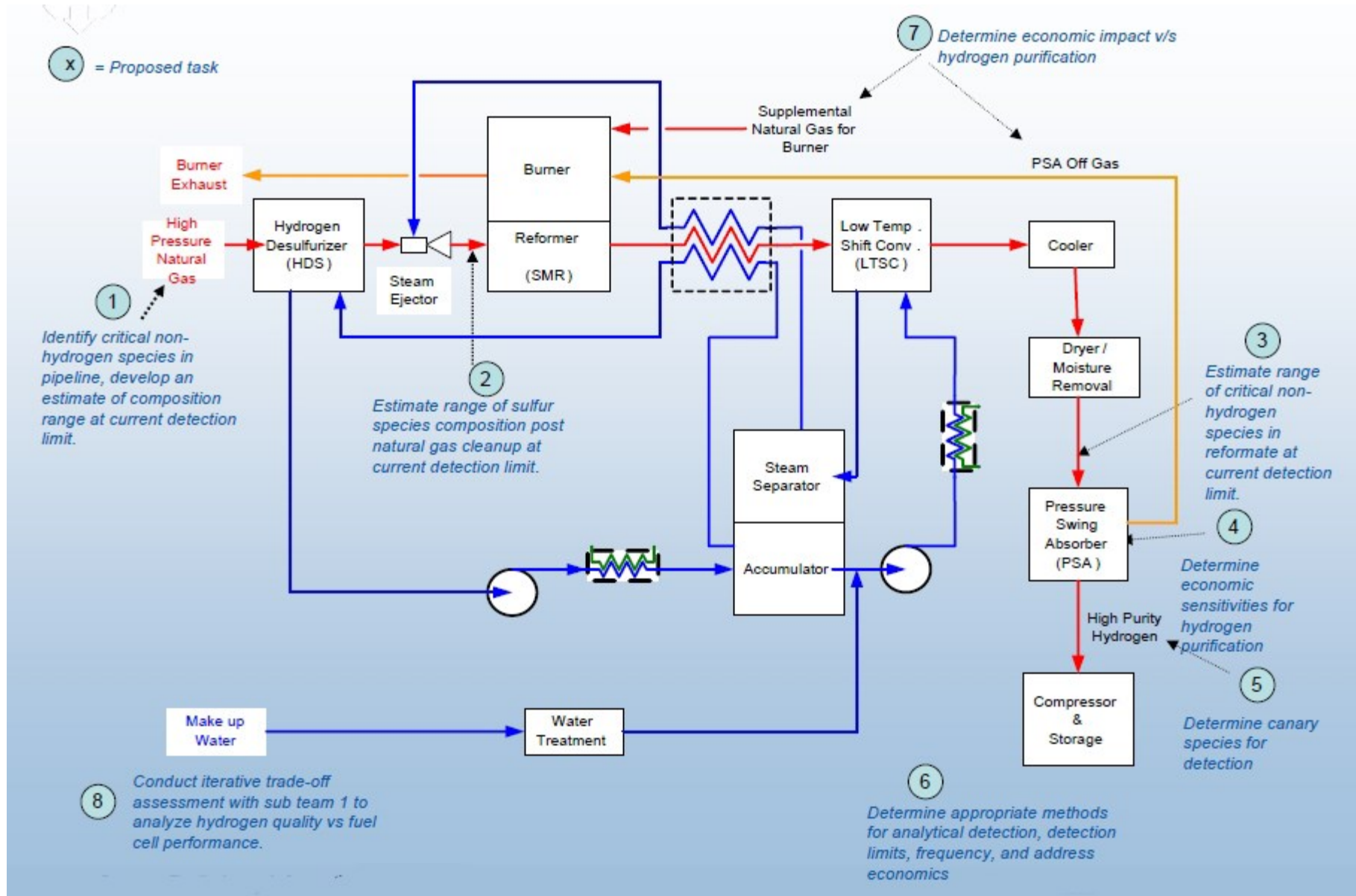
Membrane: membrane selettive per separare i componenti del biogas.

