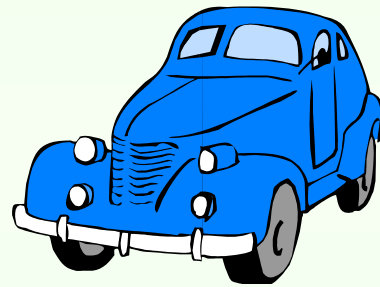


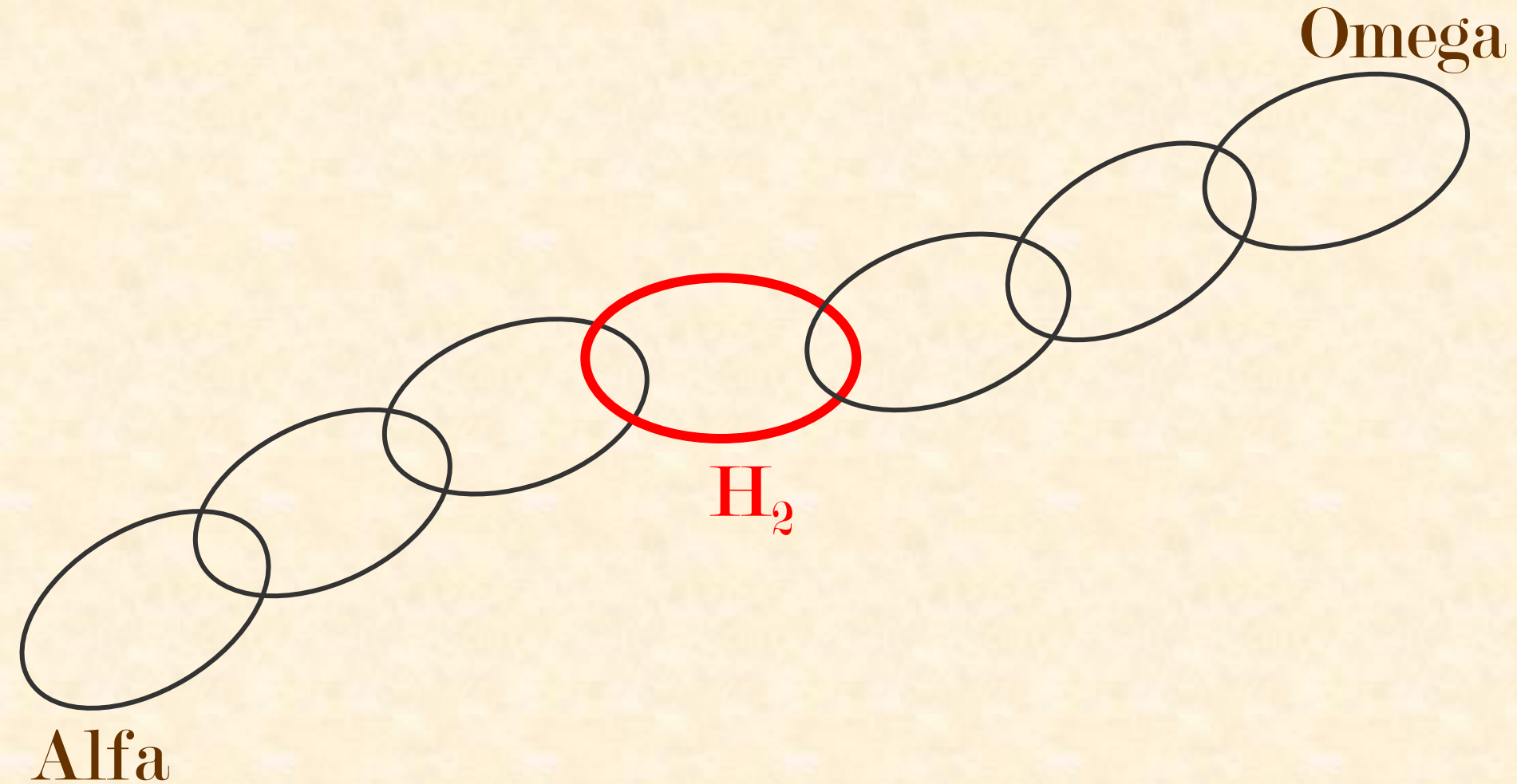
IDROGENO



Arturo Romer

Minusio, marzo 2008

L'IDROGENO È SOLAMENTE UN ANELLO DI UNA CATENA



PROPRIETÀ DELL'IDROGENO (H₂)

Massa molecolare	g/mole	2.01588
Densità (come gas, alle condizioni standard)	kg/m ³	0.0838
Densità (come liquido, a -253 °C)	kg/m ³	70
Potere calorico superiore	kWh/kg	39.41
Potere calorico inferiore	kWh/kg	33.31

Il potere calorico superiore è il calore sviluppato dalla combustione di idrogeno tenendo anche conto del calore di condensazione del vapore acqueo (1 kWh = 3.6 MJ)

La produzione e l'impiego di idrogeno

Fonte primaria

Sole Vento	Gas naturale	Carbone	Petrolio	Geotermia	Biomassa	Forza idrica	Energia nucleare
------------	--------------	---------	----------	-----------	----------	--------------	------------------

Vettore energetico

Elettricit�	Benzina	Diesel	Metanolo	Etanolo
-------------	---------	--------	----------	---------

Metodo di produzione

H ₂ O Elettrolisi	C _x H _y + H ₂ O Steam reforming Gassificazione
---------------------------------	---

Logistica

GH ₂ (forma gassosa) Compressione, Trasporto, Stoccaggio, Distribuzione	LH ₂ (forma liquida) Liquefazione, Trasporto, Stoccaggio, Rifornimento
---	--

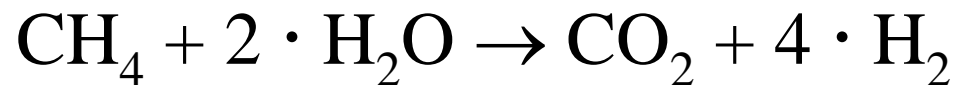
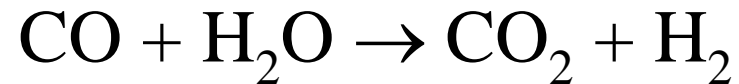
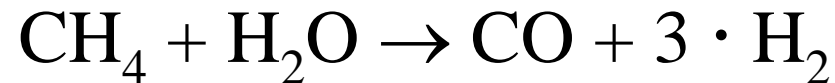
Impiego

stazionario	mobile	portatile
-------------	--------	-----------



Il rendimento globale dello “Steam reforming”
si situa tra il 70 e l’80%

“Steam reforming” di metano:

