محاضـــرة من تقـــــديم

الدكتور/ صلاح رمضان الهنقاري

تاريخ المحاضرة: 06-05-2023

حزب السلام و الازدهار

مواطنة .. تنمية .. ازدهار

الصالـــون رقم 65

ضمن نشاطات

الفضاء الفكري بحزب

السلام والازدهار

عرض تقديمي بعنـــــوان:

الآفاق المستقبلية للهيدروجين الأخضر في ليبيا

الأفاق المستقبلية للهيدروجين الأخضر في ليبيا

THE FUTURE PROSPECTS FOR GREEN HYDROGEN IN LIBYA

الدكتور صلاح رمضان الهنقاري

استاد مشارك في مجال الهندسة الكيميائية – الاكاديمية الليبية للدراسات العليا
طرابلس – ليبيا

Email: salah.alhengari@academy.edu.ly
salah_alhengari@yahoo.co.uk

Short CV for Dr. Salah Alhengari

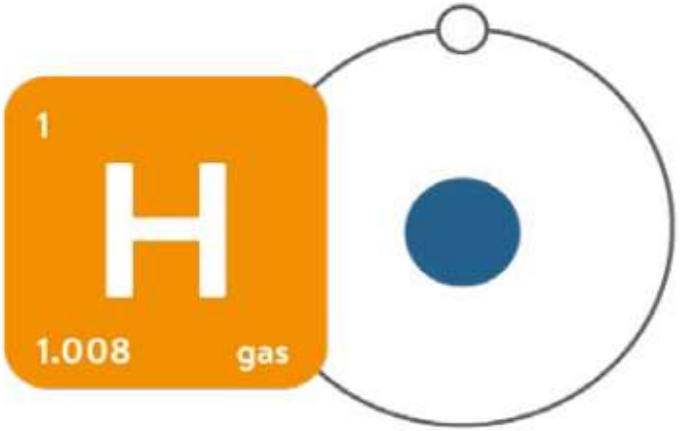
DR. SALAH AL-HENGARI ***ASSOCIATE PROFESSOR*** at the Department of Chemical and Petroleum Engineering , The Libyan Academy for Postgraduate Studies, Tripoli – Libya, since April 2014 up to now teaching M.Sc. courses in the area of Chemical, Environmental and Renewable engineering as well as supervising M.Sc. students for their thesis . **DR. SALAH AL-HENGARI** was former Research Associate at the Libyan Petroleum Institute, Tripoli – Libya (Full Time - major of Chemical Engineering) since 2000. **DR. SALAH AL-HENGARI** **Has more than 25 years of experience in Oil and Gas Industry**, 6 years in oil and gas production operations & maintenance (June 1985 – October 1990, Senior Oil and Gas Production Operations specialist with Veba Oil Operations Company, **Ghani** and **Amal** Oil Field – Libya) followed by 19 years with Libyan Petroleum institute, (LPI**)** as Research Associate carrying technical / research Studies for the benefit of Libyan oil and gas sector in the areas of water Desalination, industrial water / waste water treatment and improving economic of Oil refineries and petrochemical plants. In addition. **DR. AL-HENGARI** has authored or co-authored over 25 refereed journal and conference publications in international journals and international conferences in the area of Desalination, fuel cell and process intensification. **DR. AL-HENGARI** have a PhD in Chemical Engineering and Advanced Materials from the School Of Chemical Engineering and Advanced Materials, Newcastle University - Newcastle upon Tyne, UK (June 2012). In addition, he had M.Sc. in Sustainable Chemical Engineering from the mentioned school (December 2004). In 1998 he received his B.Sc. In Chemical Engineering, Tripoli University, Faculty of Engineering. In 1984. **DR. AL-HENGARI** Have received Industrial Petroleum Diploma (Dip.) majoring in Oil and Gas processing From Petroleum Training and Qualifying Institute, (PTQI), Tripoli – Libya. **DR. AL-HENGARI** is a member of European Desalination Society (**EDS**), also a member of Society of chemical Industry, UK (**SCI**) and elected as Associate member of Institution of Chemical engineers, UK (**AIChemE**). **DR. AL-HENGARI** conducting many intensive training courses in the area of Oil / Gas Industry, Water Desalination / Treatment, Energy and Environment .

OUTLINE

- ✓ *Introduction;*
- ✓ *Production, Storge and Transport of Hydrogen;*
- ✓ *Difficulties of Hydrogen Production;*
- ✓ *Exporting Hydrogen from the MENA Region to Europe;*
- ✓ *Proposed green hydrogen projects for Libya;*
- ✓ *Conclusions and Recommendations*

Introduction

WHAT IS HYDROGEN?



LIGHTEST AND MOST ABUNDANT

Hydrogen is the first element in the periodic table. It is the lightest, most abundant and one of the oldest chemical elements in the universe.

NEVER ALONE

On Earth, hydrogen is found in more complex molecules, such as water or hydrocarbons. To be used in its pure form, it has to be extracted.

FUEL OF STARS

Hydrogen fuels stars through nuclear fusion reaction. This creates energy and all the other chemicals elements which are found on Earth.

Introduction

مقدمة :

يشكل الهيدروجين مصدر طاقة واعدًا للاستخدام التجاري، إذ إنّ وفرة هذا العنصر والقدرة على إنتاجه من الماء عبر التحليل الكهربائي يجعله خيارًا جذابًا وأكثر نظافةً يمكنه أن يحل مكان الوقود الأحفوري وأن يعالج التحديات المتمثلة بإزالة انبعاثات الكربون من المجالات التالية:

النقل :

عبر دمج الهيدروجين مع الأوكسجين في خلية وقود، يمكن إنتاج الكهرباء، والمنتجات الثانوية الناجمة عن هذه العملية هي الماء والحرارة. يمكن أن تشغّل الكهرباء المنتجة المحركات الكهربائية وأن تستبدل محركات الاحتراق الداخلي التي تعمل على الوقود الأحفوري لتشكّل بديل تنقل منخفض انبعاثات الكربون. ولهذا البديل بعضٌ من الحسنات مقارنةً بالمركبات الكهربائية الحالية، بما أنه يتيح السير لمسافات أطول ولا يستغرق تزويده بالوقود سوى بضع دقائق.

Introduction

الصناعة:

سيكون الهيدروجين مهم جدا كمادة تسهم في التخلص من انبعاثات الكربون في الصناعات التي تولّد كميات عالية منها مثل قطاعات الفولاذ والإسمنت والكيماويات. ففي قطاع الفولاذ مثلً، يتسبب معالجة خام الحديد إلى حديد نقي عن إنتاج ثاني أكسيد الكربون. وفي حال تمت معالجة خام الحديد إلى حديد نقي باستخدام الهيدروجين، لن تحدث أي انبعاثات كربونية مباشرة.

التخزين:

يمكن استخدام الهيدروجين لتخزين الكهرباء لفترات طويلة. فمن الممكن استخدامه على سبيل المثال لاستفادة من ذروة إنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة من أجل تشغيل لعملية التحليل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين من الماء ومن ثم يمكن نقله في السفن أو الأنابيب لمسافات طويلة واستخدامه في مكان آخر.

Introduction

إنتاج الهيدروجين ونقله :

يمكن إنتاج الهيدروجين بطرق متعددة ولديه أصول مختلفة، والفرق الرئيسي هو ما إذا كان ينبعث ثاني أكسيد الكربون أثناء إنتاجه، مما يؤدي إلى أربعة أنواع مختلفة من الهيدروجين:

الهيدروجين الأخضر: إنتاج الهيدروجين باستخدام الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة. هو يخلو من انبعاثات الكربون وهو الخيار الأمثل للبيئة. تشغل الكهرباء عملية التحليل الكهربائي إنتاج الهيدروجين من الماء. ويفيد الهيدروجين الأخضر أيضًا الشبكة الكهربائية عبر الحد من خسائر الطاقة المتجددة المتغيرة وتوفير خدمات الحفاظ على استقرار الشبكة الكهربائية.

Introduction

الهيدروجين الرمادي: إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة المنتجة من الوقود الأحفوري والتي تضم مستويات عالية من انبعاثات كربون مرتفعة. يتم مثلً استخدام الهيدروجين المنتج من الغاز الطبيعي على نطاق واسع في الكثير من العمليات الصناعية المختلفة. ويمثل الهيدروجين المنتج من الوقود الأحفوري حاليًا ٪ 94 من إنتاج الهيدروجين حول العالم.

الهيدروجين الأزرق: هو هيدروجين رمادي يتم فيه التقاط انبعاثات الكربون المنتجة أثناء العملية وإما أن يتم تخزينها أو إعادة استخدامها. ويُعد هذا النوع من الهيدروجين نظيفًا بيئيًا حسب التقنية المستخدمة وكفاءة العملية. ويلزم إنجاز المزيد من البحوث حول التقاط الكربون وإعادة استخدامه.

Introduction

Introduction

الهيدروجين الفيروزي (تركواز) : إنتاج الهيدروجين من خلال عملية تسمى *الانحال الحراري*، حيث يتم تسخين الغاز الطبيعي (الميثان)،ما يؤدي إلى تفككه إلى غاز الهيدروجين ومواد صلبة كربونية. أما الفرق الرئيسي بينه وبين الهيدروجين الأزرق فهو عدم انبعاث الكربون خلال العملية، إذ أن الكربون الناتج يكون على شكل مواد صلبة.

- بالتالي، لكي يكون الهيدروجين جزءًا محتملا من رحلة انتقال الطاقة إلى اقتصاد طاقة أكثر استدامة، لا بد من اللجوء إلى طاقة الهيدروجين الأخضر باعتباره الخيار الأوحد. إذ لن يكون الهيدروجين مستدامًا إلا بقدر الطاقة التي نستخدمها لإنتاجه.

Introduction

- ومن المتوقع أن يزداد استخدام طاقة الهيدروجين الأخضر المنتجة بالكهرباء المتجددة والطلب عليها بسرعة في السنوات القادمة في جميع أنحاء العالم. وتقول بعض المصادر إنّها جزء أساسي من عملية الإزالة الكاملة للكربون من قطاعي الصناعة والنقل. فبدون الهيدروجين الأخضر، لن يكون من الممكن مثلً تحقيق حياد أثر انبعاثات الكربون بحلول العام 2050 في الاتحاد الأوروبي.

- ويتبع نقل الهيدروجين المبادئ ذاتها المستخدمة لنقل الغاز الطبيعي. يمكن نقله بواسطة المركبات على شكل غاز أو سائل داخل حاويات خاصة، كما يمكن نقله عبر خطوط الأنابيب التي تشبه إلى حد بعيد خطوط الأنابيب المستخدمة لنقل الغاز الطبيعي. ويمكن بحسب الخبراء الاستفادة من البنية التحتية القائمة أصلً للغاز الطبيعي من أجل نقل الهيدروجين.

Introduction

العقبات القائمة أمام إنتاج الهيدروجين:

لا يزال إنتاج الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة أكثر تكلفةً من المصادر الاخرى، ويعد مصدر الانتاج الاكثر استخداما في الوقت الحالي هو الغاز الطبيعي.

Introduction

بالاضافة إلى ذلك، ثمة مزيد من العقبات التي يجب معالجتها لتسريع تطوير الهيدروجين:

- تتراوح كفاءة تحويل الطاقة الكهربائية إلى هيدروجين ما بين 50 و70٪ ،وبالتالي،من شأن تحسين هذا العامل أن يساعد على خفض تكاليف الانتاج.

- يجب أن تكون حصة مصادر الطاقة المتجددة من مزيج مصادر الكهرباء أعلى من 70٪ حتى يكون الهيدروجين أكثر ملائمة للمناخ من عمليات الانتاج الحالية ارتفاع تكاليف البنية التحتية للمرافق والشؤون اللوجستية، بحيث تتراوح التقديرات الحالية بما يشمل الانتاج ما بين **8 و10 دولار** للكيلوغرام الواحد

- الموارد: الشمس والرياح والارض والمياه الالزمة والتي لا تتوفر بكثرة في بلدان كثيرة.

Introduction

- تصدير الهيدروجين من منطقة الشرق الاوسط وشمال أفريقيا إلى أوروبا:

- فرص تصدير الهيدروجين المتمثلة في منطقة الشرق الاوسط وشمال أفريقيا:

* إن الموقع الجغرافي لمنطقة الشرق الاوسط وشمال أفريقيا كمنطقة مجاورة للاتحاد الاوروبي يجعلها ً الموقع الامثل لتلبية الطلب على الهيدروجين الاخضر في اللاتحاد الاوروبي والذي يشهد تزايد ًا سريعا.

* تتمتع المنطقة بوفرة من إمكانات مصادر الطاقة المتجددة نظرا إلى تسجيلها أعلى مستويات الاشعاع الشمسي وطاقة رياح جيدة. ويمكن لطرح إنتاج الهيدروجين الاخضر أن يعالج تحديات حالية مثل ذروات توليد الطاقة في مشاريع الطاقة المتجددة وتخزين الطاقة.

* يمكن ضخ الهيدروجين في شبكات أنابيب الغاز الطبيعي في دول منطقة الشرق الاوسط وشمال أفريقيا إذ يمكن استخدام البنية التحتية الموجودة أصلا بما يفيد مزيدا من حلول الطاقة الخضراء بهدف تقليل استهلاك الغاز الطبيعي وانبعاثات الكربون.

Introduction

* يعتبر الهيدروجين فرصةً عظيمةً لتنويع الاقتصاد، خصوصا بالنسبة إلى الدول المصدرة للنفط والغاز. إذ يمكن استخدام الطاقة المنتجة من الهيدروجين في منطقة الشرق الاوسط وشمال أفريقيا للانتقال من استهلاك النفط والغاز إلى مصادر الطاقة المتجددة والخضراء.

* بالنسبة إلى منطقة المغرب العربي، يمكن استخدام خطوط أنابيب الغاز الموجودة أصلا والتي تربط شمال أفريقيا بالاتحاد ألاوروبي في نقاط متعددة من أجل تصدير الهيدروجين، سواء من ليبيا وتونس والجزائر إلى إيطاليا أو من المغرب والجزائر إلى إسبانيا.