Biofiltrazione: microrganismi per degradare i composti organici volatili.



IDROGENO BLU - steam reforming del metano *ottenuto da rifiuti* con eventuale cattura delle emissioni di carbonio (CCS)





IDROGENO BLU - steam reforming del metano *ottenuto da rifiuti* con eventuale cattura delle emissioni di carbonio (CCS)

Steam Methane Reforming (SMR): $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$

Syngas

Shift conversion: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$



IDROGENO BLU - steam reforming del metano *ottenuto da rifiuti* con eventuale cattura delle emissioni di carbonio (CCS): **sottoprodotti**

- ***CO₂ da fonte parzialmente rinnovabile***
- ***CCS?***
- ***Fanghi da digestore***

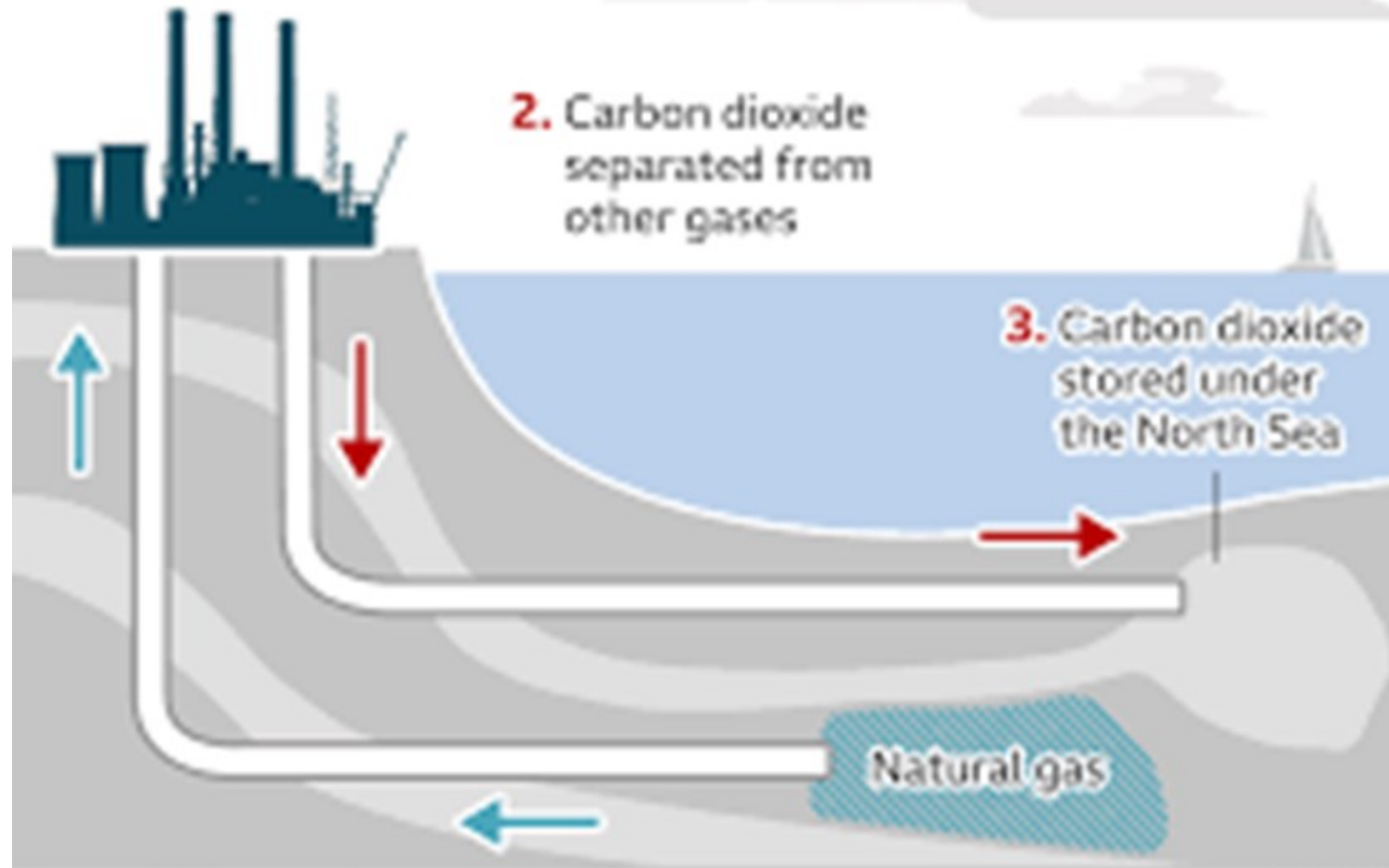


Carbon capture and storage

1. Natural gas burned at power station

2. Carbon dioxide separated from other gases

3. Carbon dioxide stored under the North Sea



Source: BBC research



Brevi riflessioni

- **Biometano: purificazione e trasporto.**
- **Sicurezza dei serbatoi geologici e marini.**
- **Idrogeno: il trasporto.**



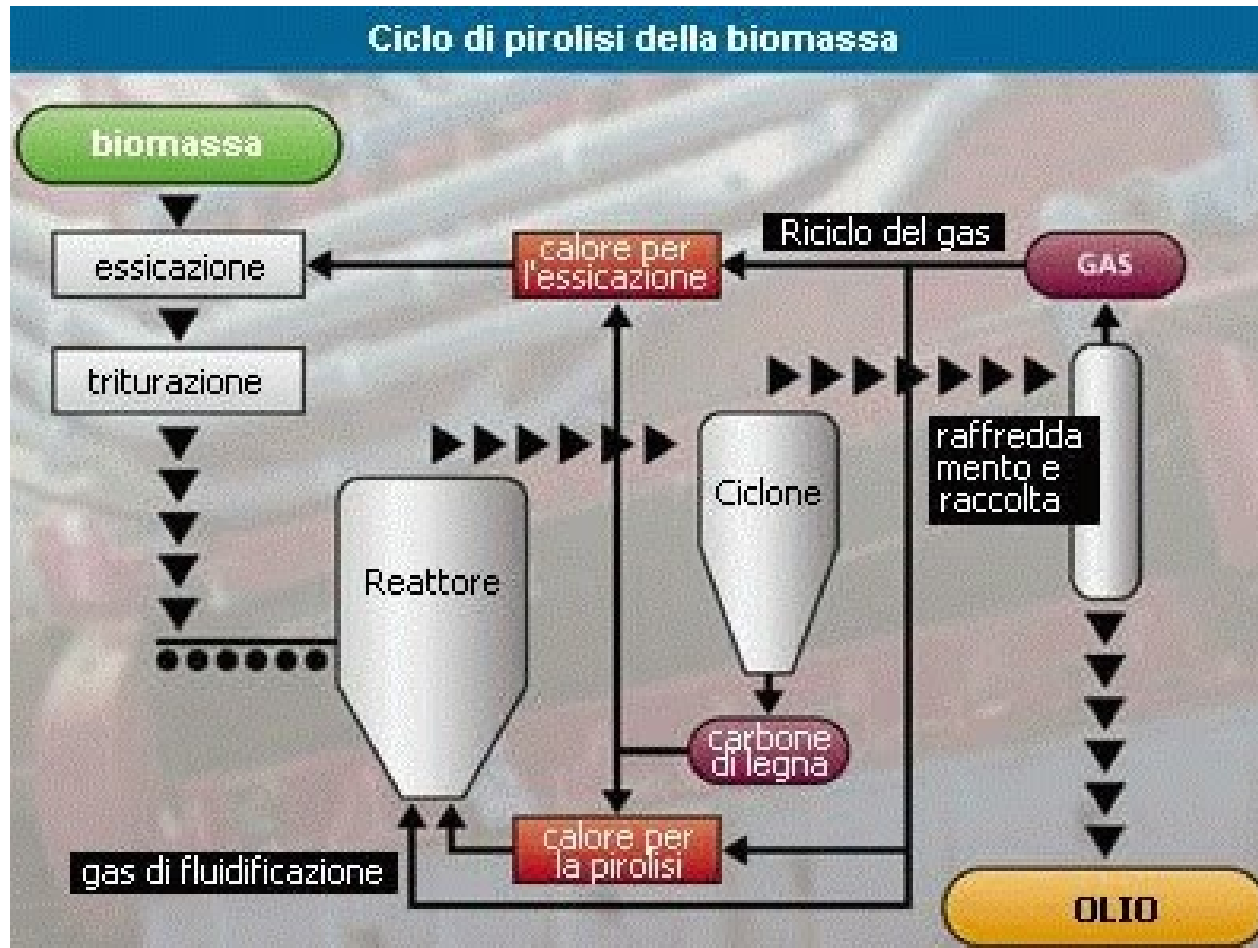
IDROGENO TURCHESE – pirolisi o gassificazione di substrati diversi, *applicabile anche a categorie di rifiuti*