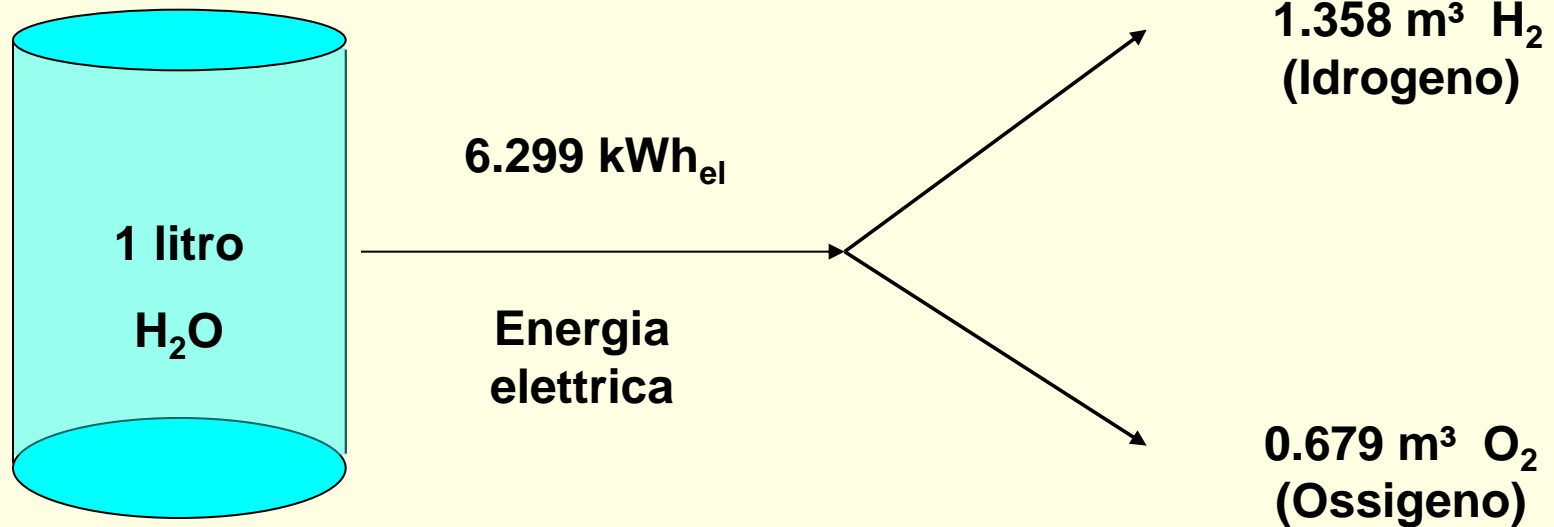


L'ELETTROLISI DI 1 LITRO D'ACQUA

Rendimento elettrolisi	Consumi e prodotti finali	Consumo di elettricità [kWh _{el}]	PRODOTTI FINALI	
			H ₂	O ₂
Processo ideale rendimento $\eta = 100\%$		4.4098	1.358 [m ³] (= 111.898 [g])	0.679 [m ³]
Processo reale rendimento $\eta = 70\%$		6.299	1.358 [m ³] (= 111.898 [g])	0.679 [m ³]

Ipotesi: 286 [kJ / mole H₂]

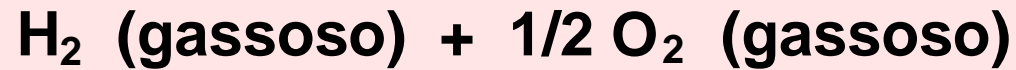
L'elettrolisi di un litro d'acqua



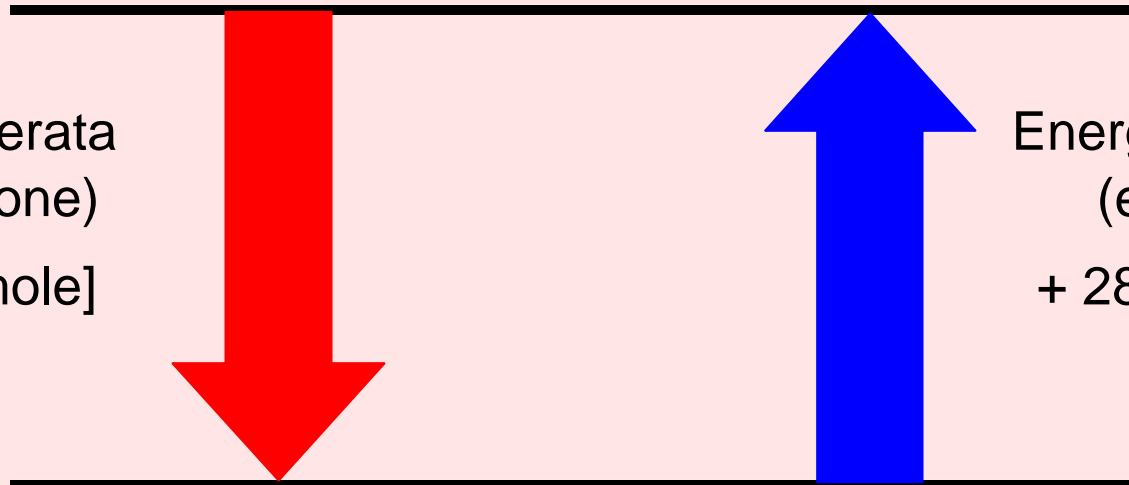
LA RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DI UN ELETTROLIZZATORE



LA PRODUZIONE E LA COMBUSTIONE DI IDROGENO



Energia liberata
(combustione)
-286 [kJ/mole]



Energia assorbita
(elettrolisi)
+ 286 [kJ/mole]



LA PRODUZIONE DI 1 [KG] DI IDROGENO MEDIANTE ELETTROLISI

Rendimento elettrolisi	Consumi e prodotti finali	Consumo di elettricità [kWh _{el}]	PRODOTTI FINALI	
			H ₂	O ₂
	Processo ideale rendimento $\eta = 100\%$	39.41	12.136 [m ³] (= 1 [kg])	6.068 [m ³]
	Processo reale rendimento $\eta = 70\%$	56.3	12.136 [m ³] (= 1 [kg])	6.068 [m ³]

Ipotesi: 286 [kJ / mole H₂]