- مخاطر تصدير الهيدروجين في منطقة الشرق ألاوسط وشمال أفريقيا:

* تعدّ منطقة الشرق الاوسط وشمال أفريقيا واحدةً من أكثر المناطق التي تعاني من شح المياه، وقد يشكّل تأمين المياه من أجل إنتاج الهيدروجين الاخضر إلى جانب تغطية احتياجات المنطقة من المياه أمرا صعبا وستتطلب تحلية مياه البحر من أجل الحفاظ على المياه الجوفية استخدام كميات هائلة جدا من الطاقة.

Introduction

* يعتبر الهيدروجين موضوعا جديدا في المنطقة. وقد تتعرقل الطموحات العالية التي تضعها بعض البلدان مثل ألمانيا والتي تطمح انتاج 5 جيجاوات من طاقة الهيدروجين بحلول العام **2030** أمام النقص في الخبرات والمعرفة وقلة مشاركة القطاع الخاص والمستثمرين.

* تعاني أجزاء كثيرة من منطقة الشرق الاوسط وشمال أفريقيا من عدم الاستقرار السياسي والصراعات والنزاعات المختلفة التي يمكن أن تهدد البنى التحتية وخطط تطوير الهيدروجين الاخضر.

* قد يؤدي التركيز على تصدير الهيدروجين الاخضر إلى أوروبا إلى صرف الانتباه عن عمليات التحول التي تطرأ على قطاع الطاقة في بلدان الشرق الاوسط وشمال أفريقيا نفسها.

Introduction

الصالون 64 ضمن سلسلة الصالونات السياسية والثقافية التي ينظمها أسبوعياً الفضاء الفكري لحزب السلام والازدهار

السبت 06 مايو 2023 , طرابلس – ليبيا

Introduction

الصالون 64 ضمن سلسلة الصالونات السياسية والثقافية التي ينظمها أسبوعياً الفضاء الفكري لحزب السلام والازدهار

السبت 06 مايو 2023 , طرابلس – ليبيا

EXPORTING HYDROGEN FROM THE MENA REGION TO EUROPE

- Spotlight on Hydrogen projects in the MENA:

✓ **UAE:** A solar-powered green hydrogen project is in operational in 2020. and an operational hydrogen fueling station for cars since 2017. And a project to research the establishment of a Hydrogen-Based Society,

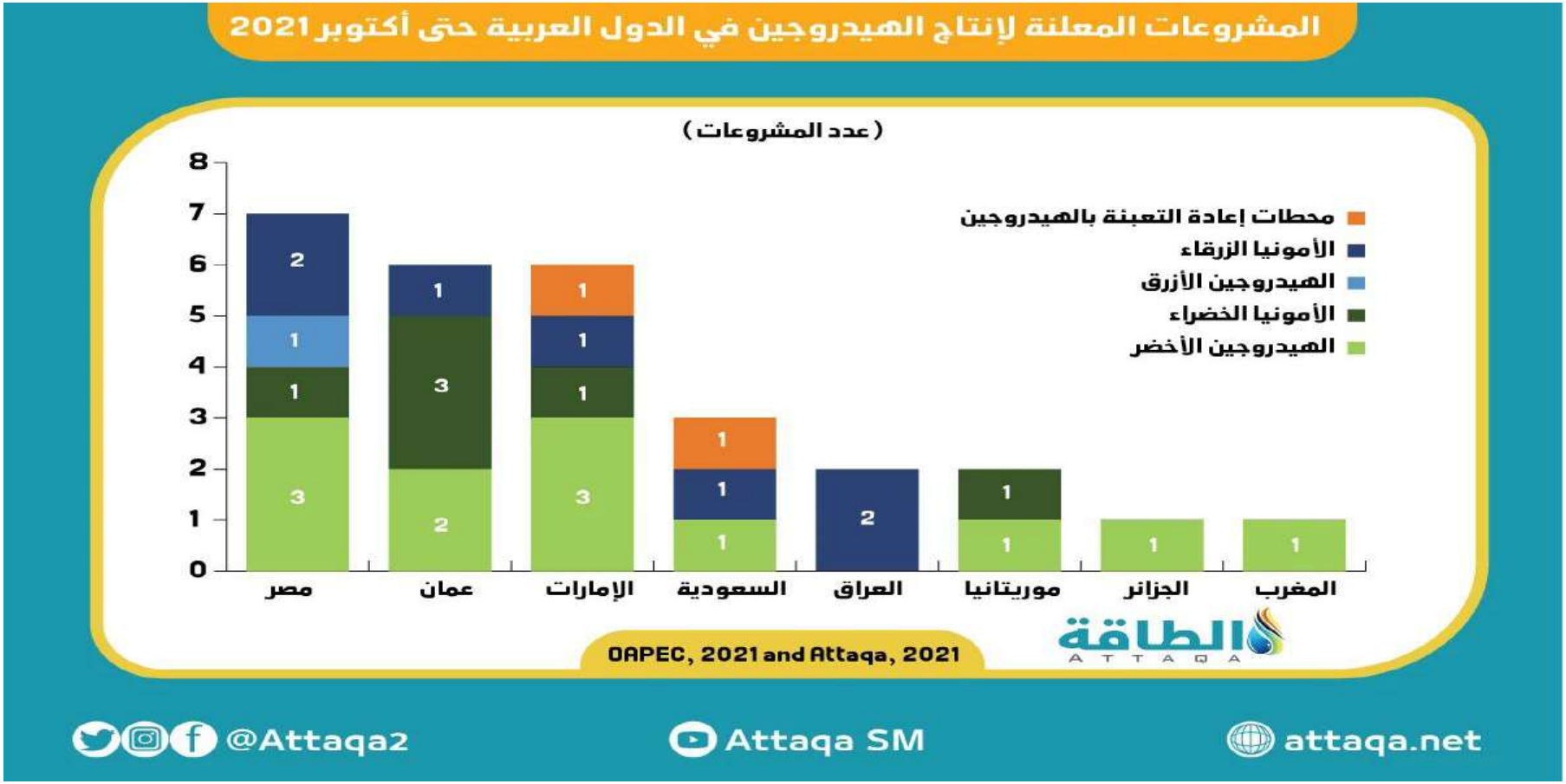
✓ **Saudi Arabia:** Hydrogen fueling station for cars, operational since 2019,

✓ **Oman:** A new hydrogen center that aims to build an economy around 'green hydrogen' started at the beginning of 2020 and plans are under way for a 500 MW Hydrogen production facility,

✓ **Morocco:** Partnership to research the synthesis of green hydrogen started in 2019,

✓ **Jordan:** Investment plans for a green hydrogen production facility.

Introduction



الصالون 64 ضمن سلسلة الصالونات السياسية والثقافية التي ينظمها أسبوعياً الفضاء الفكري لحزب السلام والازدهار

السبت 06 مايو 2023 , طرابلس – ليبيا

Introduction

Introduction

HYDROGEN production and transport initiatives from EU

2020

European Clean Hydrogen Alliance

A **Hydrogen Strategy** for a climate neutral Europe

#EUGreenDeal

2030

Hydrogen Europe

Green Hydrogen for a **European Green Deal**

A 2x40 GW Initiative

from blending to dedicated infrastructure

2050

GAS FOR CLIMATE
A path to 2050

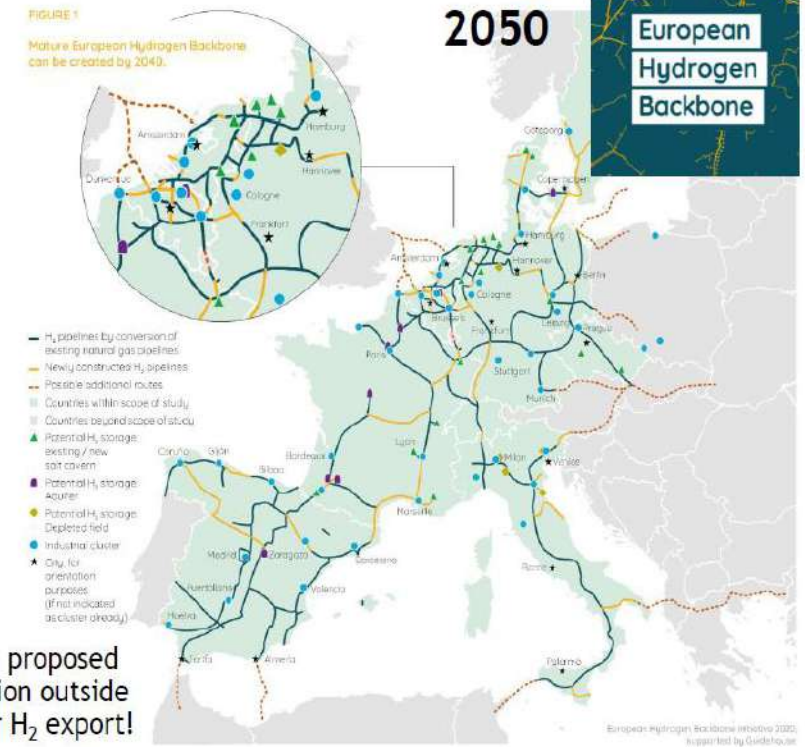
European Hydrogen Backbone

by 2030:

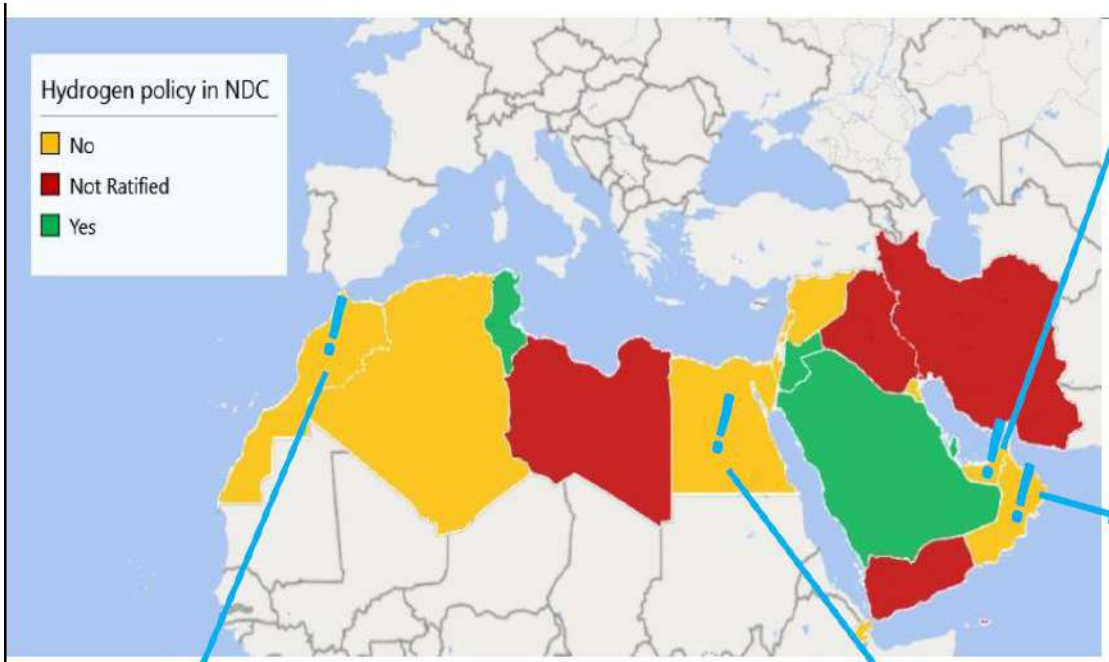
- 40 GW electrolyzer installations within EU boundaries
- 40 GW electrolyzer installations in Ukraine and **North Africa**

  - ✓ very good solar and wind resources;
  - ✓ Space availability for large RES installations;
  - **Domestic** market installation: **5.5 GW**;
  - **Export** market installation: **24.5 GW**;

More than half of the proposed electrolyzer installation outside EU in North Africa for H_2 export!



HYDROGEN transport: the role of North Africa – Europe infrastructure



United Arab Emirates:

"hydrogen as a key carrier for decarbonization".

- → *Several industrial project planned with authorities and private companies for green and blue H_2 production for several uses (including ammonia production*
- → *Some efforts have been also done to build a technical regulation for hydrogen-powered vehicles.*

Oman:

25 GW of renewable power capacity to produce H_2 to decarbonize industry and transport.

Morocco

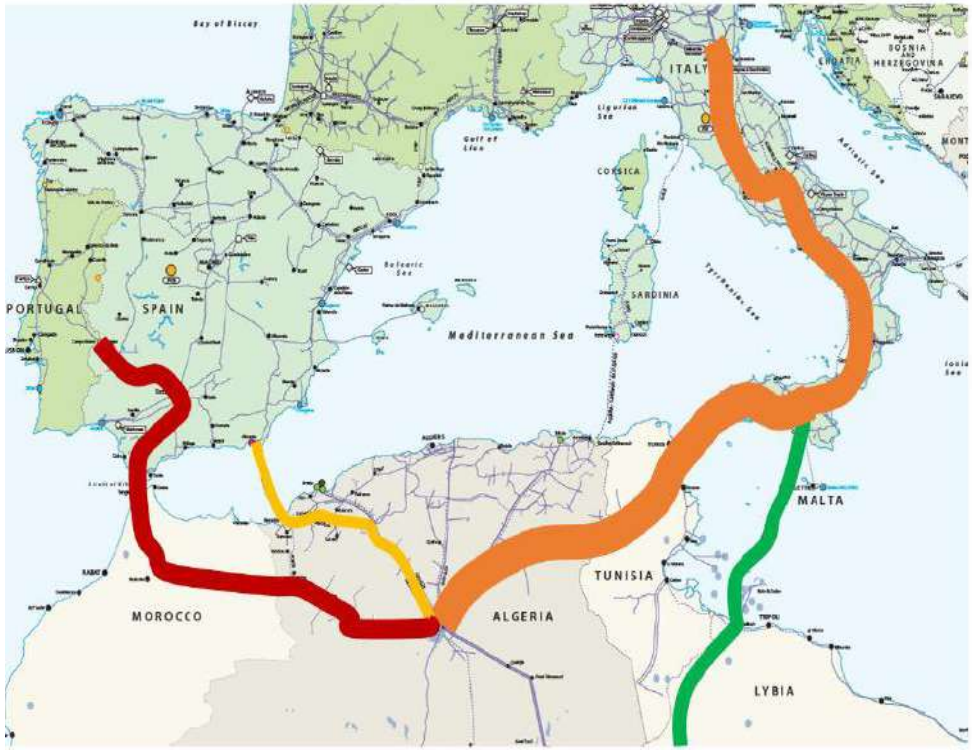
→ *Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies Nouvelles (IRESEN): feasibility studies and plans for green H_2 development;*

→ *IRENA and Ministry of Energy, Mines and Environment (MEME) strategic partnership to explore green H_2 opportunities*

Egypt's 2035 Energy Strategy:

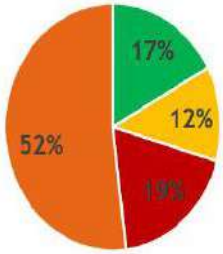
- → *100-200 MW electrolysis system to supply Green H_2 to the Egypt Basic Industries Corporation (EBIC) for the production of ammonia.*
- → *Annouced investments the field of green hydrogen production 4 USD billion*

HYDROGEN transport: the role of North Africa – Europe infrastructure



	capacity	length	Comm. year	2020 import
Greenstream:	11 bcm/y	540 km	2004	4.07 bcm
MedGaz:	8 bcm/y	757 km	2010	5.13 bcm
MEG:	12 bcm/y	1620 km	1996	4.09 bcm
TransMed:	33.5 bcm/y	2490 km	1983	10.78 bcm

Shares of Pipelines Capacity



Production, Storge and Transport of Hydrogen

HOW IS IT PRODUCED?