La **pirolisi** è un processo termochimico che prevede la decomposizione di materiali organici in assenza di ossigeno. Applicato ai rifiuti, trasforma questi ultimi in prodotti più semplici e utilizzabili, come:

- **Gas:** Un mix di gas combustibili (syngas) composto principalmente da idrogeno, metano, monossido di carbonio e anidride carbonica.
- **Liquido:** Un olio pirolitico che può essere utilizzato come combustibile o come materia prima per la produzione di altri prodotti chimici.
- **Solido:** Un residuo carbonioso (char) che può essere impiegato come combustibile o come adsorbente.



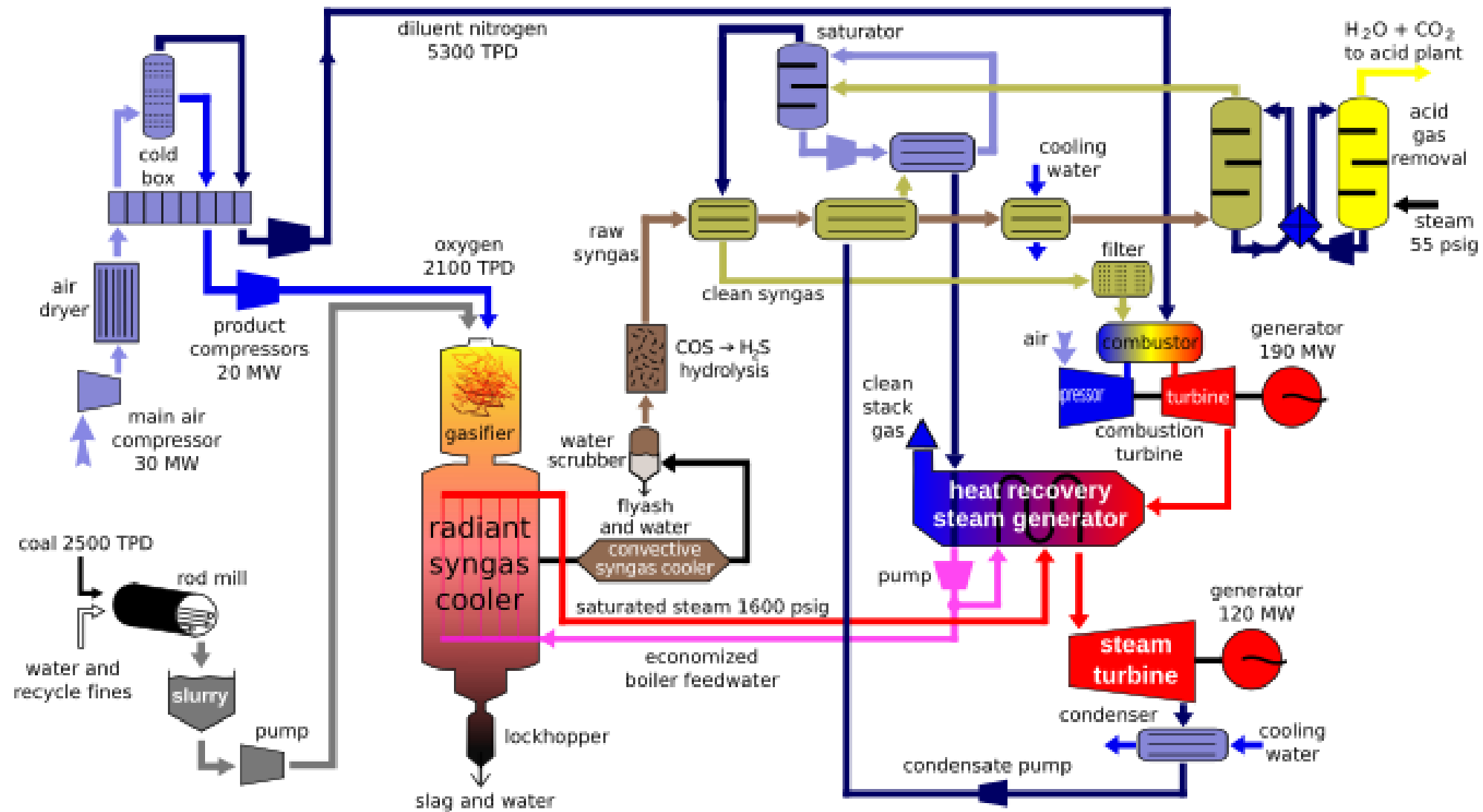
IDROGENO TURCHESE – pirolisi o gassificazione di substrati diversi, *applicabile anche a categorie di rifiuti*