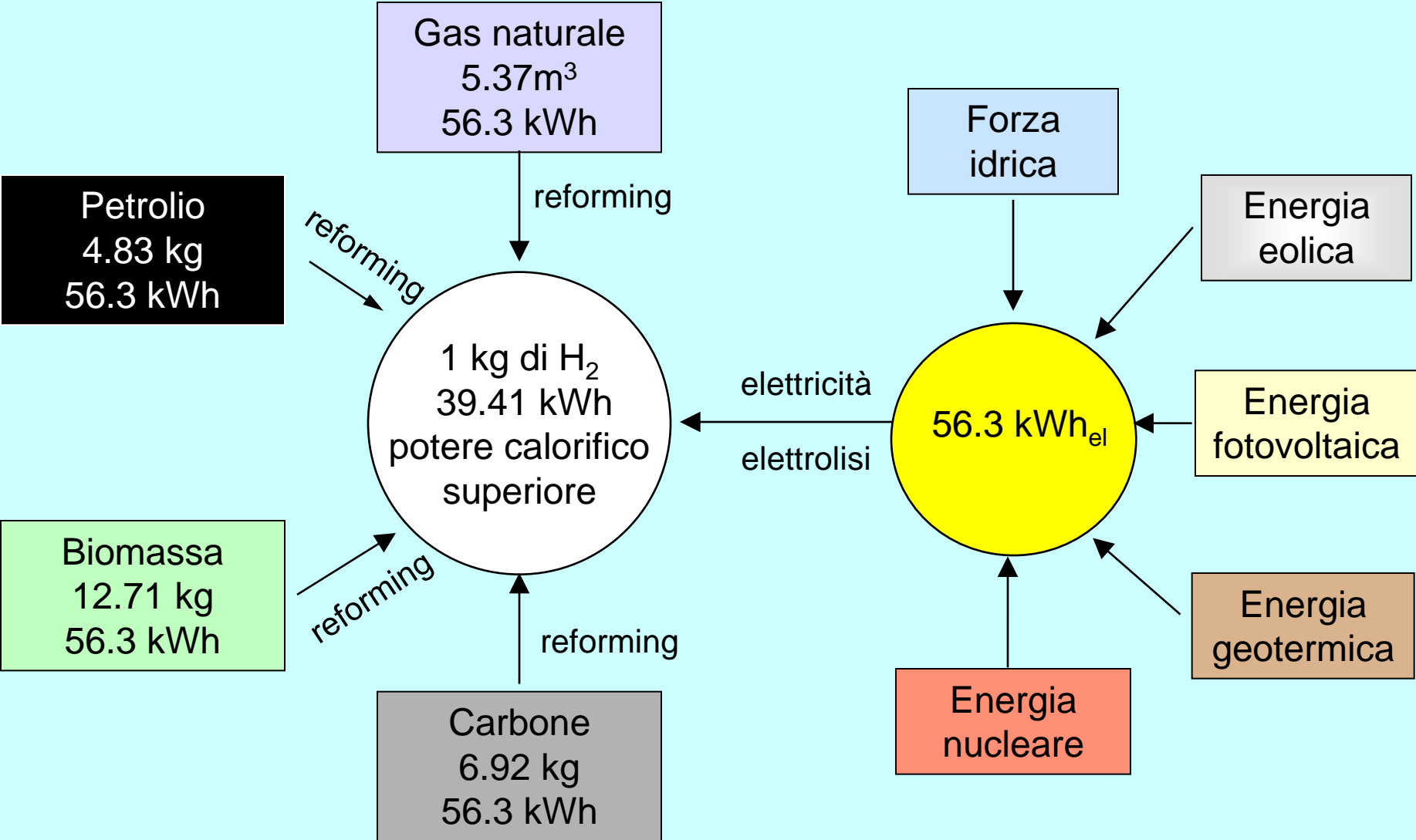
IL CONTENUTO ENERGETICO SPECIFICO DELL'IDROGENO

	Contenuto per unità di volume		Contenuto per unità di massa	
	[kJ/m ³]	[kWh/m ³]	[kJ/kg]	[kWh/kg]
Potere calorifico inferiore	10'800	3	120'000	33.3
Potere calorifico superiore	12'770	3.54	141'890	39.41

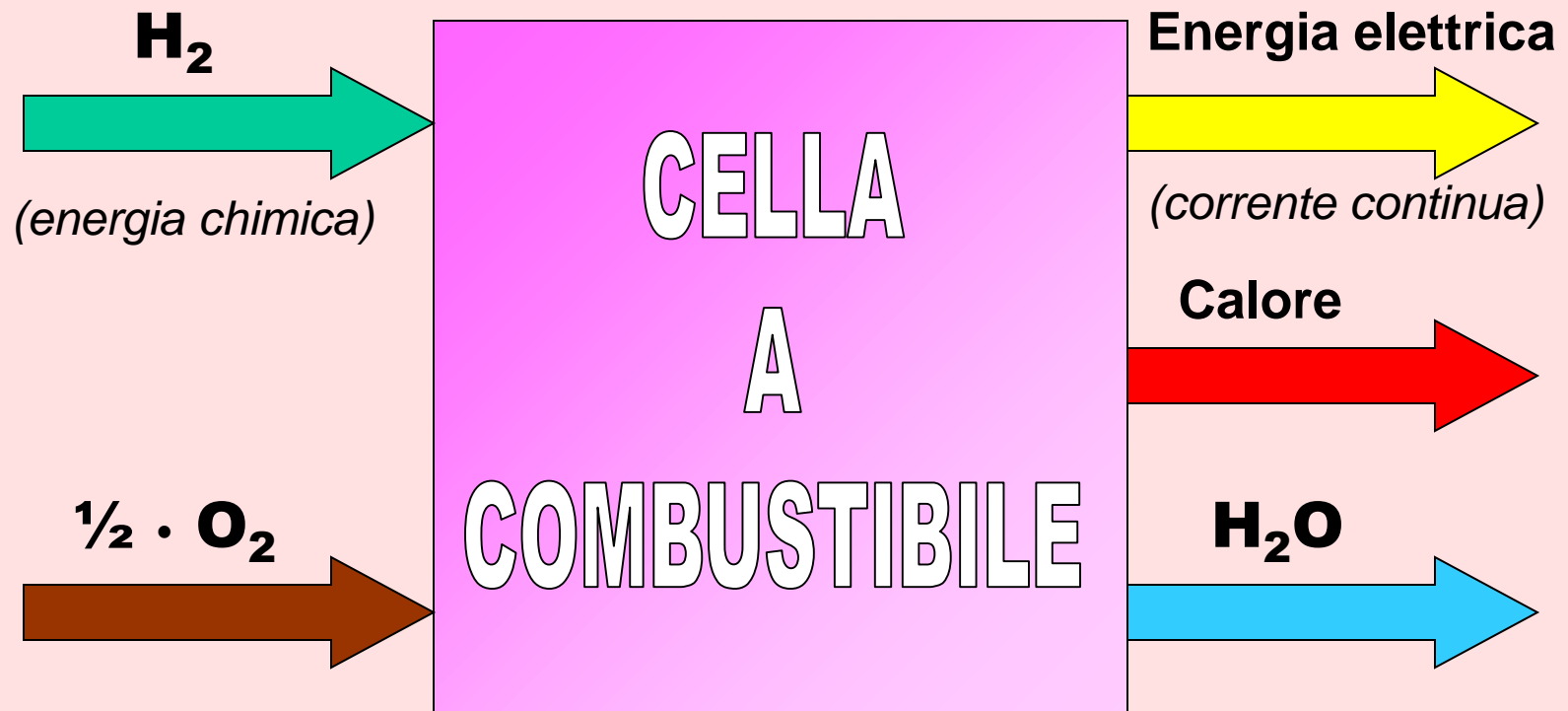
Condizioni standard: $T = 273.15 \text{ K}$, $p = 1.013 \text{ bar}$

La produzione di idrogeno

(Ipotesi: rendimento elettrolisi e reforming 70%)

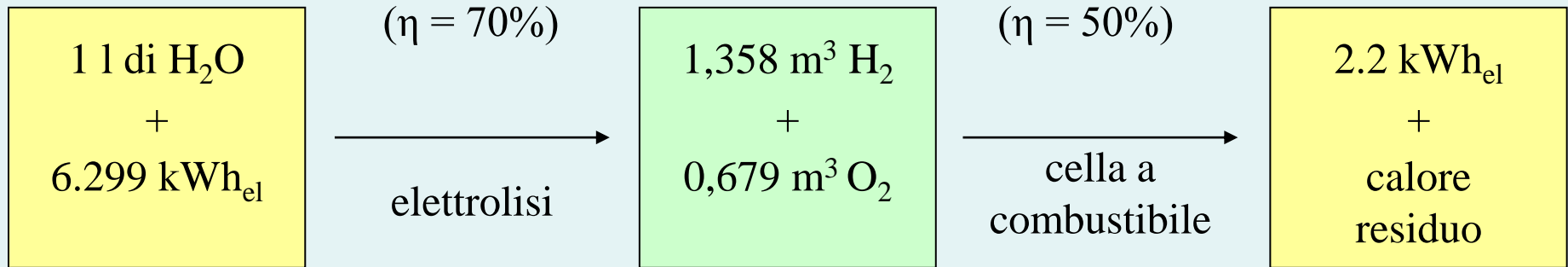


LA RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DI UNA CELLA A COMBUSTIBILE