Hydrogen can be produced using a number of different processes. The source of energy used and the method define whether it is informally considered grey, blue or green.

GREY HYDROGEN

Currently, 96% of hydrogen is produced from fossil fuels via carbon intensive processes.

Main production routes

- Steam Methane Reforming (SMR)
- Coal Gasification

Characteristics

Production, Storge and Transport of Hydrogen

BLUE HYDROGEN

Grey hydrogen whose CO_2 emitted during production is sequestered via carbon capture and storage (CCS).

Main production routes

+ SMR + CCS

+ Coal gasification + CCS

Characteristics

Low CO_2

Expensive

Social acceptance

GREEN HYDROGEN

Low or zero-emission hydrogen produced using clean energy sources.

Main production routes

+

Electrolysis using renewables

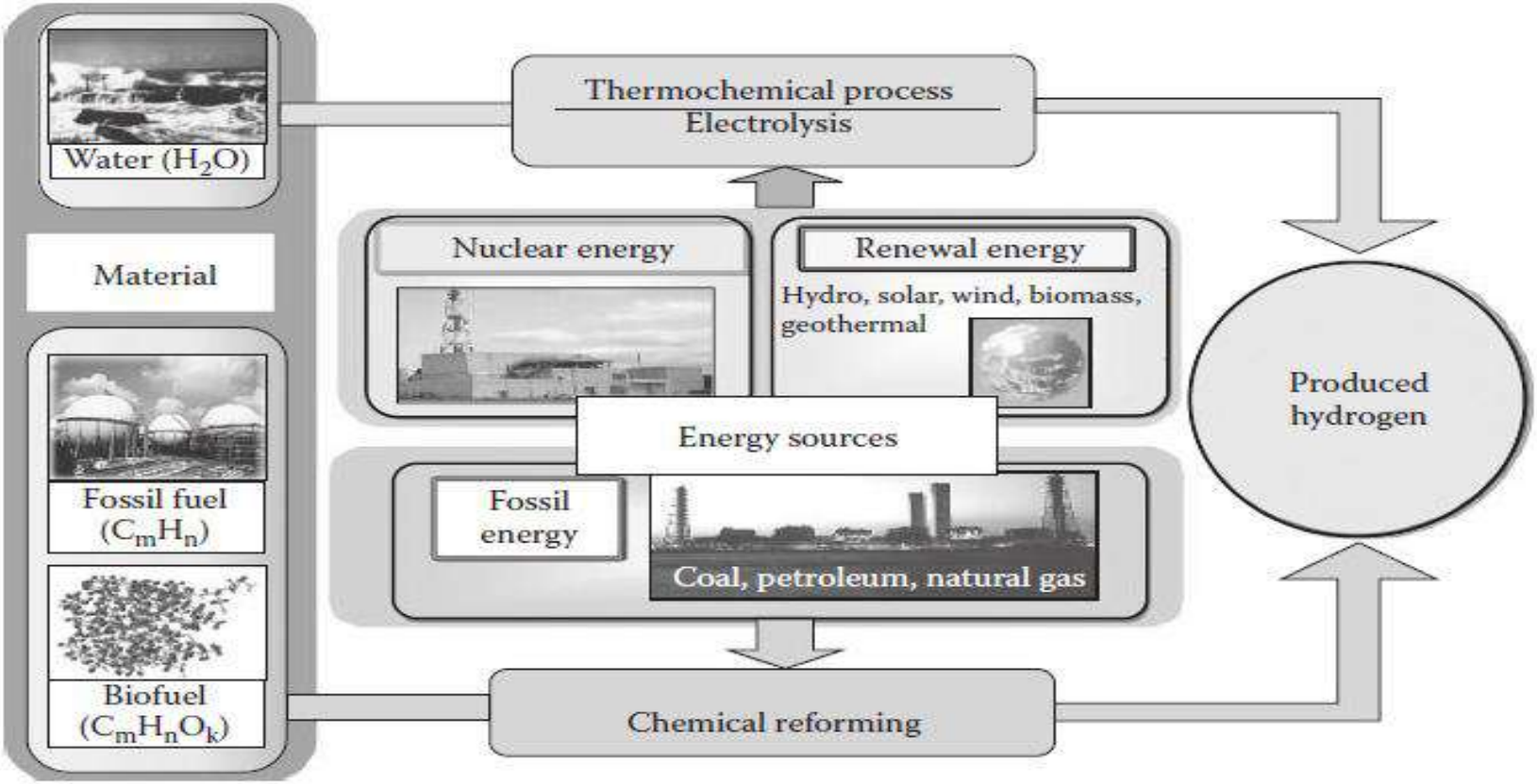
Characteristics

Zero emissions of CO_2

Expensive

Social acceptance

Production, Storge and Transport of Hydrogen



Potential pathways and requirements of hydrogen production

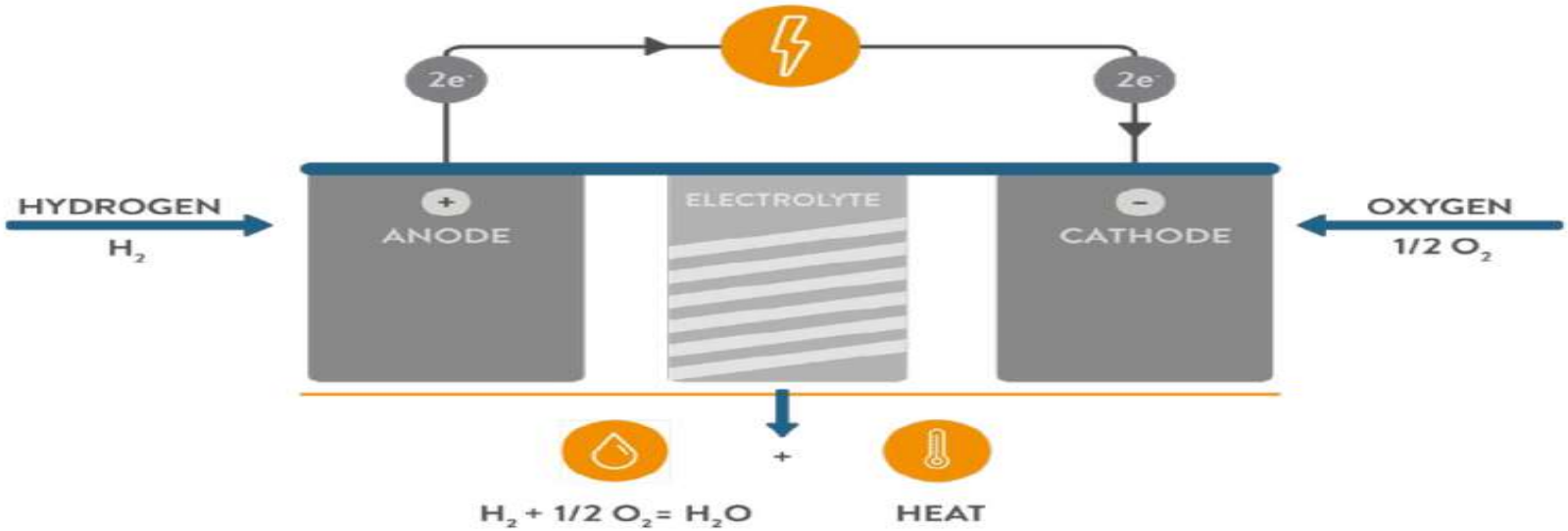
Production, Storge and Transport of Hydrogen

HOW IS IT USED?

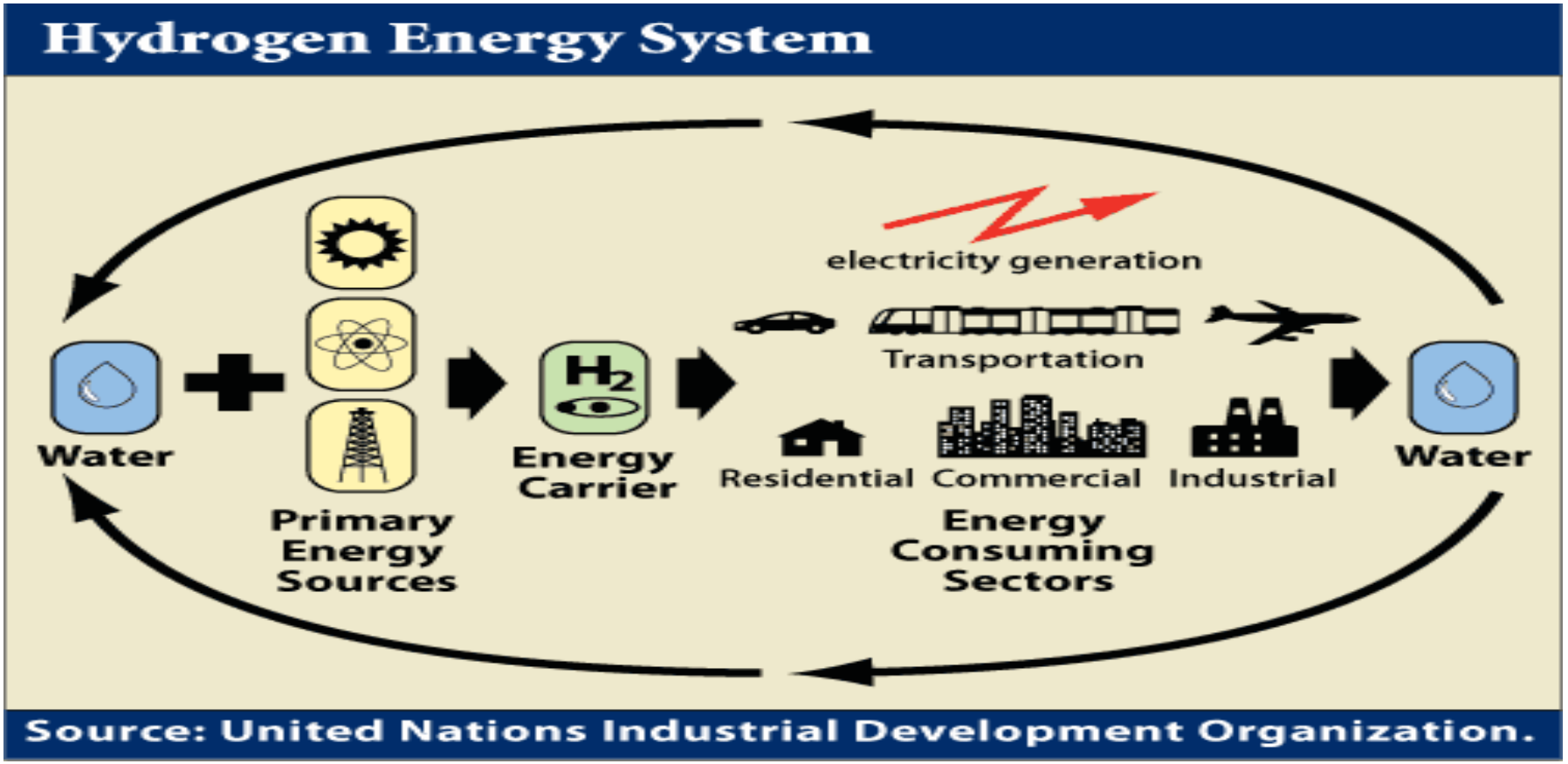
Hydrogen is not a source of energy but an energy carrier. It must be produced and stored before use. This molecule of gas that stores energy can restore it in several ways:

1. **COMBUSTING IT:** combusting one kilo of hydrogen releases three times more energy than a kilo of gasoline and produces only water.