La gassificazione è un processo termochimico che converte i rifiuti organici in prodotti più semplici e utilizzabili. Tuttavia, a differenza della pirolisi, la gassificazione avviene in presenza di un agente ossidante, solitamente aria o ossigeno.

Il processo si svolge ad alte temperature, in un reattore dove il rifiuto viene decomposto in un gas combustibile chiamato **syngas**. Questo gas è composto principalmente da monossido di carbonio (CO), idrogeno (H₂) e piccole quantità di metano (CH₄) e anidride carbonica (CO₂).





Quali sono i vantaggi di questi processi?

- **Recupero energetico:** Il syngas prodotto può essere utilizzato per generare elettricità o calore.
- **Produzione di biocarburanti:** Il bio-olio può essere raffinato per produrre biocarburanti liquidi.
- **Riduzione del volume dei rifiuti:** I solidi di pirolisi e gassificazione occupano un volume molto inferiore rispetto ai rifiuti originari.
- **Recupero di materie prime:** Alcuni componenti dei solidi di pirolisi possono essere recuperati e riutilizzati.
- **Emissioni ridotte:** Rispetto all'incenerimento, questi processi producono minori emissioni di diossine e furani.



Quali sono gli svantaggi?

- **Costi elevati:** L'installazione e la gestione di impianti di pirolisi e gassificazione richiedono ingenti investimenti.
- **Gestione dei residui:** I solidi di pirolisi e gassificazione devono essere gestiti in modo appropriato, in quanto possono contenere sostanze pericolose.
- **Tecnologie ancora in sviluppo:** Le tecnologie di pirolisi e gassificazione sono in continua evoluzione, e non tutte le soluzioni sono ancora mature per un'applicazione su larga scala.



- **Rifiuti urbani:** Rifiuti domestici e commerciali.
- **Biomasse:** Rifiuti agricoli e forestali.
- **Pneumatici fuori uso:** Pneumatici che hanno raggiunto il termine della loro vita utile.
- **Plastica:** Rifiuti plastici difficilmente riciclabili.



Processi biologici di produzione di idrogeno da rifiutiduzione di Idrogeno

- **Fermentazione oscura**
- **Fotofermentazione**
- **Ossidoriduzione microbica**

➤ **Basse rese.**

➤ **Costi**



*Grazie per
l'attenzione*

Paolo Fioretti

p.fioretti@inail.it