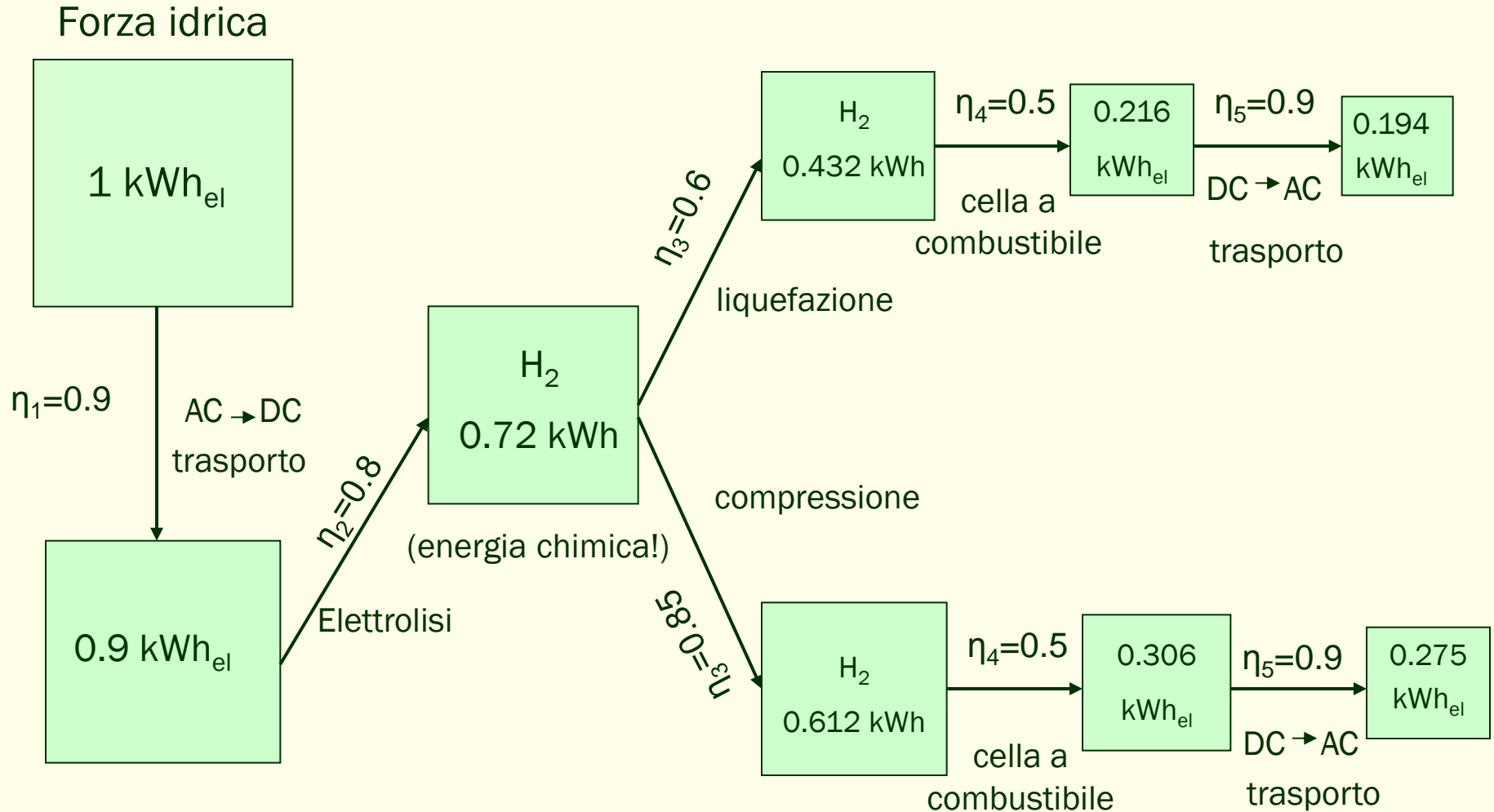


Il ciclo

"elettrolisi - cella a combustibile"