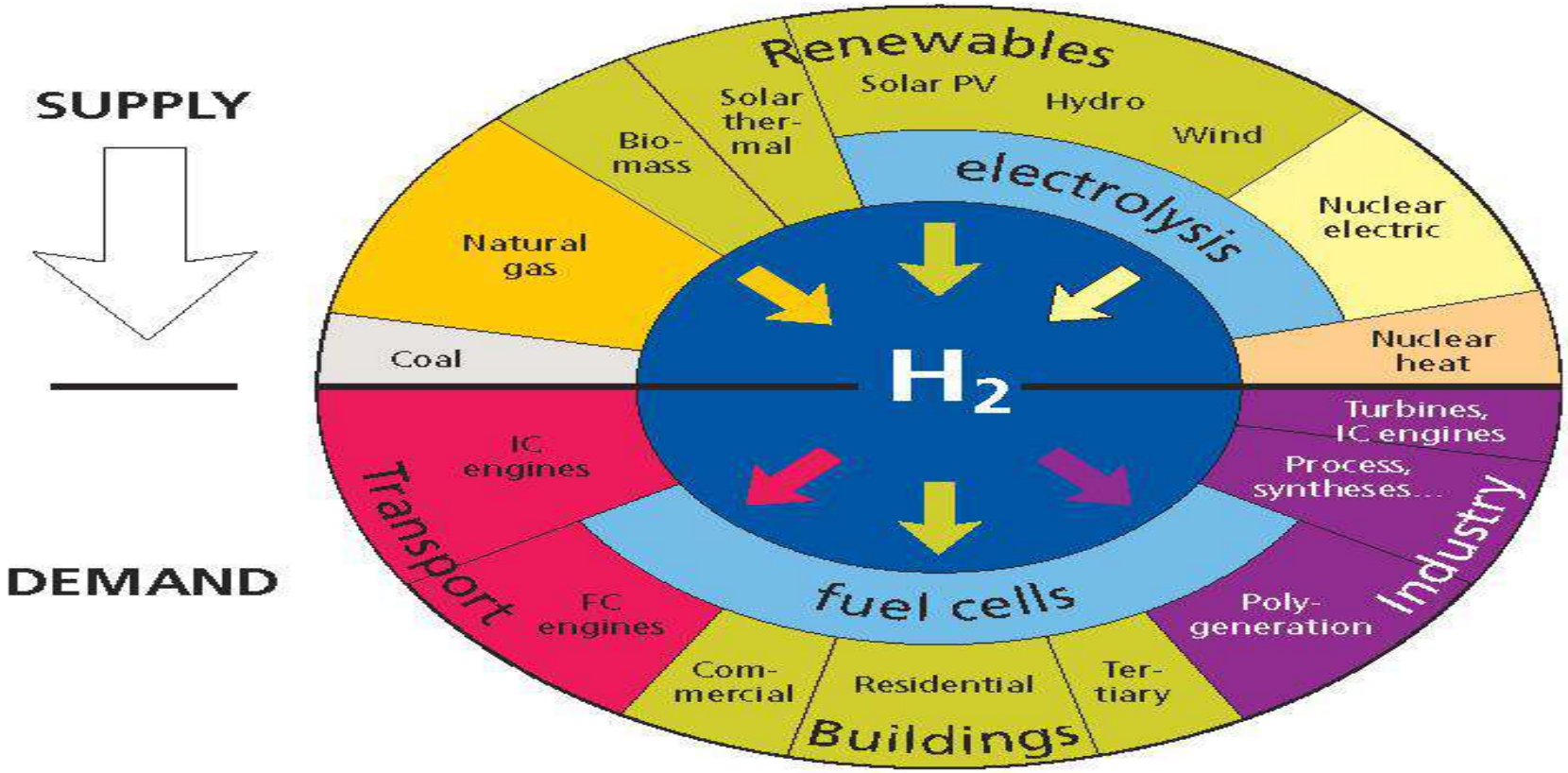
2. **FUEL CELL:** a fuel cell is an electrochemical cell that converts the chemical energy of hydrogen and oxygen into electricity through a pair of redox reactions. The waste product of the reaction is water. Fuel cells can produce electricity continuously for as long as hydrogen and oxygen are supplied.



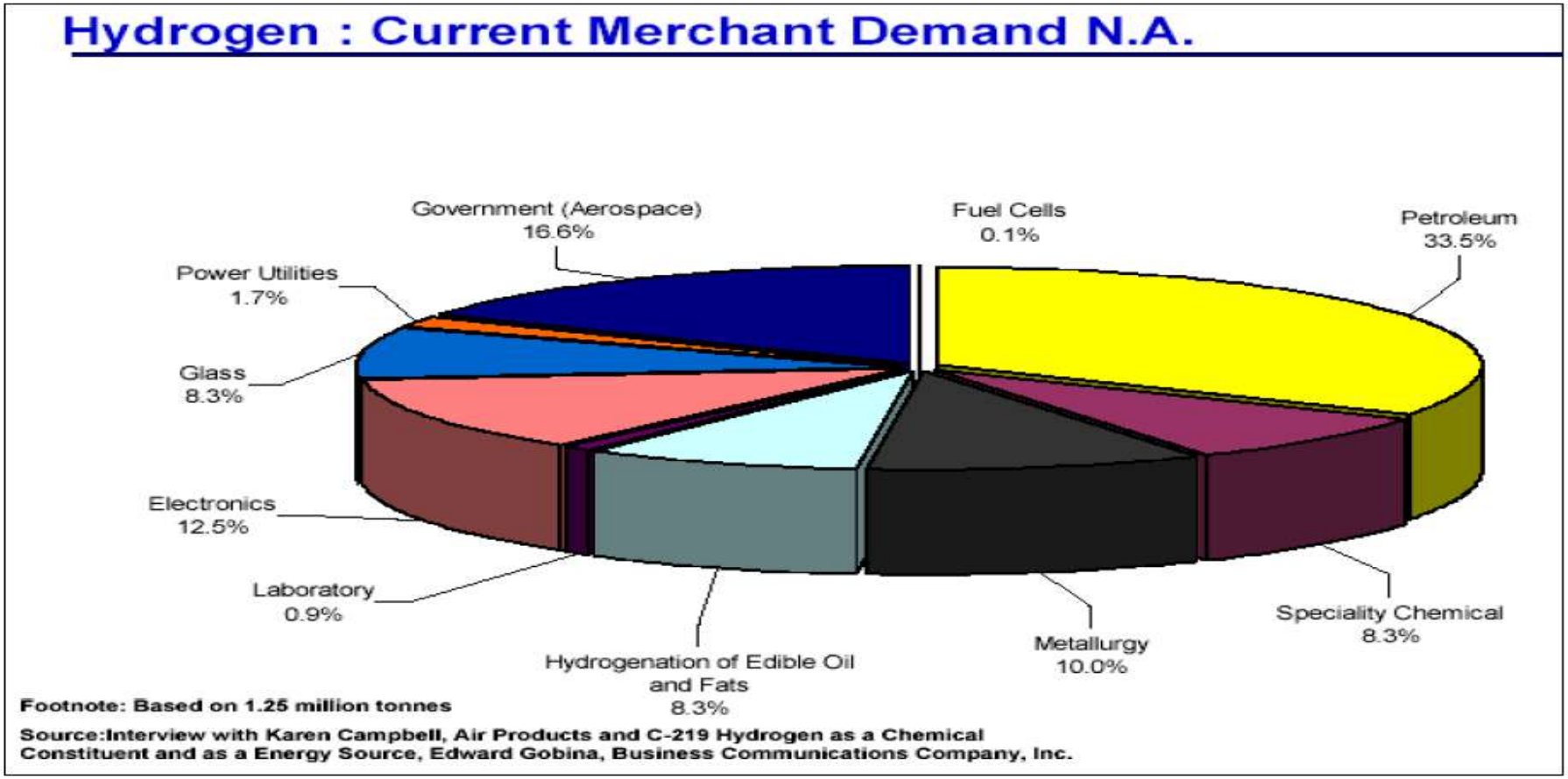
Production, Storge and Transport of Hydrogen



Production, Storge and Transport of Hydrogen

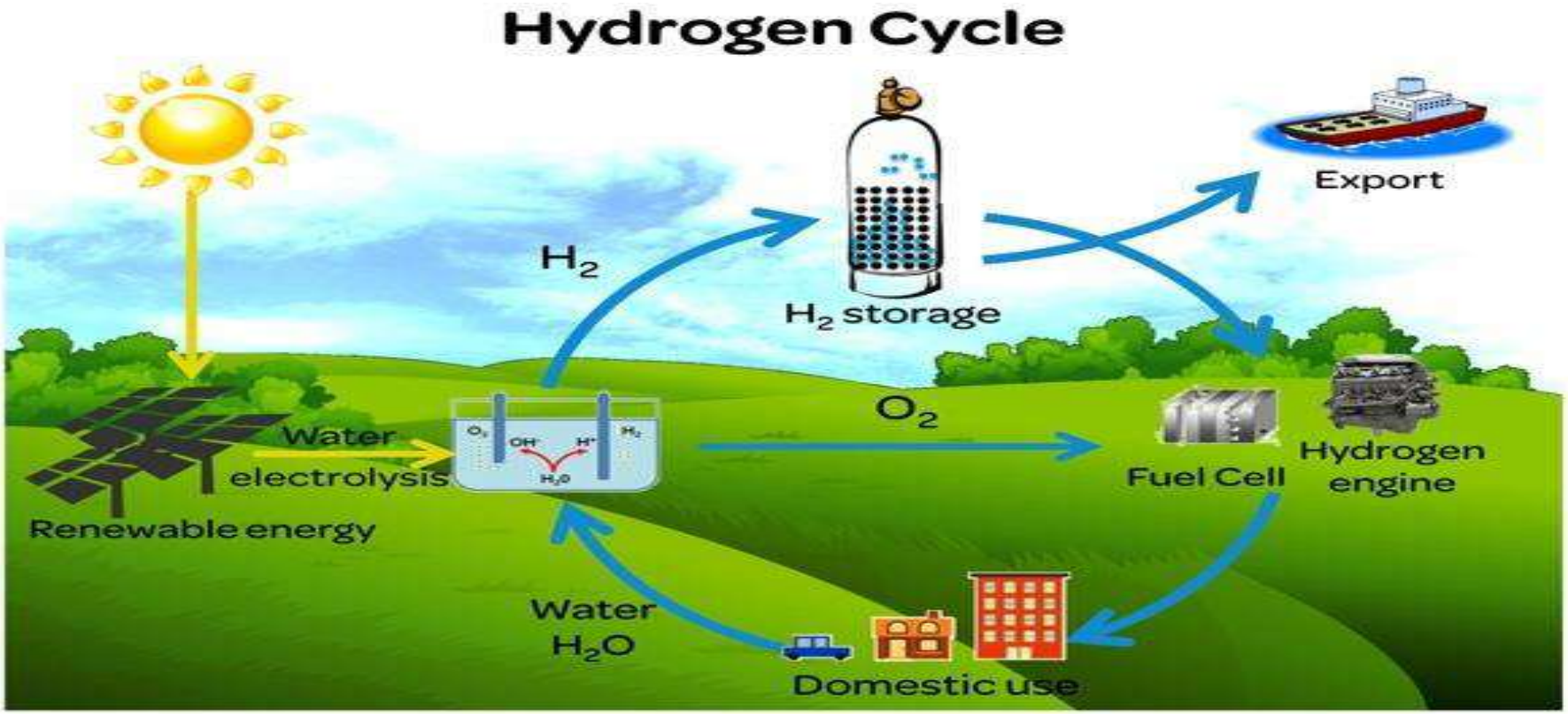


Production, Storge and Transport of Hydrogen



Current commercial demand for hydrogen in North America

Production, Storge and Transport of Hydrogen



An area of just 100×100 km (10,000 km²) of solar panels with an efficiency of 10 % - for example in the Great Sandy in Western Australia - would produce enough energy for 1 billion people with an average consumption of 5kW per person.

Production, Storge and Transport of Hydrogen

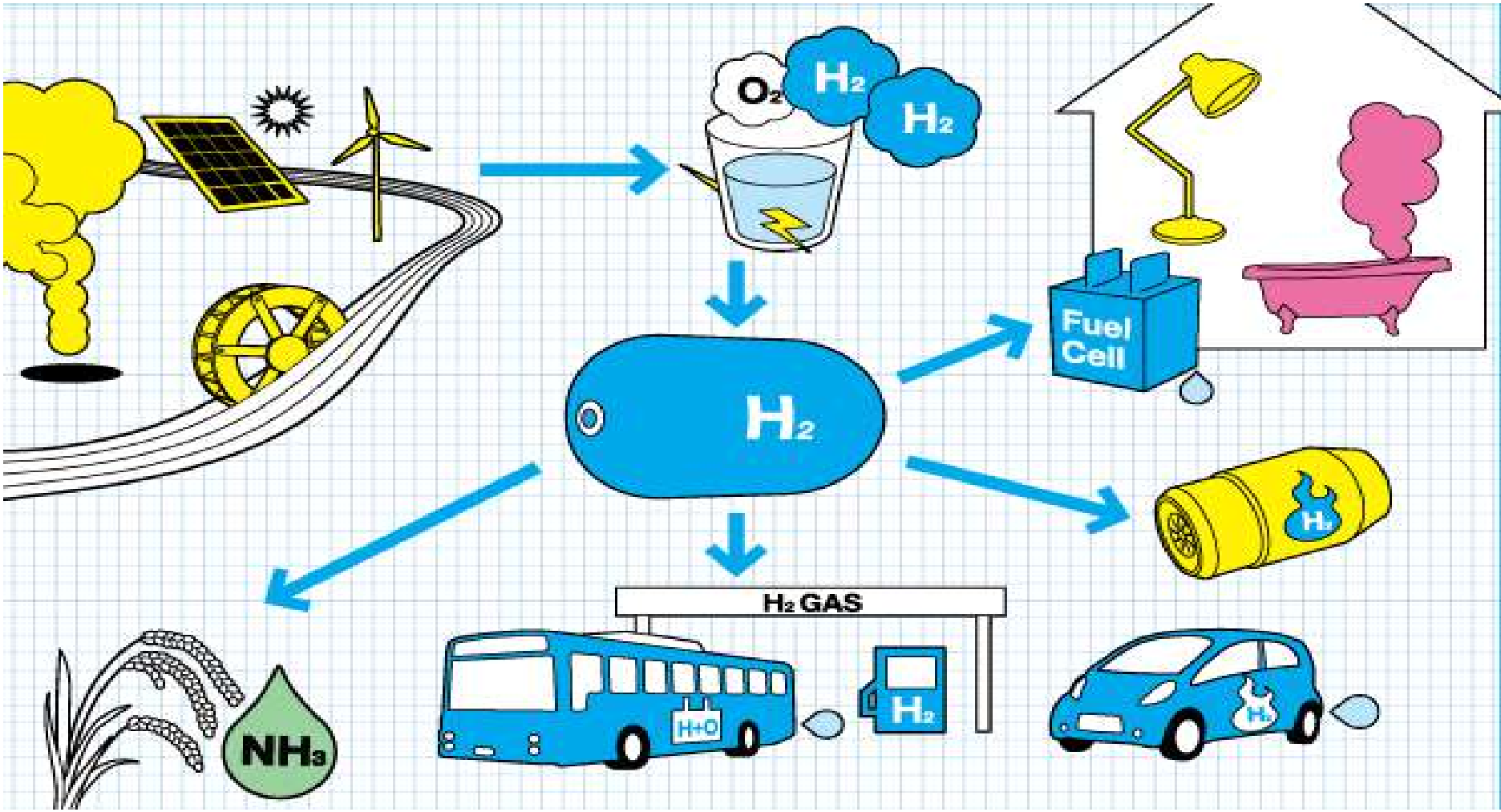
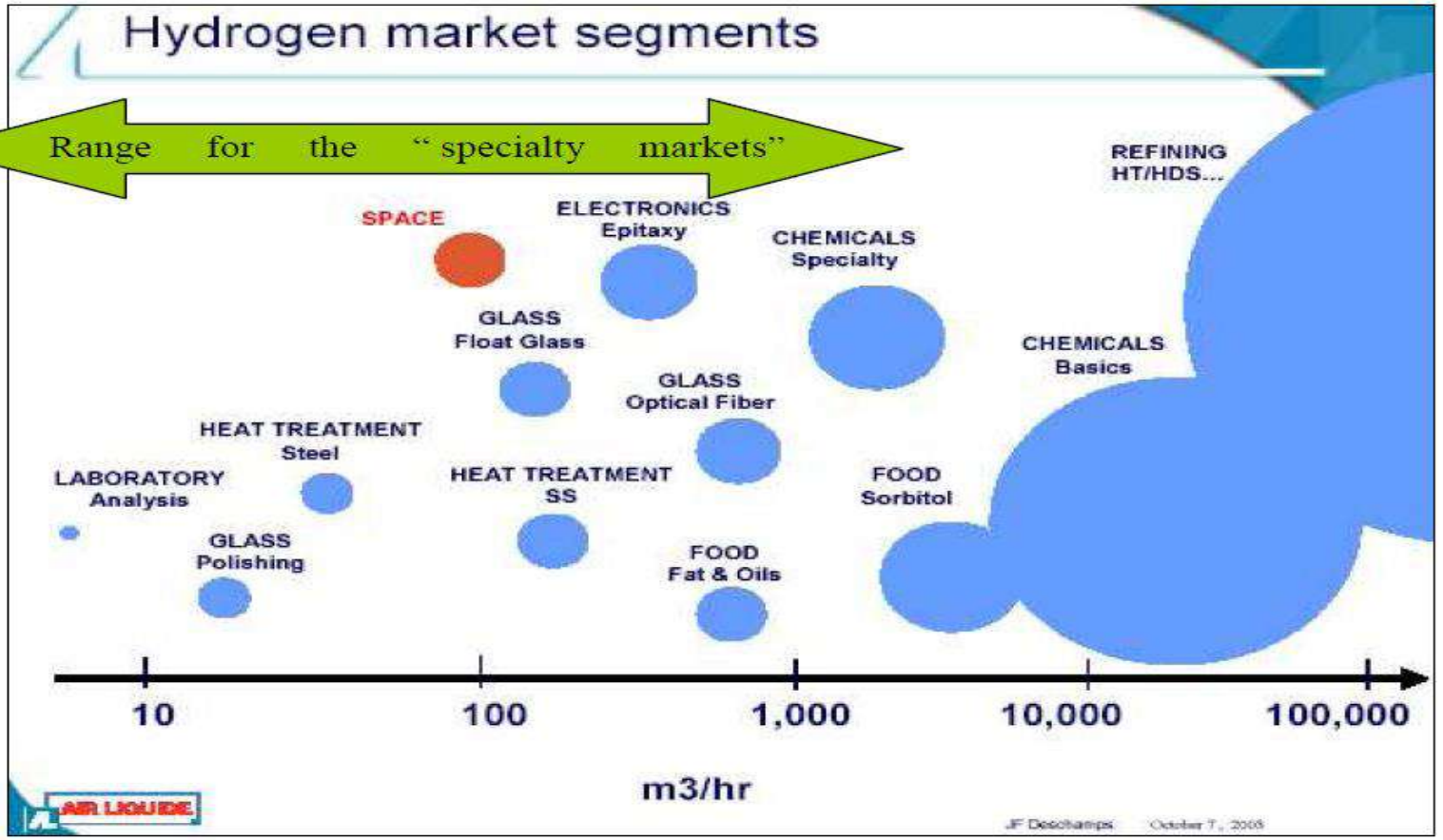


Figure 4.0 : Hydrogen utilization

Production, Storge and Transport of Hydrogen



Refrence : Hydrogen market segments in 2003 [Source : Air Liquide - www.airliquide.com]

Production, Storge and Transport of Hydrogen

➢ Methods of Hydrogen Storage:

Several kinds of technologies of hydrogen storage are available. Some of them will be briefly described here.

A. The simplest is compressed H_2 gas. It is possible at ambient temperature, and in- and out-flow are simple. However, the density of storage is low compared to other methods.

B. ***Liquid H_2 storage is also possible***: from 25% to 45% of the stored energy is required to liquefy the H_2. At this method the density of hydrogen storage is very high, but hydrogen boils at about -253ºC and it is necessary to maintain this low temperature (else the hydrogen will boil away), and bulky insulation is needed.

Production, Storge and Transport of Hydrogen

C. *In metal hydride storage the powdered metals absorb hydrogen under high pressures*. During this process heat is produced upon insertion and with pressure release and applied heat, the process is reversed. The main problem of this method is the weight of the absorbing material – a tank's mass would be about 600 kg compared to the 80 kg of a comparable compressed H_2 gas tank.

D. *More popular at this time is carbon absorption:* the newest field of hydrogen storage. At applied pressure, hydrogen will bond with porous carbon materials such as nanotubes.

So, it can be summarized that even mobile hydrogen storage is currently not competitive with hydrocarbon fuels; it must become so in order for this potential environmentally lifesaving technology to be realized on a great scale.

2.1 . High pressure hydrogen storage:

- ✓ The most common method of hydrogen storage is compression of the gas phase at high pressure (> 200 bars or 2850 psi). Compressed hydrogen in hydrogen tanks at 350 bar (5,000 psi) and 700 bar (10,000 psi) is used in hydrogen vehicles. There are two approaches to increase the gravimetric and volumetric storage capacities of compressed gas tanks. The first approach involves cryo-compressed tanks as shown in Figure 4.0.

Figure 4. Hydrogen storage in tanks presently used in hydrogen-powered vehicles

Production, Storge and Transport of Hydrogen

- ✓ This is based on the fact that, at fixed pressure and volume, gas tank volumetric capacity increases as the tank temperature decreases.

- ✓ Thus, by cooling a tank from room temperature to liquid nitrogen temperature (77 K), its volumetric capacity increases. However, total system volumetric capacity is less than one because of the increased volume required for the cooling system.

- ✓ The limitation of this system is the energy needed to compression of the gas. About 20 % of the energy content of hydrogen is lost due to the storage method. The energy lost for hydrogen storage can be reduced by the development of new class of lightweight composite cylinders. Moreover, the main problem consisting with conventional materials for high pressure hydrogen tank is embrittlement of cylinder material, during the numerous charging/discharging cycles .

2.2. Liquefaction:

- ✓ The energy density of hydrogen can be improved by storing hydrogen in a liquid state. This technology developed during the early space age, as liquid hydrogen was brought along on the space vessels but nowadays it is used on the on-board fuel cells. It is also possible to combine liquid hydrogen with a metal hydride, like Fe-Ti, and this way minimize hydrogen losses due to boil-off.
- ✓ In this storage method, first gas phase is compressed at high pressure than liquefy at cryogenic temperature in liquid hydrogen tank (LH_2). The condition of low temperature is maintained by using liquid helium cylinder as shown in Figure 5 .

Production, Storge and Transport of Hydrogen

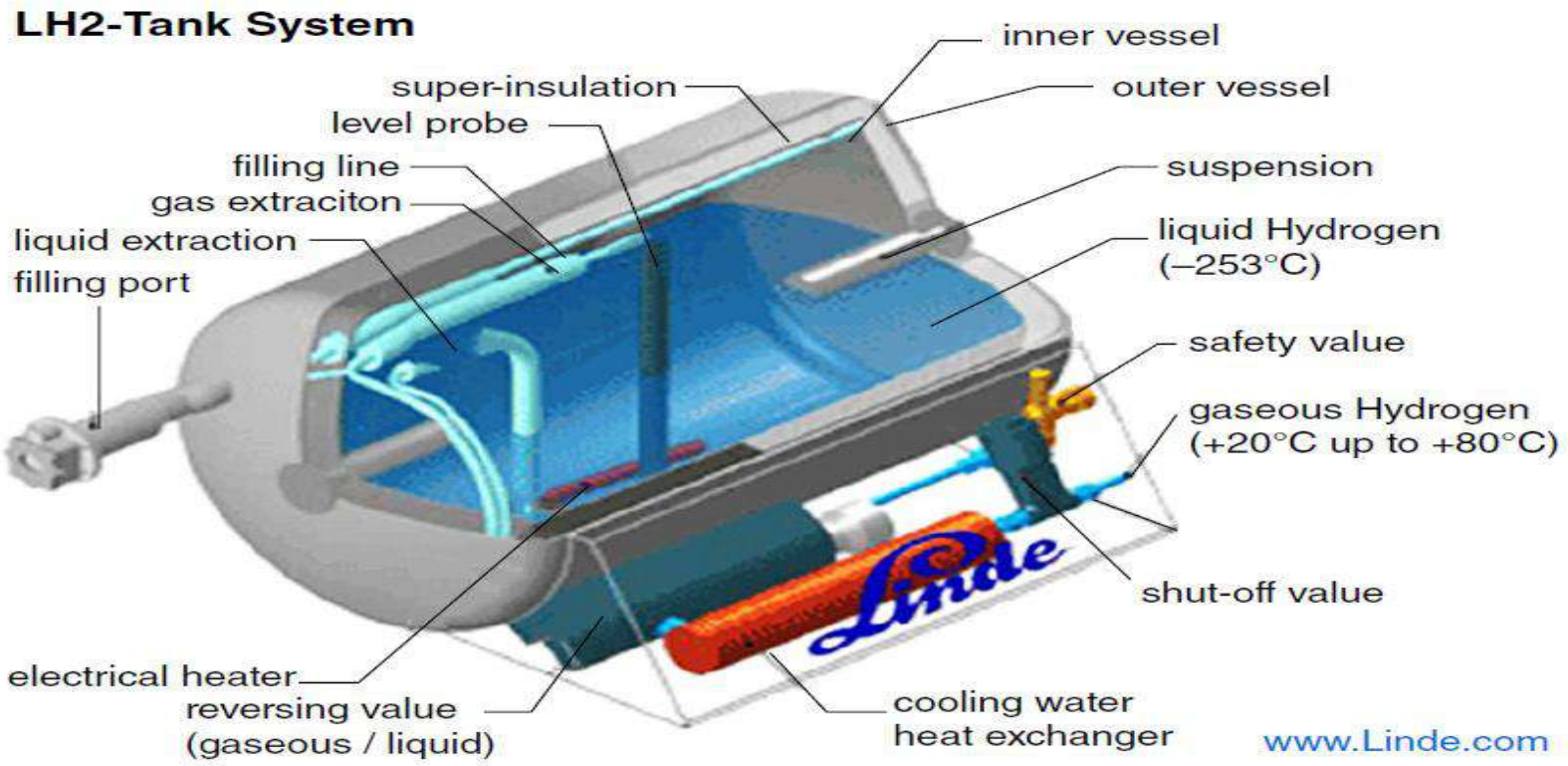


FIGURE 5. Schematic illustration of a representative cryogenic vessel
(Liquid hydrogen storage tank system, horizontal mounted with double gasket and dual seal)

Production, Storge and Transport of Hydrogen

- ✓ Hydrogen does not liquefy until -253 °C (20 degrees above absolute zero, −273.15°C) such much energy must be employed to achieve this temperature. However, issues are remaining with LH_2 tanks due to the hydrogen boil-off, the energy required for hydrogen liquefaction, volume, weight, and tank cost is also very high. About 40 % of the energy content of hydrogen can be lost due to the storage methods. Safety is also another issue with the handling of liquid hydrogen as does the car's tank integrity, when storing, pressurizing and cooling the element to such extreme temperatures .

2.3. Solid state hydrogen storage

- ✓ As mentioned above, certainly some practical problems, which cannot be circumvented, like safety concerns (for high pressure containment), and boil-off issues (for liquid storage), both are challenging for hydrogen storage. There is a third potential solution for hydrogen storage such as *(i)* metal hydrides and *(ii) hydrogen adsorption in metal-organic frameworks (MOFs) and carbon based systems*.