IL PERCORSO „FORZA IDRICA – IDROGENO – CELLA A COMBUSTIBILE“

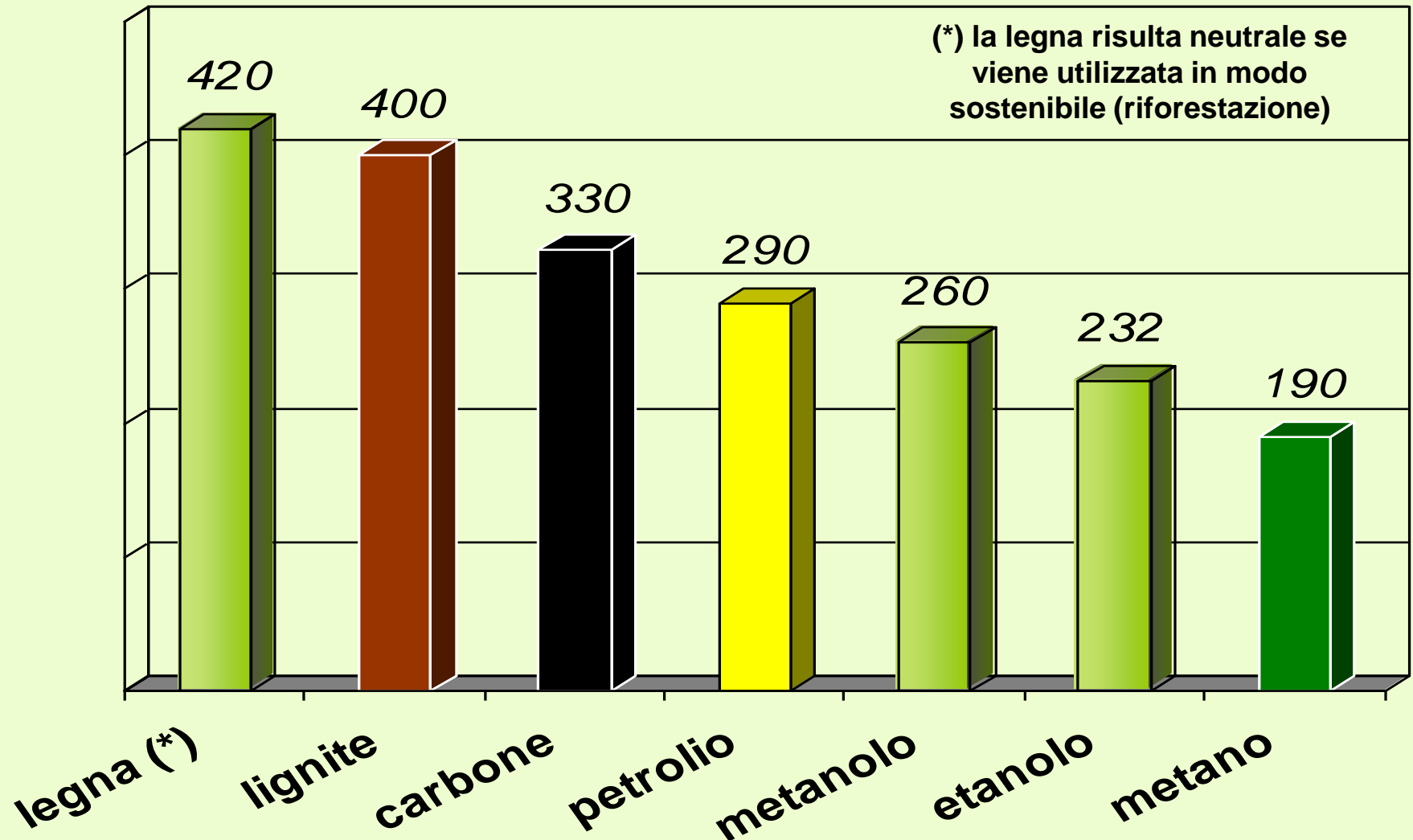


$$\eta_{tot} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 = 0.2 \div 0.27$$

Le emissioni specifiche di CO₂

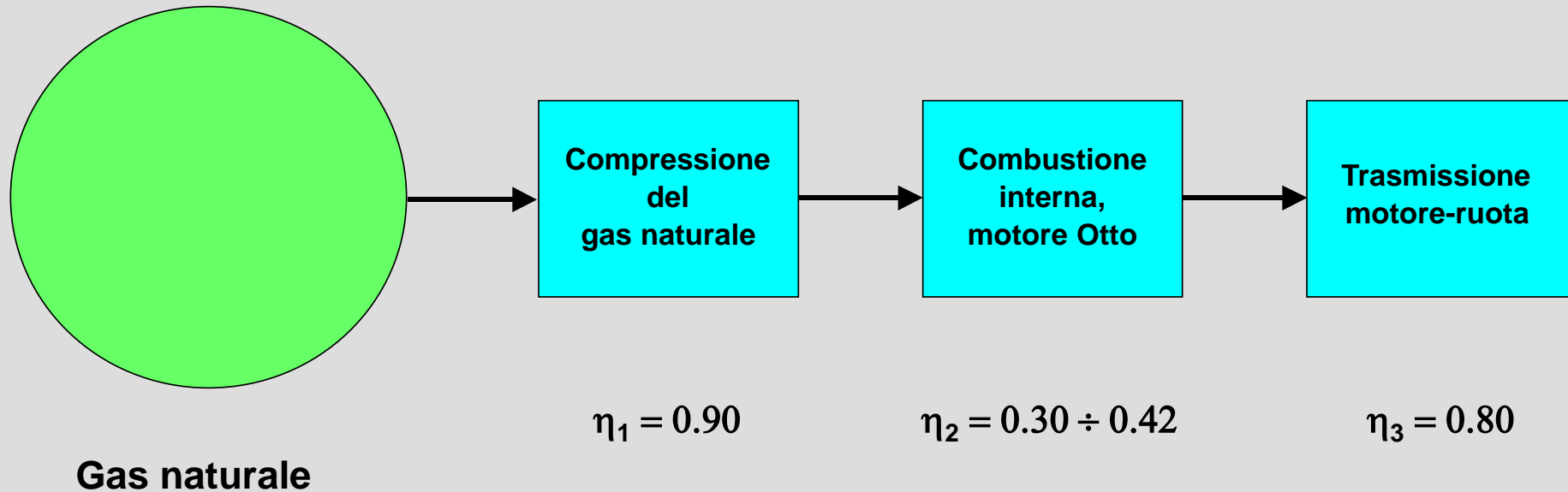
(in g di CO₂ per unità di energia termica)

[gCO₂/kWh_{th}]



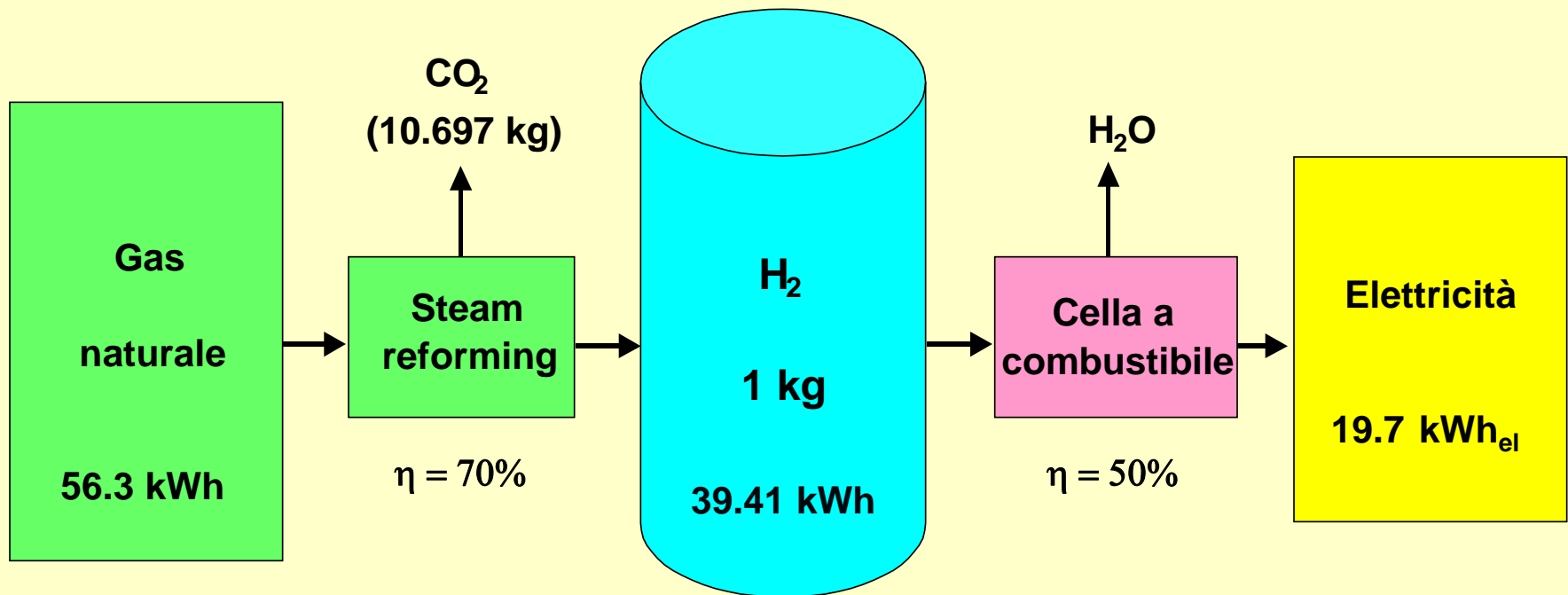
Il percorso dal gas naturale alla ruota

(Variante 3: motore Otto)



$$\eta_{\text{totale}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0.216 \div 0.302$$