Production, Storge and Transport of Hydrogen

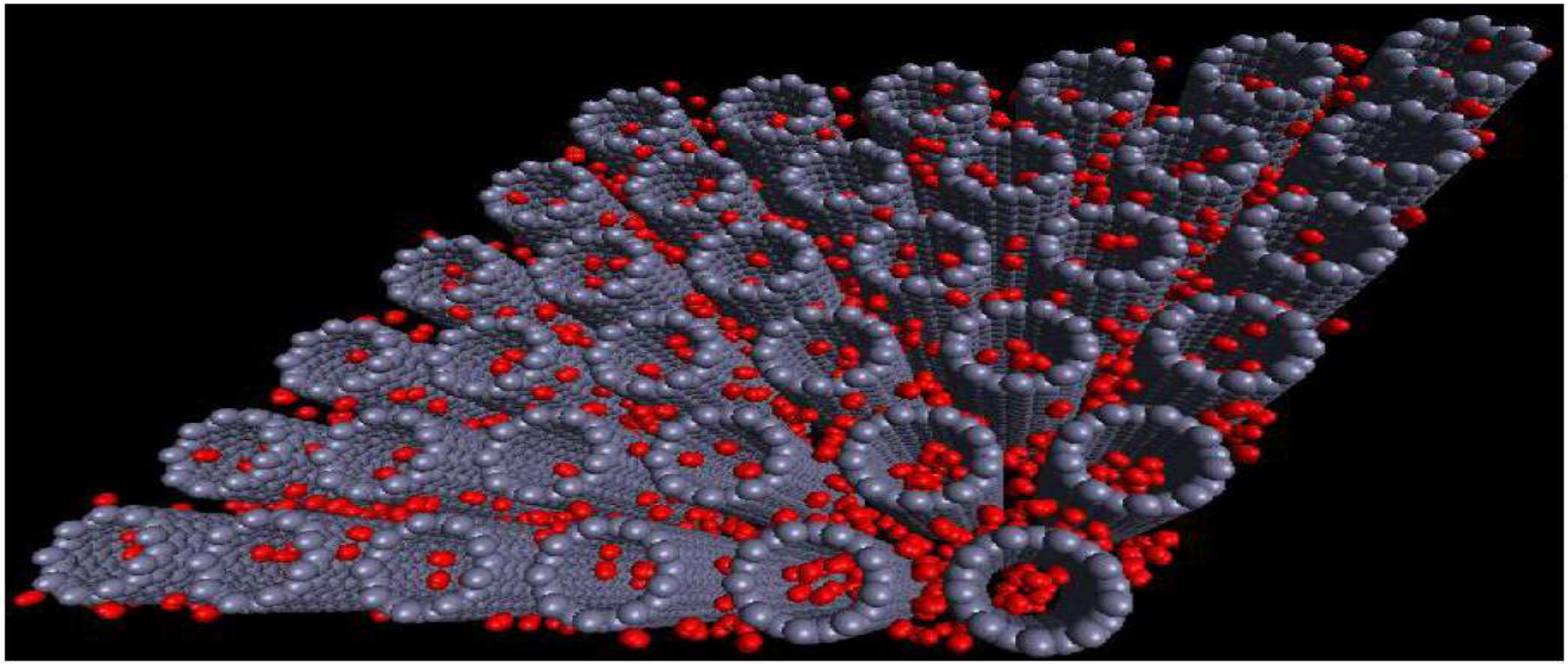


Figure 7. Hydrgen gas (red) adsorbed in an array of carbon nanotubes (grey). The hydrogen inside the nanotubes and in the interstitial channels is at a much higher density than that of the bulk gas.

Production, Storge and Transport of Hydrogen

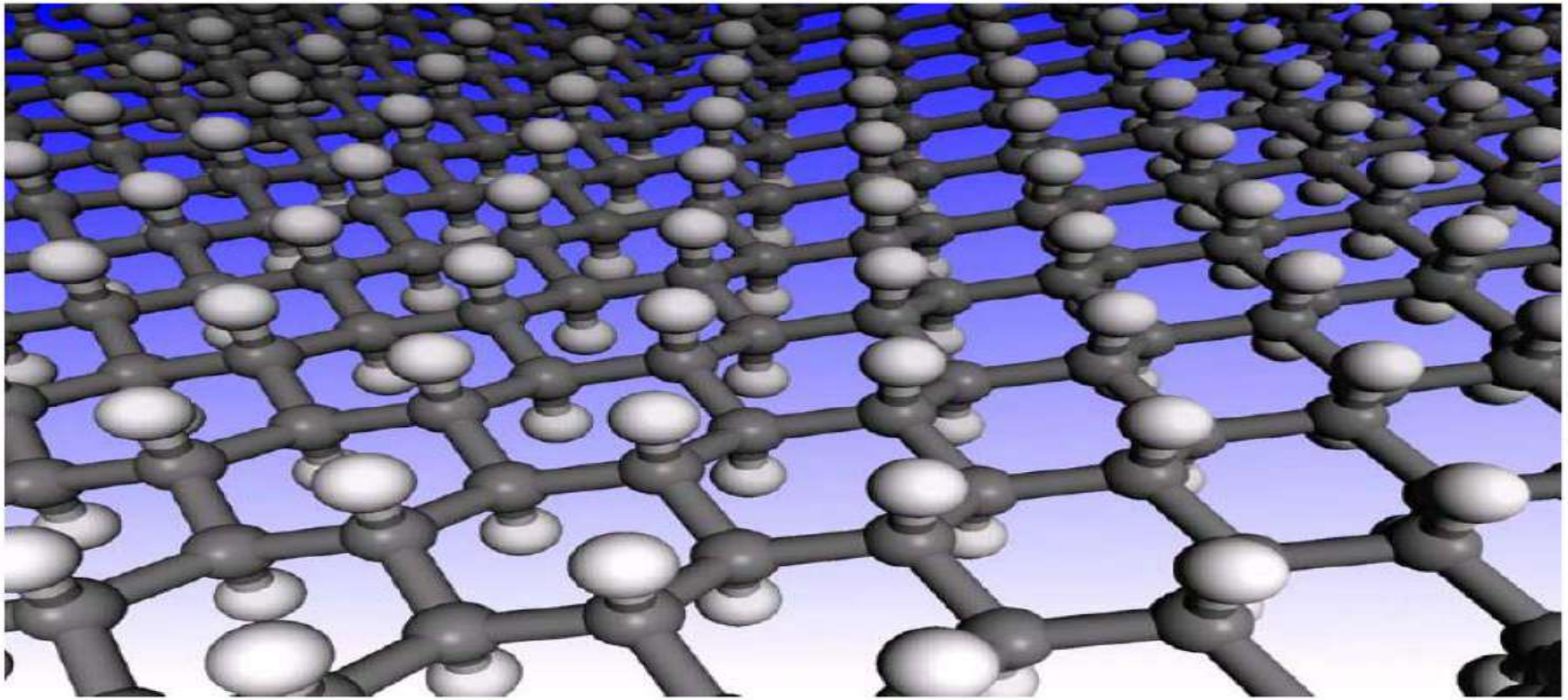


Figure 8. Structure of graphane in the chair conformation. The carbon atoms are shown in gray and the hydrogen atoms in white.

3.0 Hydrogen Transportation

3.1 Road tanker transport:

Road tankers are currently used worldwide for fuel deliveries. Since the energy density by volume of liquid hydrogen is three times lower than that of gasoline, a much greater number of tankers would be required to deliver the same quantity of fuel. The relative fuel demand for hydrogen would be lower, however, as a result of the greater efficiency of hydrogen fuel cells compared to internal combustion engines.

3.2 Ship transport:

Ships could be used to transfer hydrogen across the planet. Hydrogen ships are expected to be similar to the liquefied natural gas (LNG) ships that are widely used at present.

Production, Storge and Transport of Hydrogen

Figure 9: Compressed Hydrogen Gas Tube Trailer – 30 Cylinders and 43,260 SCF (105 kg) Capacity

Production, Storge and Transport of Hydrogen

Figure 10: Cryogenic Liquid Hydrogen Trailer – 13,000 gallon (3,500 kg) capacity

Production, Storge and Transport of Hydrogen

Figure 11: Next Generation Hydrogen Delivery System Undergoing Testing – 3,600 psi ISO Container for 600 kg of Transport Storage

Production, Storge and Transport of Hydrogen

Figure 12: ‘Ground Storage’ Systems

3.4 Pipeline transport :

- ✓ Pipelines are the most efficient method of transporting large quantities of hydrogen, particularly over short distances. Almost 3000 km of hydrogen pipelines have been constructed since 1938 in Europe and North America.

- ✓ Transporting hydrogen through high-pressure steel pipelines is more difficult than transporting methane because of hydrogen embrittlement, which makes strong steel pipes vulnerable to cracking, and because of hydrogen attack that allows reactions with the steel carbon atoms under certain operating conditions, again leading to cracks. Hydrogen has a lower energy density by volume than methane but a faster flow rate; this means that the total pipe capacity is around 20% lower for hydrogen than methane but the total hydrogen stored within the pipe is only a quarter of the total methane at the same pressure in energetic terms.

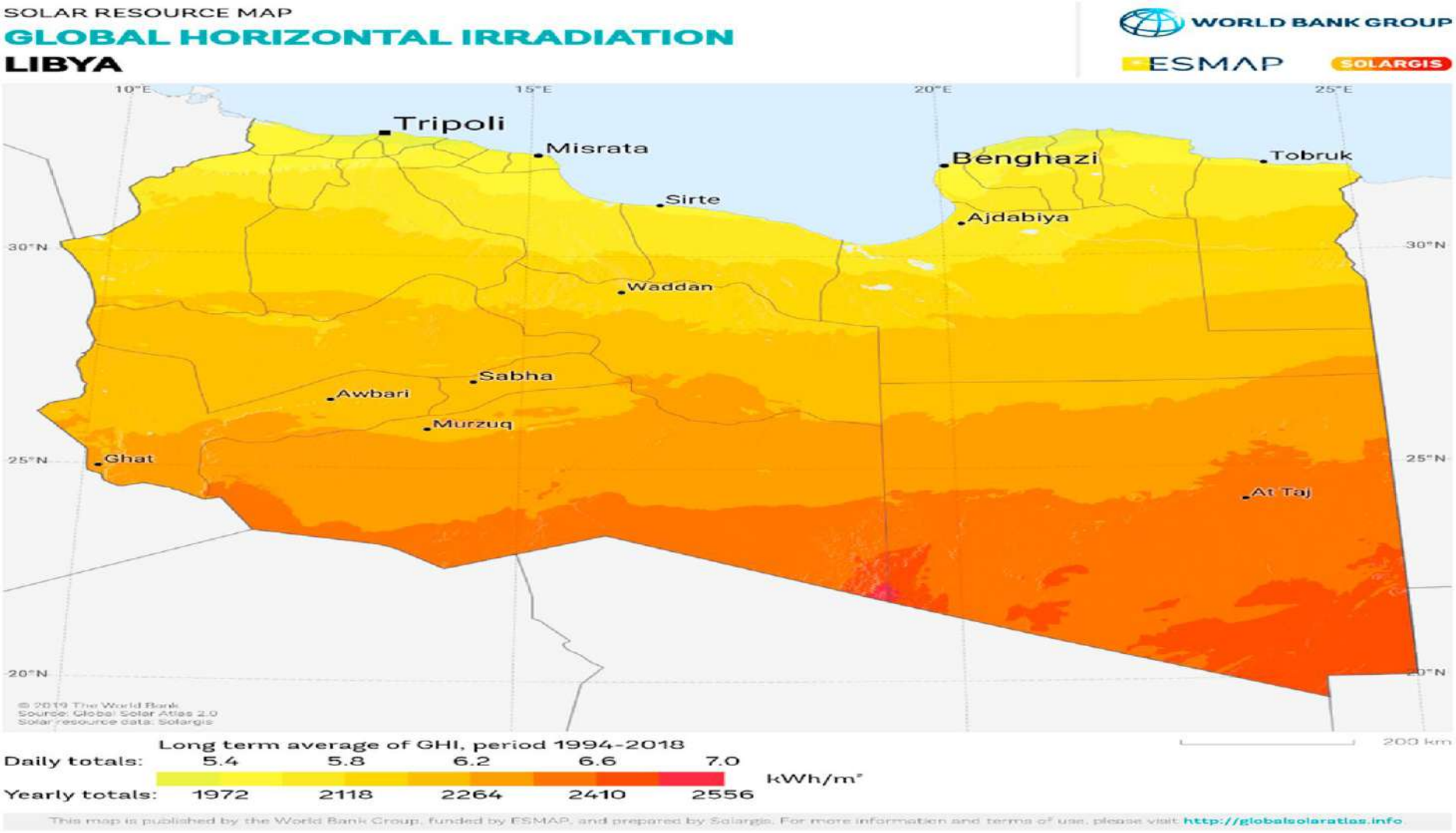
Production, Storge and Transport of Hydrogen

Figure 13 : gas networks in North Europe

Production, Storge and Transport of Hydrogen

Figure 14 : Hydrogen Ship transport

PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA



PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

➢ Solar hydrogen from North Africa to Europe through Greenstream:

✓ Blending green hydrogen within the gas infrastructure is seen as the first move towards Europe's climate neutrality by 2050.

✓ Adding hydrogen to natural gas is showing benefits including a higher efficiency and lower CO_2 production and emissions.

✓ Especially, Europe and North African have privileged role in energy cooperation sharing a woven and complex set of natural resources, knowledge, infrastructure, clear goals towards sustainable development. Developing common projects about hydrogen can mutually help both Europe and North Africa to achieve more sustainable, reliable and modern energy systems.

Reference : Marco Cavana, Pierluigi Leone , International Journal o f Hydrogen Energy 46 (2021) 22618- 22637

PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

✓ This proposed project simulates the Greenstream gas corridor **(Connecting Libya to Italy)** under increasing hydrogen blending scenarios using a transient and multi-component fluid-dynamic model of the gas transmission system.

✓ The additional compression energy required and the compressors' operating hours are evaluated under the hypothesis that the energy content of the transported gas is maintained. The hydrogen profiles needed to generate the blends are obtained and used to optimally size a photovoltaic-powered electrolysis system, minimizing the compressed hydrogen storage.

✓ The results indicate that the additional energy costs of transporting hydrogen blends are up to 32.5% higher than natural gas transport, while negligibly impacting the overall efficiency of energy transport.

PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

✓ The additional compression energy required and the compressors' operating hours are evaluated under the hypothesis that the energy content of the transported gas is maintained.

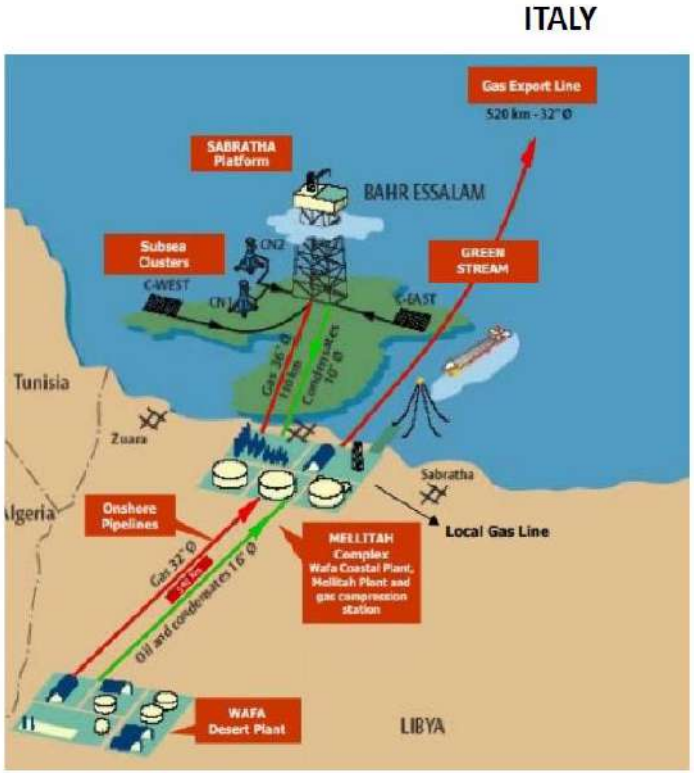
✓ The hydrogen profiles needed to generate the blends are obtained and used to optimally size a photovoltaic-powered electrolysis system, minimizing the compressed hydrogen storage.

✓ The results indicate that the additional energy costs of transporting hydrogen blends are up to 32.5% higher than natural gas transport, while negligibly impacting the overall efficiency of energy transport.

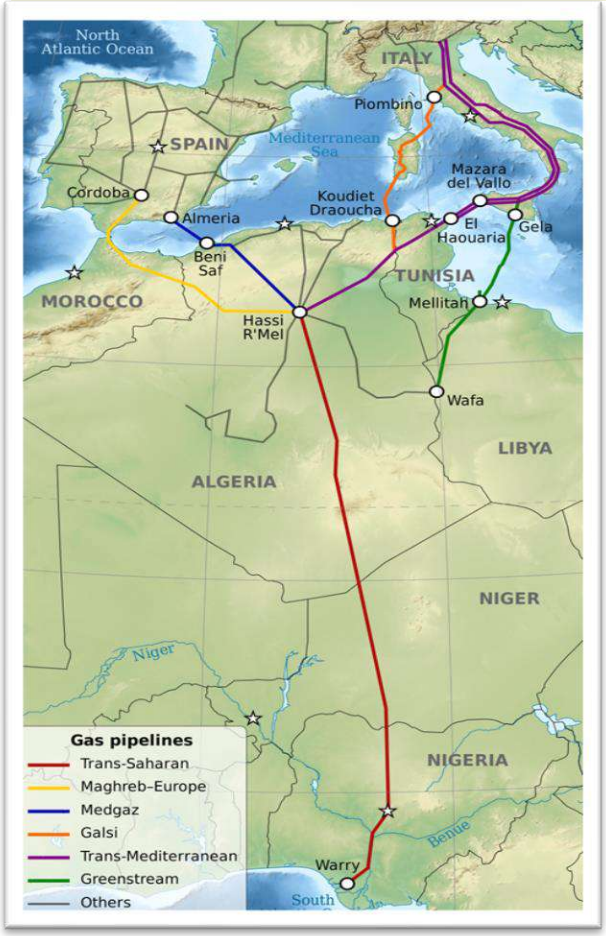
PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

Greenstream infrastructure



PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA



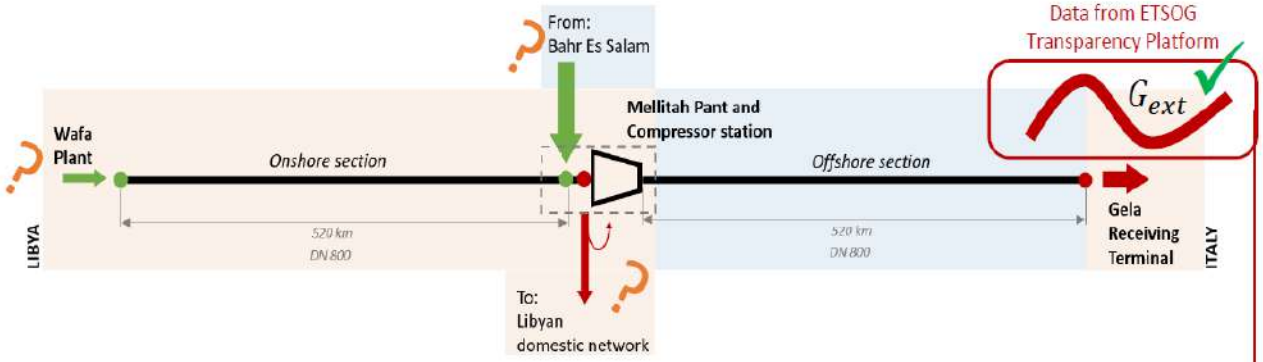
خط أنابيب الدفق الأخضر:

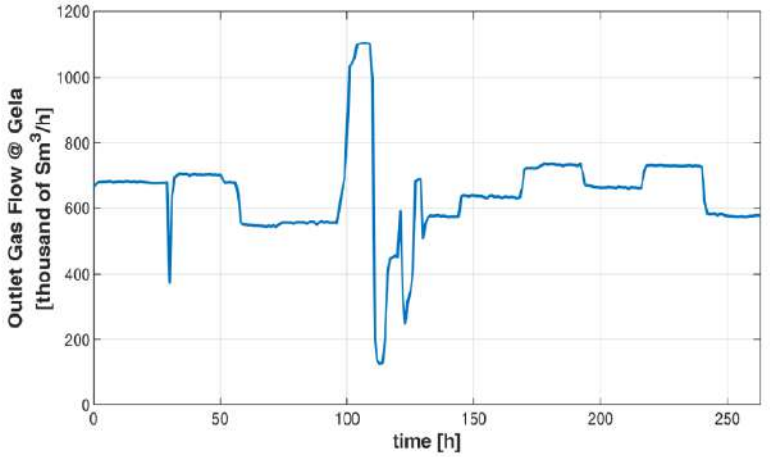
- نشأت فكرة خط أنابيب الغاز الطبيعي من ليبيا إلى إيطاليا في السبعينات. وأنجزت دراسات الجدوى المبدئية في الثمانينات والتسعينات. بدأ إنشاء خط الأنابيب في عام 2003. المقاول الأساسي في المشروع هي سايبم . بدأت إمدادات الغاز في 1 أكتوبر 2004، وأفتتح خط الأنابيب في 7 أكتوبر 2007.

المميزات التقنية:

- يمتد خط أنابيب الدفق الأخضر لمسافة 540 كم ويمر في مليته في ليبيا إلى جيلا في صقلية ، إيطاليا. ويشمل أيضا محطة ضغط مليته ومحطة استقبال جلا ويصل خط الأنابيب من الحقل الأرضي بحر السلام، حقل البوري، حقل الوفاء بالقرب من الحدود الجزائرية ، 530 كم من مليته. بلغت تكاليف الإنشاء 6.6 مليار دولار أمريكي. يصل قطر خط الأنابيب إلى 32 إنش (810 مم) بقدرة أولية 8 مليارات متر مكعب من الغاز الطبيعي. وسوف تزيد القدرة فيما بعد إلى 11 مليار متر مكعب سنوياً.

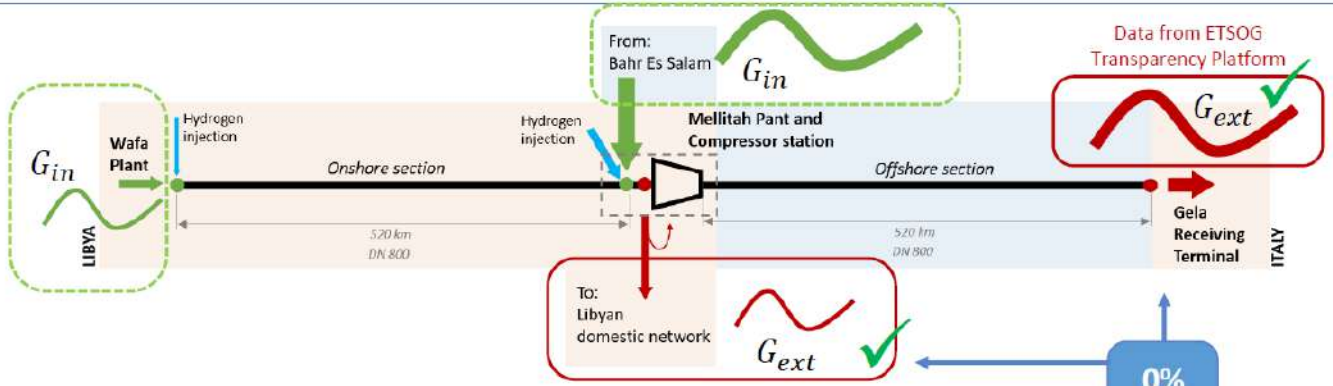
PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA





PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

Overview of the activity



➡ Aim of the modelling activity:

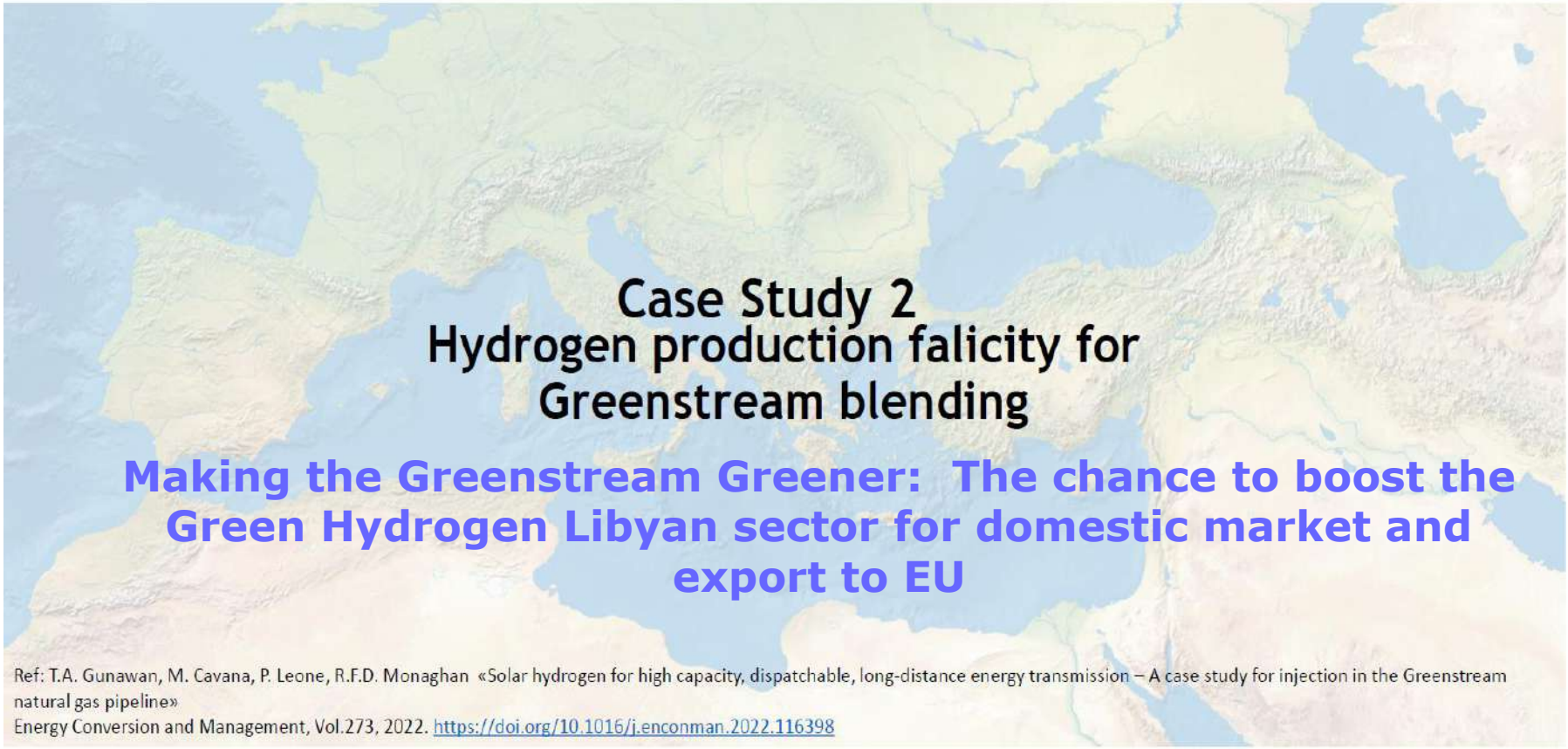
- Determine the gas flow entry profiles;
- Determine the needed hydrogen profiles at the entry so to keep the %H2 constant;

0%
5%
10%
15%
20%
target

of H_2

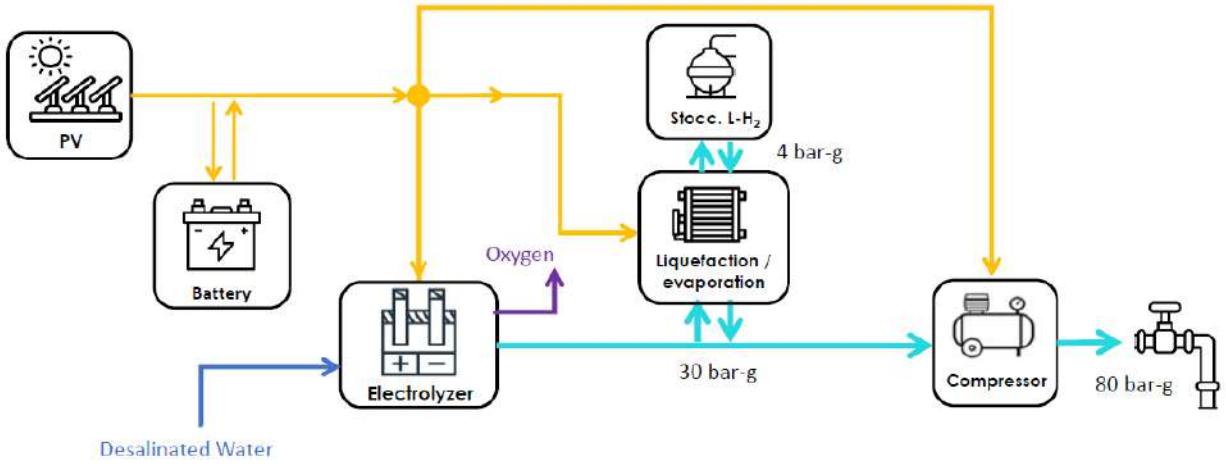
While providing the
same amount of energy

PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA



PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

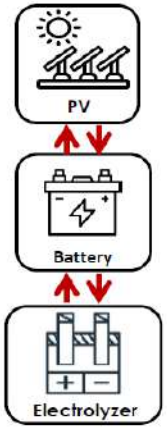
Description of the System



PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

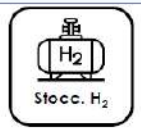
Techno-economic behaviour of a solar H2 production system

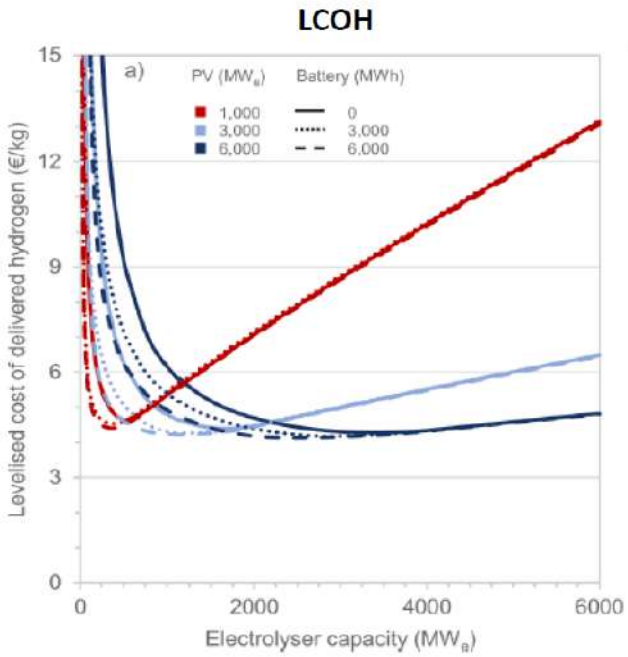
Equipments to be sized

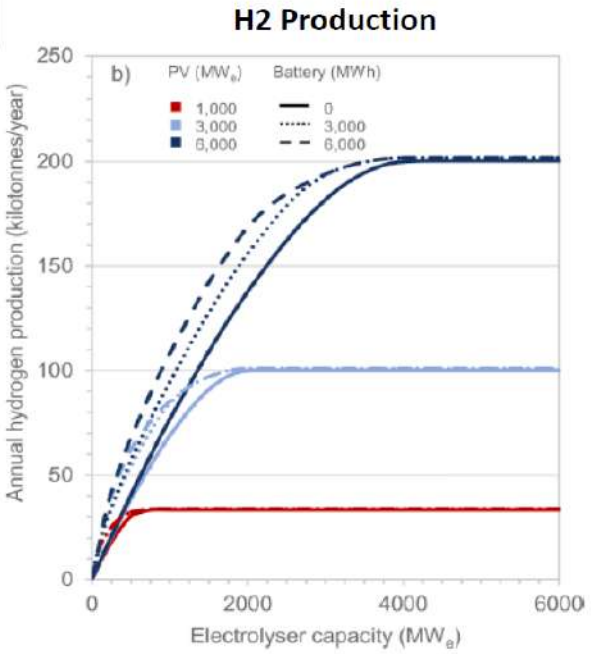


assumption:

Sized consequently to store 5% of annual production



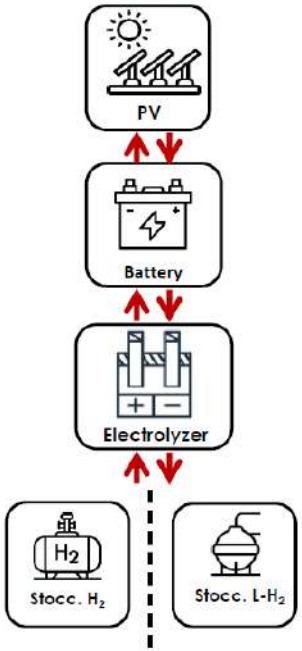


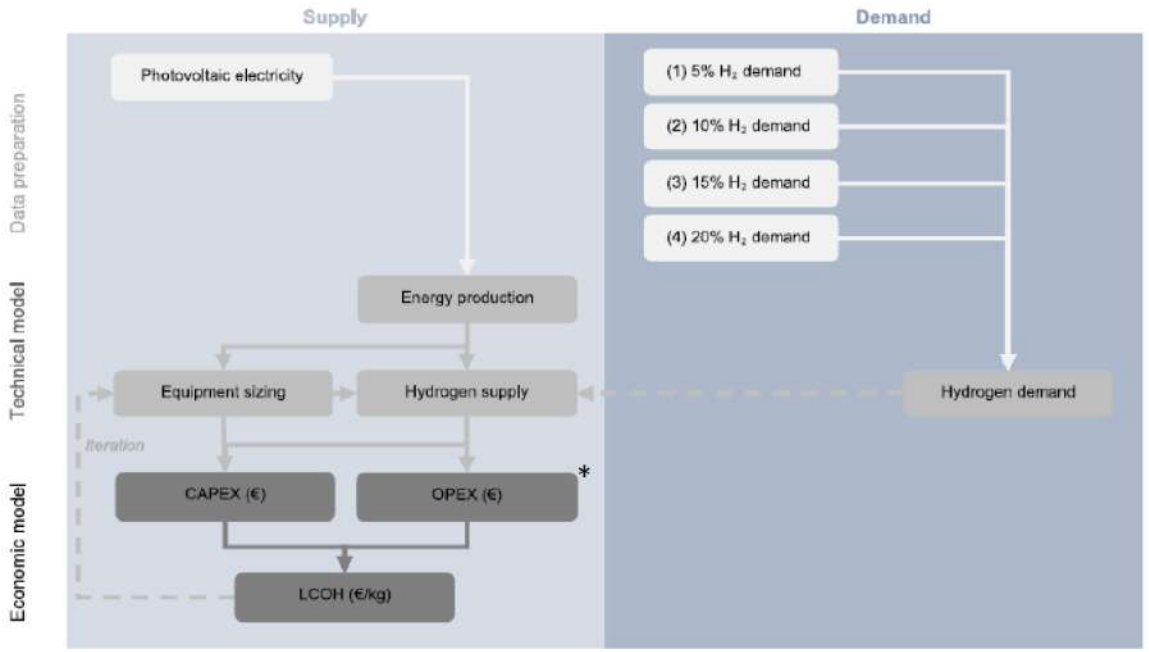


PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

Optimization model for the Mellitah blending case

Equipments to be sized

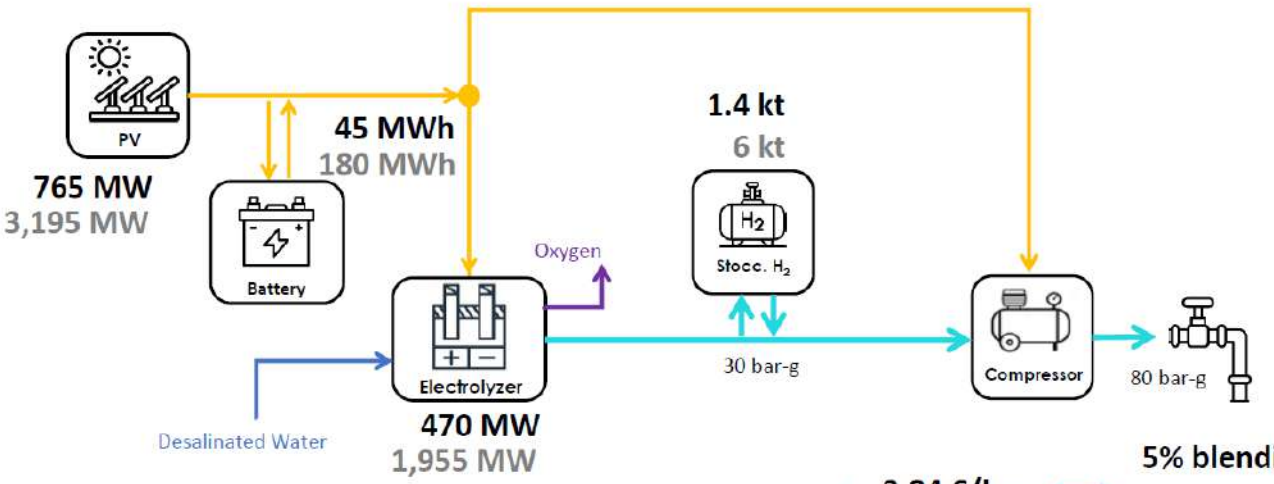




*prices estimation: 2030

PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

Results (compressed storage)



- The Levelised Cost of Hydrogen (LCOH) is a metric that calculates the average cost of hydrogen production over its lifetime, including all costs associated with its production, distribution, and use.

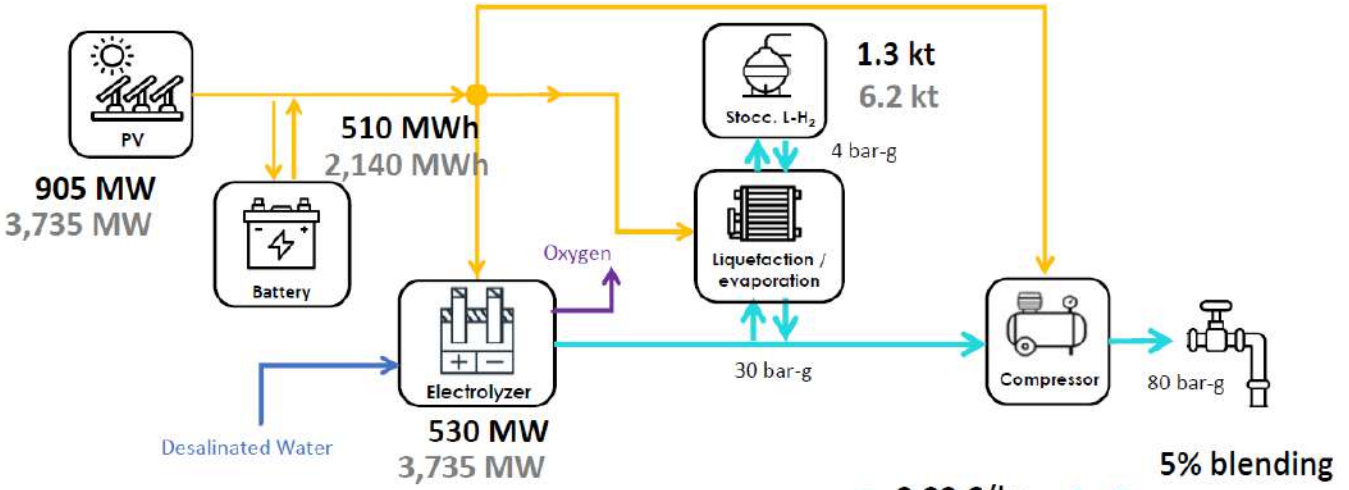
LCOH

3.84 €/kg ⟷ 5% blending
H2 demand: 25.5 kt/a

3.69 €/kg ⟷ 20% blending
H2 demand: 106 kt/a

PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

Results (liquefied storage)



- The Levelised Cost of Hydrogen (LCOH) is a metric that calculates the average cost of hydrogen production over its lifetime, including all costs associated with its production, distribution, and use.

LCOH

- 3.23 €/kg ⟷ 5% blending, H2 demand: 25.5 kt/a
- 2.81 €/kg ⟷ 20% blending, H2 demand: 106 kt/a

PROPOSED GREEN HYDROGEN PROJECTS FOR LIBYA

Green Hydrogen: Opportunities for Libya

- **Harvesting** the **renewable energy potential**
- Valorizing current infrastructures
- **Take advantage** on **already existent interconnections**
- Boosting the energy sector **bridging** the **oil and gas** towards **Renewable gases**
- Developement of **high quality, innovative** and **competitive industrial sector**

  taking advantage of lower cost of production of green hydrogen

Conclusions and Recommendations

الاستنتاجات والتوصيات

* نحن الان نعيش في عصر الجزيئات الخضراء.

* سترتفع نسبة مساهمة هذه الجزيئات في تحويل الطاقة وتسارعها.

* سيكون تحقيق توازن الحلول التقنية مع االقتصاد من الاساسيات لتحقيق النجاح.

* يجب على دولة ليبيا والمتمثلة في مؤسساتها البحثية والاكاديمية والاقتصادية أن تكون مستعدة للخوض في مشاريع انتاج وتخزين ونقل والتصدير الهيدروجين الاخضر لاجل تنويع الدخل القومي للدولة الليبية.

Conclusions and Recommendations

- المضي قدماً في مجال الهيدروجين الاخضر و ما يتعلق به من دراسات و بحوث و عقد شراكات مع دول لها باع في هذا المجال .
- الحث على الدخول في تطوير مصادر المياه من التحلية لخدمة مجال الهيدروجين و توفير المياه للشرب .
- التركيز على الطاقة الشمسية لإستخدامها في مجال الهيدروجين و كذلك توفير الطاقة الكهربائية.
- التركيز على تدريب الكوادر على الطاقات المتجددة مثل الهيدروجين و الطاقة الشمسية و تحلية المياه.
- التواصل مع دول الجوار و الإستفادة من خبراتهم و الى ما توصلوا اليه من خطوات في مجال انتاج الهيدروجين.
- الإستفادة من عضوية ليبيا للمركز الاقليمي للطاقة المتجددة في تطوير مشاريع تهتم بإستغلال الهيدروجين الاخضر و غيرها من الطاقات المتجددة.
- من الفرص الكثيرة و التي بالامكان استغلالها في تبني و تطوير و استخدام تقنيات انتاج الهيدروجين الاخضر هي التقليل من انبعاثات الكربون من الصناعة النفطية و ما يترتب على ذلك من تنفيذ للسياسات العالمية في التقليل من الانبعاثات.

Hydrogen
Fuel

Thank you for your Kind listening and attention

Questions?