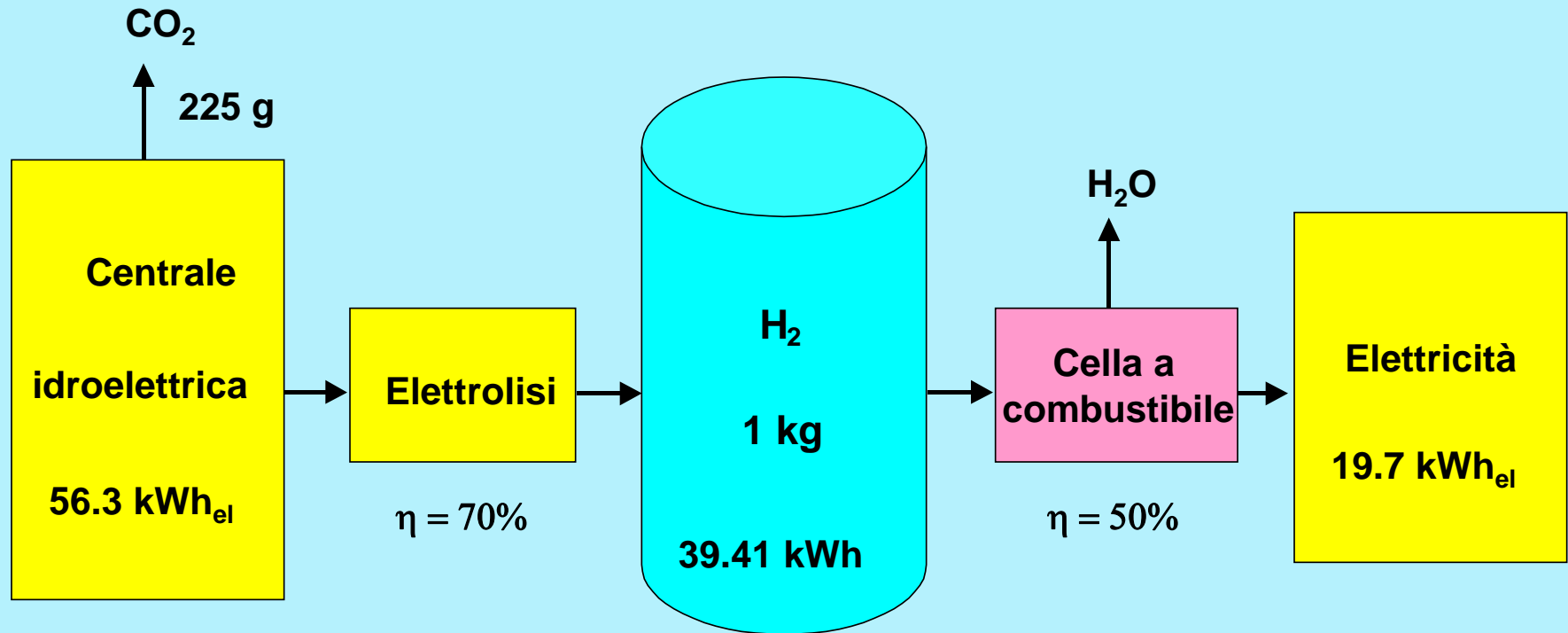
Steam reforming di gas naturale



Emissione specifica:

543 g CO_2 / kWh_{el}

Elettrolisi d'acqua con idroelettricità



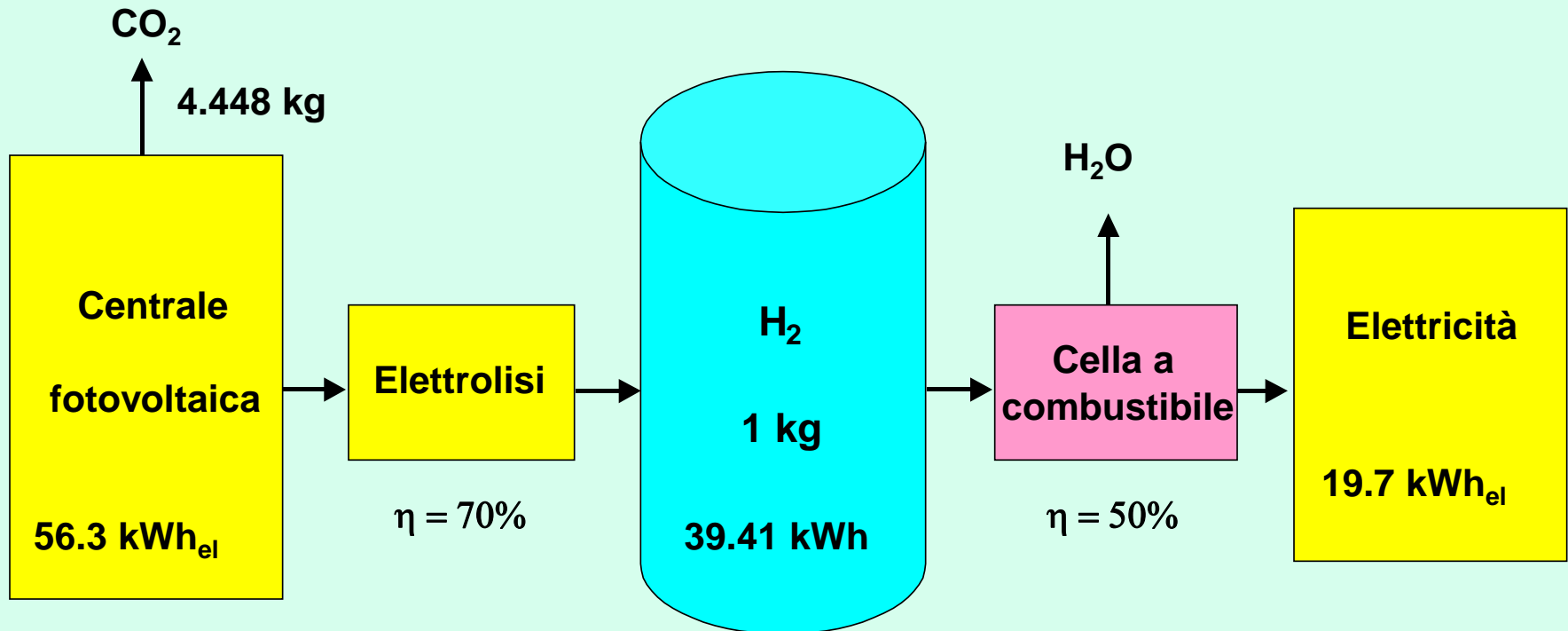
Emissione specifica:

4 g CO₂ / kWh_{el}

Emissione specifica:

11.4 g CO₂ / kWh_{el}

Elettrolisi d'acqua con elettricità fotovoltaica



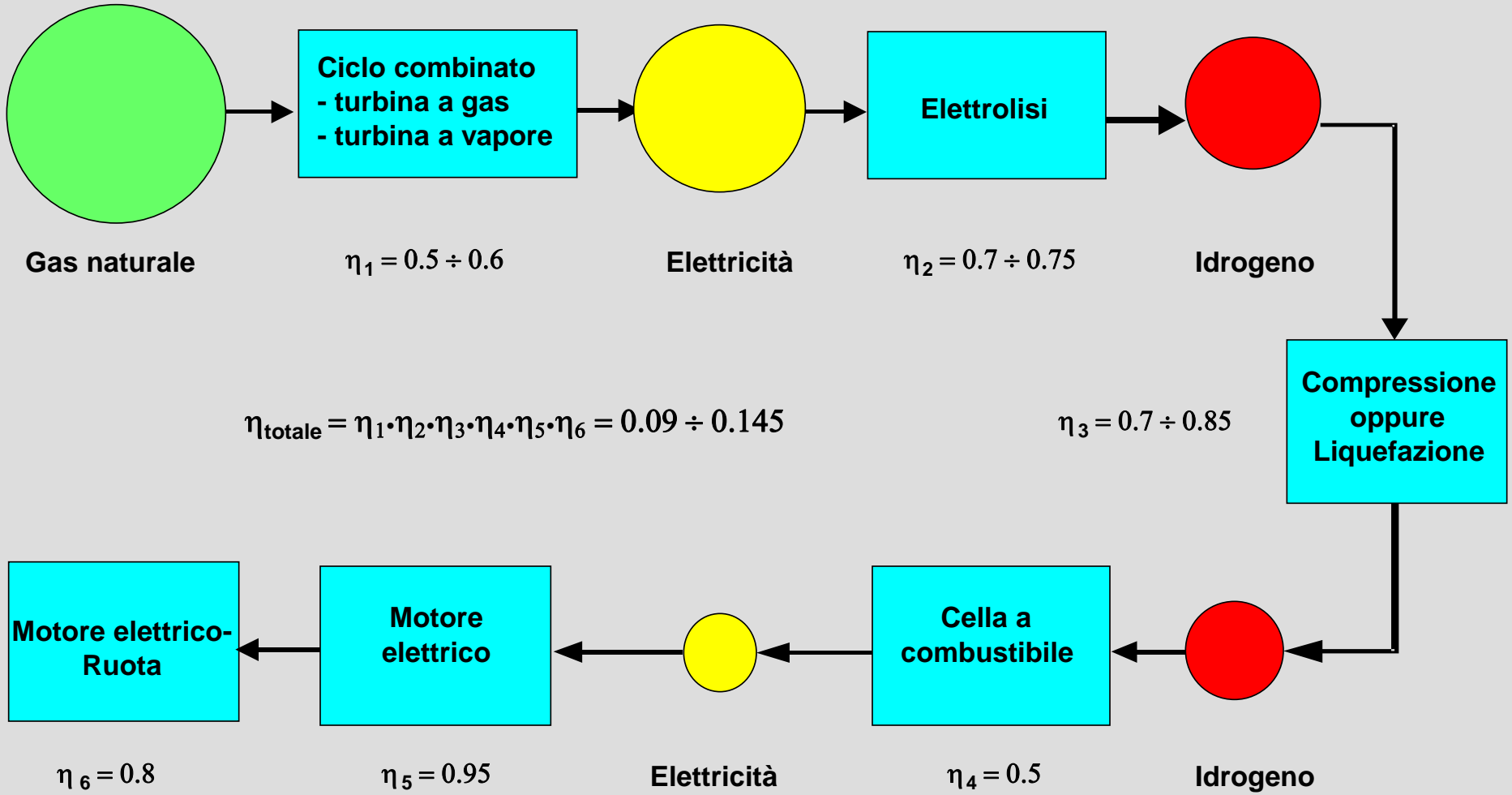
Emissione specifica:

79 g CO₂ / kWh_{el}

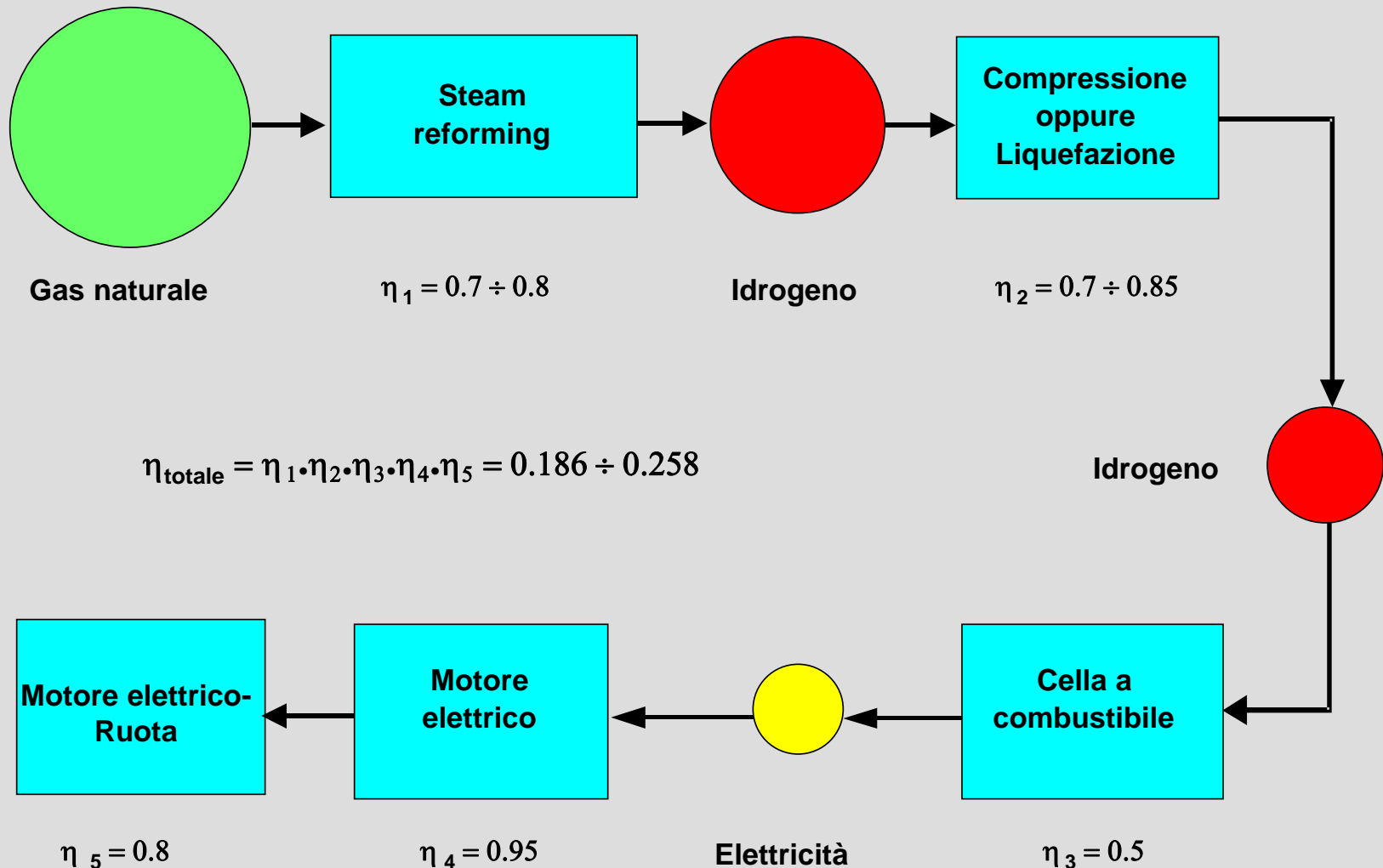
Emissione specifica:

225.8 g CO₂ / kWh_{el}

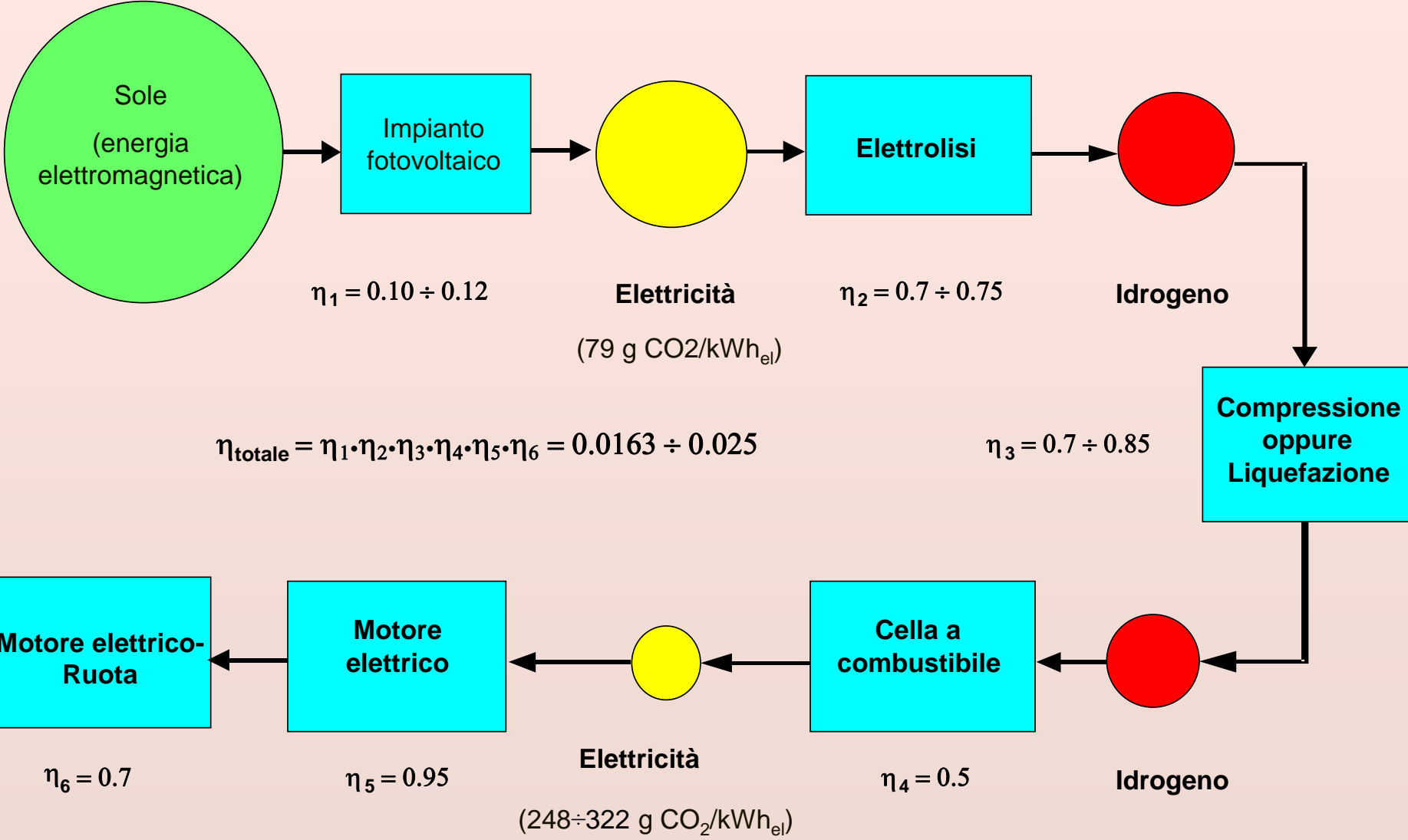
Il percorso dal gas naturale alla ruota (Variante 1: elettrolisi)



Il percorso dal gas naturale alla ruota (Variante 2: steam reforming)



Dall'energia solare alla ruota



Emissioni specifiche e sostenibilità. Produzione di energia elettrica

Tecnologia	Emissioni e sostenibilità	Emissione specifica [gCO ₂ /kWh _{el}]	Sviluppo sostenibile		
			aspetto ecologico	aspetto economico	aspetto sociale
CARBONE					
- combustione, ciclo Carnot ($\eta = 40\%$)		826	- -	+ + +	-
- reforming, H ₂ compresso, cella a combustibile		1100	- - -	+	-
- combustione, elettrolisi, H ₂ compresso, cella a combustibile		2200	- - - -	-	-
METANO					
- combustione, ciclo combinato		317	-	+ + +	+
- reforming, H ₂ compresso, cella a combustibile		633	- -	+	+
- combustione, elettrolisi, H ₂ compresso, cella a combustibile		760	- -	-	+
FORZA IDRICA					
- produzione di elettricità		4	+ + + +	+ + +	+ +
- elettrolisi, H ₂ compresso, cella a combustibile		13	+ + +	+	+
ENERGIA NUCLEARE					
- produzione di elettricità		8	+ +	+ + +	+
- elettrolisi, H ₂ compresso, cella a combustibile		27	+	+	+
ENERGIA FOTOVOLTAICA (Svizzera)					
- produzione di elettricità		79	+ +	- - -	+ +
- elettrolisi, H ₂ compresso, cella a combustibile		263	+ -	- - - -	+
ENERGIA EOLICA (Svizzera)					
- produzione di elettricità		36	+ +	-	+ +
- elettrolisi, H ₂ compresso, cella a combustibile		120	+	- -	+

Varie possibilità dell'impiego del gas naturale nel traffico leggero

Rendimento globale "dal gas naturale alla ruota"

Impiego del gas naturale	Rendimento globale dell'autovettura	Sviluppo sostenibile		
		aspetto ecologico	aspetto economico	aspetto sociale
Combustione interna con motore a gas naturale	18-20%	+	++	+
Auto elettrica, produzione centrale di elettricità con ciclo combinato, elettricità dalla rete, motore elettrico	30-36%	++	+-	++
Combustione interna con motore a gas naturale + batterie + motore elettrico (macchina ibrida)	25-28%	++	+-	++
Produzione centrale di idrogeno compresso mediante "steam reforming", cella a combustibile sull'autovettura, motore elettrico	22-24%	+	---	++
Produzione centrale di elettricità, ciclo combinato, elettrolisi, idrogeno compresso, cella a combustibile sull'autovettura, motore elettrico	12-15%	+	----	+

www.svizzera-energia.ch

www.hydrogen.org

www.efcf.com/reports

www.psi.ch

www.enea.it

www.eren.doe.gov/hydrogen/

www.diebrennstoffzelle.de

www.fuelcells.com

www.wupperinst.org

www.ife.uni-bocconi.it

www.lbst.de

www.polimi.it

www.toyota.com

www.bmw.com

www.fiat.com

www.iea.org

Siti
Internet

ENERGIA IMMAGAZZINATA - BACINO

(alcuni esempi)

Nome impianto	Invaso utilizzabile [Mio m ³]	Salto utile netto [m]	Energia immagazzinata a [GWh]
Lucendro (TI)	25	996	59
Vogorno (TI)	85	170 - 277	49
Grande Dixence (VS)	390	Fionnay: 873 Nendaz: 1007 Chandoline: 1747 Bieudron: 1883	1500

L'IMMAGAZZINAMENTO DI ENERGIA

Un confronto tra bacino e idrogeno

